

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

JULIANA MARIOTI

**EROSÃO HÍDRICA EM CAMBISSOLO HÚMICO CULTIVADO COM MILHO E
SOJA SEM PREPARO DO SOLO, NAS DIREÇÕES DA PENDENTE E EM
CONTORNO AO DECLIVE, COMPARADA AO SOLO SEM CULTIVO.**

**LAGES – SC
2012**

JULIANA MARIOTI

**EROSÃO HÍDRICA EM CAMBISSOLO HÚMICO CULTIVADO COM MILHO E
SOJA SEM PREPARO DO SOLO, NAS DIREÇÕES DA PENDENTE E EM
CONTORNO AO DECLIVE, COMPARADA AO SOLO SEM CULTIVO.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Manejo do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Manejo do solo.

Orientador: Ildegardis Bertol

**LAGES – SC
2012**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14^a Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Marioti, Juliana

Erosão hídrica em Cambissolo Húmico cultivado com milho e soja sem preparo do solo, nas direções da pendente e em contorno ao declive comparada ao solo sem cultivo. / Juliana Marioti; orientador: Ildegardis Bertol. – Lages, 2012.

74f.

Inclui referências.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /
UDESC.

1. Chuva simulada . 2. Taxa de enxurrada. 3. Perda de solo. 4. Perda de água. I. Título.

CDD – 631.45

JULIANA MARIOTI

**EROSÃO HÍDRICA EM CAMBISSOLO HÚMICO CULTIVADO COM MILHO E
SOJA SEM PREPARO DO SOLO, NAS DIREÇÕES DA PENDENTE E EM
CONTORNO AO DECLIVE, COMPARADA AO SOLO SEM CULTIVO**

Dissertação de Mestrado, do curso de Mestrado em Manejo do Solo/ Centro de Ciências Agroveterinárias/ Universidade do Estado de Santa Catarina/ Grau de Mestre em Manejo do Solo, área de concentração de Uso e Conservação do Solo.

Banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Ildegardis Bertol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Prof. Dr. Rodrigo Vieira Luciano
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:

Prof. Dr. Antonio Paz González
Universidad da Coruña, La Coruña, Espanha

Dedico aos meus anjos da guarda, Vó
Có e minha irmã Luciana, (*in memorian*),
anjos presentes na minha vida, que me
inspiram e me fortalecem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e meus anjos da guarda por me protegerem, guiarem e iluminarem meu caminho, dando-me capacidade e ânimo para a realização de mais este sonho.

Aos meus pais, Umberto e Kátia, aos quais dedico mais esta conquista, que por seus exemplos e ensinamentos mostraram a importância dos estudos e do aperfeiçoamento profissional. E às minhas irmãs, Thaís e Ana Paula, pessoas com quem sempre contei, a qualquer hora e circunstância e que confio todos os meus desabafos.

Ao professor Ildegardis Bertol, por ter me proporcionado a honra de ser sua orientada, ensinando-me e auxiliando-me nas dificuldades, além da amizade, juntamente com sua esposa Jane, permitida ao longo desses dois anos.

Aos meus amigos que estiveram presentes nesta etapa, companheiros de estudos e descontração. Em especial à Luciana, colega de república e amiga, pela cumplicidade e companheirismo em mais uma fase importante da minha vida.

Aos amigos colegas do laboratório de Uso e Conservação do Solo, Júlio, Juscelia, Romeu, Roger, José, Luciana, Schick, Jéssica, Hugo, Gabriel, Murilo, Lauro, Eduardo, Mitsui, Fernando, Josie, Lidi e demais colaboradores, pela ajuda no desenvolvimento do experimento e principalmente pela amizade, parceria e bom humor que tornaram agradáveis até as mais difíceis tarefas.

Aos professores do Departamento de Solos do CAV-UDESC, em especial ao professor Fabrício Tondello Barbosa, pelos ensinamentos e pela prestatividade.

À UDESC, pela formação profissional e pela bolsa de estudos PROMOP fornecida em parte do mestrado.

À instituição CAPES, também pela bolsa de estudos fornecida.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente para esta realização.

MUITO OBRIGADA A TODOS!

RESUMO

MARIOTI, Juliana. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico cultivado com milho e soja sem preparo do solo, nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo – Área: Uso e Conservação do Solo e Recursos Naturais.). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2012

Dados de perda de solo e água obtidos em estudos de erosão hídrica são necessários nos planos de conservação do solo. Mesmo com o advento do sistema de semeadura direta, difundido no Brasil a partir dos anos 70, ainda se fazem necessárias outras práticas conservacionistas para o efetivo controle da erosão hídrica, como o uso do cultivo em contorno e o terraceamento, especialmente em regiões com altos índices de pluviosidade. Uma alternativa para o controle da erosão é o uso de culturas protecionistas do solo, principalmente em locais mais suscetíveis à erosão. O objetivo deste trabalho consistiu em quantificar as perdas de água e solo por erosão hídrica, em um solo cultivado com soja e milho sob semeadura direta, nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparadas entre si e a um solo sem cultivo e descoberto. O experimento foi desenvolvido em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, no período de 2010-2011, sob a aplicação de quatro testes de chuva simulada. Estudaram-se cinco tratamentos, com duas repetições, sendo eles: 1) semeadura de soja, com orientação no sentido do declive (SD); 2) semeadura de soja, com orientação no sentido da curva de nível (SC); 3) semeadura de milho, com orientação no sentido do declive (MD); 4) semeadura de milho, com orientação no sentido da curva de nível (MC); 5) testemunha - solo sem cultivo e descoberto (T). Os cultivos foram implantados sobre resíduos de trigo, no sistema de semeadura direta. A semeadura em contorno, quando comparada à semeadura no sentido do declive e à parcela testemunha, e a cultura do milho, quando comparada à soja e à parcela testemunha, se mostraram mais eficientes no controle das perdas de solo. As perdas de água foram influenciadas apenas pela forma de semeadura. As PA relacionaram-se negativamente com a umidade do solo determinada imediatamente antes do início das chuvas e com o tempo de início da enxurrada.

Palavras-chave: Chuva simulada. Taxa de enxurrada. Perda de solo. Perda de água.

ABSTRACT

MARIOTI, Juliana. Water erosion in no till corn and soy farming in descending directions and in the border of the slope, as compared to uncovered soil without any crops. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo – Área: Uso e Conservação do Solo e Recursos Naturais.). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2012

Data of soil and water losses obtained in rainfall erosion studies are necessary for the soil conservation plans. Even with the advent of no-till, diffused in the 70s, other conservation practices are still required for the effective control of rainfall erosion, such as the contour cropping and terracing, especially in areas with high pluviosity. One alternative for erosion control is the use of protective crops in the soil, mainly in places more susceptible to erosion. The aim of this study was quantify the water and soil losses in the downhill and slope contour directions due to the rainfall erosion in a cultivated soil with soybean and maize on no-till system and to compare to an uncovered and fallow soil. The experiment was performed in an Inceptisol throughout 2010-2011 season, with application of four simulated rainfall tests. There were five treatments, disposed in two replicates: 1) soybean crop oriented towards downhill (SD); 2) soybean crop oriented toward to the contour (SC); 3) maize crop oriented downhill (MD); 4) maize crop oriented towards to the contour (MC); 5) control – no cropping and uncovered soil (T). All crops were sown over wheat trash, on no-till. The contour sowing compared to downhill and to the control, and the maize crop compared to the soybean crop and to the control, presented more efficiency in controlling soil losses, in spite of only the sowing type had influenced the water losses. The soil moisture had straight relation with water losses.

Key-words: Simulated rainfall. Rate of runoff. Soil loss. Water loss.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 -- Unidade experimental constituída por uma parcela de 38,5 m², delimitada por chapas galvanizadas na extremidade superior e laterais e na parte inferior por uma calha coletora da enxurrada acoplada a um tubo de PVC.....27
- Figura 2 - Imagem aérea da área experimental, com destaque à posição e delimitação das parcelas com seus respectivos tratamentos: soja semeada no sentido do declive (SD), milho semeado no sentido do declive (MD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado em contorno ao declive (MC) e parcela testemunha (T).
Fonte: Google Earth. 2012, modificado por Marioti, 2012.....28
- Figura 3 - Implantação do experimento à campo, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em Lages-SC: a) cultura do trigo, cultivado antes da implantação do experimento; b) resíduos de trigo distribuídos uniformemente sobre a área das parcelas; c) abertura dos sulcos com a semeadora BERTANHA BR 1253. d) semeadura manual da soja e milho com o uso de um “saraquá”.....30
- Figura 4 - Detalhes da direção da operação de semeadura: a) sulcos abertos no sentido em contorno ao declive; b) sulcos abertos no sentido do declive30
- Figura 5 - Experimento implantado em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em Lages – SC: a) milho semeado no sentido do declive (MD); b) milho semeado em contorno ao declive (MC); (c) parcela padrão, testemunha (T); d) soja semeada no sentido do declive (SD) e e) soja semeada em contorno ao declive (SC)......31
- Figura 6 - Aparelho simulador de chuvas de braços rotativos tipo Swanson, com aplicação de chuva sobre duas parcelas simultaneamente.33
- Figura 7 - Determinação da cobertura do solo pelo método da corda marcada, anterior a operação de semeadura em uma das parcelas morro abaixo, sobre resíduo de trigo.34
- Figura 8 - Procedimentos realizados a cada 5 min. durante os testes de chuva simulada: a) medição da taxa instantânea de enxurrada pelo processo direto de medição de vazão; b) coleta de amostras da enxurrada para determinação das perdas instantâneas de solo.35
- Figura 9 - Procedimentos realizados durante os testes de chuva simulada: a) medição da velocidade de escoamento, utilizando um corante azul de metileno; b) pluviômetros para determinação da intensidade real da chuva simulada.36
- Figura 10 - Cobertura do solo pela copa das plantas (CC) dos tratamentos de soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao

