

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV

CURSO DE AGRONOMIA

MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

EROSÃO HÍDRICA PROVOCADA POR CHUVAS SIMULADAS

DURANTE O CULTIVO DA SOJA

FERNANDO LUÍS ENGEL

(Engenheiro Agrônomo, UFSC)

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do

Grau de Mestre em Ciência do Solo

Lages (SC), Brasil

Agosto, 2005

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
CURSO DE AGRONOMIA  
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

EROSÃO HÍDRICA PROVOCADA POR CHUVAS SIMULADAS  
DURANTE O CULTIVO DA SOJA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Aprovado em:

Pela banca examinadora:

Homologado em:

Por:

---

Dr. Ildegardis Bertol  
Orientador – CAV/UDESC

---

Dr. Jaime Antônio de Almeida  
Coordenador do Programa de Mestrado  
em Agronomia, Coordenador Técnico do  
Curso de Mestrado em Ciência do Solo

---

Dr. Neroli Pedro Cogo  
UFRGS

---

Dr. Paulo César Cassol  
Diretor do Centro de Ciências  
Agroveterinárias

---

Dr. Álvaro Luiz Mafra  
CAV/UDESC

Lages (SC), Brasil

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ildegardis Bertol, pela orientação segura e amizade dispensada durante todo o curso, mostrando ser um exemplo de profissional a ser seguido.

À minha noiva Ângela, pela paciência, ajuda e compreensão nos momentos difíceis dessa jornada.

A toda minha família, pelo constante apoio durante a realização do curso.

Aos demais professores do Curso de Mestrado em Ciência do Solo do CAV/UDESC, pelos conhecimentos técnicos repassados e pela convivência e, em especial, ao Professor Álvaro Luiz Mafra, pela valiosa ajuda na análise estatística dos dados.

Aos bolsistas de iniciação científica da área de Conservação do Solo, André Júlio do Amaral, Wilson Antônio Zoldan Junior, Fabrício Tondello Barbosa, Leonardo Felipe Brignoni, em especial ao Sidinei Roberto Ritter, bolsista do presente projeto de pesquisa, e aos colaboradores dos projetos de pesquisa em Conservação do Solo pelo inestimável auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório, bem como aos laboratoristas Alcir e a Fátima, pelo auxílio nas análises de laboratório.

Aos colegas de Curso, em especial ao Olmar Neuwald e João Bosco, pela convivência e amizade.

À Capes, pela bolsa de estudos disponibilizada durante todo o curso.

Ao CNPq, pela concessão dos recursos financeiros para a execução do presente projeto de pesquisa.

Ao Colégio Agrícola Caetano Costa, pela concessão da área experimental e, em especial, aos Eng<sup>os</sup> Agrônomos Almir Luiz Vedana Zaporolli e Edilceu dos Santos, respectivamente Diretor de Ensino e Professor do referido colégio, pelo apoio nos trabalhos de campo, sem os quais a execução desta pesquisa não teria sido possível.

À Deus, pela vida.

# EROSÃO HÍDRICA PROVOCADA POR CHUVAS SIMULADAS DURANTE O CULTIVO DA SOJA<sup>1/</sup>

Autor: Fernando Luis Engel  
Orientador: Prof. Ildegardis Bertol

## RESUMO

O preparo do solo modifica as propriedades físicas e a cobertura superficial do solo e afeta a erosão hídrica. A erosão hídrica constitui-se numa das principais causas de degradação do solo, no local e fora do local de origem da erosão e, por isso, de redução da sua capacidade produtiva e de contaminação ambiental. Com o objetivo de avaliar as perdas de solo e água, pela erosão hídrica sob chuva simulada, conduziu-se um experimento utilizando um simulador de chuva de braços rotativos, em um solo Nitossolo Háplico alumínico (Hapludox típico) com declividade média de 0,16 m m<sup>-1</sup>, na região do Planalto Sul de Santa Catarina, entre 2003 e 2004. A erosão hídrica do solo foi avaliada durante o cultivo da soja, nos tratamentos: solo sem cultivo (SC); preparo convencional (PC); semeadura direta sobre os resíduos queimados em solo nunca preparado (SQ); semeadura direta sobre os resíduos secos em solo nunca preparado (SD); e semeadura direta tradicional em solo preparado por ocasião da instalação da área experimental, há cinco anos (ST). As perdas de solo foram fortemente influenciadas pelo sistema de preparo, enquanto as perdas de água sofreram efeito apenas moderado. A ST reduziu as perdas de solo em 96 % em relação ao PC e as perdas de água foram reduzidas em 15 %. A queima dos resíduos vegetais aumentou as perdas de solo em 4,7 vezes em relação a ausência da queima, enquanto as perdas de água foram aumentadas em 5 %. O tempo para o início da enxurrada, as perdas de água e de solo e a concentração dos sedimentos na enxurrada, se correlacionaram com a cobertura do solo pelo resíduo vegetal.

1/ Dissertação de mestrado em ciência do solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, agosto, 2005.

EROSION WATER UNDER SIMULATED RAINFALL IN A NITOSSOLO HÁPLICO  
SUBMITTED TO DIFFERENT TILLAGE

Author: Fernando Luis Engel  
Adviser: Prof. Ildegardis Bertol

ABSTRACT

1/ Dissertação de mestrado em ciência do solo, Faculdade de Agronomia,  
Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, agosto, 2005.

## Índice

<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	03
2.1. Erosão do solo .....	03
2.2. Erosão hídrica pluvial do solo .....	04
2.2.1. Fatores que influenciam a erosão hídrica pluvial do solo .....	05
2.3 Perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial do solo .....	10
2.3.1. Influência do preparo do solo .....	10
2.3.2. Influência da cobertura do solo .....	12
2.3.2.1. Influência da cobertura do solo por resíduos vegetais .....	13
2.3.2.2. Influência da cobertura do solo pela copa das plantas <b>Erro! Indicador não definido.</b> .....	14
2.3.3. Influência da queima dos resíduos vegetais .....	15
2.4. Tamanho de sedimentos transportados pela enxurrada .....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1. Localização da área experimental e características da região .....	19
3.2. Solo e histórico da área experimental .....	19
3.3. Unidade experimental .....	21
3.4. Aparelho simulador de chuvas .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 21
3.5. Tratamentos .....	22
3.5.1. Esquema operacional dos cultivos de nabo forrageiro e soja .....	23
3.6. Chuvas simuladas aplicadas .....	23
3.7. Determinações efetuadas a campo, antes da aplicação dos testes de chuva .....	24
3.7.1. Umidade atual do solo .....	24
3.7.2. Cobertura da superfície do solo pelo resíduo de nabo forrageiro .....	24
3.7.3. Cobertura do solo pela copa das plantas de soja .....	24

3.8. Determinações efetuadas no campo, durante a aplicação dos testes de chuva .....	25
3.8.1. Tempos de início e término da enxurrada.....	25
3.8.2. Amostragem da enxurrada para posterior cálculo da taxa instantânea e da concentração de sedimentos.....	25
3.8.3. Velocidade da enxurrada.....	26
3.8.4. Checagem da intensidade das chuvas aplicadas durante os testes.....	26
3.9. <u>Procedimentos, determinações e cálculos efetuados no laboratório, com os dados coletados durante a aplicação dos testes de chuvas simuladas .....</u>	27
3.9.1. <u>Volume total das chuvas aplicadas .....</u>	27
3.9.2. <u>Volume total da enxurrada das chuvas aplicadas .....</u>	27
3.9.3. <u>Taxa constante e volume total de infiltração de água no solo .....</u>	27
3.9.4. <u>Concentração de sedimentosna enxurrada .....</u>	28
3.9.5. <u>Taxa instantânea e quantidade total de perda de solo.....</u>	28
3.9.6 <u>Índice D<sub>50</sub> do sedimento transportados na enxurrada.....</u>	29
<u>3.10. Ajuste de dados .....</u>	29
3.11. Cálculo da razão de perdas de solo.....	30
<u>3.12. Tratamento estatístico .....</u>	31
<u>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</u>	33
<u>4.1. Umidade do solo imediatamente antes do início de cada teste de chuva simulada .....</u>	33
<u>4.2. Cobertura superficial do solo por resíduos culturais.....</u>	34
<u>4.3. Cobertura do solo pela copa das plantas .....</u>	35
<u>4.4. Tempos de início e equilíbrio da enxurrada.....</u>	36
<u>4.5. Infiltração total de água no solo durante o período inteiro de enxurrada .....</u>	39
<u>4.6. Volume total de enxurrada durante o período inteiro de sua ocorrência .....</u>	40
4.7. Concentração de sedimentos na enxurrada no período inteiro de sua ocorrência .....	42
<u>4.8. Perda total de solo.....</u>	44
<u>4.9. Taxa constante de infiltração de água no solo .....</u>	49
<u>4.10. Taxa constante de enxurrada.....</u>	50
<u>4.11. Velocidade da enxurrada.....</u>	51
<u>4.12. Concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante.....</u>	52
<u>4.13. Taxa de perda de solo sob enxurrada constante.....</u>	54

<u>4.14. Índice D<sub>50</sub></u> .....	57
<u>5. CONCLUSÕES</u> .....	61
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	62
<u>ANEXOS</u> .....	68

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Umidade do solo antes de cada teste de chuva simulada, na profundidade de 0-0,20m do solo, nos diferentes sistemas de preparo durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	33
Tabela 2. Cobertura superficial do solo pelo resíduo cultural de nabo forrageiro, imediatamente antes de cada teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	35
Tabela 3. Cobertura do solo pela copa das plantas imediatamente antes de cada teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	36
Tabela 4. Tempo necessário para iniciar a enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	37
Tabela 5. Tempo necessário para a enxurrada atingir taxa máxima, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	38
Tabela 6. Infiltração total de água no solo durante o período inteiro de enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	40
Tabela 7. Volume total de enxurrada durante o período inteiro de sua ocorrência, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	41
Tabela 8. Concentração de sedimentos na enxurrada durante o período inteiro de sua ocorrência, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	43
Tabela 9. Perda total de solo nos diferentes sistemas de preparo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	45
Tabela 10. Taxa constante de infiltração de água no solo, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	49
Tabela 11. Taxa constante de enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)...	50
Tabela 12. Velocidade da enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	51

Tabela 13. Concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	52
Tabela 14. Taxa de perda de solo sob enxurrada constante, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	55
Tabela 15. Tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada, expresso pelo índice $D_{50}$ , nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....	58

## Índice de Figuras

- Figura 1. Hidrogramas de enxurrada nos diferentes sistemas de pregaro do solo durante o cultivo da soja (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada). SSC: solo sem cultivo; PCO: pregaro convencional; SDQ: semeadura direta sobre resíduos culturais queimados; SDI: semeadura direta tradicional; SDD: semeadura direta sobre resíduos dessecados.....39
- Figura 2. Relação da concentração de sedimentos na enxurrada com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de pregaro do solo durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....44
- Figura 3. Relação das perdas de solo com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de pregaro do solo durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....47
- Figura 4. Relação das perdas de solo com a cobertura do solo pelas copas das plantas, no sistema de pregaro do solo convencional (PC), durante o cultivo da soja (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada).....48
- Figura 5. Relação da concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, no primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de pregaro do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....53
- Figura 6. Relação da concentração de sedimentos na enxurrada com a velocidade da enxurrada, sob taxa constante, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de pregaro do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....54
- Figura 7. Relação da taxa de perda de solo sob enxurrada constante com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de pregaro do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....56

Figura 8. Relação das perdas totais de solo com a razão de perdas de solo, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada).....57

Figura 9. Relação do índice  $D_{50}$  com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....59

Figura 10. Relação do índice  $D_{50}$  com a velocidade da enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).....60

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar da pretensão humana em perseguir o desenvolvimento sustentável, no mais amplo sentido da expressão, a maioria das ações efetivamente implementadas tem conseguido estimular apenas o desenvolvimento econômico/financeiro, com crescentes aumentos de produtividade e de concentração de renda, estimulando comportamentos individualistas e consumistas e criando desigualdades sociais cada vez mais notórias. Assim, os resultados decorrentes disso têm afetado a sociedade e a natureza, causando impactos negativos sobre os recursos naturais (água, solo, fauna e flora), consolidando a afirmação de que “o desenvolvimento centrado apenas na lógica econômico/financeira se autodestrói, destruindo o meio onde se realiza”.

Ao longo de sua história, a humanidade considerou a água como um recurso natural renovável e infinito, do qual se podia dispor na quantidade e na forma que quisesse. Atualmente, já se admite sua limitação. O solo, por sua vez, é sabidamente um recurso natural não renovável no curto prazo. Desta forma, a manutenção da capacidade produtiva do solo e da qualidade adequada da água, torna-se imprescindível para a sobrevivência de todas as espécies que povoam a superfície do nosso planeta.

A degradação do solo é induzida pelo uso e manejo inadequados do mesmo, pelo homem, resultando, dentre outras consequências, em perda da qualidade da sua

estrutura e em aumento da erosão hídrica, com consequente aumento nos custos de produção ou, em casos mais graves, na perda acentuada da sua capacidade produtiva, cuja recuperação nem sempre é possível e, às vezes, economicamente inviável. A erosão hídrica do solo pode comprometer a capacidade produtiva das terras agrícolas de duas maneiras, quais sejam, diretamente, pela remoção de solo, nutrientes e matéria orgânica das lavouras e, indiretamente, pela deposição destes materiais em outros locais, fora das lavouras. A qualidade dos recursos hídricos, por sua vez, é influenciada pelo tipo de uso e forma de manejo do solo, os quais regulam a infiltração de água e a própria erosão hídrica.

A maioria dos solos cultivados em Santa Catarina caracteriza-se por baixa fertilidade natural, em geral situados em posições topográficas com relevo ondulado e forte-ondulado. O cultivo destes solos sob sistemas de manejo inadequados, resulta em alterações das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, provocando aumento da erosão hídrica, comprometendo a qualidade das águas superficiais e, ainda, diminuindo a capacidade produtiva do solo.

Concluindo, pesquisas relacionadas à este assunto são ainda necessárias, visando quantificar o efeito da adoção de sistemas de manejo e de práticas conservacionistas alternativas para a solução do problema em questão.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Erosão do solo

A erosão do solo foi um dos fatores que causaram o empobrecimento do solo e consequentemente a ruína das primeiras civilizações e a queda de importantes impérios na antiguidade. É indiscutível que a erosão do solo é atualmente um dos problemas mais sérios da humanidade, no que se refere à sustentabilidade dos sistemas agrícolas. A erosão é a forma mais séria de degradação do solo, uma vez que ela poderá arruinar o mesmo de forma, até, irreversível. Tendo em vista a diferença na escala de tempo para a formação de um novo solo e a escala de tempo dos humanos para dele tirar sustento, o solo deve, para todo e qualquer propósito prático, ser considerado um recurso natural não renovável. Assim, sua conservação é de fundamental importância, até mesmo uma questão de sobrevivência das espécies vivas na terra. Para conservar o solo, deve-se, primariamente, controlar a erosão do mesmo, independentemente do uso que ele possa vir a ter. Permanecendo o solo no seu local original, é possível então pensar nos métodos recuperadores e melhoradores do mesmo (Cogo, 1981). Caso contrário, tais métodos de recuperação e melhoria do solo não irão surtir os efeitos desejados. Desta forma, o estudo dos processos e dos métodos de controle da erosão do solo constitui prioridade número um na ciência do solo, em qualquer parte do mundo, incontestavelmente.

## 2.2. Erosão hídrica pluvial do solo

A chuva é uma das variáveis climáticas de maior importância mundial na erosão do solo. No Brasil, especificamente, a erosão hídrica pluvial é a forma mais significativa desse fenômeno, sendo a erosão eólica de importância apenas localizada em nosso país.

A erosão hídrica pluvial do solo é um trabalho mecânico que requer energia, a maior parte da qual é fornecida pelas gotas da chuva, mas, também, pela enxurrada superficial (Wischmeier & Smith, 1958), sendo que o processo se dá em três fases, a desagregação, o transporte e deposição das partículas do solo (Ellison, 1947). A desagregação consiste no desprendimento ou ruptura das partículas do solo, sendo a fase mais importante do processo erosivo pois, se não houver a desagregação inicial das partículas, poderá não haver o transporte e, consequentemente, a deposição. O transporte consiste na remoção das partículas degradadas para algum lugar distante do ponto de origem, enquanto a deposição, última fase do processo erosivo, ocorre toda vez que a massa de sedimentos em suspensão na água da enxurrada excede sua capacidade de transporte. A deposição é seletiva, de modo tal que as partículas de maior tamanho e/ou densidade são depositadas primeiramente e, as demais, posteriormente (Ellison, 1947; Foster e Meyer 1972; Foster, 1982).