| | |
|---|-----------|
| declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD) e milho semeado em contorno ao declive (MC) em função dos dias após a semeadura (DAS)..... | 45 |
| Figura 11 - Espaçamento entre sulcos: a) sulcos abertos para a semeadura da soja, com espaçamento de 0,45 m; b) sulcos abertos para a semeadura do milho, com espaçamento de 0,80 m..... | 47 |
| Figura 12- Cobertura do solo por resíduos culturais (CR) dos tratamentos de soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD) e milho semeado em contorno ao declive (MC) em função do dia após a semeadura (DAS)..... | 47 |
| Figura 13 - Correlação entre o tempo de início da enxurrada e a umidade do solo imediatamente antes de cada chuva simulada aplicada: (a) conjunto de dados dos cultivos no sentido do declive e tratamento testemunha e (b) cultivo em contorno para o milho e para a soja..... | 50 |
| Figura 14 - Perda de solo total obtida em quatro testes de chuva simulada em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, nos tratamentos, soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive (MC) e testemunha (T)..... | 53 |
| Figura 15 - Diferença na concentração de sedimento na enxurrada, durante um teste de chuva simulada em: a) parcela cultivada sob semeadura direta e b) solo sem cultivo e descoberto, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico..... | 53 |
| Figura 16 - Perda de solo nos tratamentos soja semeada no sentido do declive (SD) e em contorno (SC), milho semeado no sentido do declive (MD) e em contorno (MC) e testemunha (T), nos quatro testes de chuva simulada: a) Percentual da perda de solo total em cada teste de chuva simulada e b) perda de solo acumulada em função do dia após a semeadura (DAS)..... | 55 |
| Figura 17 - Correlação exponencial negativa das perdas de água e tempo de início da enxurrada, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico de Lages, SC..... | 57 |
| Figura 18 - Taxa instantânea de descarga da enxurrada (TDE) em função do tempo, nos tratamentos: soja semeada no sentido do declive (SD), milho semeado no sentido do declive (MD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado em contorno ao declive (MC) e testemunha (TEST), parcela sem cultivo e descoberta, nos quatro testes de chuva simulada ao longo do ciclo das culturas..... | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 1 - | Declividade do terreno (S), granulometria, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP) e diâmetro médio de agregados (DMP), da camada superficial do solo (0 – 0,025 m) das parcelas experimentais em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, após a implantação dos tratamentos | 32 |
| Tabela 2 - | Características das chuvas aplicadas em cada teste de chuva simulada nos tratamentos com soja declive, soja contorno, milho declive, milho contorno e testemunha. Média das repetições..... | 37 |
| Tabela 3 - | Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) da Análise de variância (ANOVA) e coeficiente de variação (CV %) dos valores de umidade do solo (U), cobertura do solo pela copa das culturas (CC), cobertura do solo por resíduo cultural (CR), tempo de início do escoamento (TI), velocidade da enxurrada (VE), perda de solo (PS) e perda de água (PA)..... | 42 |
| Tabela 4 - | Umidade residual do solo (camada de 0 – 0,10 m), determinada imediatamente antes dos testes de chuva simulada, para os diferentes tratamentos, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, Lages – SC (média de duas repetições)..... | 43 |
| Tabela 5 - | Cobertura do solo pela copa das plantas antes dos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive (média de duas repetições)..... | 44 |
| Tabela 6 - | Cobertura do solo por resíduos culturais antes dos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive. (média de duas repetições)..... | 46 |
| Tabela 7 - | Tempo de início do escoamento nos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive e no tratamento testemunha (média de duas repetições)..... | 48 |
| Tabela 8 - | Velocidade de escoamento superficial nos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive e na parcela testemunha (média de duas repetições)..... | 51 |
| Tabela 9 - | Perda de solo em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive e na parcela testemunha (média de duas repetições)..... | 52 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabela 10- | Análise estatística ¹ do desdobramento do efeito da interação entre as culturas, soja e milho, e formas de semeadura, sentido do declive e em contorno..... | 54 |
| Tabela 11 - | Perdas de água por enxurrada, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, observadas nos diferentes cultivos, formas de semeadura e em solo sem cultivo e descoberto, nos diferentes testes de chuva simulada ao longo do ciclo das culturas (média de duas repetições)..... | 56 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 | EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO..... | 17 |
| 2.1.1 | Conceito e processos da erosão hídrica pluvial do solo | 17 |
| 2.1.2 | Perdas de solo por erosão hídrica | 19 |
| 2.1.3 | Perdas de água por erosão hídrica | 21 |
| 2.2 | SEMEADURA DIRETA E EROSÃO HÍDRICA..... | 22 |
| 2.3 | CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS PLANTAS E COBERTURA DO SOLO..... | 23 |
| 2.4 | ORIENTAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SEMEADURA E EROSÃO HÍDRICA | 24 |
| 2.5 | HIPÓTESES | 25 |
| 2.6 | OBJETIVO | 25 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 26 |
| 3.1 | ÁREA EXPERIMENTAL | 26 |
| 3.1.1 | Localização e clima | 26 |
| 3.1.2 | Solo..... | 26 |
| 3.1.3 | Histórico | 26 |
| 3.2 | UNIDADE EXPERIMENTAL | 27 |
| 3.3 | TRATAMENTOS..... | 28 |
| 3.4 | CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO | 31 |
| 3.5 | CHUVA SIMULADA | 32 |
| 3.5.1 | Aparelho simulador de chuvas..... | 32 |
| 3.5.2 | Testes de chuva simulada | 33 |
| 3.6 | PROCEDIMENTOS EFETUADOS À CAMPO | 34 |
| 3.6.1 | Antes da aplicação dos testes de chuva simulada..... | 34 |
| 3.6.2 | Durante a aplicação de cada chuva simulada..... | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 3.7 PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS EFETUADOS EM LABORATÓRIO E ESCRITÓRIO | 36 |
| 3.7.1 Erosividade das chuvas | 36 |
| 3.7.2 Taxa instantânea de enxurrada e perda total de água..... | 38 |
| 3.7.3 Taxa instantânea de erosão e perda total de solo | 38 |
| 3.7.4 Ajuste dos dados | 39 |
| 3.7.5 Tratamento estatístico dos dados..... | 39 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 41 |
| 4.1 UMIDADE DO SOLO IMEDIATAMENTE ANTES DOS TESTES DE CHUVA SIMULADA..... | 43 |
| 4.2 COBERTURA DO SOLO PELA COPA DAS PLANTAS | 44 |
| 4.3 COBERTURA DO SOLO POR RESÍDUOS CULTURAIS | 45 |
| 4.4 TEMPO DE INÍCIO DO ESCOAMENTO | 48 |
| 4.5 VELOCIDADE DA ENXURRADA | 51 |
| 4.6 PERDAS DE SOLO | 52 |
| 4.7 PERDAS DE ÁGUA | 56 |
| 4.7.1 Hidrogramas..... | 58 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 60 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |
| ANEXOS | 67 |

1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é o principal fator de seu desgaste, podendo ocorrer naturalmente, ou de forma acelerada pela ação antrópica, fenômeno este percebido desde a antiguidade. Os primeiros registros de erosão do solo, conforme descrito por Bennett (1939), datam dos Sumérios (3.000 a.C.) onde, implicitamente, revelam que a revolução neolítica que fixou o homem nômade a terra, propiciou relação inversa e permanente entre o uso do solo e o seu desgaste. Cook (1936) já demonstrava preocupação com o desgaste do solo e do ambiente, sendo um dos pioneiros nas pesquisas em erosão hídrica. Segundo ele, as pesquisas nesta área devem investigar como e qual a extensão do processo físico pode ser controlado.

O solo é afetado de diferentes formas pela erosão, e em magnitudes distintas, variando com a precipitação, o tipo de solo, o relevo, a cobertura e manejo do solo e as práticas conservacionistas de suporte. Tais fatores foram estudados detalhadamente por Wischmeier & Smith (1978) quando descreveram e estabeleceram os fatores da Equação Universal de Perda de Solo (USLE).

A maioria dos estudos referentes às perdas de solo e água é realizada de forma pontual, analisando-se a combinação dos aspectos individuais de cada fator que aumentam ou diminuem a suscetibilidade à erosão de uma área específica.

Do ponto de vista agrícola, a erosão causa diminuição da fertilidade do solo devido a perda de matéria orgânica e de nutrientes da camada superficial, degrada-o física, biológica e quimicamente e, em casos extremos, causa rebaixamento da camada arável em decorrência da perda de sedimentos. Isto diminui o potencial produtivo do solo e aumenta os gastos com adubação química, podendo inviabilizar a produtividade competitiva e até excluir áreas do processo produtivo. No aspecto ambiental, a deposição de sedimentos em corpos d'água causa eutrofização e assoreamento. Esses problemas afetam a qualidade e quantidade da água e da vida aquática e a geração de energia pelas hidroelétricas, sendo ainda responsável pela potenciação de enchentes.

A remediação do solo desgastado pela erosão hídrica, quando ela ainda é possível, demanda em geral gastos elevados e longo espaço de tempo, portanto, a prevenção e o controle da erosão são as alternativas mais viáveis e sustentáveis do ponto de vista técnico e econômico. Assim, o controle da erosão acelerada, visto

como a parte mais importante da conservação do solo constitui-se num conjunto de práticas que visam manter e melhorar a qualidade dos solos (BARRETO, 2007).

A semeadura direta tem sido um sistema de manejo comum nos últimos 10 a 15 anos, em algumas regiões do Brasil, para fins de controle da erosão hídrica pluvial do solo (DENARDIN ET AL., 2005). Porém, tal sistema, isolado, sem outras práticas conservacionistas de suporte, como cultivo em contorno e terraços agrícolas, não controla totalmente a erosão e o escoamento superficial, como muitos equivocadamente acreditam. Como alternativa, dispõe-se do cultivo em contorno, uma prática importante no controle do escoamento superficial e erosão do solo. É simples, sem custo algum e, na maioria dos casos, fácil de ser aplicada. Esta prática é utilizada geralmente associada com outras práticas conservacionistas, tais como a rotação de culturas e o terraceamento.

O acelerado processo de erosão hídrica do solo é um problema sério e largamente reconhecido no mundo. A estimativa precisa e confiável das perdas por erosão hídrica, seu impacto ambiental fora do local de origem da erosão e os prejuízos econômicos decorrentes dessas perdas, nem sempre são facilmente estimados. Assim, pesquisas sob condições controladas, foco do presente trabalho, são necessárias para dimensionar o efeito da adoção de sistemas de manejo e de práticas alternativas de conservação do solo, visando a solução deste problema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO

2.1.1 Conceito e processos da erosão hídrica pluvial do solo

A erosão hídrica pluvial do solo é um fenômeno causado pela ação da água da chuva sobre o solo (ELLISON, 1947), sendo afetado de diferentes formas e magnitudes em função de seis fatores principais: chuva, solo, comprimento e inclinação do declive, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte (WISCHMEIER & SMITH, 1978, HUDSON, 1995). As inter-relações e o nível dos fatores interferem na intensidade de erosão promovida por cada um deles.

Conforme Denardin et al. (2005), tais fatores podem ser divididos em dois grupos, o primeiro, componente energético capaz de produzir erosão, que compreende o potencial erosivo da chuva e as características topográficas da área, e o segundo, componente dissipador de energia, composto pela erodibilidade do solo, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas.

O impacto das gotas de chuva sobre o solo descoberto e o escoamento superficial, são os principais agentes erosivos envolvidos na erosão hídrica pluvial (FOSTER, 1982), a qual é definida como o processo de desagregação, transporte e deposição de partículas.

A desagregação das partículas do solo, primeira e mais importante etapa do processo erosivo, consiste na separação das partículas da massa do solo, as quais ficam susceptíveis ao transporte pela enxurrada. A desagregação é decorrente tanto da energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre o solo descoberto, como pela tensão de cisalhamento causada pelo escoamento superficial. O transporte a longas distâncias, causado predominantemente pela energia cinética do escoamento, consiste na remoção das partículas desagregadas para fora do local de origem. Seu processo finaliza quando a capacidade de transporte pela enxurrada é menor que a carga de sedimentos contida nela, ocorrendo então a deposição, última etapa do processo erosivo. A quantidade de sedimentos transportados é diretamente proporcional ao volume e velocidade do escoamento. O processo de deposição de

partículas é seletivo, onde partículas maiores e/ou mais densas são depositadas primeiramente que partículas menores e/ou menos densas (ELLISON, 1947; FOSTER & MEYER, 1972; FOSTER, 1982).

A energia da enxurrada no solo é influenciada pelo seu volume, velocidade e caminhos preferenciais do fluxo, os quais definem a magnitude da erosão hídrica (WISCHMEIER & SMITH, 1978; HUDSON, 1995). Quanto maior o volume e a velocidade do escoamento, maior a desagregação do solo pela tensão de cisalhamento e maior a capacidade de transporte de partículas, enquanto que a formação ou não de caminhos preferenciais determinam a forma da erosão, se em sulcos ou em entressulcos (MEYER ET AL. 1975).

A erosão em entressulcos ou erosão de salpicamento é promovida exclusivamente pela energia cinética de impacto das gotas de chuva, a qual é dependente do tamanho das gotas e este diretamente proporcional à intensidade da chuva. Portanto, quanto maior a intensidade da chuva, maior o diâmetro médio das gotas e maior a energia erosiva (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O transporte neste tipo de erosão se dá a curtas distâncias quase que exclusivamente pelo fluxo laminar raso, o qual é causado principalmente pela turbulência produzida pelo impacto das gotas, que suspende e mantém suspensas as partículas de solo (FOSTER, 1982).

A erosão em sulcos constitui a segunda fase evolutiva do processo erosivo, marcada pela mudança da forma do escoamento, passando de difuso, em entressulcos, para fluxo concentrado na forma de sulcos de erosão (MEYER ET AL. 1975; COGO, 1988; CANTALICE ET AL. 2005). Tanto a desagregação, como o transporte de partículas, são ocasionados pela energia cinética do escoamento denominada também de energia cisalhante.

A tensão de cisalhamento corresponde à ação de uma força cortante, tangencialmente à superfície do solo, que por sua vez é função do peso específico da água, da altura da lâmina de água que escoa e da declividade do terreno (FOSTER ET AL., 1982). O balanço entre a força erosiva do fluxo e a resistência à erosão das partículas do solo determina a taxa de desagregação (RAUWS & GOVERS, 1988 *apud* CANTALICE ET AL., 2005).

O principal foco do controle da erosão hídrica, portanto, está associado a dissipação da energia cinética das gotas de chuva sobre o solo e, a redução da energia cinética cisalhante da enxurrada (DENARDIN ET AL., 2005). A primeira

pode conseguida por meio do manejo da cobertura pela copa das plantas e por resíduos, enquanto a segunda, reduzindo-se o volume da enxurrada e a velocidade do escoamento, pelo manejo da cultura e do resíduo, acrescida de práticas conservacionistas de suporte, ou seja, obstáculos mecânicos dispostos na superfície do solo.

2.1.2 Perdas de solo por erosão hídrica

Perda de solo é definida como a quantidade de solo superficial que foi removida da área de interesse pela ação da enxurrada, depositando-se fora dela (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

As perdas de solo pela erosão hídrica tem relação direta com o revolvimento do solo e a eliminação da cobertura superficial, ou seja, quanto maior o grau de revolvimento e menor proteção por resíduos, mais suscetível aos agentes erosivos o solo se encontrará (AMARAL ET AL., 2008).

A não mobilização e a cobertura superficial do solo conferem, respectivamente, maior resistência e estabilidade, e maior proteção da superfície contra os agentes erosivos. Quanto maior a intensidade de preparo do solo maior a redução de cobertura, rugosidade e porosidade, promovendo ainda, aumento do grau de pulverização da camada superficial, formação de selamento, crosta e compactação subsuperficial, aumentando os riscos de erosão (LARSON, 1964; CASSEL ET AL., 1995),

A Equação Universal de Perda de Solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978) (Equação 1) é a principal ferramenta utilizada para a estimativa das perdas de solo, sendo ela a resultante da integração dos fatores potencial erosivo da chuva, susceptibilidade do solo à erosão, comprimento e declividade do terreno, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas complementares.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Onde:

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

R = fator erosividade da chuva ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$)

K = fator erodibilidade do solo ($t\ ha\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha^{-1}$)

L = fator comprimento do declive (adimensional)

S = fator declividade do terreno (adimensional)

C = fator cobertura e manejo do solo (adimensional)

P = fator prática mecânica conservacionista de suporte (adimensional)

A erosividade da chuva refere-se ao potencial da chuva e escoamento superficial em causar erosão, a qual varia com as características da chuva, como intensidade, volume, duração e frequência, variando espacial e temporalmente (WISCHMEIER & SMITH, 1978). No Brasil, os valores de erosividade média anual variam de 5.000 a 12.000 t mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$ (COGO, 1988).

A erodibilidade refere-se à susceptibilidade do solo à erosão hídrica, expressa como a quantidade de solo perdida por unidade de erosividade (WISCHMEIER & SMITH, 1978). As principais características do solo que influenciam este fator são textura, estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica, estrutura do solo, presença de óxidos e umidade do solo. No Brasil, os valores estimados do índice de erodibilidade situam-se na faixa de 0,006 a 0,049 t $ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$ (COGO, 1988).

O grau do declive e o comprimento de rampa são dois importantes fatores que determinam a quantidade de enxurrada nos solos (BERTONI, 1959). Estudos feitos por Wischmeier & Smith, (1978) e Hudson (1971), indicam que as perdas de solo por unidade de área (A) variam aproximadamente com a potência 0,2 a 0,8 do comprimento do declive (L) e à potência 1,2 a 1,8 do grau do declive (S), ou seja, $A \propto L^{0,2 \ a 0,8}$ e $A \propto S^{1,2 \ a 1,8}$. Duplicando o grau do declive e o comprimento de rampa, as perdas de solo aumentam 2,26 vezes e 3,09 vezes, respectivamente. (BERTONI, 1959).

A relação das perdas de solo de uma dada área sob um dado tipo de cobertura e manejo do solo, com as perdas de solo da mesma área mantida continuamente descoberta e preparada convencionalmente no sentido do declive, expressa o efeito relativo da cobertura e manejo do solo na erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Cogo (1985) obteve o fator C para três sistemas de preparo do solo na cultura da soja, encontrando os valores 0,200, 0,051 e 0,039, para os preparamos convencional, reduzido e sem preparo, respectivamente. Para a cultura do milho,

Bertol et al., (2002a), obteve os valores do fator C de 0,110, 0,081 e 0,061, para os preparamos convencional, reduzido e sem preparo, respectivamente.

As práticas conservacionistas de suporte, refere-se à relação das perdas de solo de uma dada área sob prática conservacionista complementar tais como, terrameamento, cultivo em contorno e cultivo em faixas, e as perdas de solo da mesma área sem nenhuma dessas práticas. Wischmeier & Smith (1978), atribuem valores de P de 0,1, 0,5 e 0,25, para terrameamento, cultivo em contorno e cultivo em faixas, respectivamente.

2.1.3 Perdas de água por erosão hídrica

As perdas de água por erosão hídrica referem-se à quantidade de água da chuva que não infiltrou e não ficou retida por retenção ou detenção superficial, saindo assim da área de ocorrência do fenômeno, na forma de escoamento superficial ou enxurrada.

As perdas de água na forma de enxurrada, diferentemente das perdas de solo, são inversamente proporcionais ao grau de mobilização do solo. Assim, quanto maior o revolvimento pelo preparo do solo, maior a rugosidade superficial e maior a porosidade total da camada preparada (COGO ET AL., 2007), portando o solo terá maior capacidade de retenção e maior infiltração de água, resultando em menores perdas de água por escoamento, desde que não ocorra o selamento superficial do solo.

De acordo com Huggins (1979), o processo de infiltração de água no solo pode ser considerado um dos mais importantes do ciclo hidrológico, uma vez que, a partir dele, é possível estimar a enxurrada e, em decorrência, calcular a quantidade de água da chuva que irá ficar retida no sistema.

A frequência das chuvas afeta as perdas de solo e água devido ao teor de água do solo antecedente à chuva. Assim, o solo submetido a chuvas frequentes apresenta maior umidade, o que resulta em maior volume de escoamento superficial (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

A análise das taxas e volumes escoados ao longo do tempo é facilitada pela construção de hidrogramas (PORTELA ET AL., 2011), gráficos que representam a variação temporal da vazão. Parâmetros diretos como o tempo de início do escoamento, vazão máxima e volume total escoado e parâmetros indiretos como a

taxa de infiltração, podem ser estimados pela interpretação do hidrograma e servem como subsídio para comparar a eficiência de diferentes formas de manejo do solo e cultivos no controle da erosão.

2.2 SEMEADURA DIRETA E EROSÃO HÍDRICA

O sistema de semeadura direta é um sistema de manejo conservacionista do solo que envolve, necessariamente, rotação de culturas, mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura e cobertura permanente do solo (CASSOL ET AL., 2007). Este sistema resultou em aumentos na produtividade das principais culturas produtoras de grãos e na preservação e melhoria da capacidade produtiva do solo no Brasil (SALTON ET AL., 1998 *apud* SILVA & DE MARIA, 2011), pela redução da erosão, reciclagem de nutrientes, melhoria na atividade biológica e preservação dos resíduos culturais.

Estima-se que, em média, o sistema de semeadura direta reduz as perdas de solo e de água em 80 e 60%, respectivamente, em relação aos preparamos convencionais (SCHICK ET AL., 2000; LEITE ET AL., 2004; BERTOL ET AL., 2007). Esta redução induziu os produtores a dispensarem de suas áreas agrícolas outras práticas conservacionistas de suporte, como os terraços e o cultivo em contorno (DENARDIN ET AL., 2005; COGO ET AL., 2007), baseados na ideia de que no sistema de semeadura direta, a erosão e o escoamento superficial seriam totalmente controlados (COGO ET AL., 2007).

A adoção deste manejo sem as práticas conservacionistas, foi equivocado em algumas regiões e condições. Segundo Denardin et al. (2005), devido às características pluviais das regiões de clima temperado e subtropical do Sul do Brasil, a cobertura permanente do solo e a estabilização da estrutura do solo, otimizadas no sistema de semeadura direta, não asseguram condição suficiente para disciplinar os fluxos de energia e de matéria e, consequentemente, não conferem ao sistema de semeadura direta total proteção do solo contra a erosão.

Outra situação é sobre longos comprimentos de rampa e/ou maiores inclinações do terreno, que podem proporcionar elevadas perdas de solo e água na forma de enxurrada, mesmo em sistema de semeadura direta (FOSTER ET AL., 1982; COGO ET AL., 1996; BERTOL ET AL., 1997; BARBOSA ET AL., 2011).

Apenas recentemente estudos sobre o efeito da direção da semeadura no sistema de semeadura direta estão sendo realizados, como o de Cogo et al. (2007), que mostram reduções de 74 e 26 % nas perdas de solo e de água quando a semeadura foi realizada em contorno ao declive.

Cogo et al., (2003), Mello et al., (2003) e Bertol et al., (2007) verificaram menor eficiência do sistema de semeadura direta no controle da enxurrada do que no controle das perdas de solo em relação ao sistema convencional.

2.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS PLANTAS E COBERTURA DO SOLO

A vegetação diminui a velocidade de chegada da água no solo pela interceptação das gotas de chuva, de forma a retardar ou desviar o escoamento superficial, o que facilita a infiltração de água no solo, reduzindo as perdas por erosão e aumentando a transferência de água para a atmosfera (BERTONI & PASTANA, 1964).