Na erosão hídrica pluvial, os principais agentes erosivos são o impacto das gotas da chuva e o escoamento da água sobre a superfície do solo. A enxurrada superficial é o principal agente transportador das partículas de solo, o qual pode mover-se sobre ampla área, na forma de delgada lâmina (fluxo laminar), como ocorre na erosão em entressulcos,

ou, em função da microtopografia do terreno, concentrar-se em canais (fluxo concentrado), como ocorre na erosão em sulcos (Ellisson, 1947).

Na erosão em entressulcos, ocorrente nas superfícies de solos descobertos, a desagregação do solo se dá pelo impacto das gotas da chuva, enquanto o transporte das partículas desagregadas se dá pela ação do salpico ocasionado pelo impacto das gotas de chuva e mais a ação do escoamento laminar turbulento. Na erosão em sulcos, ocorrente principalmente em superfícies de solos descobertos, mas também cobertos, tanto a desagregação quanto o transporte são causados pela ação da enxurrada de água concentrada nos sulcos. O impacto das gotas da chuva, embora em geral não cause desagregação do solo abaixo da lâmina de água, tem sua capacidade de desagregação e transporte aumentada por criar turbulência no fluxo (Meyer et al., 1975; Albert et al., 1980; Foster, 1982).

A erosão em entressulcos é independente da erosão em sulcos, enquanto a erosão em sulcos depende grandemente dos sedimentos produzidos pela erosão em entressulcos (Meyer et al., 1975; Albert et al., 1980; Foster, 1982).

### 2.2.1. Fatores que influenciam a erosão hídrica pluvial do solo

A erosão hídrica pluvial do solo é determinada pela combinação de fatores físicos e de manejo, os quais se manifestam com intensidade variável. Os fatores diretamente envolvidos são: clima, solo, topografia, cobertura e manejo e práticas conservacionistas de suporte (Wischmeier, 1959; Wischmeier e Smith, 1978). Matematicamente, para idênticas condições de topografia, cobertura e manejo do solo, a erosão hídrica pluvial é igual ao produto da erosividade da chuva pela erodibilidade do solo (Hudson, 1995).

O clima interfere na intensidade, duração e volume das chuvas, as quais influenciam o tamanho e a energia das gotas e as características da enxurrada e, assim, definem sua erosividade (fator R da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS e da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada - EUPSR). A chuva e sua enxurrada associada são os principais componentes do fator clima que afetam a desagregação e transporte do solo na erosão hídrica pluvial. Assim, o fator R da USLE e da RUSLE representa a capacidade potencial da chuva e da enxurrada a ela associada em causar erosão hídrica pluvial do solo (Wischmeier e Smith, 1978; Renard et al., 1997).

O solo é o agente passivo no processo de erosão hídrica pluvial. Sua susceptibilidade natural à erosão é representada pelo índice de erodibilidade do solo (fator K da EUPS e EUPSR), o qual expressa a taxa de perda de solo por unidade de índice de erosividade (Wischmeier e Smith, 1978). O fator K, portanto, reflete o efeito combinado das propriedades intrínsecas do solo. Algumas dessas propriedades influenciam a capacidade de infiltração de água do solo e, portanto, determinam o volume e a taxa de enxurrada superficial. Outras, influenciam a capacidade do solo resistir à desagregação e ao transporte pelos agentes erosivos e, portanto, determinam a concentração de partículas de solo na enxurrada (Wischmeier & Mannering, 1969).

A topografia do terreno é composta basicamente pela inclinação do declive e pelo comprimento da rampa que, em conjunto, afetam substancialmente a taxa de erosão hídrica pluvial do solo. Estes dois fatores são avaliados separadamente mas, no campo, ocorrem concomitantemente e, para fins de estudo do seu efeito sobre a erosão hídrica pluvial do solo, são considerados como um fator único, topográfico (fator LS da EUPS e da EUPSR) (Wischmeier e Smith, 1978). As perdas de solo por unidade de área aumentam com o aumento do comprimento de rampa, decorrente do aumento do volume de enxurrada

superficial, que tem sua capacidade de desagregação e transporte aumentada (Wischmeier e Smith, 1978). Entretanto, as perdas de solo aumentam mais acentuadamente com o aumento da inclinação do declive do que com o aumento do comprimento da rampa, uma vez que a influência do grau do declive na velocidade e no volume de enxurrada é maior (Wischmeier e Smith, 1978). Assim, a erosão hídrica pluvial do solo é proporcional à inclinação do declive elevada à potência média de 1,5, enquanto em relação ao comprimento da rampa ela é proporcional à potência média de 0,5 (Hudson, 1995).

A cobertura e manejo do solo (fator C da EUPS e da EUPSR) é o fator mais importante na erosão hídrica, pois representa as condições de manejo que podem facilmente ser implementadas no solo, as quais reduzem expressivamente a erosão hídrica (Lal, 1994). A cobertura do solo inclui aquela ocasionada pelos resíduos vegetais em contanto direto com a superfície do solo e pelas copas das plantas (Foster, 1982).

Por definição, o fator C representa a relação entre as perdas de solo de uma dada área sob determinados tipos de cobertura vegetal, manejo e preparo, e as perdas de solo de uma área continuamente preparada no sentido paralelo ao declive, em pousio, sem descoberta e com rugosidade mínima. Assim, o fator C varia de zero a um, aproximando-se de zero nos sistemas de manejo conservacionistas, de um nos sistemas de manejo convencionais, sendo igual a um na parcela padrão da USLE e da RUSLE (Wischmeier e Smith, 1978).

O fator C varia amplamente para cada tipo de cultura, tipo de manejo e cultivo do solo, pois, além da variação da erosividade e erodibilidade, sofre o efeito da variação do período vegetativo, cobertura do solo pela copa das plantas, cobertura do solo por resíduos culturais, manejo dos resíduos culturais, tipo de preparo do solo, tipo de rotação de culturas e efeito residual de cultivos anteriores (Wischmeier e Smith, 1978).

A cobertura do solo ocasionada pela copa das plantas tem pequeno efeito no volume e velocidade da enxurrada, pelo fato das copas não estarem em contato direto com o solo, porém, dissipa a energia cinética da chuva por interceptar a queda das gotas. A água da chuva pode, no entanto, formar gotas e readquirir velocidade a partir das copas e, assim, desagregar o solo se este estiver desprovido de cobertura por resíduos (Wischmeier & Smith, 1978). A capacidade que a cobertura do solo pela copa das plantas tem em reduzir a ação erosiva da chuva depende da altura e densidade da copa, bem como da ausência ou presença de ventos.

A cobertura por resíduos culturais em contato direto com a superfície do solo é mais efetiva do que a cobertura do solo pela copa das plantas na redução da erosão hídrica pluvial, pois, ao interceptar as gotas de chuva, estas não readquirem velocidade e, assim, a energia de impacto na superfície do solo é dissipada. Além disso, ela reduz a velocidade da enxurrada, o que se reflete em menor capacidade de desagregação e transporte de sedimentos e em aumento da infiltração de água no solo (Mannering e Meyer, 1962; Wischmeier e Smith, 1978; Foster, 1982).

A eficácia dos resíduos culturais em controlar a erosão hídrica pluvial do solo depende de vários fatores, como: porcentagem de cobertura do solo e tipo, quantidade, forma de manejo e estágio de decomposição dos resíduos (Cogo, 1981).

A cobertura do solo por resíduos vegetais é afetada pelo sistema de preparo e manejo do solo, o qual ainda exerce influência sobre as propriedades físicas do solo, na camada superficial, alterando a taxa de infiltração de água e a enxurrada superficial e, portanto, afetando as perdas de solo (Cogo, 1981; Bertol, 1987; Bertol, 1997a). No sistema convencional de preparo de solo, ocorre intenso revolvimento, com consequente quebra dos agregados na camada superficial e alta decomposição dos resíduos vegetais e da matéria

orgânica, além da eliminação da cobertura vegetal, com considerável efeito prejudicial à qualidade da estrutura do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990).

Os sistemas de manejo conservacionistas de solo, com pouca ou quase que nenhuma mobilização, tais como o cultivo mínimo e semeadura direta, respectivamente, mantém os resíduos vegetais na superfície e promovem aporte contínuo de matéria orgânica na camada superficial do solo. Estes aspectos, dentre outros, são responsáveis pela formação e manutenção de estrutura de boa qualidade no solo (Bayer & Mielnickzuk, 1997; Castro Filho et al., 1998). Em contrapartida, a ausência de preparo do solo por longo tempo, como no caso da semeadura direta, aumenta a densidade e reduz a porosidade na superfície do solo (Bertol et al., 2001), com consequente aumento na estabilidade dos agregados, além de diminuição da rugosidade superficial (Schick et al., 2000a; Leite et al., 2003; Mello et al., 2003).

As práticas conservacionistas de suporte (fator P da EUPS e EUPSR), compreendem o preparo e cultivo em contorno, cultivo em faixas em contorno com rotação de culturas e terraceamento. Estas práticas objetivam, principalmente, reduzir a ação erosiva da enxurrada superficial (Bertoni e Lombardi Neto, 1993), sendo complementares às práticas conservacionistas básicas, dadas pela cobertura e manejo do solo. Por definição, o fator P estabelece a relação entre as perdas de solo de uma área, sob dada prática conservacionista de suporte, e as perdas de solo de uma área contígua, sem nenhuma dessas práticas (Wischmeier e Smith, 1978).

### 2.3. Perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial do solo

As perdas de solo e água provocadas pela erosão hídrica pluvial constituem-se numa das principais formas de degradação dos solos nos locais de origem da erosão e de contaminação do ambiente fora desses locais. A erosão hídrica pluvial é um processo complexo que se manifesta em intensidade variável, dependendo da importância relativa do clima, do solo, da topografia da cobertura e manejo do solo e das práticas conservacionistas de suporte. Neste trabalho, serão abordados os aspectos relacionados ao preparo do solo, à cobertura do solo pelos resíduos vegetais e pela copa das plantas, por algumas propriedades físicas do solo e pela à queima dos resíduos vegetais.

#### 2.3.1. Influência do preparo do solo

O preparo do solo é um dos principais agentes modificadores da sua susceptibilidade natural à erosão hídrica. Os objetivos básicos do preparo são: a) modificar a estrutura do solo, para facilitar a entrada, armazenamento e transmissão de água, ar e calor, e criar um leito de semeadura e ambiente favoráveis às raízes das plantas; b) erradicar as ervas daninhas, com a finalidade de eliminar a competição por água, nutrientes e luz; e c) manejar os resíduos culturais, de forma a criar condições adequadas de semeadura e manejo da cultura (Raney e Zingg, 1957).

Os aspectos positivos do preparo do solo, tais como aumento da rugosidade e macroporosidade superficiais são rapidamente perdidos após a sua execução. Quando o solo, descoberto, é submetido a chuvas intensas, ocorre desagregação das partículas e o predispõe ao selamento superficial (Duley, 1939). Conseqüentemente, ocorre o decréscimo da taxa de infiltração e aumento da taxa de enxurrada, a qual transporta partículas de solo,

nutrientes e matéria orgânica. Por outro lado, o preparo reduz a cobertura superficial do solo (Cogo, 1981; Bertol, 1995). Um dos efeitos mais importantes do preparo do solo, especialmente quando intenso, é a separação mecânica das partículas da massa do solo, favorecendo o seu transporte imediatamente após o início da enxurrada (Foster, 1982).

O preparo do solo modifica as condições físicas de superfície e subsuperfície de diversas maneiras. A modificação mais óbvia reflete-se no aumento da rugosidade e na diminuição da quantidade de resíduos culturais na superfície do solo em relação ao seu preparo (Allmaras et al., 1966). Na subsuperfície, o preparo, especialmente o convencional, contribui para a formação de camadas compactadas, “pé-de-arado” ou “pé-de-grade”, reduzindo drasticamente a taxa de infiltração de água no solo nessas camadas (Dalla Rosa, 1981).

O preparo do solo, quando executado com arações e gradagens, produz dois tipos de rugosidade, uma orientada, na direção de trabalho dos implementos e, outra, ao acaso, caracterizada pela ocorrência ocasional de picos e depressões, em que não é possível distinguir-se a direção em que o preparo foi executado (Allmaras et al., 1966).

A rugosidade superficial ao acaso afeta diretamente a erosão hídrica do solo (Cogo, 1984) e, indiretamente, a eficiência dos resíduos culturais. O aumento da rugosidade superficial do solo pelo preparo aumenta consequentemente o espaço poroso total da camada preparada, a infiltração e o armazenamento da água no solo, bem como reduz a enxurrada e a erosão hídrica (Cogo, 1981), o que é desejável do ponto de vista de conservação do solo e da água. No entanto, o aumento do número de operações de preparo, principalmente de preparo secundário do solo, normalmente, reduz a rugosidade superficial ao acaso (Cogo, 1981; Schick, 1999) e a porosidade da camada preparada (Cogo, 1981).

Os preparamos conservacionistas de solo, representados principalmente pela semeadura direta e cultivo mínimo ou preparo reduzido, se caracterizam pela ausência quase que completa ou parcial de revolvimento do solo, permanecendo assim elevada cobertura superficial (Cogo, 1981; Bertol et al., 1987; Bertol, 1994a; Bertol, et al., 1997a; Schick et al., 2000a), tornando estes sistemas de manejo mais eficazes no controle da erosão do que os preparamos convencionais. No sistema de semeadura direta, ocorre ainda um alisamento da superfície do solo com o passar do tempo, diminuindo a rugosidade e a porosidade superficial, decorrente da ausência de revolvimento e do ajustamento natural das partículas dentro dos poros do solo. Apesar disso, este sistema de preparo possibilita o ancoramento dos resíduos nas soqueiras das culturas e ainda apresenta, normalmente, alta consolidação natural da superfície (Dissmeyer e Foster, 1981), o que aumenta a tensão crítica de cisalhamento do solo e sua resistência à erosão hídrica (Bertol, 1995; Schick et al., 2000a).

Em relação às perdas de água, elas são menos influenciadas do que as perdas de solo, pelo preparo (Bertol et al., 1993; Mello, 2002; Leite, 2003), pelo fato de que o solo apresenta um limite de capacidade de infiltração de água, a partir do qual a taxa de enxurrada tende a se igualar em diferentes sistemas de preparo (Bertol, 1994a; Bertol et al., 1997a; Leite, 2003).

### 2.3.2. Influência da cobertura do solo

Entre as diversas variáveis que interferem no processo de erosão, a cobertura vegetal é, reconhecidamente, o fator isolado que exerce maior influência, podendo ser ocasionada pelos resíduos vegetais ao nível do solo e/ou pela copa das plantas acima dele (Foster, 1982).

### 2.3.2.1. Influência da cobertura do solo por resíduos vegetais

A cobertura do solo por resíduos vegetais é muito eficiente em manter as condições de superfície pouco alteradas e, assim, manter elevada infiltração de água e baixas as perdas de água e solo pela enxurrada superficial (Cogo, 1981; Amado, 1985).

A cobertura do solo por resíduos dissipa a energia cinética das gotas de chuva, eliminando sua capacidade de desagregação do solo, e reduz a velocidade da enxurrada e, com isso, sua capacidade de desagregação e transporte de sedimentos. Além disso, forma uma rede na superfície que filtra os sedimentos e ocasiona a sua deposição sobre o solo (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1997b). Assim, a cobertura do solo por resíduos vegetais influencia o tamanho de sedimentos transportados pela enxurrada, ou seja, aumentando-se a porcentagem de cobertura, diminui a concentração de sedimentos grosseiros na enxurrada e aumenta a concentração de sedimentos de menor tamanho (Cogo, 1981; Lopes, 1984).

Em sistemas de manejo com ausência quase que completa de preparo do solo, como é o caso da semeadura direta, a cobertura por resíduos vegetais tem demonstrado alta eficiência em reduzir as perdas de solo por erosão. Entretanto, não tem demonstrado igual mesma eficiência na redução das perdas de água, o que está relacionado com o limite de infiltração de água apresentado pelo solo (Bertol, 1986; Bertol et al., 1997a; Schick et al., 2000a).

A cobertura do solo por resíduos culturais afeta tanto a erosão em entressulcos como a erosão em sulcos. A erosão em entressulcos é reduzida pela dissipação da energia de impacto das gotas de chuva, ocasionando assim uma grande redução na desagregação das partículas do solo. Além disso, na ausência do impacto das gotas de chuva, o escoamento laminar tem pequena capacidade de desagregação e transporte de sedimentos

(Bertol et al., 2004). A erosão em sulcos é reduzida pela diminuição da velocidade e turbulência da enxurrada e, consequentemente, redução de sua capacidade de desagregação e transporte, já que a redução da velocidade da enxurrada reduz a possibilidade de sulcamento do solo (Foster e Meyer, 1972).

#### 2.3.2.2. Influência da cobertura do solo pela copa das plantas

A proteção do solo proporcionada pela copa das plantas, no controle da erosão hídrica, fundamenta-se na diversidade e altura das copas, determinada pela diversidade e manejo das plantas vivas, desde a semeadura até a sua colheita. Em relação às plantas vivas, a extensão dessa proteção depende do tipo de planta, da densidade e tipo das folhas e das raízes. Segundo Eltz (1977), plantas de hábito prostrado protegem melhor o solo do que plantas eretas, do mesmo modo que folhas largas protegem melhor do que folhas estreitas. A quantidade de folhas é também um fator importante a ser considerado.

O efeito da cobertura pela copa das plantas no controle da erosão hídrica não é tão significativo quanto o efeito causado pelos resíduos vegetais, em superfícies descobertas. Nestas, mesmo na presença da cobertura pela copa das plantas, há o efeito do “gotejamento de copa”, ou seja, as gotas de chuva, ao caírem sobre as copas, sofrem interceptação, porém, se refazem e podem readquirir energia cinética suficiente para causar desagregação do solo ao caírem das copas sobre o solo.

### 2.3.3. Influência da queima de resíduos vegetais

A queima dos resíduos vegetais da parte aérea das pastagens nativas durante o inverno, é uma prática comum utilizada pelos pecuaristas nos campos do Sul do Brasil, para favorecer o rebrote das referidas pastagens após o inverno. Pequenos agricultores também queimam freqüentemente restos vegetais para a limpeza das áreas (capoeiras) visando facilitar o cultivo do solo, ou, ainda, mais raramente, a eliminação de fontes de inóculo de patógenos. Isso ocasiona expressiva redução da quantidade de resíduos vegetais que poderiam ser incorporados ou deixados na superfície do solo e, com isso, o teor de matéria orgânica e de nutrientes tende a diminuir com a continuidade da queima.

No solo, o efeito mais expressivo da queima de restos vegetais é sobre a quantidade de matéria orgânica, podendo, tal efeito, ser direto, pela mineralização da matéria orgânica, ou ser indireto, pela ação sobre os organismos responsáveis pelo ciclo do carbono orgânico. Estes dois efeitos são regulados pela duração e intensidade do fogo, cujas características variam com o tipo e quantidade da vegetação, umidade do solo, velocidade do vento e topografia do terreno (Spagnolo, 2002). Outro efeito negativo da queima dos resíduos vegetais sobre o ambiente é a emissão de carbono na forma de CO<sub>2</sub> e de outros gases, contribuidores para o efeito estufa.

Uma vez que o sucesso da semeadura direta no controle da erosão hídrica do solo é dependente, dentre outros fatores, da cobertura superficial do solo, a principal consequência da queima de resíduos vegetais é deixar a superfície do solo descoberta e susceptível à ação das chuvas e da enxurrada superficial. Além disso, a queima dos resíduos aumenta expressivamente a disponibilidade dos nutrientes para o transporte pela enxurrada (Mello, 2002; Leite, 2003), devido a sua mineralização decorrente da queima.

## 2.4. Tamanho de sedimentos transportados pela enxurrada

O cultivo do solo, especialmente sob preparo convencional, aumenta a quantidade de sedimentos disponíveis ao transporte pela enxurrada. O conhecimento da quantidade, distribuição de tamanho e características físicas desses sedimentos é de grande importância para a seleção de sistemas de manejo e práticas conservacionistas de solo adequadas à redução da erosão hídrica e poluição das águas e à recuperação de solos fisicamente degradados.

O tamanho de sedimentos transportados pela enxurrada é influenciado pela rugosidade ao acaso e cobertura da superfície do solo por resíduos culturais, os quais atuam em conjunto na redução da velocidade da enxurrada e, consequentemente, na sua capacidade de desagregação e transporte de sedimentos (Cogo, 1981). Além disso, o transporte de sedimentos é influenciado pelo tipo de processo erosivo (erosão em entressulcos ou em sulcos), tipo de solo, grau do declive e comprimento da rampa, intensidade e duração da chuva (Cogo, 1981; Lopes, 1984).

O aumento da rugosidade ocasionada pelo preparo aumenta o volume de microdepressões na superfície do solo, reduzindo assim a velocidade da enxurrada (Foster, 1982). O aumento do volume de microdepressões na superfície do solo aumenta, principalmente, a deposição de sedimentos maiores, tendo menor influência na deposição de partículas da fração coloidal (Cogo, 1981; Cogo et al., 1984).

O efeito da cobertura do solo por resíduos culturais sobre a distribuição do tamanho de sedimentos é semelhante ao efeito da rugosidade superficial ao acaso (Cogo, 1981). No entanto, o efeito da rugosidade superficial é temporário, uma vez que a ação das chuvas modifica as condições de superfície e, deste modo, a influência da cobertura do solo

no tamanho dos sedimentos transportados é ressaltada, em relação à da rugosidade, com o passar do tempo (Amado, 1985).

A erosão hídrica do solo pode promover o enriquecimento do solo fora do local de origem da erosão, por causa da remoção seletiva de sedimentos do local de origem da erosão, os quais apresentam maior proporção de partículas minerais finas e orgânicas, normalmente mais reativas quimicamente, as quais podem adsorver maiores quantidades de nutrientes e compostos químicos diversos (orgânicos e inorgânicos) do que as partículas mais grosseiras (Foster, 1982).

O tipo de processo erosivo influencia o tamanho de sedimentos transportados, em função dos distintos mecanismos de desagregação e transporte de sedimentos. A erosão em entressulcos, por não ter energia suficiente para transportar partículas maiores, seleciona as partículas, enquanto a erosão em sulcos que raramente tem sua capacidade de transporte limitada, transporta partículas de todos os tamanhos, inclusive agregados estruturais (Meyer, et al., 1975).

A declividade do terreno afeta o tamanho de partículas transportadas, porém a magnitude deste efeito depende de condições de superfície do solo, como cobertura residual e rugosidade superficial (Cogo, 1981). O decréscimo no tamanho de sedimentos transportados em baixas declividades é devido à redução na velocidade da enxurrada e consequente decréscimo na capacidade de transporte, resultando na deposição de material grosso ao longo do caminho da erosão (Cogo, 1981).

Dentre os diversos tamanhos de partículas de solo transportadas pela enxurrada superficial, as mais finas (colóides) têm maior potencial de degradação ambiental, uma vez que, para iguais quantidades de sedimentos transportados, tais partículas podem transportar maiores quantidades de matéria orgânica, nutrientes e compostos químicos adsorvidos do

que as partículas mais grosseiras e, além disso, podem permanecer em suspensão por maior período de tempo, embora causem menor assoreamento dos mananciais. Em função disso, os sistemas de preparo de solo conservacionistas podem também causar alta degradação ambiental, já que neles as perdas de água e de sedimentos coloidais podem ser expressivas.

Com isso, o objetivo do trabalho foi quantificar as perdas de água e solo, de fósforo, potássio e carbono orgânico nos sedimentos da enxurrada e de fósforo e potássio na água da enxurrada da erosão hídrica, e de fósforo, potássio e carbono orgânico na camada superficial do solo, durante o ciclo da soja, em diferentes sistemas de preparo do solo. Além disso, objetivou-se determinar algumas propriedades físicas do solo, tais como densidade do solo, volumes de macroporos, microporos e total de poros e a estabilidade dos agregados estruturais em água.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização da área experimental e características da região

A pesquisa foi desenvolvida entre outubro de 2003 e abril de 2004, no campo, em uma área experimental do Colégio Agrícola Caetano Costa, no município de São José do Cerrito, Estado de Santa Catarina, situada a 28°55'44" de latitude Sul e 51°08'32" de longitude, a oeste de Greenwich, na região do Planalto Sul Catarinense, onde o clima é do tipo Cfb, ou seja, subtropical úmido, segundo a classificação de Köeppen, e a altitude média é de 846 m.

A região onde se situa a área experimental se caracteriza por apresentar relevo variável, suave, ondulado e forte ondulado, predominando as duas últimas formas, com extensos bosques de capoeira e de mata secundária, intercalados por araucárias (*Araucária angustifolia*) e por pequenas áreas de pastagem nativa.

#### 3.2. Solo e histórico da área experimental

O solo da área experimental, em um perfil descrito no local por Mello (2002), apresenta 680 g kg<sup>-1</sup> de argila, 110 g kg<sup>-1</sup> de silte e 210 g kg<sup>-1</sup> de areia no horizonte A, e 659 g kg<sup>-1</sup> de argila, 111 g kg<sup>-1</sup> de silte e 230 g kg<sup>-1</sup> de areia no horizonte B. Com os dados obtidos do perfil, Mello (2002) classificou o solo como um Nitossolo Háplico Alumínico, antiga Terra Roxa Estruturada (EMBRAPA, 1999), ou seja, um Hapludox típico. Em condições naturais, o teor de carbono orgânico do solo é de 10,6 g kg<sup>-1</sup> no horizonte A e de 4,1 g kg<sup>-1</sup> no horizonte B (Bertol et al., 2003a).

Até março de 2000, a área experimental era utilizada com campo nativo que havia sido melhorado. O melhoramento foi feito com a introdução de azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*), além de 3 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico aplicado em cobertura, quando então, Mello (2000) sistematizou-a para instalar tratamentos de preparo e cultivo do solo com soja, visando avaliar perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico sob condições de chuva simulada. Na mesma ocasião, parte da área foi preparada com duas arações e três gragadens, na qual foram instalados os tratamentos solo sem cultivo, cultivo mínimo e preparo convencional, sendo que, nos dois últimos tratamentos, realizou-se a correção da acidez e da fertilidade do solo, com a incorporação de 11 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e 300 kg ha<sup>-1</sup> de adubo da fórmula 5-30-15 (COMISSÃO, 1995). O restante da área, na qual foram instalados os tratamentos semeadura direta sobre resíduos dessecados e semeadura direta sob resíduos queimados, não sofreu nenhum preparo do solo, tendo sido aplicada, em superfície, na mesma ocasião, metade da dose de calcário, recém-referida.

Após, Dirceu (2001/02), semeou ervilhaca comum (*Vicia sativa*) em toda a área, com exceção daquela onde estavam localizados os tratamentos solo sem cultivo e campo nativo melhorado. Em outubro do mesmo ano, durante a floração desta cultura, a mesma foi dessecada. Sobre os resíduos culturais de ervilhaca, em novembro de 2001 foi semeado milho (*Zea mays*). Em junho de 2002, foi semeada aveia preta (*Avena strigosa*) antes da colheita do milho, nos tratamentos de semeadura direta e preparo convencional (o tratamento semeadura direta foi instalado nas mesmas parcelas onde havia o tratamento cultivo mínimo). Em novembro do mesmo ano, a aveia preta foi dessecada e, então, semeado o feijão (*Phaseolus vulgaris*). Após a colheita de feijão, iniciaram-se os preparos para a presente pesquisa.

### 3.3. Unidade experimental

A unidade experimental ou parcela, possuía área útil de 38,5 m<sup>2</sup>, com dimensões de 11,0 m de comprimento no sentido do declive e 3,5 m de largura. Cada parcela era delimitada na extremidade superior e nas laterais por chapas galvanizadas com 20 cm de altura, cravadas 10 cm no solo. A extremidade inferior da parcela era delimitada por uma calha coletora de enxurrada, a qual, conectada a um tubo de PVC, conduzia a enxurrada até o local de coleta, situado 6 m abaixo. Foram utilizadas dez parcelas experimentais, compreendendo cinco tratamentos com duas repetições, as quais apresentavam declividade média de 0,16 m m<sup>-1</sup> com amplitude de variação da declividade de 0,12 a 0,22 m m<sup>-1</sup> (Anexo 1).

### 3.4. Aparelho simulador de chuvas

A pesquisa foi realizada em condições de chuva simulada, com a utilização de um aparelho simulador de chuva, de braços rotativos, o qual cobre simultaneamente duas parcelas experimentais, distanciadas entre si 3,5 m (Swanson, 1975; EMBRAPA, 1975). Tal aparelho possui 30 bicos, distribuídos de forma helicoidal, em 10 braços com comprimento de 7,5 m cada um, formando uma espiral concêntrica. Durante a condução do experimento, o simulador de chuva operou com 15 bicos abertos para produzir chuvas com intensidade planejada de 64 mm h<sup>-1</sup>. A intensidade da chuva foi controlada por meio de dois manômetros, um deles localizado aproximadamente a 7 m da entrada de água no simulador, operando com pressão de 12,5 kg cm<sup>-2</sup> e, o outro, na torre do simulador, com pressão de 6,5 kg cm<sup>-2</sup>.

### 3.5. Tratamentos

Os tratamentos estudados consistiram de sistemas de preparo do solo sob cultivo de soja, além de um tratamento sem cultivo do solo (parcela padrão para trabalhos de chuva simulada no campo com simuladores do tipo Swanson, 1975).

O nabo forrageiro, cultivado antes da soja em todos os tratamentos, com exceção do solo sem cultivo, no período entre abril e outubro de 2003, para ocasionar cobertura do solo, produziu  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca na parte aérea. Em outubro de 2003, sobre os resíduos de nabo forrageiro, foram implantados os tratamentos de preparo do solo para este estudo, distribuídos totalmente ao acaso, assim descritos:

Tratamento 1 – preparo do solo com uma aração seguida de duas gradagens, sem cultivo do solo, executado por ocasião do preparo do solo e semeadura de soja nos demais tratamentos - SC.

Tratamento 2 – preparo convencional do solo com uma aração seguida de duas gradagens, sobre o resíduo de nabo forrageiro, com semeadura de soja – PC.

Tratamento 3 –semeadura direta de soja sobre o resíduo de nabo forrageiro queimado, no qual não houve preparo do solo por ocasião da instalação do experimento - SQ.

Tratamento 4 – semeadura direta de soja sobre o resíduo de nabo forrageiro dessecado quimicamente, no qual não houve preparo do solo por ocasião da instalação do experimento - SD.

Tratamento 5 – semeadura direta de soja sobre o resíduo de nabo forrageiro dessecado quimicamente, no qual houve preparo do solo na instalação do experimento, em março de 2000 e, por isso, é aqui denominado de semeadura direta tradicional - ST.

### 3.5.1. Esquema operacional dos cultivos de nabo forrageiro e soja

As culturas de nabo forrageiro e soja foram implantadas, conduzidas e manejadas do seguinte modo: a) nabo forrageiro – foi semeado em abril de 2003, imediatamente após a colheita da cultura de milho. A semeadura foi realizada a lanço e sem adubação complementar em todos os tratamentos. Ao atingir a floração plena, em outubro, o nabo forrageiro foi dessecado quimicamente; b) soja – foi semeada em novembro de 2003, depois de manejada a cultura de nabo forrageiro, sendo semeada com semeadora adubadora tracionada por trator, em linhas espaçadas de 50 cm, com 18 sementes por metro linear, no sentido do declive. A cultura foi adubada com 142 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo, recebendo mais 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Foi realizado regularmente o controle de plantas daninhas infestantes, por meio de arranquio manual.

### 3.6. Chuvas simuladas aplicadas

No dia anterior (aproximadamente 24 antes) da realização de cada teste de chuva simulada destinada a produzir enxurrada para a coleta de dados, foi aplicada, em cada tratamento, uma chuva simulada, denominada de chuva umedecimento do solo, com intensidade constante de 64 mm h<sup>-1</sup> e com duração suficiente para fazer com que a enxurrada iniciasse, em cada tratamento. A finalidade dessa chuva era umedecer o solo, visando uniformizar a umidade nos distintos tratamentos.

No dia seguinte (aproximadamente 24 horas após) à aplicação da chuva de umedecimento do solo, foram aplicados, sobre os tratamentos, os testes de chuva simulada

planejados. O primeiro teste foi aplicado imediatamente após a semeadura da soja e, os demais, em intervalos regulares de 30 dias, totalizando cinco testes. Essas chuvas tinham intensidade planejada de  $64 \text{ mm h}^{-1}$  e duração de uma hora.

### 3.7. Determinações efetuadas no campo, antes da aplicação dos testes de chuva

#### 3.7.1. Umidade atual do solo

imediatamente antes da aplicação de cada teste de chuva simulada, 24 horas após a aplicação da chuva de umedecimento, foram coletadas amostras do solo, em um ponto em cada parcela, nas profundidades de 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m, para determinação da umidade atual do solo. As amostras, devidamente acondicionadas, foram secas em estufa por 48 horas, à temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  e, por pesagem, calculou-se a umidade do solo ( $\text{g g}^{-1}$ ) (Forsythe, 1975).

#### 3.7.2. Cobertura da superfície do solo pelo resíduo de nabo forrageiro

A cobertura do solo proporcionada pelo resíduo de nabo forrageiro foi avaliada por meio do “método da linha de transeção” ou “corda marcada” (Sloneker e Moldenhauer, 1977), sendo feitas cinco amostragens. A primeira determinação foi feita após o preparo do solo e semeadura da soja, antes do primeiro teste de chuva simulada aplicada e, as demais, em intervalos de 30 dias. A corda, com 10 metros de comprimento, marcada a cada 10 cm de modo a se obter um total de 100 pontos, foi estendida diagonalmente sobre a parcela, com duas repetições (formando a figura de um “X”). A cobertura do solo, expressa em  $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ , foi computada pelo número de pontos marcados na corda que coincidiam com alguma peça do resíduo vegetal sobre o solo.