Características morfológicas das plantas, como tipo de sistema radicular e parte aérea, ângulo e forma de disposição das folhas em relação ao colmo, quantidade e espessura dos colmos e o hábito de crescimento, exercem influência na erosão hídrica (SILVA ET AL., 1986). O espaçamento entre fileiras e entre plantas, tempo de fechamento do dossel e queda das folhas ao final do ciclo também são características das plantas que influenciam as perdas de água e solo. Dechen et al. (1981), constataram que em geral as gramíneas foram mais eficazes do que as leguminosas na diminuição das perdas de solo, em todos os estádios de desenvolvimento das culturas. Os autores atribuíram este fato ao sistema radicular das gramíneas, que atua como importante agente reestruturador da camada arável, tornando o solo mais resistente à ação do impacto desagregador das gotas de chuva.

Plantas com sistema radicular fasciculado, como as gramíneas, apresentam maior volume de raízes aumentando a porosidade do solo e promovendo maior resistência do solo à desagregação pela enxurrada, contribuindo positivamente no aumento da infiltração e reduzindo o volume da enxurrada e das perdas de solo. Outro aspecto refere-se à interceptação da água da chuva. A água interceptada, que

fica retida na parte aérea das plantas pode ser evaporada, não contribuindo com o escoamento. Portanto, plantas com maior capacidade de armazenamento na parte aérea podem retardar o tempo de início do escoamento e, até, dependendo das características da chuva, reduzir o volume da enxurrada.

A cobertura do solo por resíduos vegetais apresenta grande importância na dissipação da energia cinética das gotas de chuva. Protege o solo da desagregação, primeira fase do processo erosivo, diminui o selamento superficial, e reduz a velocidade de escoamento superficial (BARBOSA ET AL., 2010), aumentando a infiltração de água no solo (COGO ET AL., 2003). Os resíduos promovem uma tortuosidade dos caminhos a serem percorridos pela água e ocasionam uma barreira física ao fluxo, de tal modo que diminuem a velocidade da enxurrada (BERTOL ET AL., 2010; PANACHUKI ET AL., 2011).

A cobertura do solo por resíduos é mais eficaz no controle da erosão do que a cobertura do solo pela copa das plantas, pois estas, mesmo interceptando as gotas de chuva, permitem que elas reprecipitem e adquiram energia cinética suficiente para causar erosão se o solo estiver descoberto (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

2.4 ORIENTAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SEMEADURA E EROSÃO HÍDRICA

A cobertura e manejo do solo e as práticas conservacionistas de suporte podem ser modificadas pela ação antrópica (FOSTER, 1982). Em função disso, podem criar condições que maximize ou minimize as perdas a níveis problemáticos ou insignificantes, respectivamente. Estes fatores interferem no processo erosivo na medida em que alteram a taxa de infiltração e a capacidade do solo de armazenamento superficial de água, a partir de alterações nas características físicas do solo, principalmente na cobertura, rugosidade e porosidade.

De acordo com Panachuki et al., (2011), as operações de preparo do solo influenciam fortemente a erosão hídrica das áreas cultivadas, alterando o microrrelevo e a cobertura por resíduos vegetais e promovendo a exposição da superfície do solo à ação da chuva e da enxurrada.

As condições superficiais do solo podem ser alteradas com o manejo utilizado. A direção da operação de semeadura influencia a orientação das marcas

deixadas pela semeadura e, como consequência, altera a infiltração de água no solo (COGO ET AL., 2007; LUCIANO ET AL., 2009). O fato de se realizar a operação de semeadura em contorno ao sentido do declive pode contribuir para reduções de até 50 % nas perdas de solo e 30 % nas perdas de água (WISCHMEIER & SMITH, 1978), em condições específicas de relevo e de cobertura do solo.

Quando a semeadura é realizada no sentido da pendente, os sulcos formados pela semeadura e pelo rodado do trator funcionam como canais de escoamento, nos quais a água da enxurrada se concentra ao longo do declive, desagregando e transportando solo com maior energia (LUCIANO ET AL., 2009).

Já no cultivo em contorno, as fileiras de plantas e sulcos formados, atuam como barreiras ao escoamento superficial, diminuindo assim sua velocidade e ainda filtrando os sedimentos nela contidos. Nesta forma de semeadura, os sulcos armazenam água e sedimentos, aumentando a infiltração e retardando o início da enxurrada (MICHELENA & MON, 2002; COGO ET AL., 2007; LUCIANO ET AL., 2009).

2.5 HIPÓTESES

1. As perdas de água e solo por erosão hídrica são maiores na semeadura direta realizada no sentido do declive do que em contorno, tanto no cultivo de milho quanto de soja e, em ambos os casos, menores do que no solo sem cultivo e descoberto.

2. O cultivo de milho é mais protecionista do solo que o cultivo de soja e os dois, mais que o solo sem cultivo e descoberto.

2.6 OBJETIVO

Quantificar as perdas de água e solo por erosão hídrica sob chuva simulada, em solo cultivado com soja e milho sob semeadura direta, nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparadas entre si, e com solo sem cultivo e descoberto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1 Localização e clima

A pesquisa foi desenvolvida em uma área experimental localizada a 27°46'57"S e 50°18'20" O de Greenwich, na região do planalto sul catarinense, com altitude média de 900 m e o relevo suave-ondulado com pendentes variando de 200 a 300 metros de comprimento. O clima, de acordo com Köeppen, é mesotérmico do tipo Cfb. De acordo com Bertol et al. (2002b), o fator erosividade média anual, El_{30} , para esta região é de 5.790 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$; em média, 84 % do volume das chuvas da região são erosivas e dentre estas, 52 % do volume ocorre no período primavera-verão.

3.1.2 Solo

O solo da área experimental é um Cambissolo Húmico Alumínico léptico (EMBRAPA, 1999; BARBOSA ET AL., 2002), ou seja, um Inceptisol (SOIL SURVEY STAFF, 1999), o qual representa aproximadamente 69% dos solos do município de Lages (EPAGRI, 2002). A erodibilidade do solo do local de estudo, de acordo com Bertol et al., (2002c), analisando dados de oito anos é de 0,0115 Mg $ha^{-1} h^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$. Para Cambissolo Húmico, a tolerância de perda de solo é 0,73 mm ano^{-1} (BERTOL & ALMEIDA, 2000).

3.1.3 Histórico

O local da área experimental era mantido com campo nativo até o ano de 2006, quando foi alterado para a implantação de experimentos de erosão sob chuva simulada. Foram realizadas operações de aração e gradagem e o solo corrigido para acidez e fósforo com a aplicação de calcário dolomítico e superfosfato triplo, conforme descrito em Barbosa et al. (2009).

No cultivo de primavera-verão de 2009-2010, cultivou-se milho solteiro, feijão solteiro, soja solteira e consórcio de milho e feijão, enquanto, no cultivo de outono-inverno de 2010, o cultivo foi de trigo.

3.2 UNIDADE EXPERIMENTAL

As dimensões da unidade experimental, ou parcela, eram de 11 m de comprimento na direção do declive e 3,5 m de largura, constituindo uma área útil de 38,5 m². Cada parcela foi delimitada na extremidade superior e nas laterais por chapas galvanizadas com 0,2 m de altura, cravadas a 0,1 m no solo, e na extremidade inferior a delimitação foi feita com uma calha coletora de enxurrada conectada a um tubo de PVC, o qual conduzia a enxurrada até uma trincheira localizada 6 m abaixo da parcela (Figura 1).



Figura 1 - - Unidade experimental constituída por uma parcela de 38,5 m², delimitada por chapas galvanizadas na extremidade superior e laterais e na parte inferior por uma calha coletora da enxurrada acoplada a um tubo de PVC.

Foram instaladas e delimitadas 10 parcelas, conforme Wischmeier & Smith (1978) e Swanson (1965), para a aplicação de testes de chuva simulada com o simulador de chuvas de braços rotativos (SWANSON, 1965).

3.3 TRATAMENTOS

Sobre oito parcelas da área experimental foram cultivados, no sistema de semeadura direta, soja e milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive, no período primavera-verão (2010 – 2011) e mantidas duas parcelas testemunhas, sem cultivo, com preparo por meio de uma aração e duas gradagens.

Os tratamentos foram distribuídos em dois blocos ao acaso. Em cada bloco, cada uma das repetições dos cinco tratamentos foram sorteadas ao acaso. O croqui da área experimental pode ser visualizado na Figura 2.



Figura 2 - Imagem aérea da área experimental, com destaque à posição e delimitação das parcelas com seus respectivos tratamentos: soja semeada no sentido do declive (SD), milho semeado no sentido do declive (MD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado em contorno ao declive (MC) e parcela testemunha (T). Fonte: Google Earth. 2012, modificado por Marioti, 2012.

Os tratamentos, divididos em dois grupos (I e II), foram os seguintes:

I – Tratamentos com cultivo do solo sob semeadura direta, sobre resíduo cultural de trigo (Figuras 5a, 5b, 5d e 5e):

Tratamento 1: cultivo de soja com orientação de semeadura no sentido do declive;

Tratamento 2: cultivo de soja com orientação de semeadura em contorno no declive;

Tratamento 3: cultivo de milho com orientação de semeadura no sentido do declive;

Tratamento 4: cultivo de milho com orientação de semeadura em contorno no declive;

II – Tratamento sem cultivo do solo, preparado com uma aração e duas gradagens (Figura 5c):

Tratamento 5 - Testemunha – solo sem cultivo e descoberto.

O experimento teve início em dezembro de 2010 com a colheita do trigo cultivado nas parcelas antes de instalar os tratamentos (Figura 3a). As espigas do trigo foram colhidas manualmente e a palha restante foi picada e redistribuída uniformemente sobre as parcelas nas quais a soja e o milho seriam semeados sob semeadura direta, mantendo-se 100 % de cobertura do solo (Figura 3b).

Nas parcelas com cultivo do solo foram abertos sulcos com profundidade média de 0,056 m, utilizando-se um trator e semeadora composta por discos de corte e hastes sulcadoras do tipo BERTANHA BR-1253 (Figura 3c). Em quatro das parcelas os sulcos foram abertos simulando-se a operação de semeadura da soja, com espaçamento entre linhas de 0,45m. Nas outras quatro parcelas, a operação simulou a semeadura de milho com espaçamento entre linhas de 0,8 m.

As operações de semeadura e adubação foram realizadas consecutivamente após a abertura dos sulcos e de forma manual, para garantir a uniformidade de distribuição tanto das sementes quanto do adubo. A adubação foi feita nos sulcos, aplicando-se 400 kg ha⁻¹ da formulação 7-30-15 NPK, o equivalente a aproximadamente 1,5 kg por parcela.

A semeadura do milho e da soja foi realizada utilizando-se um “saraquá” ou “matraca”, regulado para depositar de duas a três sementes de milho por cova e de três a quatro sementes de soja por cova (Figura 3d). Em quatro parcelas a operação de abertura dos sulcos foi realizada no sentido da pendente (Figura 4a) e em outras quatro, no sentido em contorno ao declive (Figura 4b).

Nas duas parcelas de soja semeadas no sentido do declive tiveram oito sulcos por parcela, enquanto as de milho, quando semeadas neste sentido, tiveram cinco sulcos por parcela. Quando semeadas em contorno ao declive, o número de sulcos por parcela foi de 24 para a soja e de 14 para o milho.