### 3.7.3. Cobertura do solo pela copa das plantas de soja

A cobertura do solo proporcionada pela copa das plantas de soja foi determinada por meio do método “metro sombrreado”, descrito por Adams e Arkin (1977). Foram feitas cinco determinações nos diferentes estádios da cultura (a primeira logo após a emergência das plântulas) e, as demais, em intervalos de 30 dias. Uma régua de madeira com um metro de comprimento foi estendida sobre o solo ao lado da linha de plantas, em três locais na parcela (três repetições), sob as copas das plantas de soja e, a cada dez centímetros, mediu-se a projeção da extensão transversal das copas sobre a régua. A média dessas medidas, em metro, dividida pelo espaçamento entre linhas, em metro, resultou na cobertura do solo, em  $m^2 m^{-2}$ .

## 3.8. Determinações efetuadas no campo, durante a aplicação dos testes de chuvas

### 3.8.1. Tempos de início e término da enxurrada

Utilizando-se um cronômetro, foram registrados os tempos, em minutos, correspondentes ao início e término da enxurrada, a partir do início das chuvas.

### 3.8.2. Amostragem da enxurrada para posterior cálculo da taxa instantânea e da concentração de sedimentos

A partir do momento que iniciou a enxurrada, foram feitas medições da sua taxa instantânea, em intervalos regulares de três minutos. Para tal, utilizou-se proveta graduada de 1.000 mL e 2.000 mL, conforme a necessidade, a qual era colocada sob a extremidade do cano, conectado à calha coletora, de onde saía a enxurrada, durante 3, 5 ou

10 segundos, conforme a necessidade, registrando-se o volume e o tempo de coleta. Imediatamente após, colocava-se sob o fluxo um pote plástico com capacidade de um litro, o qual era mantido ali o tempo necessário para enchê-lo, objetivando a coleta de amostras da enxurrada para posterior determinação da concentração de sedimentos nela contidos. Por meio de interpolação linear das taxas de enxurrada, calculadas com as coletas feitas na proveta a cada três minutos, foi obtida a taxa instantânea da mesma para cada minuto do período da enxurrada, tendo sido expressa em  $\text{mm h}^{-1}$ .

### 3.8.3. Velocidade da enxurrada

A velocidade da enxurrada foi medida após ela ter atingido taxa constante. Para isto, utilizou-se um corante à base de azul de metileno a 2%, em água. Sobre cada parcela, foi demarcado um segmento de 6 m de comprimento, situado a 2,5 m da extremidade superior e a 2,5 m da extremidade inferior. No momento da determinação, o corante era jogado sobre a enxurrada na parte superior do segmento, tendo sido cronometrado o tempo necessário para que ele atingisse a parte inferior do segmento. A velocidade da enxurrada foi expressa em  $\text{cm s}^{-1}$ .

### 3.8.4. Checagem da intensidade das chuvas aplicadas durante os testes

A checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas durante os testes foi feita com o auxílio de 20 pluviômetros, distribuídos estrategicamente sobre a área coberta pela chuva simulada. De posse do volume médio coletado nos pluviômetros (mL) e da área de captação dos mesmos ( $53,6 \text{ cm}^2$ ), calculou-se a intensidade média observada da chuva aplicada, do seguinte modo: o volume de água coletado nos pluviômetros (média dos 20 pluviômetros), em mL, foi dividido por  $53,6 \text{ cm}^2$ . O resultado foi multiplicado pelo

valor obtido da divisão de 60 minutos pelo tempo total de duração da chuva (minuto) e, então, multiplicado por 10, tendo sido expresso em  $\text{mm h}^{-1}$ .

3.9. Procedimentos, determinações e cálculos efetuados no laboratório, com os dados coletados durante a aplicação dos testes de chuvas simuladas

#### 3.9.1. Volume total das chuvas aplicadas

O volume total das chuvas aplicadas, foi calculado dividindo-se a intensidade média da chuva,  $\text{mm h}^{-1}$ , por 60 minutos, e multiplicando-se o resultado pela sua duração (minuto), sendo o resultado expresso em mm.

#### 3.9.2. Volume total de enxurrada das chuvas aplicadas

O volume total de enxurrada de cada chuva simulada aplicada, foi obtido pela integração das taxas instantâneas de enxurrada, sendo os dados expressos em mm ou em porcentagem da chuva aplicada.

#### 3.9.3. Taxa constante e volume total de infiltração de água no solo

A taxa constante de infiltração de água no solo foi calculada pela diferença entre a intensidade da chuva simulada aplicada e a taxa constante de enxurrada observada, expressa em  $\text{mm h}^{-1}$ . O volume total de infiltração de água no solo foi calculado pela diferença entre o volume total de chuva simulada aplicada, em mm, e o volume total de enxurrada observado, em mm, sendo o resultado expresso em mm ou em porcentagem da chuva simulada aplicada.

### 3.9.4. Concentração de sedimentos na enxurrada

Os potes contendo as amostras de enxurrada coletadas a cada três minutos durante os testes de chuva simulada (item 3.8.5.), com o objetivo de determinar a concentração de sedimentos na enxurrada, foram transportados para o laboratório. Depois dos potes terem sido pesados, adicionou-se em cada um 10 gotas de solução saturada com alúmen de potássio a 5%, com o objetivo de precipitar os sedimentos em suspensão. Após decantarem os sedimentos, por 24 a 48 horas, succionou-se a água sobrenadante com o uso de um sistema de sifão, deixando uma lâmina de água de aproximadamente 1 cm sobre o sedimento. Em seguida, os potes foram pesados e depois levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 50 °C, por cerca de 60 a 72 horas e, quando secos, procedeu-se novamente a sua pesagem. A concentração de sedimentos na enxurrada foi então calculada dividindo-se o peso dos sedimentos secos pelo peso dos sedimentos+água, sendo o resultado expresso em porcentagem ou  $\text{kg m}^{-3}$ . A concentração instantânea de sedimentos para cada minuto após o início da enxurrada, foi obtida pela interpolação linear das concentrações de sedimentos obtidas em intervalos de três minutos. A concentração média de sedimentos durante o tempo inteiro de duração da enxurrada foi obtida por meio da média aritmética dos valores de concentração instantânea de sedimentos na enxurrada, sendo o resultado expresso em  $\text{g L}^{-1}$ .

### 3.9.5. Taxa instantânea e quantidade total de perda de solo

A taxa instantânea de perda de solo, foi calculada por meio da multiplicação da taxa instantânea de enxurrada,  $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ , pela concentração instantânea de sedimentos,  $\text{kg m}^{-3}$ , sendo o resultado expresso em  $\text{kg h}^{-1}$ . A quantidade total de perda de solo foi obtida pela

integração das taxas instantâneas de perda de solo. Os resultados obtidos na parcela experimental ( $38,5\text{ m}^2$ ), foram extrapolados para  $\text{t ha}^{-1}\text{ h}^{-1}$  para o caso da taxa instantânea de perda de solo e para  $\text{t ha}^{-1}$  para o caso da quantidade total de perda de solo.

### 3.9.6. Índice $D_{50}$ dos sedimentos transportados na enxurrada

O índice  $D_{50}$  dos sedimentos transportados na enxurrada, foi determinado a partir da sua distribuição de tamanho, por meio da construção de um gráfico. Nesse gráfico, foram plotadas a porcentagem acumulada de sedimentos na ordenada e, na abscissa, as diferentes classes de tamanho de sedimentos, num procedimento igual ao descrito por Amado (1985).

## 3.10. Ajuste de dados

O ajuste de dados foi feito para a perda total de solo, em função da variação verificada na intensidade das chuvas simuladas aplicadas (anexo 2) e na declividade das parcelas experimentais (anexo 1). Os dados de perda total de solo foram ajustados para a intensidade de chuva planejada de  $64\text{ mm h}^{-1}$  e declividade média das parcelas experimentais de  $0,16\text{ m m}^{-1}$ . No caso da intensidade de chuva, o ajuste foi realizado dividindo-se a intensidade da chuva planejada pela intensidade da chuva observada, elevando-se este valor ao quadrado e multiplicando-se o resultado pela perda total de solo observada. Depois deste ajuste, a perda total de solo foi ajustada para a declividade média das parcelas experimentais de  $0,16\text{ m m}^{-1}$ , multiplicando-se a perda total de solo ajustada para a intensidade de chuva de  $64\text{ mm h}^{-1}$  pelo fator  $S$ , ou seja, o fator de ajuste da declividade. O fator de ajuste da declividade foi obtido da divisão do fator  $S$  do declive

médio de 0,16 m m<sup>-1</sup> pelo fator S do declive de cada parcela, conforme metodologia de Wischmeier e Smith, (1978). O fator S para determinado declive é calculado por:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 65,41 \operatorname{sen}^2 \theta$$

onde  $\theta$  é o ângulo do declive em questão.

### 3.11. Cálculo da razão de perdas de solo

No presente estudo, a erosão hídrica final, em cada tratamento estudado, foi influenciada por inúmeros fatores que, interativamente, agiram no solo. Assim, a interpretação dos resultados de erosão hídrica feita com base em cada uma das variáveis que os influenciou, individualmente, em muitos casos dificultou a explicação dos resultados (fraca correlação entre uma variável individual e as perdas de solo e água), exatamente pelo fato de que muitas outras variáveis podem ter influenciado os referidos resultados, com magnitudes diferentes nos distintos tratamentos. Desse modo, para melhor interpretar e compreender a influência conjunta das variáveis, combinadamente, na erosão hídrica, calculou-se a razão de perdas de solo. A referida razão representou, portanto, o efeito de todas as variáveis, intrínsecas e extrínsecas do solo, tais como umidade do solo antecedente às chuvas, cobertura do solo por resíduos vegetais, cobertura do solo pela copa das plantas, rugosidade e consolidação da superfície do solo, propriedades físicas internas do solo, além de possíveis outras, sobre a taxa de perda de solo. A razão de perdas de solo foi calculada dividindo-se o valor da perda total de solo de cada um dos tratamentos com cultivo do solo (PC, SQ, SD e ST) pelo valor da perda de solo do tratamento solo sem cultivo (SC - perda máxima, com índice = 1,00). A razão de perdas de solo dos diversos tratamentos estudados foi correlacionada com a perda total de solo dos referidos tratamentos.

### 3.12. Tratamento estatístico

A significância estatística dos efeitos dos tratamentos sobre as variáveis estudadas, quando pertinente, foi testada por meio de análise da variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado, em cinco duplas de tratamentos, sendo, cada dupla, composta por duas repetições.

Efetuaram-se, por regressão exponencial, relações entre a cobertura do solo por resíduo cultural e a concentração de sedimentos na enxurrada, entre a cobertura do solo por resíduo cultural e a perda de solo, entre a cobertura do solo pela copa das plantas e a perda de solo, entre a cobertura do solo por resíduo cultural e a concentração de sedimentos sob enxurrada constante, entre a velocidade da enxurrada e a concentração de sedimentos sob enxurrada constante, entre a cobertura do solo por resíduo cultural e a taxa de perda de solo sob enxurrada constante, entre a razão de perdas de solo e a perda total de solo e entre a cobertura do solo por resíduo cultural e o índice  $D_{50}$ . Efetuaram-se, também, por regressão linear simples, relações entre a velocidade da enxurrada e o índice  $D_{50}$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Umidade do solo imediatamente antes do início de cada teste de chuva simulada

A umidade do solo antecedente as chuvas simuladas aplicadas teve pouca variação, oscilando de 0,25 a 0,29 g g<sup>-1</sup>, nos diversos tratamentos e testes de chuva simulada (Tabela 1). A pequena variação da umidade do solo foi decorrente, principalmente, da aplicação das chuvas simuladas realizadas 24 horas antes dos testes de chuva, com o objetivo de uniformizar a umidade do solo (Material e Métodos, item 3.6). Maiores detalhes sobre essas chuvas aplicadas 24 horas antes dos testes encontram-se no Anexo 3. A homogeneidade da área experimental contribuiu para isso. Assim, os resultados de perdas de solo e água devem ter sido pouco influenciados por esta variável.

Tabela 1. Umidade do solo antes de cada teste de chuva simulada, na profundidade de 0-0,20 m do solo, nos diferentes sistemas de preparo durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
<i>.....g g<sup>-1</sup>.....</i>					
SC	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26
PC	0,27	0,28	0,25	0,26	0,26
SQ	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28
SD	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25
ST	0,28	0,29	0,27	0,27	0,27

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados.

#### 4.2. Cobertura superficial do solo por resíduo cultural

A eficácia dos preparos conservacionistas de solo na redução da erosão hídrica, especialmente a semeadura direta, está relacionada, dentre outros fatores, com a quantidade de resíduos culturais e com a cobertura superficial do solo.

Dentre os tratamentos cultivados, a ST e a SD apresentaram a maior cobertura do solo (Tabela 2), 1,5 e 14 vezes maiores do que a SQ e o PC, respectivamente, na média dos tratamentos e das avaliações. Isto é explicado pela preservação dos resíduos, sem preparo do solo e sem queima. Em todos os tratamentos cultivados, a cobertura do solo diminuiu do primeiro para o último teste de chuva simulada, sendo a maior redução no PC (50 %) e, a menor, na ST (16 %). A diminuição da cobertura do solo pelo resíduo ao longo do tempo pode ser explicada decomposição do resíduo, ocasionada pela atividade microbiana que, nessa época do ano, é favorecida pela temperatura umidade do solo. Além disso, a baixa resistência do resíduo de nabo à decomposição contribuiu para sua acelerada decomposição. Ainda, o preparo do solo, no tratamento PC, fracionou e incorporou quase que completamente os resíduos culturais ao solo, aumentando a área de contato solo-

resíduo e, consequentemente, favorecendo a decomposição. A ausência de preparo na ST e SD, manteve os resíduos praticamente inteiros na superfície do solo, o que contribuiu para a menor velocidade de decomposição, concordando com Bertol et al. (1998).

No tratamento SC, o solo foi mantido permanentemente descoberto após o preparo, por se tratar da parcela padrão para trabalhos de chuva simulada no campo (Swanson, 1975).

Tabela 2. Cobertura superficial do solo pelo resíduo cultural de nabo forrageiro, imediatamente antes de cada teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$					
SC	0,00 aE	0,00 aE	0,00 aE	0,00 aD	0,00 aD
PC	0,06 aD	0,06 aD	0,05 aD	0,03 aD	0,03 aD
SQ	0,50 aC	0,49 aC	0,44 bC	0,38 cC	0,37 cC
SD	0,68 aB	0,65 aB	0,62 abB	0,57 cB	0,55 cB
ST	0,74 aA	0,72 aA	0,68 abA	0,64 cA	0,62 cA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

#### 4.3. Cobertura do solo pela copa das plantas

O tratamento SC não foi cultivado, permanecendo descoberto durante todo o período experimental conforme a metodologia recomendada para este tipo de trabalho (Tabela 3). Dentre os tratamentos cultivados, houve diferença de cobertura de solo pela copa das plantas apenas no tratamento SQ, nos cinco testes de chuva simulada, explicada

pela falha na germinação de sementes em uma das parcelas deste tratamento e pelo ataque de formigas (Saúvas, gênero *Atta*) às plantas de soja.

Em geral, a cobertura do solo pela copa das plantas aumentou do primeiro para o quinto teste de chuva simulada, explicada pelo crescimento e desenvolvimento vegetativo da cultura.

Tabela 3. Cobertura do solo pela copa das plantas imediatamente antes de cada teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$					
SC	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aB	0,00 aC	0,00 aC
PC	0,07 dA	0,53 cA	0,88 bA	1,00 aA	1,00 aA
SQ	0,06 cA	0,52 bcA	0,83 bA	0,85 bB	0,93 aB
SD	0,07 dA	0,50 cA	0,87 bA	1,00 aA	1,00 aA
ST	0,06 dA	0,46 cA	0,73 bA	1,00 aA	1,00 aA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A maior cobertura do solo pela copa das plantas, na média dos testes de chuva simulada, foi observada no PC, resultado, dentre outros fatores, das boas condições iniciais de solo ocasionadas pelo preparo.

#### 4.4. Tempos de início e equilíbrio da enxurrada

O maior intervalo de tempo entre o início da chuva simulada e o início da enxurrada ocorreu na ST, (31 minutos) (Tabela 4). Isto pode ser explicado pela alta cobertura do solo por resíduos culturais na ST (Tabela 2), a qual protegeu a superfície do

solo do impacto direto das gotas de chuva, aumentando a capacidade de retenção e detenção superficial de água e a sua infiltração no solo, concordando com Cogo (1981).

O curto intervalo de tempo para iniciar a enxurrada nos tratamentos SC, PC e SQ, se justifica pela ausência ou pouca cobertura do solo por resíduos culturais, permitindo que as gotas da chuva atingissem diretamente a superfície do solo, provocando a formação de selamento superficial e, consequentemente, reduzindo a taxa de infiltração de água, concordando com Mello (2002). Além disso, a redução da rugosidade superficial do primeiro para o terceiro teste de chuva simulada, no SC e no PC, contribuiu para reduzir a capacidade de retenção e detenção superficial de água e, consequentemente, aumentar a enxurrada.