Nas duas parcelas onde o solo permaneceu descoberto e sem cultivo, a área primeiramente foi roçada, retirados os resíduos culturais e o solo foi posteriormente revolvido, com uma operação de aração e duas gradagem, utilizando-se um rastelo para eliminar as marcas do preparo. O solo foi mantido destorrado, sem culturas e sem resíduos culturais até o final do experimento.



Figura 3 - Implantação do experimento à campo, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em Lages-SC: a) cultura do trigo, cultivado antes da implantação do experimento; b) resíduos de trigo distribuídos uniformemente sobre a área das parcelas; c) abertura dos sulcos com a semeadora BERTANHA BR 1253. d) semeadura manual da soja e milho com o uso de um “saraquá”.



Figura 4 - Detalhes da direção da operação de semeadura: a) sulcos abertos no sentido em contorno ao declive; b) sulcos abertos no sentido do declive.

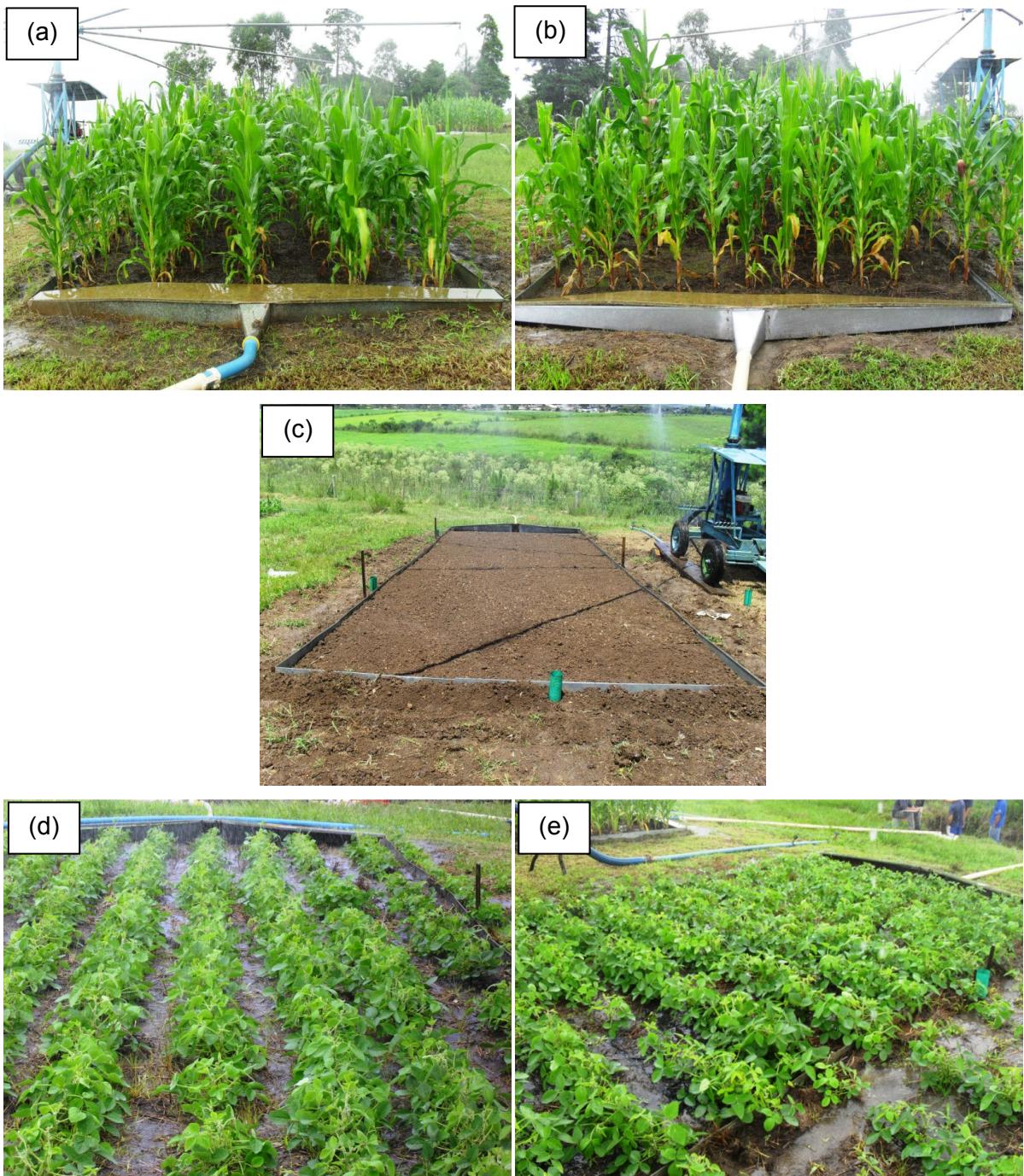


Figura 5 - Experimento implantado em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em Lages – SC: a) milho semeado no sentido do declive (MD); b) milho semeado em contorno ao declive (MC); (c) parcela padrão, testemunha (T); d) soja semeada no sentido do declive (SD) e e) soja semeada em contorno ao declive (SC).

3.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

Para fins de caracterização de algumas propriedades físicas do solo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em cada parcela, nas camadas de

0-0,025; 0,025-0,05; 0,05-0,1; e 0,1-0,2 m. As amostras deformadas foram utilizadas para a determinação da textura do solo (método da pipeta), densidade de partículas (método do balão volumétrico) e estabilidade de agregados em água (método por via úmida padrão – KEMPER & CHEPIL, 1965) (EMBRAPA, 1999). As amostras indeformadas foram utilizadas para a determinação da densidade do solo (método de pesagem) e porosidade total, macroporosidade e microporosidade (método da mesa de tensão). Estes dados, referentes à profundidade de 0 a 0,025m, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1- Declividade do terreno (S), granulometria, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP) e diâmetro médio de agregados (DMP), da camada superficial do solo (0 – 0,025 m) das parcelas experimentais em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, após a implantação dos tratamentos.

| | Trat. | S | Areia | Silte | Argila | Dp | Ds | Pt | MaP | MiP. | DMP |
|--------------|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Bloco 1 | SD | 0,139 | 0,16 | 0,40 | 0,44 | 2,45 | 0,93 | 0,62 | 0,33 | 0,29 | 5,7 |
| | MD | 0,145 | 0,16 | 0,41 | 0,43 | 2,33 | 0,86 | 0,63 | 0,32 | 0,31 | 5,0 |
| | SC | 0,137 | 0,19 | 0,43 | 0,38 | 2,42 | 1,25 | 0,45 | 0,06 | 0,39 | 5,6 |
| | MC | 0,134 | 0,19 | 0,41 | 0,40 | 2,51 | 1,33 | 0,48 | 0,12 | 0,36 | 5,4 |
| | T | 0,129 | 0,20 | 0,39 | 0,41 | 2,49 | 1,35 | 0,46 | 0,08 | 0,38 | 5,3 |
| Bloco 2 | SD | 0,137 | 0,26 | 0,43 | 0,31 | 2,42 | 0,99 | 0,60 | 0,24 | 0,36 | 6,1 |
| | MD | 0,124 | 0,22 | 0,44 | 0,34 | 2,45 | 1,24 | 0,49 | 0,12 | 0,37 | 5,6 |
| | SC | 0,128 | 0,22 | 0,44 | 0,34 | 2,27 | 1,09 | 0,52 | 0,16 | 0,36 | 5,1 |
| | MC | 0,134 | 0,32 | 0,41 | 0,27 | 2,54 | 1,06 | 0,59 | 0,20 | 0,39 | 6,1 |
| | T | 0,136 | 0,19 | 0,38 | 0,43 | 2,51 | 0,88 | 0,65 | 0,32 | 0,33 | 4,3 |
| <i>Média</i> | | <i>0,134</i> | <i>0,21</i> | <i>0,42</i> | <i>0,37</i> | <i>2,44</i> | <i>1,10</i> | <i>0,56</i> | <i>0,18</i> | <i>0,36</i> | <i>5,4</i> |

SD: soja no sentido do declive; MD milho no sentido do declive; SC: soja em contorno ao declive; MC: milho em contorno ao declive; T: testemunha.

3.5 CHUVA SIMULADA

3.5.1 Aparelho simulador de chuvas

Para a realização das chuvas simuladas, utilizou-se um aparelho simulador de chuva de braços rotativos (SWANSON, 1965) que cobria simultaneamente duas unidades experimentais, distanciadas entre si em 3,5 m (Figura 6). O aparelho é composto por 10 braços de 7,5 m de comprimento, distribuídos radialmente em uma

torre central. A área total de abrangência do simulador é de 200 m². Nos braços existem 30 bicos distribuídos de forma helicoidal, formando uma espiral concêntrica, sendo que para a realização das chuvas foram usados 15 bicos abertos. Os bicos aspersões usados para produzir a chuva artificial são do tipo VEEJET 80/100 (MEYER & MCCUNE, 1958).



Figura 6 - Aparelho simulador de chuvas de braços rotativos tipo Swanson, com aplicação de chuva sobre duas parcelas simultaneamente.

3.5.2 Testes de chuva simulada

Sobre os tratamentos foram aplicadas chuvas simuladas com duração de 90 min. e intensidade constante e planejada de 65 mm h⁻¹. A intensidade das chuvas foi controlada por meio de um manômetro, localizado a aproximadamente 6 m da entrada de água do simulador, operando com pressão de 12,3 psi (0,87 kgf cm⁻²). O ajuste da pressão necessária para se conseguir a intensidade de chuva planejada, foi realizado manualmente, abrindo ou fechando um registro. A fonte de água era proveniente de um reservatório próximo ao local, onde a água era captada por um conjunto motobomba e conduzida até o simulador por meio de tubulação de PVC de encaixe rápido, de 75 mm de diâmetro.

O primeiro teste foi realizado 30 dias após a semeadura das culturas e, os demais, espaçados em média de 30 em 30 dias.

3.6 PROCEDIMENTOS EFETUADOS À CAMPO

3.6.1 Antes da aplicação dos testes de chuva simulada

Antes de cada teste de chuva simulada foram quantificadas a porcentagem de cobertura do solo por resíduos pelo método da “corda marcada” descrito por Sloneker & Moldenhauser (1977) e a porcentagem de cobertura do solo pela copa das plantas pelo método do “metro sombreado” descrito por Adams & Arkin (1977).

No método da corda marcada (Figura 7), uma corda de 5 m de comprimento, marcada a cada 0,05 m, foi estendida na diagonal sobre os resíduos de cada parcela, em dois locais (formando um X). Em cada marcação na corda, contaram-se os pontos que coincidiram exatamente sobre uma peça do resíduo cultural, sendo o número de pontos com resíduo correspondente a porcentagem de cobertura por resíduos.

No método do metro sombreado, uma régua de um metro de comprimento foi estendida ao lado da linha e sob a copa das plantas, em três locais na parcela e, a cada 0,1 m, mediu-se sobre o metro a extensão transversal da projeção das copas. A média dessas medidas foi dividida pelo espaçamento entre linhas das culturas e multiplicado por cem, resultando na porcentagem de cobertura do solo.



Figura 7 - Determinação da cobertura do solo pelo método da corda marcada, anterior a operação de semeadura em uma das parcelas morro abaixo, sobre resíduo de trigo.