Tabela 4. Tempo necessário para iniciar a enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
.....minuto .....					
SC	20 aC	14 cC	15 bcC	18 abC	9 dD
PC	18 bcC	15 cBC	21 bB	27 aB	27 aB
SQ	26 aB	14 bC	24 aB	24 aB	23 aC
SD	25 bB	19 cB	24 bcB	27 bB	32 aA
ST	33 aA	24 bA	30 aA	33 aA	33 aA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Em relação aos dados de tempo para a enxurrada atingir a taxa máxima, houve pequena variação (Tabela 5). Os maiores tempos ocorreram na SD (56 minutos) e no SC (55 minutos), os quais foram, na média dos tratamentos, 3 e 5 % maiores do que a média dos tratamentos SQ e ST, respectivamente, e 21 % maior do que o tratamento PC, na média dos testes de chuva simulada (Tabela 5). Tal comportamento, no tratamento SC, é

explicado pela ausência de cobertura. Nos tratamentos ST e SD, o maior intervalo de tempo para que a enxurrada atingisse taxa máxima, está associado à elevada cobertura do solo, o que aumentou a capacidade de retenção superficial de água e de infiltração no solo. Além disso, a ausência de revolvimento do solo nestes tratamentos contribuiu para manter a estrutura do solo com boa qualidade, em relação ao tratamento PC.

Tabela 5. Tempo necessário para a enxurrada atingir taxa máxima, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
.....minuto.....					
SC	59 aA	48 bAB	57 aA	54 abA	57 aA
PC	49 bB	41 bcB	41 bcB	56 aA	45 bB
SQ	54 aAB	54 aA	54 aA	57 aA	51 aAB
SD	58 aA	48 bAB	58 aA	57 aA	58 aA
ST	50 bA	51 aA	51aA	56 aA	57 aA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A ST, além de apresentar o maior tempo para inicio da enxurrada e um alto tempo necessário para a enxurrada atingir a taxa máxima, apresentou, também, um crescimento levemente mais lento da taxa de enxurrada do que os demais tratamentos (Figura 1), resultando em maior infiltração de água no solo. Os demais tratamentos, além de apresentarem menores tempos de inicio da enxurrada, apresentaram, ainda, crescimento da taxa de enxurrada mais rápido do que na ST, principalmente o SC.

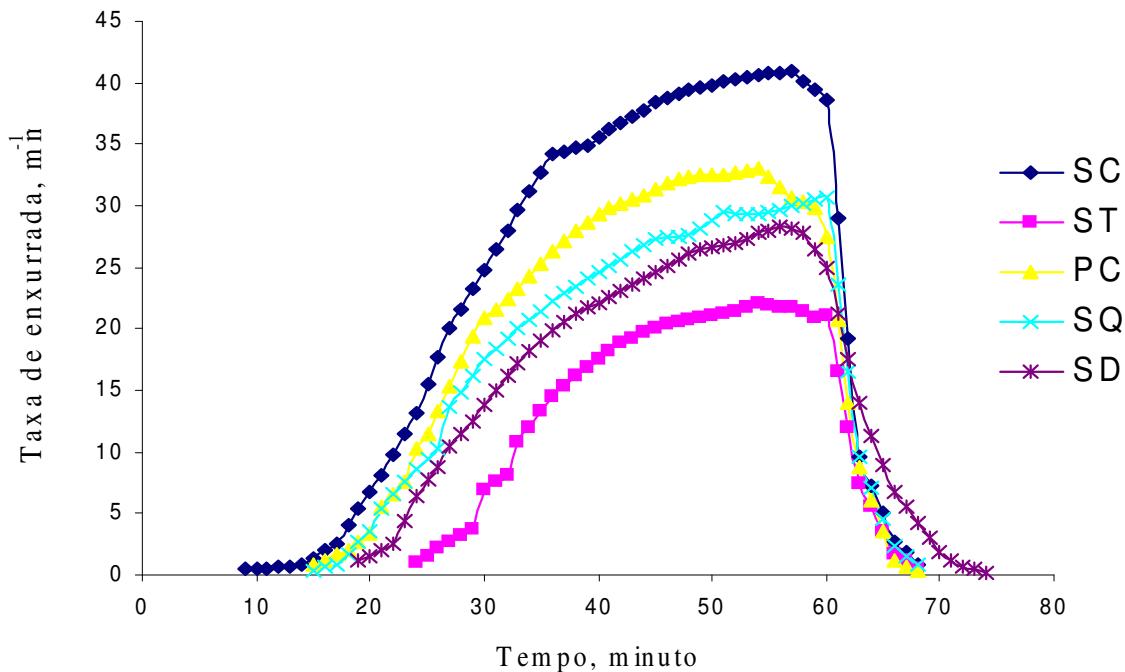


Figura 1. Hidrogramas de enxurrada nos diferentes sistemas de preparo do solo durante o cultivo da soja (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada). SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados.

#### 4.5. Infiltração total de água no solo durante o período inteiro de enxurrada

A maior infiltração total de água no solo ocorreu nos tratamentos ST e SD (Tabela 6), sendo, no caso da ST, 15 % maior do que no PC, na média dos testes de chuva simulada. A maior infiltração de água na ST pode ser explicada pela maior cobertura do solo pelo resíduo cultural (Tabela 2), concordando com Cogo et al. (1984) e Bertol et al. (1997a) e, ainda pela melhor qualidade estrutural do solo devido à ausência de preparo nesse tratamento. Na SD, onde a infiltração também foi alta, isto é resultado, também, da alta cobertura pelo resíduo cultural e da ausência de preparo. Além disso, a alta rugosidade

superficial desses dois tratamentos, contribuiu para aumentar a retenção superficial de água e, consequentemente, a infiltração de água no solo, concordando com Levien (1988).

Tabela 6. Infiltração total de água no solo durante o período inteiro de enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
.....mm.....					
SC	44 aA	43 aA	36 aA	34 aB	32 aB
PC	40 aA	38 aA	41 aA	42 aAB	40 aB
SQ	39 aA	40 aA	44 aA	46 aAB	48 aAB
SD	46 aA	38 aA	43 aA	48 aA	51 aAB
ST	50 abA	43 bA	44 abA	52 abA	58 aA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A baixa infiltração de água no solo sem cultivo pode ser explicada pela completa ausência de cobertura vegetal e excessivo preparo do solo e, no tratamento PC, pela quase completa ausência de cobertura, o que facilitou, em ambos os tratamentos, o selamento superficial, com consequente redução principalmente da macroporosidade.

#### 4.6. Volume total de enxurrada durante o período inteiro de sua ocorrência

O volume total de enxurrada (Tabela 7) foi influenciado pelos tratamentos de preparo do solo, apresentando, naturalmente, comportamento inverso daquele verificado para a infiltração total de água no solo.

O tratamento SC apresentou o maior volume total de enxurrada, explicado, principalmente, pela baixa cobertura superficial do solo por resíduos culturais (Tabela 2), tendo sido, na media dos testes de chuva, 17 % maior do que na ST (Tabela 7). A menor

diferença no volume de enxurrada, verificada entre o SC e os tratamentos PC e SQ, em relação àquela verificada entre o SC e a ST, pode ser explicada, no caso do PC, pelo preparo de solo que eliminou a cobertura vegetal e causou desagregação do solo e, na SQ, pelo queima dos resíduos vegetais que reduziu a cobertura do solo, procedimentos estes não executados na ST.

Tabela 7. Volume total de enxurrada durante o período inteiro de sua ocorrência, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
.....mm.....					
SC	20 aA	22 aA	29 aA	30 aB	31 aB
PC	26 aA	29 aA	23 aA	23 aAB	23 aB
SQ	26 aA	27 aA	21 aA	20 aAB	17 aAB
SD	20 aA	26 aA	21 aA	15 aA	14 aAB
ST	24 abA	24 bA	19 abA	12 abA	8 aA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O menor volume de enxurrada observado na ST é justificado pela elevada cobertura do solo por resíduos culturais que reduziu a velocidade da enxurrada e aumentou a profundidade do fluxo (observação visual) e, ainda, preservou a rugosidade superficial, aumentando a capacidade de retenção superficial de água e permitindo maior infiltração de água no solo, conforme constatado também por Bertol (1995).

#### 4.7. Concentração de sedimentos na enxurrada durante o período inteiro de sua ocorrência

A concentração de sedimentos na enxurrada foi nove vezes maior no SC do que no PC, na média dos testes de chuva simulada (Tabela 8). Ainda, no SC, a concentração aumentou do primeiro para o quarto teste de chuva simulada, demonstrando o efeito negativo da ausência de cultivo, do preparo de solo com arações e gradagens e das chuvas sobre o solo descoberto na estrutura do mesmo.

No PC e SQ, observou-se aumento na concentração de sedimentos na enxurrada até o terceiro teste. Isto pode ser explicado pela maior disponibilidade de sedimentos para o transporte nessa fase experimental, devido à degradação do solo ocasionada pelo preparo no PC e, no caso da SQ, devido à baixa cobertura ocasionada pela queima.

Nos tratamentos SD e ST, a concentração de sedimentos na enxurrada foi baixa em todo período experimental, atribuída à menor disponibilidade de sedimentos para o transporte e à elevada cobertura do solo. Os resíduos vegetais, além de dissiparem a energia cinética do impacto das gotas da chuva, formaram uma barreira física ao livre escoamento superficial da água, filtrando e retendo sedimentos e reduzindo a velocidade da enxurrada, conforme observado também por Cogo (1981) e Bertol et al. (1997a).

Tabela 8. Concentração de sedimentos na enxurrada durante o período inteiro de sua ocorrência, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
.....g L <sup>-1</sup> .....					
SC	17,9 cA	25,8 cA	62,8 bA	81,9 aA	68,4 bA
PC	5,1 bB	10,0 aB	10,2 aB	1,3 bcB	1,1 cB
SQ	1,3 aB	2,5 aBC	4,3 aBC	0,8 aB	1,3 aB
SD	0,5 aB	0,6 aC	0,4 aC	0,1 aB	0,2 aB
ST	0,7 aB	0,6 aC	0,4 aC	0,2 aB	0,2 aB

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A concentração de sedimentos na enxurrada diminuiu exponencialmente com o aumento da cobertura do solo por resíduos culturais (Figura 2), concordando com Cogo (1981), Lopes (1984) e Leite (2003). Isto é explicado pelo efeito de filtragem da enxurrada ocasionada pelos resíduos culturais, retendo partículas e/ou agregados que, eventualmente, estavam sendo transportados pela enxurrada. Assim, neste estudo, a cobertura do solo explicou 73 % da variação da concentração de sedimentos na enxurrada. Os demais 27 % foram dependentes de outras variáveis, dentre as quais, a mais provável é a consolidação da superfície do solo.

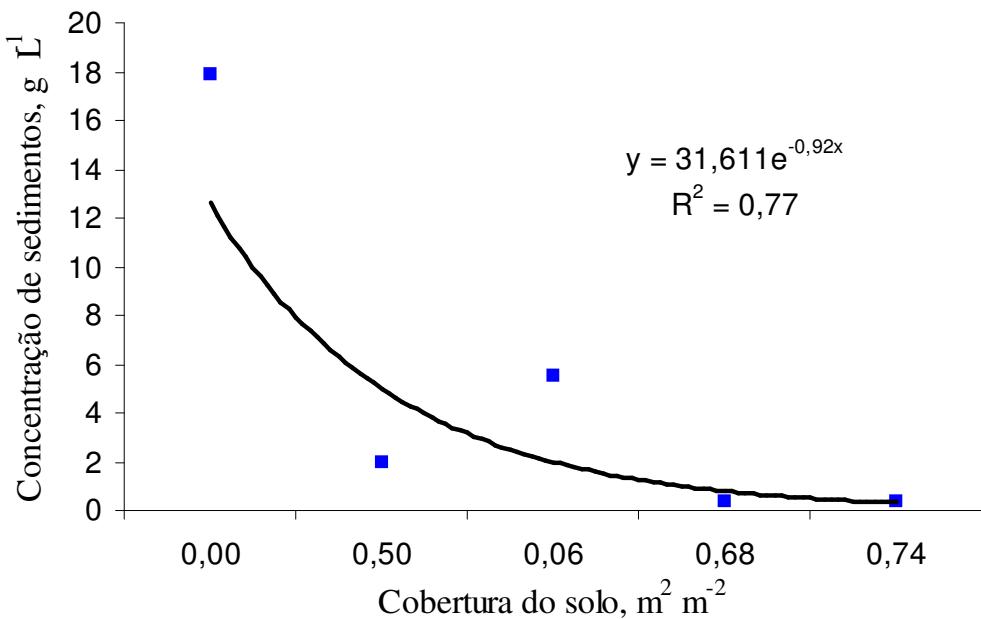


Figura 2. Relação da concentração de sedimentos na enxurrada com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo durante o cultivo da soja (média de duas repetições).

#### 4.8. Perda total de solo

O tratamento SC foi o que apresentou a maior perda total de solo, cerca de 10 vezes maior do que o PC e 37, 173 e 262 vezes maiores do que o SQ, SD e ST, respectivamente, na média dos testes de chuva simulada (Tabela 9), concordando com Leite (2003). A maior perda total de solo no SC e PC, em relação aos demais tratamentos, é explicada pelo maior volume de enxurrada (Tabela 7) e, principalmente, pela maior concentração de sedimentos na enxurrada (Tabela 8), concordando com Mello (2002) e Leite (2003). Este comportamento foi influenciado pela degradação física do solo,

decorrente do preparo do solo que eliminou a cobertura no PC e, especificamente no SC, também pela ausência de cultivo.

A perda total de solo apresentou tendência de aumento do primeiro para o segundo teste de chuva simulada, embora, em alguns casos, sem diferença estatística, em todos os tratamentos, com exceção do PC.

Tabela 9. Perda total de solo nos diferentes sistemas de preparo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
.....t ha <sup>-1</sup> .....					
SC	5,464 cA	7,963 cA	21,007 bA	31,148 aA	23,536 bA
PC	3,076 aB	2,955 aB	2,503 aB	0,246 bB	0,261 bA
SQ	0,322 bC	0,739 aB	1,025 aB	0,167 bB	0,160 bA
SD	0,156 bC	0,185 bC	0,102 bC	0,380 aB	0,330 aB
ST	0,076 abc	0,145 aC	0,068 bC	0,025 bB	0,023 bA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Observa-se baixa perda total de solo nos sistemas de preparo conservacionista do solo (ST e SD) em relação ao sistema convencional (PC). Nos tratamento ST e SD, a redução das perdas de solo é explicada pela alta quantidade de resíduos culturais sobre a superfície do solo que representou um obstáculo ao livre escoamento da água, ocasionando acentuada redução na capacidade de transporte de sedimentos pela enxurrada.

Nos tratamentos SC, PC e SQ, o aumento das perdas de solo pode ser explicado pelo periódico revolvimento do solo, o qual eliminou a cobertura vegetal no SC e PC e, no caso do SQ, pela eliminação da cobertura vegetal pela queima. Nestes casos, a superfície do solo ficou desprotegida do impacto direto das gotas de chuva, aumentando a desagregação das partículas do solo e, consequentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada. Estes resultados

mostram tendência de aumento das perdas de solo com o aumento da intensidade e número das operações de preparo do solo, conforme argumentado por Cogo (1981), Bertol (1995) e Leite (2003).

As perdas de solo diminuíram exponencialmente com o aumento da cobertura do solo por resíduo cultural (Figura 3), devido ao fato de que a cobertura evitou o impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação das partículas e, consequentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada. A cobertura representou, também, um obstáculo ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição na velocidade da enxurrada, o que se refletiu em acentuada redução de sua capacidade de desagregação e transporte de sedimentos, conforme constado também por Cogo (1981), Bertol (1995) e Schick et al. (2000). Além disso, o aumento da cobertura do solo por resíduo cultural, neste caso, coincidiu com a diminuição nas operações de preparo de solo, exceção ao tratamento SQ. Isto, consequentemente aumentou à resistência do solo a desagregação e ao transporte de partículas de solo pela enxurrada, promovendo, nestes tratamentos, maior resistência do solo à erosão hídrica (Dissmeyer e Foster, 1982).

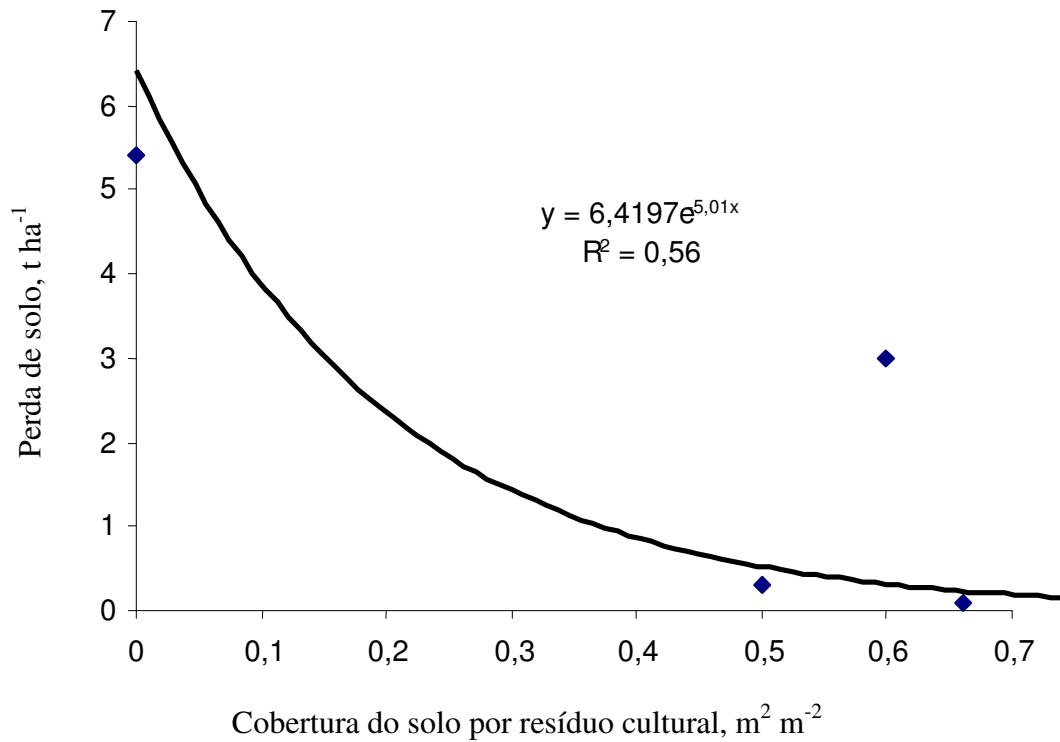


Figura 3. Relação das perdas de solo com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo durante o cultivo da soja (média de duas repetições).

As perdas de solo também diminuíram exponencialmente com o aumento da cobertura do solo pela copa das plantas de soja no PC (Figura 4). Neste caso, o efeito da cobertura do solo pela copa das plantas sobre as perdas de solo foi maior do que o efeito proporcionado pelos resíduos culturais, discordando de Wischmeier e Smith (1978).

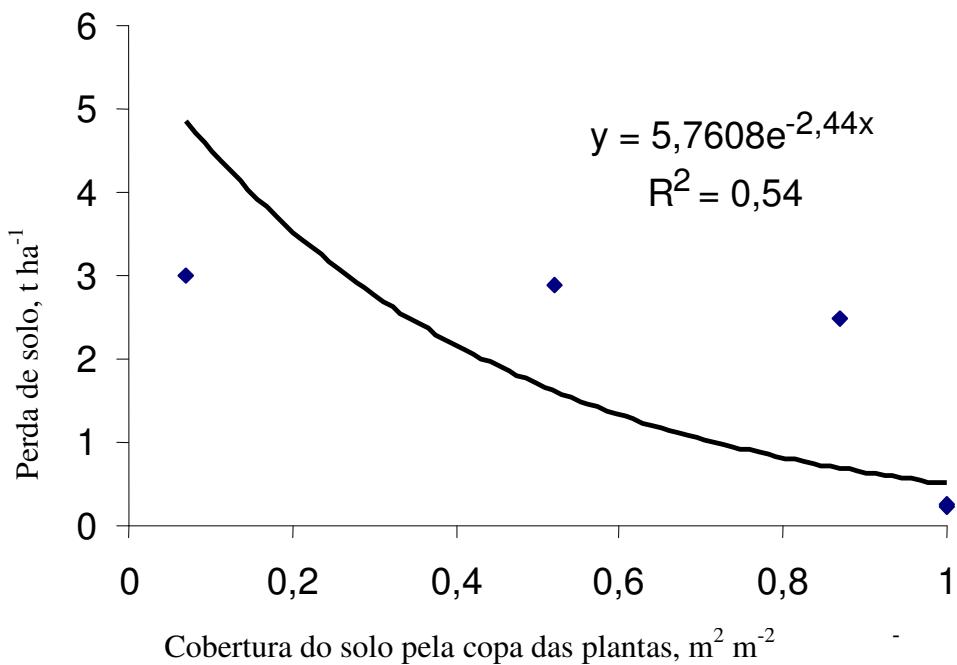


Figura 4. Relação das perdas de solo com a cobertura do solo pelas copas das plantas, no sistema de preparo do solo convencional (PC), durante o cultivo da soja (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada).

Os resultados analisados até o presente momento referem-se ao período inteiro de duração da chuva e da enxurrada e, como tal, possivelmente, sofreram a influência da variação da enxurrada devido à variação da umidade do solo e de outras variáveis não controláveis. Para diminuir em parte essa influência, far-se-á, a seguir, uma abordagem dos dados com base nos resultados obtidos durante o período em que a enxurrada permaneceu constante, o que possibilitará melhor interpretação dos resultados, conforme sugerido por Cogo (1981).

#### 4.9. Taxa constante de infiltração de água no solo

A taxa constante de infiltração de água no solo foi maior na ST do que nos demais tratamentos (Tabela 10), explicada pela cobertura do solo pelo resíduo cultural (Tabela 2) e pela copa das plantas de soja (Tabela 3), concordando com Cogo (1981) e Bertol et al. (1997a). Além disso, a ausência de preparo do solo e consequente preservação das propriedades físicas do solo contribuíram para isso.

Tabela 10. Taxa constante de infiltração de água no solo, nos diferentes sistemas de preparo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
	..... mm h <sup>-1</sup> .....				
SC	31 aA	27 aA	22 aA	23 aB	19 aB
PC	31 aA	31 aA	32 aA	35 aAB	35 aB
SQ	30 bA	31 bA	36 abA	41 abA	48 aAB
SD	38 aA	31 aA	34 aA	41 aA	45 aAB
ST	45 abA	36 bA	38 abA	46 abA	54 aA

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Em relação à média dos tratamentos SD e SQ, a ST apresentou taxa constante de infiltração de água no solo 17 % maior, na média dos testes de chuva simulada, explicada, principalmente, pela menor declividade do terreno na ST (Anexo 1), a qual possibilitou que a enxurrada escoasse com menor velocidade neste tratamento.

Nos tratamentos SC e PC, a menor taxa de infiltração de água no solo foi resultado, no caso do PC, da baixa cobertura superficial e do preparo do solo e, no caso do SC, do preparo e da ausência de cultivo. O preparo separou as partículas do solo, tornando-

as disponíveis para o transporte e tornou a superfície suscetível ao selamento (Duley, 1939; Ellison, 1947; Foster, 1982).

#### 4.10. Taxa constante de enxurrada

Houve significativa influência dos tratamentos sobre a taxa constante de enxurrada (Tabela 11). O menor valor ocorreu na ST, em função da elevada cobertura do solo por resíduos culturais (Tabela 2) e da ausência de preparo, conforme constatado também por Cogo (1981), Bertol et al. (1997a) e Schick et al. (2000a). A SQ apresentou taxa constante de enxurrada 7 % maior que a SD, o que pode ser atribuído a menor cobertura do solo proporcionada pela queima do resíduo cultural (Tabela 2) e, também, pela menor cobertura de copa das plantas de soja (Tabela 3).

Nos tratamentos SC e PC, os elevados valores de taxa constante de enxurrada superficial estão associados, no caso do PC, a menor cobertura do solo proporcionada pela copa das plantas de soja e, no SC, a falta da cobertura do solo.

Tabela 11. Taxa constante de enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
..... mm h <sup>-1</sup> .....					
SC	33 aA	39 aA	43 aA	42 aA	44 aA
PC	36 aA	36 aA	33 aAB	30 aAB	29 aA
SQ	35 aA	37 aA	30 abAB	26 abAB	18 bB
SD	28 aA	34 aA	30 aAB	23 aB	21 aAB
ST	21 abA	31 aA	25 abB	19 abB	13 bB

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

#### 4.11. Velocidade da enxurrada

A velocidade da enxurrada foi avaliada em todos os tratamentos no primeiro e no segundo teste de chuva simulada, enquanto nos demais testes isso só foi possível no SC, além da avaliação feita no terceiro teste na SQ. Nas demais situações não foi possível visualizar o fluxo com suficiente nitidez, o qual escoou sob os resíduos culturais.

A maior velocidade da enxurrada foi observada no SC (Tabela 12), justificada pelo preparo do solo e ausência de cultivo, o que facilitou a formação de sulcos por onde a água escoou, concordando com Mello (2002) e Leite (2003).

Tabela 12. Velocidade da enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
..... mm s <sup>-1</sup> .....					
SC	0,136	0,265	0,188	0,210	0,200
PC	0,175	0,200	-	-	-
SQ	0,100	0,120	0,110	-	-
SD	0,110	0,102	-	-	-
ST	0,068	0,134	-	-	-

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. (-) não determinado.

Comparando os tratamentos de preparamos conservacionistas (ST, SD) com o tratamento de preparo convencional (PC) do solo, se pode observar que, na média, os valores de velocidade da enxurrada nos conservacionistas foram 45 % menores do que no convencional. Isto é explicado pela maior cobertura do solo por resíduos culturais na ST e SD (Tabela 2) a qual atuou como barreira, impedindo que a enxurrada adquirisse maior velocidade.

#### 4.12. Concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante

A concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante, foi 34 vezes maior no SC do que na média dos demais tratamentos, na média dos testes de chuva (Tabela 13).

A elevada concentração de sedimentos em suspensão no fluxo, especialmente no SC, é explicada pela alta velocidade da enxurrada (Tabela 12) com elevada capacidade de desagregação e transporte de sedimentos e, principalmente, pelo efeito do preparo do solo e falta de cultivo na predisposição de sedimentos ao transporte (Ellisson, 1947; Foster, 1982).

Na SD e ST, a baixa concentração de sedimentos é atribuída à maior resistência do solo à desagregação, devido ao efeito combinado da consolidação do solo devido à ausência de preparo e da cobertura do solo por resíduo cultural (Dissmeyer e Foster, 1982).

Tabela 13. Concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste g L <sup>-1</sup>	4º Teste	5º Teste
SC	33,0 dA	60,6 cA	70,2 bcA	110,1 aA	98,7 abA
PC	7,3 aB	10,6 aB	10,9 aB	0,7 aB	0,9 aB
SQ	0,9 aB	3,0 aB	4,4 aB	0,4 aB	0,5 aB
SD	0,7 aB	0,6 aB	0,6 aB	0,3 aB	0,3 aB
ST	0,5 aB	0,6 aB	0,4 aB	0,2 aB	0,3aB

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante diminuiu exponencialmente com o aumento da cobertura do solo por resíduos culturais (Figura 5) no primeiro teste de chuva simulada. Do mesmo modo que explicado para a concentração de sedimentos durante o período inteiro de duração da enxurrada, a cobertura do solo agiu

como um filtro, retendo os sedimentos e aumentando a tortuosidade do fluxo. Neste caso, a variação da cobertura do solo explicou 58 % da variação da concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante.

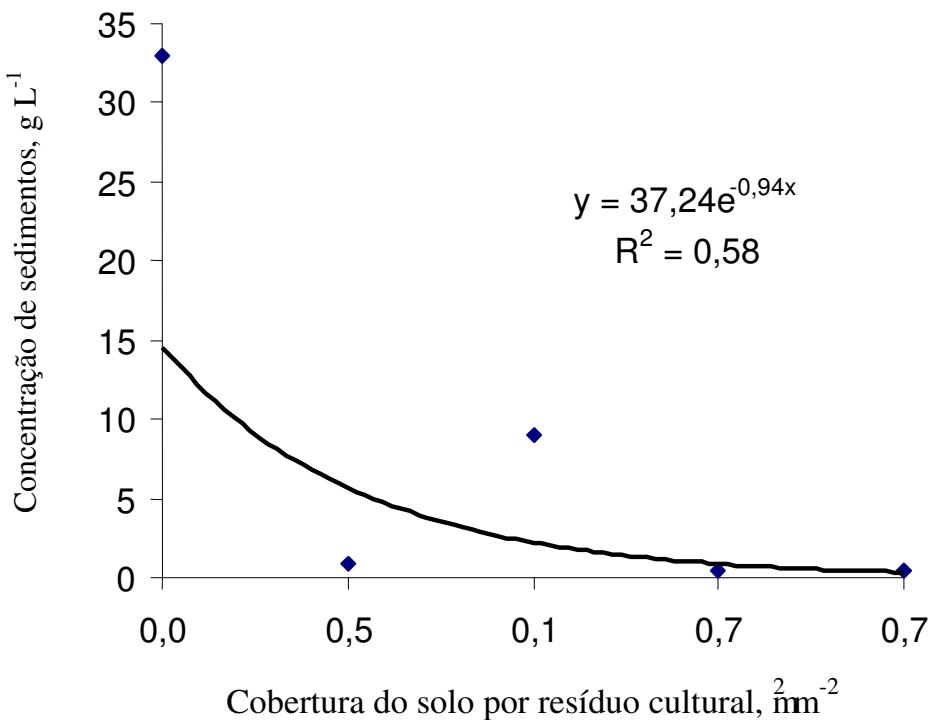


Figura 5. Relação da concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, no primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).

A concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante no primeiro teste de chuva simulada aumentou com o aumento da velocidade da enxurrada (Figura 6). Ao aumentar a velocidade da enxurrada, aumenta a capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo resultando em maior concentração de sedimentos na enxurrada.

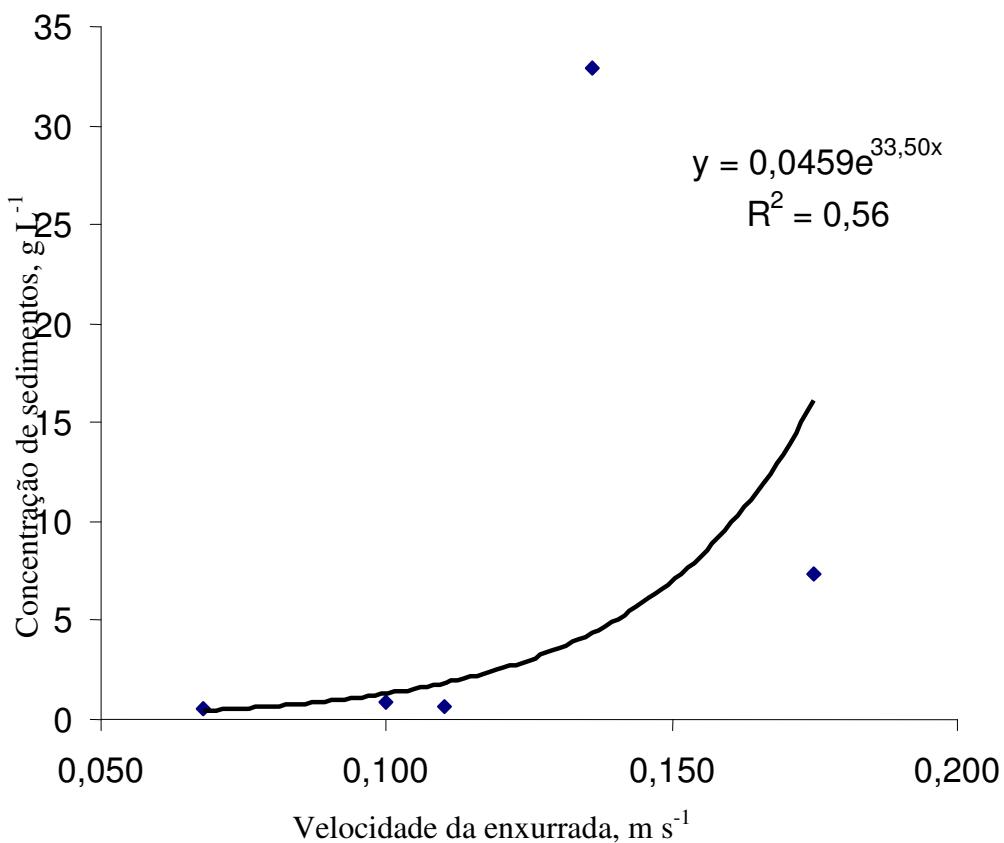


Figura 6. Relação da concentração de sedimentos na enxurrada com a velocidade da enxurrada, sob taxa constante, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).

#### 4.13. Taxa de perda de solo sob enxurrada constante

A taxa de perda de solo sob enxurrada constante (Tabela 14) foi influenciada diretamente pela taxa constante de enxurrada (Tabela 11) e pela concentração de sedimentos na enxurrada sob taxa constante (Tabela 13). Assim, essa variável foi 14, 50, 215 e 414 vezes maior no SC do que no PC, SQ, SD e ST, respectivamente, na média dos testes de chuva. Isto é justificado pelos sulcos formados pelas chuvas anteriores (naturais e simuladas) no SC, o que aumentou a capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo pela enxurrada, concordando com Bertol (1986).