Imediatamente antes de cada teste de chuva simulada foram coletadas amostras de solo em um ponto em cada parcela, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, para determinação do teor de água gravimétrico no solo (FORYSTHE, 1975).

3.6.2 Durante a aplicação de cada chuva simulada

Durante as chuvas registrou-se o tempo de início e de término do escoamento a partir do início da chuva. A partir do início do escoamento superficial, em intervalos regulares de 5 min., conforme metodologia descrita em Cogo (1981), foram realizadas medições do fluxo instantâneo de escoamento e coletas para quantificar as perdas instantâneas de solo. O fluxo instantâneo de escoamento foi determinado manualmente por meio de medições de vazão, utilizando-se uma proveta graduada e cronômetro (Figura 8a). Para a quantificação das perdas de solo, foram coletadas amostras da enxurrada utilizando-se potes plásticos, com pesos conhecidos, com capacidade de 0,8 L (Figura 8b). As amostras coletadas nos potes plásticos eram levadas ao laboratório para a quantificação da proporção entre água e sedimentos contidos em cada amostra, sendo a concentração de sedimentos na enxurrada.



Figura 8 - Procedimentos realizados a cada 5 min. durante os testes de chuva simulada: a) medição da taxa instantânea de enxurrada pelo processo direto de medição de vazão; b) coleta de amostras da enxurrada para determinação das perdas instantâneas de solo.

Foram medidas a velocidade da enxurrada e a intensidade real da chuva aplicada. A velocidade de escoamento superficial foi determinada utilizando-se um corante químico solúvel em água a 1,5 % (azul de metileno), sendo estimada pelo

tempo que o corante gastava para percorrer 6 m de distância na parcela (Figura 9a). A intensidade da chuva aplicada foi medida com auxílio de 20 pluviômetros distribuídos estratégicamente sobre a área coberta pela chuva simulada, em duas parcelas simultâneas (Figura 9b).

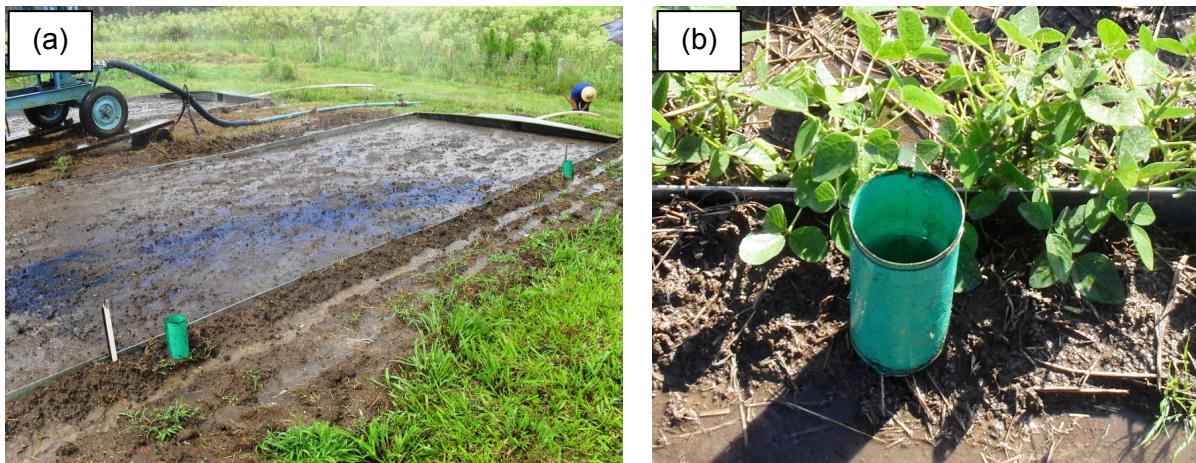


Figura 9 - Procedimentos realizados durante os testes de chuva simulada: a) medição da velocidade de escoamento, utilizando um corante azul de metileno; b) pluviômetros para determinação da intensidade real da chuva simulada.

3.7 PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS EFETUADOS EM LABORATÓRIO E ESCRITÓRIO

Com o auxílio do software Pderosão[®] foram calculadas a taxa instantânea de escoamento e a concentração instantânea de sedimentos na enxurrada para cada minuto da enxurrada por meio da interpolação linear dos dados coletados nos intervalos de 5 min..

3.7.1 Erosividade das chuvas

A erosividade (EI) das chuvas simuladas foi calculada conforme a metodologia de Meyer (1958), por meio da seguinte equação:

$$EI = 0,2083 \cdot Q \cdot I \quad (2)$$

Q = altura de chuva aplicada (mm) e;

I = intensidade da chuva aplicada (mm h⁻¹).

A intensidade média da chuva aplicada durante o experimento foi de 66,5 mm h⁻¹ e altura média da lâmina de água de 99,8 mm por teste, em cada parcela. Portanto a erosividade média das chuvas foi de 1.382,4 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. A intensidade média de chuva, volume aplicado e erosividade por teste em cada tratamento, bem como a erosividade total encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Características das chuvas aplicadas em cada teste de chuva simulada nos tratamentos com soja declive, soja contorno, milho declive, milho contorno e testemunha. Média das repetições.

| Testes de chuvas | Intensidade média (mm h ⁻¹) | Altura de chuva aplicada (mm) | Erosividade (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹) |
|------------------|---|-------------------------------|---|
| Soja declive | | | |
| 1 | 74,08 | 111,12 | 1714,7 |
| 2 | 64,45 | 96,68 | 1297,9 |
| 3 | 64,14 | 96,20 | 1285,2 |
| 4 | 65,44 | 98,16 | 1338,0 |
| TOTAL | | | 5635,8 |
| Soja contorno | | | |
| 1 | 69,68 | 104,51 | 1516,8 |
| 2 | 65,50 | 98,25 | 1340,5 |
| 3 | 66,55 | 99,83 | 1383,8 |
| 4 | 63,30 | 94,95 | 1252,0 |
| TOTAL | | | 5493,1 |
| Milho declive | | | |
| 1 | 75,01 | 112,52 | 1758,0 |
| 2 | 64,03 | 96,05 | 1281,0 |
| 3 | 64,14 | 96,20 | 1285,2 |
| 4 | 62,84 | 94,25 | 1233,6 |
| TOTAL | | | 5557,8 |
| Milho contorno | | | |
| 1 | 68,75 | 103,12 | 1476,6 |
| 2 | 65,92 | 98,88 | 1357,7 |
| 3 | 66,55 | 99,83 | 1383,8 |
| 4 | 65,91 | 98,86 | 1357,1 |
| TOTAL | | | 5575,3 |
| Testemunha | | | |
| 1 | 70,15 | 105,23 | 1537,6 |
| 2 | 66,24 | 99,36 | 1370,9 |
| 3 | 65,00 | 97,50 | 1320,1 |
| 4 | 62,49 | 93,74 | 1220,1 |
| TOTAL | | | 5448,7 |

3.7.2 Taxa instantânea de enxurrada e perda total de água

A taxa instantânea de escoamento foi determinada utilizando as medições do fluxo instantâneo, expressa em mm h^{-1} , e o volume da enxurrada de cada chuva simulada, representando as perdas de água, foi obtido pela integração das taxas instantâneas de enxurrada.

A perda total de água foi expressa como o percentual da chuva aplicada.

3.7.3 Taxa instantânea de erosão e perda total de solo

As amostras da enxurrada que foram coletadas a cada 5 min. nos potes plásticos de 0,8 L (pré pesados) foram encaminhadas ao laboratório e pesados. Em cada amostra adicionou-se cinco gotas de HCl 2,5 N, para promover a floculação dos sedimentos em suspensão e facilitar a decantação. Depois de um período de 48 horas, após os sedimentos terem decantado, o excesso de água foi retirado com o uso de um sistema de sifão, deixando-se uma lâmina de aproximadamente 2 cm acima dos sedimentos. Os potes contendo as amostras foram levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 50°C por 72 horas e posteriormente pesados. O cálculo da concentração instantânea de sedimentos na enxurrada foi efetuado dividindo-se o peso dos sedimentos secos pelo peso dos sedimentos + água, sendo o resultado expresso em kg m^{-3} .

Para o cálculo da taxa instantânea de perda de solo, kg h^{-1} , multiplicou-se a taxa instantânea de enxurrada, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$, pela concentração instantânea de sedimentos, kg m^{-3} . A quantidade total de solo perdido foi obtida pela integração das taxas instantâneas de perda de solo e os resultados foram extrapolados para a área de 1 ha, sendo expressos, portanto, em kg ha^{-1} .

O Fator K, correspondente a erodibilidade do solo, foi calculado pela relação da perda de solo total na parcela testemunha com a erosividade total dos quatro testes de chuva simulada (equação 3).

$$\text{Fator } K = \frac{PS_{\text{total da parcela padrão}}}{\text{Erosividade}_{\text{total dos 4 testes}}} \quad (3)$$

3.7.4 Ajuste dos dados

Os resultados de escoamento total, infiltração total de água e perda total de solo foram ajustados para a intensidade de chuva planejada de 65 mm h^{-1} segundo Cogo (1981), conforme a equação (4).

$$FCI = \left[\frac{i_{planejada}}{i_{real}} \right]^2 \quad , \text{ onde} \quad (4)$$

FCI = Fator de correção da intensidade

$i_{planejada}$ = intensidade de chuva planejada (65 mm h^{-1})

i_{real} = intensidade de chuva real, medida durante os testes; mm h^{-1}

Após este ajuste, a perda total de solo foi, ainda, ajustada para a declividade média das parcelas experimentais de $0,134 \text{ m m}^{-1}$ (Tabela 1), devido à variação verificada na declividade de cada uma das unidades experimentais. Este ajuste foi obtido com base no fator S da USLE (Wischmeier & Smith, 1978), pela equação 5 a seguir:

$$FCS = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 65,41 (\operatorname{sen} \theta)^2, \text{ onde,} \quad (5)$$

FCS = fator S; e

θ = ângulo do declive.

As perdas de solo ajustadas para a intensidade e declividade eram multiplicadas pelos fatores de correção FCI e FCS, de acordo com a equação 6.

$$PS_{ajustada} = PS \times FCI \times FCS \quad (6)$$

3.7.5 Tratamento estatístico dos dados

O delineamento experimental definido foi de blocos ao acaso, em esquema factorial $4 \times 2 \times 2$ com parcela testemunha. O primeiro fator representa os quatro testes de chuva simulada realizados ao longo do ciclo das culturas. Os outros dois fatores qualitativos, cultura e forma de semeadura, em dois níveis cada, milho e soja, no primeiro e, semeadura em contorno e no sentido do declive, no segundo. Quando houve interação ($p < 0,05$) ou muito próximo de 0,05, embora levemente maior, as

interações foram desdobradas e os efeitos simples de cada fator foram estudados. Aplicou-se Tukey ao nível de probabilidade de 5 % de significância e análise de regressão relacionando a umidade do solo com tempo de início do escoamento e com perdas de água e as variações no tempo, quando significativas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da análise estatística dos dados coletados encontram-se na tabela 3. Indicando os Graus de Liberdade (GL) e Quadrado Médio (QM) da Análise de variância (ANOVA) e coeficiente de variação (CV %), dos valores de umidade do solo (U), cobertura pela copa (CC), cobertura por resíduos (CR), tempo de início do escoamento (TI), velocidade da enxurrada (VE), perdas de solo (PS) e perdas de água (PA).

Tabela 3 - Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) da Análise de variância (ANOVA) e coeficiente de variação (CV %) dos valores de umidade do solo (U), cobertura do solo pela copa das culturas (CC), cobertura do solo por resíduo cultural (CR), tempo de início do escoamento (TI), velocidade da enxurrada (VE), perda de solo (PS) e perda de água (PA).

| Fonte de variação | GL | QM | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | U | CC | CR | TI | VE | PS | PA |
| Teste de chuva (T) | 3 | 161,78 ** | 3657,3** | 225,3** | 563,7** | 0,0017** | 0,190 ^{NS} | 1259,0** |
| Tipo de cultura (C) | 1 | 11,73 ^{NS} | 7087,6** | 300,1** | 114,4* | 0,0000 ^{NS} | 2,190** | 702,1 ^{NS} |
| Direção de semeadura (S) | 1 | 6,46 ^{NS} | 32,1 ^{NS} | 30,0 ^{NS} | 107,0* | 0,0072** | 1,230** | 1864,3** |
| T x C | 3 | 17,17 ^{NS} | 52,3 * | 54,4 * | 28,1 ^{NS} | 0,0001 ^{NS} | 0,088 ^{NS} | 127,8 ^{NS} |
| T x S | 3 | 3,67 ^{NS} | 37,0 ^{NS} | 39,9 ^{NS} | 25,8 ^{NS} | 0,0002 ^{NS} | 0,034 ^{NS} | 150,1 ^{NS} |
| C x S | 1 | 11,40 ^{NS} | 36,9 ^{NS} | 72,0 * | 23,6 ^{NS} | 0,0008 ^{NS} | 0,346* | 254,9 ^{NS} |
| T x C x S | 3 | 4,21 ^{NS} | 50,1* | 17,7 ^{NS} | 2,1 ^{NS} | 0,0002 ^{NS} | 0,009 ^{NS} | 50,9 ^{NS} |
| Trat. x testemunha | 1 | 5,06 ^{NS} | -- ¹ | -- ¹ | 30,8 ^{NS} | 0,0027** | 4,781** | 6,7 ^{NS} |
| Erro | 16 (17) ¹ | 10,19 | 12,5 | 14,6 | 14,6 | 0,0002 | 0,077 | 175,6 |
| CV% | | 10,5 | 7,6 | 5,6 | 37 | 16,82 | 10,05 | 19,1 |

¹Não foi considerada a testemunha por ela estar numa condição sem cultivo do solo, neste caso o grau de liberdade (GL) do resíduo foi igual a 17.

²Normalização dos dados utilizando-se escala logarítmica.U: umidade do solo; CC: Cobertura pela copa; CR: cobertura por resíduos; VE: velocidade da enxurrada; TI: tempo de início do escoamento; PS: perda de solo; e PA: perda de água; CV %: coeficiente de variação. ** significativo ao nível de 1 % de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); NS, não significativo ($p > 0,05$).

4.1 UMIDADE DO SOLO IMEDIATAMENTE ANTES DOS TESTES DE CHUVA SIMULADA

A umidade do solo, na camada de 0 a 0,10 m, determinada em cada parcela, imediatamente antes de cada um dos testes de chuva simulada, apresentou variação apenas entre os testes de chuva simulada (Tabela 3).

Os dados de umidade do solo bem como a comparação das médias pelo Teste de Tukey (5 %) estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Umidade residual do solo (camada de 0 – 0,10 m), determinada imediatamente antes dos testes de chuva simulada, para os diferentes tratamentos, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, Lages – SC (média de duas repetições).

| Teste (DAS) ¹ | Soja | | Milho | | Test. | Média ² |
|-----------------------------|---------|----------|---------|----------|-------|--------------------|
| | Declive | Contorno | Declive | Contorno | | |
| % | | | | | | |
| 1 (30) | 33,1 | 28,3 | 29,2 | 29,6 | 26,0 | 29,2 b |
| 2 (64) | 39,6 | 37,2 | 34,0 | 33,1 | 34,7 | 35,7 a |
| 3 (88) | 25,2 | 22,5 | 25,4 | 26,9 | 25,3 | 25,1 c |
| 4 (120) | 30,8 | 32,3 | 30,4 | 30,6 | 29,4 | 30,7 b |

¹Dia após a semeadura. ²Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 %;

As médias de umidade do solo no primeiro teste de chuva simulada, 29,2 %, e no quarto teste, 30,7 %, não diferiram. Do plantio (20/12/2010) até o primeiro teste (20/01/2011), de acordo com os dados da estação pluviométrica instalada no CAV/UDESC, ocorreram 16 eventos de chuva natural com um volume total de 244,5 mm. Do terceiro teste de chuva (19/03/2011) ao quarto teste (19/04/2011) foram 13 eventos de chuva natural, acumulando 158,7 mm.

No segundo teste de chuva simulada a umidade do solo apresentou a maior média, 35,7 %, coincidindo com o período de maior número e volume de precipitações. Entre o primeiro teste de chuva (20/01/2011) e o segundo (26/02/2012), ocorreram 26 eventos de chuvas naturais, totalizando um volume de 335,7 mm.

A menor média de umidade do solo, de 25 %, observada antes do terceiro teste de chuva, pode ser explicada pela estiagem ocorrida neste período, ou seja, entre o dia 26/02/2011 (2º teste) ao dia 19/03/2011 (3º teste), ocorreram seis eventos de chuva natural, acumulando um volume de 57,5 mm.

4.2 COBERTURA DO SOLO PELA COPA DAS PLANTAS

A área de terreno coberta pela copa das plantas apresentou variação em função do tipo de planta e da época de desenvolvimento da mesma, bem como na interação Cultura *versus* Testes de chuva (Tabela 3).

O milho promoveu maior cobertura do solo do que a soja durante todo o ciclo, não sendo influenciada pela forma de semeadura (Tabela 5).

Tabela 5 - Cobertura do solo pela copa das plantas antes dos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive (média de duas repetições).

| Teste (DAS ¹) | Soja | | | Milho | | |
|------------------------------|---------|----------|--------|---------|----------|--------|
| | Declive | Contorno | Média | Declive | Contorno | Média |
|% | | | | | | |
| 1 (30) | 7,0 | 7,5 | 7,3 | 28,8 | 37,5 | 33,1 |
| 2 (64) | 36,1 | 49,8 | 43,0 | 79,0 | 78,8 | 78,9 |
| 3 (88) | 49,0 | 52,4 | 50,7 | 86,0 | 79,5 | 82,7 |
| 4 (120) | 24,1 | 27,8 | 25,9 | 54,7 | 47,7 | 51,2 |
| Média ² | 29,1 | 34,4 | 31,7 a | 62,1 | 60,8 | 61,5 b |

¹Dia após a semeadura. ²Médias das culturas seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 %;

A maior cobertura do solo pela copa do milho foi de 80,8 %, na média dos testes 2 e 3 e das formas de semeadura, enquanto a menor proteção, 33 %, na média das formas de semeadura, ocorreu no teste 1. Souza et al. (2010), encontraram valores de cobertura máxima pela copa na cultura do milho de 78 % a 95 %, para diferentes cultivares. A cultura da soja apresentou a maior cobertura do solo pela copa durante o teste 3 (50,7 %), enquanto, no teste 1 ocorreu a menor cobertura (7,3 %). Amaral et al. (2008), observaram que a cobertura máxima atingida pela copa da soja foi de 80 % e Engel et al. (2009) observaram 100 %. A baixa cobertura promovida pelas plantas de soja neste experimento ocorreu pelo ataque de lebres no início do ciclo da cultura. Os animais alimentavam-se dos brotos das plantas, retardando o desenvolvimento subsequente da soja.

A partir da semeadura, a cobertura do solo pela copa das plantas (CC) aumentou em ambos os cultivos, atingindo um valor máximo, no terceiro teste de

chuva simulada na cultura da soja, no 86º dia após a semeadura (DAS) e, no segundo e terceiro testes na cultura do milho, no 86º e 89º DAS (Figura 10).

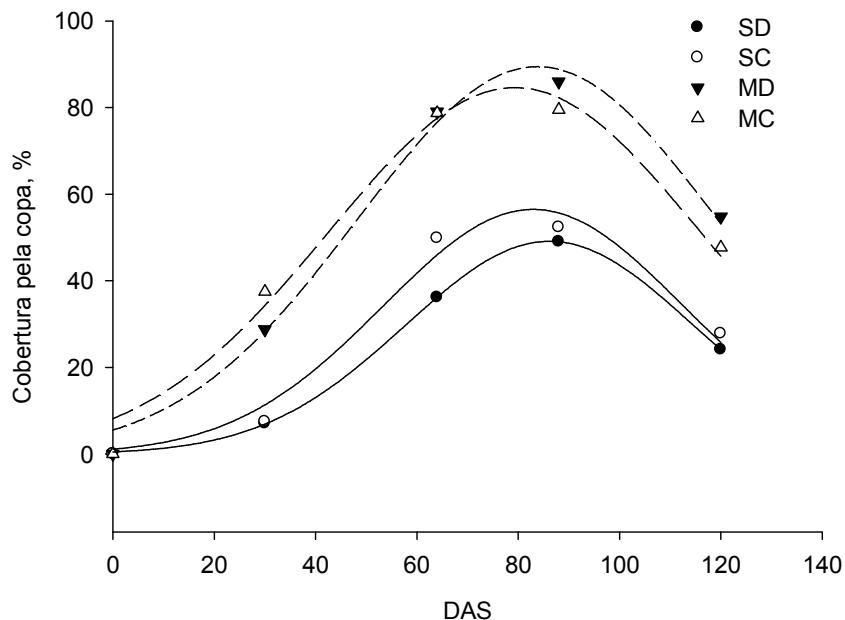


Figura 10 - Cobertura do solo pela copa das plantas (CC) dos tratamentos de soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD) e milho semeado em contorno ao declive (MC) em função dos dias após a semeadura (DAS).

No teste 4, já ao final do ciclo das culturas, ocorreu uma redução na CC, em ambos os cultivos, em função da senescênciadas plantas com consequente diminuição de massa da parte aérea. Na maioria dos trabalhos verificados, Amaral et al. (2008), Leite et al. (2004), Luciano et al. (2009) e Engel et al. (2009), a cobertura pela copa foi determinada até o máximo estágio de desenvolvimento das plantas, não detectando tal redução ao final do ciclo, a qual é determinada alguns dias antes da colheita.

4.3 COBERTURA DO SOLO POR RESÍDUOS CULTURAIS

A cobertura do solo por resíduos culturais (CR) apresentou variação ao longo dos testes de chuva simulada para as diferentes culturas, bem como, foi significativa a interação cultura *versus* forma de semeadura (Tabela 3).