Tabela 14. Taxa de perda de solo sob enxurrada constante, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
	t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>				
SC	35,2 dA	49,1 cA	130,5 bA	174,5 aA	148,9 abA
PC	9,2 aAB	14,2 aB	11,7 aB	0,7 bB	1,0 bB
SQ	1,3 aB	3,2 aB	5,4 aB	0,5 aB	0,3 aB
SD	0,6 aB	0,9 aB	0,6 aB	0,2 aB	0,2 aB
ST	0,3 aB	0,6 aB	0,3 aB	0,1 aB	0,0 aB

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os elevados valores de taxa de perda de solo sob enxurrada constante no PC e na SQ podem ser explicados pelo efeito do manejo sobre a estrutura do solo, o qual diminuiu a taxa constante de infiltração de água no solo (Tabela 10) e aumentou o taxa constante de enxurrada superficial (Tabela 11), aumentando consequentemente as perdas de solo, concordando com Leite (2003).

A taxa de perda de solo sob enxurrada constante diminui exponencialmente com o aumento da cobertura do solo por resíduo cultural de nabo forrageiro no primeiro teste de chuva simulada (Figura 7), atribuída ao fato de que a cobertura evita o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação das partículas e, consequentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada.

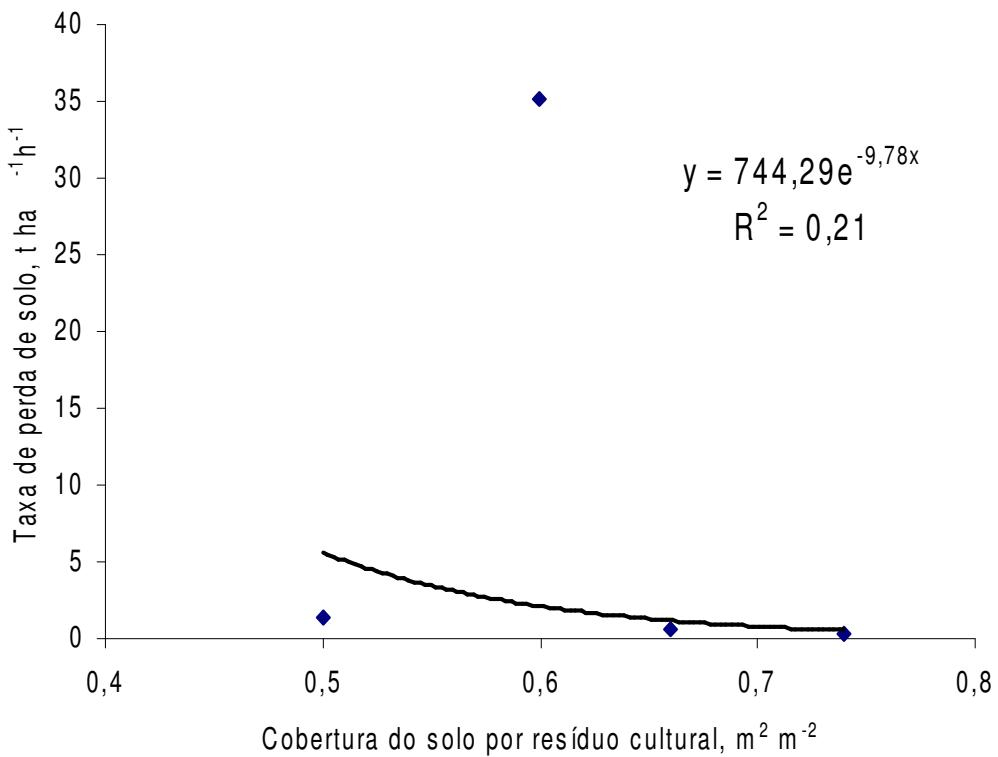


Figura 7. Relação da taxa de perda de solo sob enxurrada constante com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Assim como no caso da cobertura do solo por resíduo cultural, a taxa de perda de solo sob enxurrada constante diminuiu exponencialmente com o aumento da razão de perdas de solo (Figura 8). Isto é explicado pelo efeito combinado das variáveis que afetaram a erosão hídrica, presentes nos tratamentos de preparo do solo com cultivo (PC, SQ, ST e SD) em relação ao solo sem cultivo (SC), sobre a taxa de perda de solo sob enxurrada constante. O sistema de preparo influenciou as perdas de solo, já que ele afetou diretamente a cobertura e a rugosidade superficial e as propriedades físicas do solo, especialmente o volume de macroporos, as quais, por sua vez, afetaram a infiltração da água. O preparo ocasionou, ainda, desagregação do solo, tornando-o prontamente

disponível para o transporte que, devido à alta velocidade da enxurrada superficial e à falta de cobertura do solo, favoreceu a perda de solo.

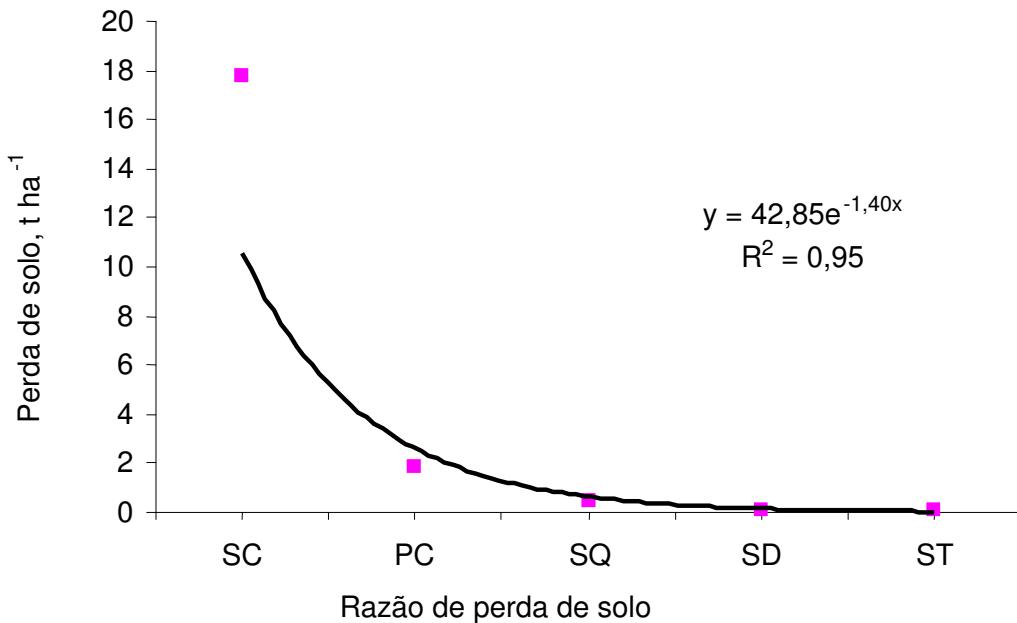


Figura 8. Relação das perdas totais de solo com a razão de perdas de solo, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada).

#### 4.14. Índice D<sub>50</sub>

O maior D<sub>50</sub> ocorreu nos tratamentos SC, PC e SQ (Tabela 15). Isto pode ser explicado, no caso do SC e PC, pelo preparo do solo que provocou a separação mecânica dos agregados, conforme argumentado por Cogo et al. (1983) e, no caso do SQ, pela eliminação da cobertura por meio da queima dos resíduos culturais. O preparo do solo, além de fracionar os agregados, reduziu a cobertura e, deste modo, favoreceu a formação de sulcos, os quais permitiram o aumento da velocidade da enxurrada que, consequentemente, desagregou e transportou sedimentos de maior diâmetro.

Nos tratamentos ST e SD, o não revolvimento do solo e a cobertura por resíduo cultural (Tabela 2), associados à baixa velocidade da enxurrada (Tabela 12), ocasionaram menores valores do  $D_{50}$ .

Tabela 15. Tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada, expresso pelo índice  $D_{50}$ , nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

Tratamento	1º Teste	2º Teste	3º Teste	4º Teste	5º Teste
..... mm.....					
SC	0,9	1,0	1,1	0,9	1,1
PC	0,5	0,8	0,6	0,5	0,6
SQ	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4
SD	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
ST	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados.

O  $D_{50}$  diminuiu exponencialmente com o aumento da cobertura do solo por resíduo cultural no primeiro teste de chuva simulada (Figura 9), concordando com Amado (1985) e Leite (2003). Isto pode ser explicado pelo fato de que, com o aumento da cobertura do solo, houve redução na taxa de desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva e, ainda, decréscimo na velocidade da enxurrada, com consequente diminuição da capacidade de transporte de sedimentos de maior diâmetro ou densidade (Cogo, 1981; Bertol 1995). Além disso, os resíduos superficiais agiram filtrando a enxurrada, ou seja, formando uma barreira física onde os sedimentos de maior tamanho eram retidos, enquanto que os de menor tamanho ou densidade permaneciam em suspensão no fluxo e eram transportados (Bertol et al., 1997a).

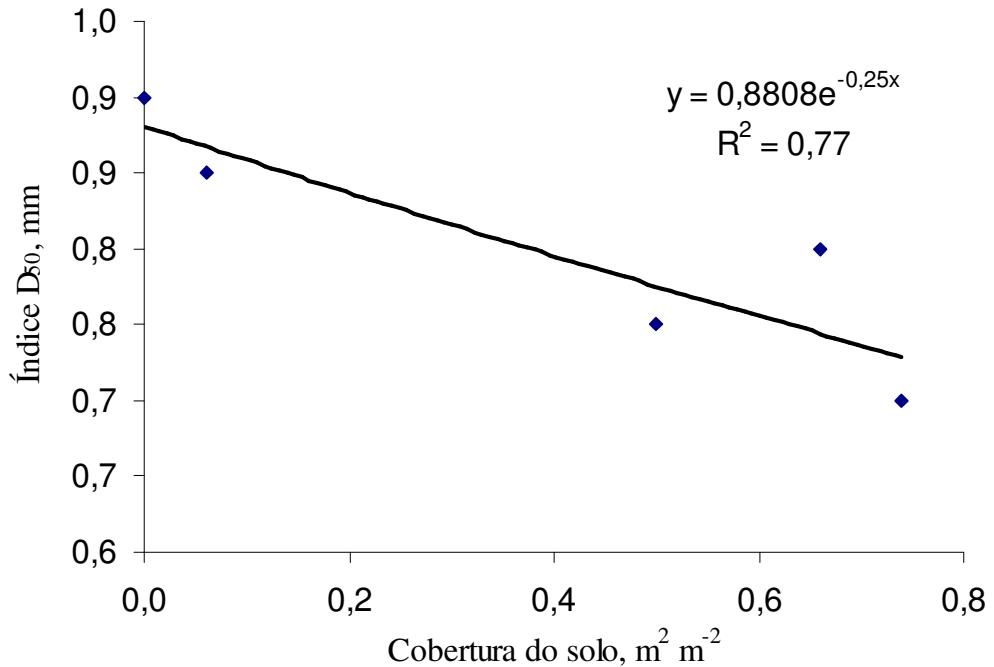


Figura 9. Relação do índice  $D_{50}$  com a cobertura do solo por resíduo vegetal de nabo forrageiro, para o primeiro teste de chuva simulada, nos diferentes sistemas de preparo do solo, durante o cultivo da soja (média de duas repetições).

Em contrapartida, o  $D_{50}$  aumentou linearmente com o aumento da velocidade da enxurrada (Figura 12), explicado pelo efeito conjunto da cobertura do solo por resíduo cultural (Tabela 2) e da velocidade da enxurrada (Tabela 12). Na medida em que a cobertura do solo por resíduo cultural diminuiu, aumentou a velocidade do fluxo e a capacidade de desagregação e transporte de sedimentos de maior diâmetro, ou seja, aumentou o índice  $D_{50}$ .

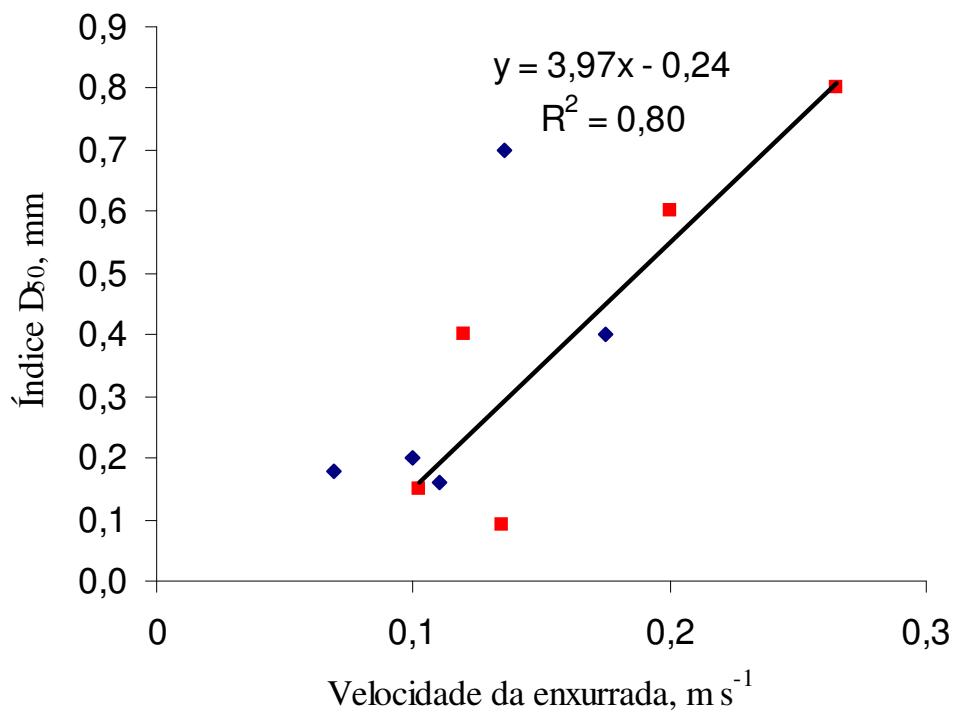


Figura 10. Relação do índice D<sub>50</sub> com a velocidade da enxurrada, nos diferentes sistemas de preparo do solo e chuvas simuladas aplicadas, no primeiro (em azul) e no segundo (em vermelho) teste de chuva simulada, durante o cultivo da soja (média de duas repetições)

## 5. CONCLUSÕES

- 1) As coberturas do solo pelo resíduo vegetal de nabo forrageiro e pela copa das plantas de soja variaram nos tratamentos. A cobertura pelo resíduo correlacionou-se exponencialmente e negativamente com a concentração de sedimentos na enxurrada e com a perda total de solo e a cobertura pela copa apresentou o mesmo tipo de correlação com a concentração de sedimentos na enxurrada.
- 2) A semeadura direta tradicional foi o tratamento mais eficaz no retardamento do tempo de início da enxurrada superficial e, assim, apresentou a maior infiltração total de água no solo e, consequentemente, a menor perda de água por enxurrada superficial; a semeadura direta sobre resíduos dessecados, juntamente com o solo sem cultivo, foram os tratamentos mais eficazes no retardamento do tempo necessário para a enxurrada atingir a taxa máxima.
- 3) A perda total de solo foi fortemente influenciada pelo sistema de preparo, tendo sido a semeadura direta tradicional e a semeadura direta sobre resíduo dessecado os tratamentos mais eficazes na redução da mesma.
- 4) A perda total de solo foi explicada pela razão de perda de solo por meio de regressão exponencial.
- 5) O índice  $D_{50}$  dos agregados do solo diminuiu exponencialmente com o aumento da cobertura do solo por resíduo vegetal e aumentou linearmente com o aumento da velocidade da enxurrada. O maior índice  $D_{50}$  foi encontrado no solo sem cultivo e, o menor, na semeadura direta tradicional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, E. E.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. 1980. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interril-flow. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison, v. 44, n. 3, p. 590-595.
- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; LARSON, W. E.; HOLT, R. F. & NELSON, W. W. 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. Washington, USDA, 1966. 22p. (Conservation Research Report, 7).
- AMADO, T. J. C. 1985. **Relações da erosão hídrica do solo com níveis e formas de manejo do resíduo cultural de soja (Glycine Max (L.) Merr.), em condições de chuva simulada.** Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre (RS), 104p. (Dissertação de Mestrado).
- BARISAS, S. G.; BAKER, J. L.; JOHNSON, H. P.; LAFLEN, J. M. 1978. Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients. A rainfall simulation study. **Trans. of the ASAE**, journal paper J-8534, paper n. 75-2034.
- BARROWS, H. L.; KILMER, V. J. 1963. Plant nutrient losses from soil by water erosion. In: NORMANN, A. G. **Advances in Agronomy**, New York, Academic Press, v. 15, p. 303-316
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. 1997. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:105-112.
- BERTOL, I. 1986. **Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e presença de cobertura vegetal por resíduo cultural de trigo.** Porto Alegre (RS), UFRGS, 1986. 158 p. (Dissertação de Mestrado).
- BERTOL, I. 1994a. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos de solo e rotação de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, 18:267-271.
- BERTOL, I. 1994b. Perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo sob rotação de culturas. **Universidade & Desenvolvimento**, v.2, p.174-184.
- BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A. S. 1998. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 22 : 705 - 712.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; MIQUELLUTI, D. J. 1997a. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 3, n. 2, p. 199 - 206.

BERTOL, I. MIQUELLUTTI, D. J. 1993. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n.10, p. 1205-1213.

BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. 1997b. Erosão hídrica em diferentes preparamos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:409-418.

BERTOL, I. 1995. **Comprimento crítico de declive para preparamos conservacionistas de solo**. Porto Alegre (RS), UFRGS, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)

BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. 1987. **Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo**. **R. Bras. Ci. Solo**, 11:187-192.

BERTOL, I. BEUTLER, J. F.; LEITE D.; BATISTELA, O. 2001. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 3, p.555-560.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO,N.P 2002. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2 p. 455-464.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. 2003a. Taxa de decomposição do resíduo de milho e parâmetros relacionados. **R. Bras. Ci. Solo** (no prelo)

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. 2003b. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 3, p. 581 – 586.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 1993. Conservação do solo, 3.Ed. São Paulo: Ícone.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 1999. Conservação do solo, 4. Ed. São Paulo: Ícone.

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R.; SLONEKER, L. L.; 1966. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, 21:61-63.

BURWELL, R. E.; TIMMONDS, D. R.; HOLT, R. F. 1975. Nutrient transport of surface runoff as influenced by cover and seasonal period. **Soil Sci. Soc. of Am. Proc.**, Madison, v. 39, p. 523-528.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. 1990. Estado de agregados e qualidade de agregados de um latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 14: 99-105.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M. P. 2002. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 26: 705-712.

CASTRO, O. M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J. A. et al. 1986. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão trigo/soja em diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, p. 293-297.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A.L. 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:527-538.

COGO, N. P. 1981. **Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters**. West Lafayette, Indiana, USA, 1981. Purdue University, 346p. Thesis (Ph. D. - Soil Science).

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. 1983. Effect of crop residue, tillage induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison, 47(5):1005-1008.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G.R. 1984. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison 48(2):368-373.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFC/RS-SC. 1995. **Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 233p.

DALLA ROSA, A. 1981. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico)**. Porto Alegre (RS), UFRGS, 138p. (Tese de Mestrado).

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JR., E. 1986. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo vermelho escuro nos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, p. 265-272.

DISSMEYER, G. E.; FOSTER, G. R. 1981. Estimating the cover management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, 36:235-240.

DULEY, F. L. 1939. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Sci. Soc. of Am. Proc.**, Madison, 4:60-64.

ELLISON, W.D. 1947. Soil erosion studies. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 28, p. 145-147, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444.

ELLISON, W. D.; SLATER, C. S. 1945. Factor that affect surface sealing and infiltration of exposed soil surfaces. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 26, n. 4, 156-157, 162.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Recomendações gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de

conservação do solo no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1975. Londrina. Resumos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1975. p. 107-120.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**, Brasília, 412 p.

FORSYTHE, W. 1975. **Física de Suelos**: Manual de Laboratório. San José, IICA. 212p.

FOSTER, G. R. 1982. Modeling the erosion process. In: Hydrological Modeling of small Watersheds. **American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, 1982. Chapter 8, p. 297 – 300.

FOSTER, G.R. & MEYER, L. D. 1972. Erosion mechanics of mulches. **American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph. 24p. (Paper, 72-754).

GASCHO, G. J.; WAUCHOPE, R. D.; DAVIS, J. G.; et al. 1998. Nitrate-nitrogen, soluble, and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, 62: 1711-1718.

GUADAGNIN, J. 2003. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico alumínico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. Lages, SC, UDESC, 2003, 103 p. (Dissertação de mestrado).

KING, K. W.; RICHARDSON, C. W.; WILLIANS, J. R. 1996. Simulation of sediment and nitrate loss on a vertissol with conservation practices. **Trans. of the ASAE**, v. 39 n. 6, p. 2139-2145.

HARTWIG, R. O.; LAFLEN, J. M. 1978. A meterstick method for measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 33, n. 2, p. 90-91.

HUDSON, N. W. 1981. **Soil Conservation**. 2<sup>nd</sup> ed. Ithaca, Cornell University Press. 324p.

LAL, R. 1994. **Soil erosion research methods**. 2<sup>a</sup> ed. St. Lucie Press. Delray Beach. 340p.

LANGDALE, G. W.; LEONARD, R. A.; THOMAS, A. W. 1985. Conservation practices effects on phosphorus losses from Southern Piedmont watersheds. **Journal of Soil and water conservation**, Ankeny, jan-feb, 157-160.

LEVIEN, R. 1988. **Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo**. Porto Alegre, RS, UFRGS, 168 p. (Dissertação de mestrado).

LEVIEN, R.; COGO, N. P.; ROCKENBACH, C. A. 1990. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 14: 73-80.

LOPES, P. R. C. 1984. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo.** Porto Alegre, RS, UFRGS, 116 p. (Dissertação de mestrado).

MANNERING, J. V.; MEYER, L. D. 1962. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 27, p. 84-86.

McDOWELL, L. L.; McGREGOR, K. C. 1980. Nitrogen and phosphorus losses in runoff from no-till soybeans. **Trans. of the ASAE**. 23: 643-648.

McDOWELL, L. L; McGREGOR, K. C. 1984. Plant nutrient losses in runoff from conservation tillage corn. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 4, p 79-91.

MELLO, E.L. 2002. **Erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo sob chuva simulada.** Lages, SC, UDESC, 88 p. (Dissertação de mestrado).

MELLO, E. L., BERTOL, I., CARRAFA, M. R., ZAPAROLLI, A. L. V. 2003. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada (no prelo). **R. Bras. Ci. Solo**. VIÇOSA, MG: , v.2, n.27.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; NIKOLOW, S. 1975. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, v. 18, n. 5, p. 905-911.

POTE, D. H.; DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. M. et al. 1996. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, 60: 855-859.

RANEY, W. A. & ZINGG, A. W. 1957. **Principles of tillage.** In: USDA. Yearbook of Agriculture. Washington. p. 277-281.

RENARD, K. J.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A. et al. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the resised universal soil loss equation (RUSLE). Washington: USDA (Agricultural Handbook).

RICHARDSON, C. W.; KING, K. W. 1995. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. **J. Engineering. Res.** 61, 81-86.

SCHICK, J. 1999. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo.** Lages, SC, UDESC, 1999, 114p. (Dissertação de mestrado).

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT Jr., A. A. 2000a. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 24: 427 - 436.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT Jr., A. A. 2000b. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 24: 437 - 447.

SCHWARZ, R. A. 1997. **Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das Missões – RS.** Porto Alegre, RS, UFRGS, 1997, 130 p. (Dissertação de mestrado).

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. 1997. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas e culturas em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 21: 287-291.

SLONEKER, L. L.; MOLDENHAUER, W. C. 1977. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 32, n. 5, p. 231-236.

SPAGNOLO, E.; AMADO, T. J. C.; VEIGA, M. et al. 2002. Carbono e nitrogênio do solo em diferentes sistemas de manejo com ênfase à queima dos resíduos vegetais. In: IV Reunião sul-brasileira de ciência do solo. Porto Alegre, RS. Resumos – cd-rom.

SWANSON, N.P. Suggestions for use rotating-boom field plot rainfall simulator to obtain data for application of the soil loss equation. Entre-Rios, FAO, 1975. 65p. (Report of FAO Consultant).

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solos, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. Am. Geophys. Un.**, v., n. 2, p. 285-291.

WISCHMEIER, W. H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison, v. 23, p. 246-249.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses**, a guide to conservation planning. Washington, USDA. p. 58 (Agricultural Handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison, v.33, p. 131-137.

## Anexos

## ANEXO 1

### Declividade das parcelas experimentais (média de duas repetições)

Tratamento				
$m\ m^{-1}$				
SC	PC	SQ	ST	SD
0,15	0,12	0,21	0,14	0,22

SC: solo sem cultivo; PC: preparo convencional; SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados; ST: semeadura direta tradicional; SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados.

## ANEXO 2

Intensidades observadas nos cinco testes de chuvas simuladas aplicadas, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
..... mm h <sup>-1</sup> .....						
P 1	64,11	65,36	65,07	64,14	63,02	64,34
P 2	64,11	65,36	65,07	64,14	63,02	64,34
P 3	66,00	67,77	63,49	64,80	66,85	65,78
P 4	66,00	67,77	63,49	64,80	66,85	65,78
P 5	66,40	66,91	64,42	65,45	63,40	65,32
P 6	66,40	66,91	64,42	65,45	63,40	65,32
P 9	65,67	67,12	65,44	66,57	65,63	66,09
P 10	65,67	67,12	65,44	66,57	65,63	66,09
P 11	66,32	64,70	63,86	63,68	65,45	64,80
P 12	66,32	64,70	63,86	63,68	65,45	64,80

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

### ANEXO 3

Duração das chuvas de umedecimento aplicadas nos cinco testes de chuva simulada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
..... Minuto .....						
P 1	20	18	25	28	30	24
P 2	20	18	25	28	30	24
P 3	40	35	75	95	105	70
P 4	40	35	75	95	105	70
P 5	35	25	50	60	75	49
P 6	35	25	50	60	75	49
P 9	32	29	40	48	75	45
P 10	32	29	40	48	75	45
P 11	32	29	75	90	90	63
P 12	32	29	75	90	90	63

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 7

Cobertura do solo pelo resíduo vegetal de nabo forrageiro, determinada imediatamente antes de cada teste de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	11/11/2003	11/12/2003	9/1/2004	10/2/2004	11/3/2004	Média
	%					
P 3	72	70	66	60	59	65
P 4	76	74	70	67	65	70
P 5	7	6	6	4	3	5
P 6	5	5	4	2	2	4
P 9	42	42	40	36	35	39
P 10	58	56	48	40	38	48
P 11	73	70	65	60	56	65
P 12	62	60	58	54	53	57

P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 8

Cobertura do solo pela copa das plantas de soja, determinada imediatamente antes de cada teste de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	11/11/2003	11/12/2003	09/01/2004	10/02/2004	11/03/2004	Média
P 3	5	40	66	100	100	62
P 4	7	53	81	100	100	68
P 5	7	52	86	100	100	69
P 6	7	53	88	100	100	70
P 9	7	54	81	85	85	62
P 10	6	49	84	95	95	66
P 11	7	49	87	100	100	69
P 12	7	50	87	100	100	69

P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 09

Tempo de início da enxurrada, determinado nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
..... Minuto .....						
P 1	18	13	15	18	9	15
P 2	21	14	15	18	9	15
P 3	33	24	30	33	36	31
P 4	33	24	30	33	30	30
P 5	26	12	27	24	24	23
P 6	26	15	21	24	21	21
P 9	18	15	21	27	27	22
P 10	18	15	21	27	27	22
P 11	26	19	24	27	33	26
P 12	23	19	24	27	30	25

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 10

Tempo de enxurrada máxima, determinado nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
..... Minuto .....						
P 1	58	47	56	54	57	54
P 2	59	48	57	54	57	55
P 3	49	50	51	55	57	52
P 4	51	51	51	56	57	53
P 5	50	41	40	56	45	46
P 6	49	41	41	55	46	46
P 9	53	53	57	57	50	54
P 10	54	54	57	57	51	55
P 11	57	48	58	57	57	55
P 12	58	48	57	57	58	56

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 11

Volume total de enxurrada, determinado nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
.....% da chuva aplicada.....						
P1	37	36	53	53	53	46
P2	24	32	37	40	45	36
P3	27	40	39	27	17	30
P4	20	31	22	12	7	18
P5	28	38	27	34	36	33
P6	51	50	43	38	36	44
P9	45	51	37	36	26	39
P10	33	29	26	26	26	28
P11	24	40	30	17	20	26
P12	38	41	37	29	24	34

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 12

Concentração de sedimentos na enxurrada, determinada durante o período inteiro de duração da enxurrada, nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Teste de chuva	Parcela									
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 9	P 10	P 11	P 12
..... g L <sup>-1</sup> .....										
1	17,9	18,0	0,3	0,7	0,7	9,5	1,9	0,7	0,8	0,7
2	27,4	24,1	0,2	1,1	9,6	10,5	3,6	1,5	0,8	0,5
3	53,8	71,7	0,2	0,6	10,9	9,6	7,8	0,9	0,5	0,3
4	92,6	71,3	0,0	0,3	1,8	0,9	1,3	0,3	0,3	0,2
5	65,4	71,4	0,4	0,0	1,1	1,1	2,3	0,4	0,2	0,2

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 13

Perda total de solo, determinada durante o período inteiro de duração da enxurrada, nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Teste de chuva	Parcela									
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 9	P 10	P 11	P 12
	..... kg ha <sup>-1</sup> .....									
1	6.225	4.703	51	101	2.156	3.996	473	171	125	187
2	8.741	7.187	50	240	2.029	3.882	1.203	277	225	145
3	22.811	19.203	49	89	1.943	3.064	1.897	154	128	76
4	39.624	22.672	34	16	299	193	276	59	33	43
5	25.413	21.660	37	9	268	256	263	58	30	36

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 14

Taxa de enxurrada sob fluxo constante, nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
..... mm h <sup>-1</sup> .....						
P1	38	39	48	45	47	44
P2	28	38	38	38	41	37
P3	23	34	30	22	17	25
P4	20	29	20	15	9	19
P5	24	29	25	28	24	26
P6	47	43	40	32	33	39
P9	40	44	38	30	23	35
P10	30	29	21	22	12	23
P11	22	35	27	18	15	23
P12	35	32	33	28	26	31

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 15

Velocidade da enxurrada, determinada nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
P 1	0,171	0,300	0,200	0,230	0,200	0,220
P 2	0,100	0,230	0,176	0,200	0,200	0,181
P 3	0,071	0,150	-	-	-	0,111
P 4	0,066	0,120	-	-	-	0,093
P 5	0,150	0,200	-	-	-	0,175
P 6	0,200	0,200	-	-	-	0,200
P 9	0,107	0,120	-	-	-	0,114
P 10	0,094	0,120	-	-	-	0,107
P 11	0,083	0,083	-	-	-	0,083
P 12	0,100	0,100	-	-	-	0,100

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados); (-) não determinada.

## ANEXO 16

Concentração de sedimentos na enxurrada durante o período de taxa constante, determinada nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Teste de chuva	Parcela									
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 9	P 10	P 11	P 12
	.....g L <sup>-1</sup> .....									
1	30,5	35,4	0,2	0,8	0,8	13,8	1,3	0,5	0,7	0,6
2	55,1	66,2	0,1	1,0	17,8	26,3	4,1	1,8	0,8	0,5
3	76,0	64,5	0,2	0,6	10,3	17,9	7,9	1,0	0,9	0,3
4	128,5	91,6	0,1	0,2	1,0	0,5	0,6	0,3	0,3	0,2
5	93,2	104,3	0,3	0,2	0,9	0,9	0,7	0,3	0,3	0,2

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 17

Taxa de perda de solo durante o período de enxurrada constante, determinada nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
.....t ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> .....						
P 1	40,7	28,4	121,8	124,2	143,5	91,7
P 2	29,6	69,8	139,2	224,8	154,3	123,5
P 3	0,1	1,1	0,3	0,1	0,0	0,3
P 4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
P 5	0,7	18,4	14,5	0,5	1,1	7,0
P 6	17,8	10,0	8,9	1,0	0,9	7,7
P 9	2,0	1,7	0,8	0,2	0,1	1,0
P 10	0,7	6,8	10,0	0,7	0,5	3,7
P 11	0,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,4
P 12	0,8	1,1	0,8	0,2	0,1	0,6

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).

## ANEXO 18

Índice  $D_{50}$  dos sedimentos transportados pela enxurrada, determinado nos testes de chuva simulada aplicada, durante o cultivo da soja

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... mm .....					
P 1	0,92	1,01	1,12	0,92	1,10
P 2	0,91	1,00	1,09	0,90	1,09
P 3	0,32	0,22	0,22	0,21	0,21
P 4	0,31	0,20	0,21	0,22	0,20
P 5	0,52	0,83	0,61	0,51	0,65
P 6	0,51	0,82	0,60	0,51	0,61
P 9	0,33	0,54	0,44	0,53	0,44
P 10	0,31	0,50	0,39	0,51	0,41
P 11	0,32	0,32	0,32	0,44	0,33
P 12	0,30	0,29	0,31	0,42	0,31

P1 e P2 (tratamento SC: solo sem cultivo); P3 e P4 (ST: semeadura direta tradicional); P5 e P6 (PC: preparo convencional); P9 e P10 (SQ: semeadura direta sobre resíduos queimados) e P11 e P12 (SD: semeadura direta sobre resíduos dessecados).