Os dados de CR, determinados imediatamente antes dos testes de chuva simulada, para cada tratamento (média de duas repetições) e a comparação das médias pelo Teste de Tukey (5 %) estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Cobertura do solo por resíduos culturais antes dos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive. (média de duas repetições).

| Teste (DAS) | Soja | | | Milho | | |
|--------------------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|
| | Declive | Contorno | Média | Declive | Contorno | Média |
| % | | | | | | |
| 1 (30) | 72,3 | 69,3 | 70,8 | 79,5 | 79,0 | 79,3 |
| 2 (64) | 62,5 | 64,8 | 63,6 | 72,5 | 68,5 | 70,5 |
| 3 (88) | 53,3 | 60,5 | 56,9 | 68,8 | 66,0 | 67,4 |
| 4 (120) | 62,5 | 75,8 | 69,1 | 66,3 | 69,3 | 67,8 |
| Média ² | 62,6 bB | 67,6 aA | 65,1 | 71,8 aA | 70,7 aA | 71,2 |

¹Dia após a semeadura. ²Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas comparam as médias dentro de cada cultura e as letras maiúsculas comparam as médias das formas de semeadura.

A CR que era de 100 % antes da semeadura teve redução de 29 % nos tratamentos com soja e de 21 % nos com milho, em decorrência da semeadura das culturas e arreste pela enxurrada, pois a avaliação foi realizada antes do primeiro teste (30 dias após a abertura dos sulcos). Diferença atribuída ao maior número de sulcos na cultura da soja, devido ao menor espaçamento entre eles (Figura 11).

Cogo et al. (2003) verificou uma redução de 18 % na CR em áreas cultivadas com soja, com o mesmo espaçamento entre linhas. A diferença pode ser explicada pelo tipo de resíduo cultural, densidade, morfologia e tamanho das peças constituintes dos mesmos, dependendo do grau de fragmentação dos resíduos pelo picador de palhas utilizado na colhedora (LOPES, 1987) ou ainda pelo tipo de semeadura, com ou sem hastes sulcadoras. Levien & Cogo (2001) não constataram diferença na cobertura do solo após a operação de semeadura de milho e aveia no sistema de semeadura direta.

Nos tratamentos com soja, a relação metro linear de sulco por metro quadrado de área, foi 2,23, enquanto, nos tratamentos com milho, a relação foi de 1,37. Quanto maior esta relação, maior é a quantidade de resíduos incorporada ao solo pela haste sulcadora no momento da semeadura.

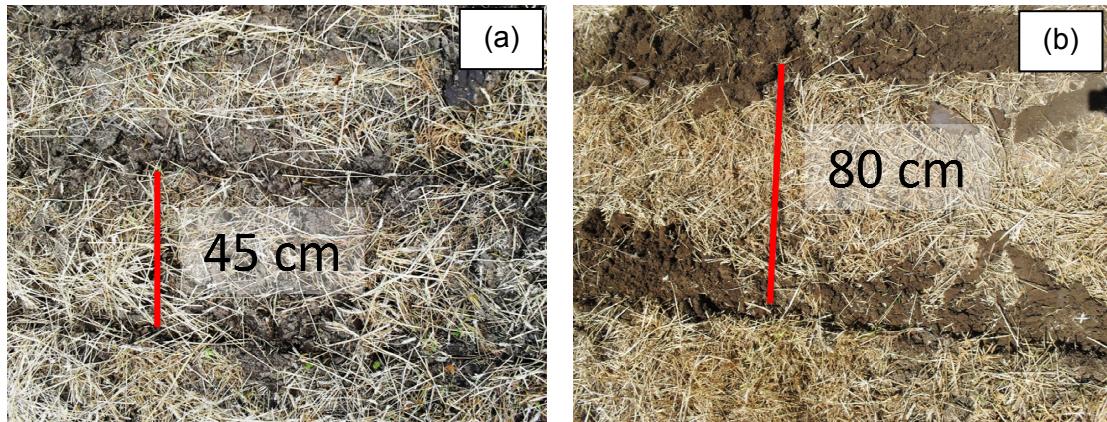


Figura 11 - Espaçamento entre sulcos: a) sulcos abertos para a semeadura da soja, com espaçamento de 0,45 m; b) sulcos abertos para a semeadura do milho, com espaçamento de 0,80 m.

A cobertura do solo por resíduos culturais apresentou tendência inversa à da CC (Figura 12) reduzindo ao longo dos DAS, mas com leve aumento na última avaliação. Além da diferença de CR entre as culturas, soja e milho, houve diferença entre a forma de semeadura para o cultivo da soja.

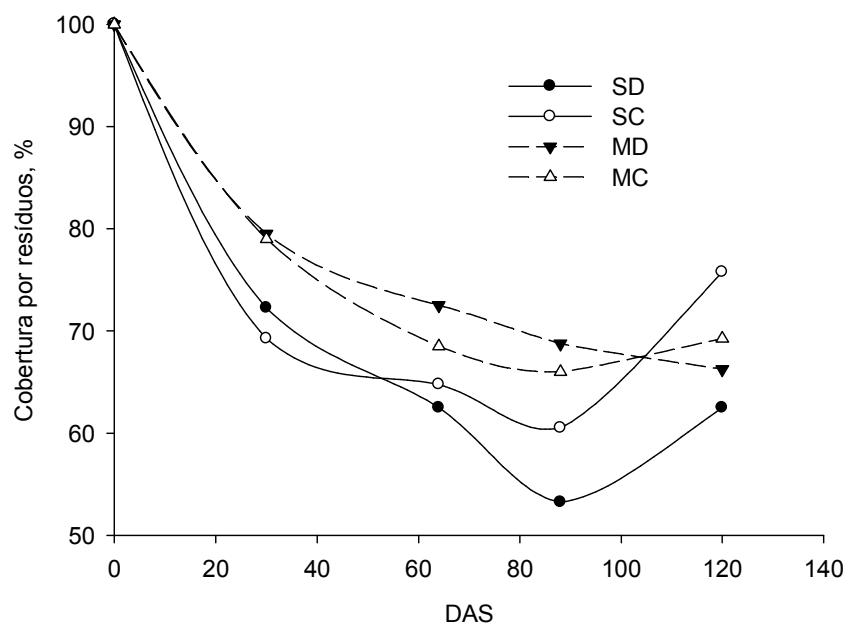


Figura 12- Cobertura do solo por resíduos culturais (CR) dos tratamentos de soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD) e milho semeado em contorno ao declive (MC) em função do dia após a semeadura (DAS).

Na cultura da soja, a CR decresceu do teste 1 ao teste 3, devendo-se, em parte, ao arraste dos resíduos pela enxurrada e parte pela sua decomposição. No

teste 4, a CR voltou a igualar-se à do teste 1, aumento este atribuído à queda das folhas das plantas de soja sobre o solo ao final do ciclo, hábito comum da cultura.

A grande redução da CR do teste 2 ao teste 3 no tratamento com soja semeada na direção do declive sucedeu pelo alto número e volume de chuvas ocorridas no período aliado à baixa capacidade de proteção do solo pela cultura, o que facilitou o arraste dos resíduos culturais pela enxurrada.

Nos tratamentos com milho a CR foi maior em relação à soja, explicada pela maior proteção que a primeira confere à erosão. A morfologia da parte aérea e a maior CC proporcionaram maior interceptação de chuva, e as características do sistema radicular e do colmo aumentaram a infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial, tendo como consequência menor capacidade de arraste dos resíduos.

Após a redução em função da operação de semeadura, a CR se manteve constante, com média de 69 % e, neste caso, a forma de semeadura não influenciou a CR. Dados semelhantes foram obtidos por Leite et al. (2004) e Engel et al. (2009).

4.4 TEMPO DE INÍCIO DO ESCOAMENTO

O tempo de início do escoamento superficial (TI) variou entre os testes, entre as culturas e entre as formas de semeadura (Tabela 3). Os TI em cada teste de chuva simulada, em todos os tratamentos (média de duas repetições), bem como a comparação das médias pelo Teste de Tukey (5 %) estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo de início do escoamento nos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive e no tratamento testemunha (média de duas repetições).

| Teste (DAS) | Soja | | | Milho | | | Média ² | Test. |
|------------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|---------------|--------------------|------------|
| | Declive | Contorno | Média | Declive | Contorno | Média | | |
| min. | | | | | | | | |
| 1 (30) | 8,0 | 9,0 | 8,5 | 7,5 | 11,5 | 9,5 | 8,5 b | 13,0 |
| 2 (64) | 2,8 | 4,0 | 3,4 | 3,5 | 5,5 | 4,5 | 3,4 b | 3,0 |
| 3 (88) | 15,0 | 21,5 | 18,3 | 21,5 | 33,0 | 27,3 | 18,3 a | 7,0 |
| 4 (120) | 5,0 | 4,0 | 4,5 | 6,5 | 10,5 | 8,5 | 4,5 b | 3,0 |
| Média | 7,7 | 9,6 | 8,7 B | 9,8 | 15,1 | 12,4 A | 8,7 | 6,5 |

¹ Dia após a semeadura. ² Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas comparam as médias dentro de teste e as letras maiúsculas comparam as médias das culturas. As formas de semeadura, declive e contorno, tiveram médias de 8,8 min. e 12,4 min., respectivamente, diferindo entre si.

No teste 3, o TI diferiu dos demais, levando, em média, 23 min. para iniciar a enxurrada, 3,5 vezes a mais do que a média dos demais testes que foi de 6,5 min. Este teste de chuva simulada foi realizado em um período de estiagem, em que a umidade do solo era menor do que nos demais testes (Tabela 3). O baixo teor de umidade do solo proporcionou maior infiltração de água no solo, o que explica o maior TI.

Entre as culturas, o milho aumentou o TI em 43,6 % em relação à soja, tendo sido de 12,4 min., enquanto, na soja, esse tempo médio foi de 8,7 min.. No milho, o menor ângulo de inserção das folhas, a maior cobertura pela copa e as raízes fasciculadas, facilitaram a captação de água da chuva pela parte aérea e melhoraram a estrutura do solo, aumentando a infiltração de água no solo em relação à soja. Essas condições aumentaram o TI e diminuíram a enxurrada no tratamento com milho, conforme verificado também por Levien & Cogo (2001).

Considerando a direção de semeadura, o TI foi 29,6 % maior naquela realizada em contorno do que na direção do declive. Os sulcos da semeadura em contorno ao declive formaram barreiras que retiveram a água da chuva e aumentaram o tempo de armazenamento superficial, conforme constatado também por Luciano et al., (2009) e Barbosa et al., (2010).

O TI apresentou correlação exponencial negativa com o teor de água no solo antecedente à chuva quando a semeadura fez-se no sentido do declive, não havendo diferença entre as culturas, e apresentou um coeficiente de determinação de 0,79 (Figura 10a). Quando a semeadura fez-se em contorno ao declive houve diferença entre as culturas. A parcela cultivada com milho apresentou maior TI do que a cultivada com soja. O coeficiente de determinação foi de 0,99 para ambas as culturas (Figura 10b). Quanto maior foi o teor de água no solo antecedente à chuva, menor era o TI e menor a diferença entre as culturas quanto a esta variável.

A umidade inicial do solo, quando elevada, sobrepujou ao efeito do tipo de cultura. Portanto, além da umidade inicial, que influenciou a infiltração de água no solo, o TI foi afetado também pelo tempo de empoçamento (tempo necessário para o enchimento dos sulcos) que variou entre as culturas devido ao distinto número de sulcos abertos no solo na operação de semeadura, conforme descrito em Material e Métodos.

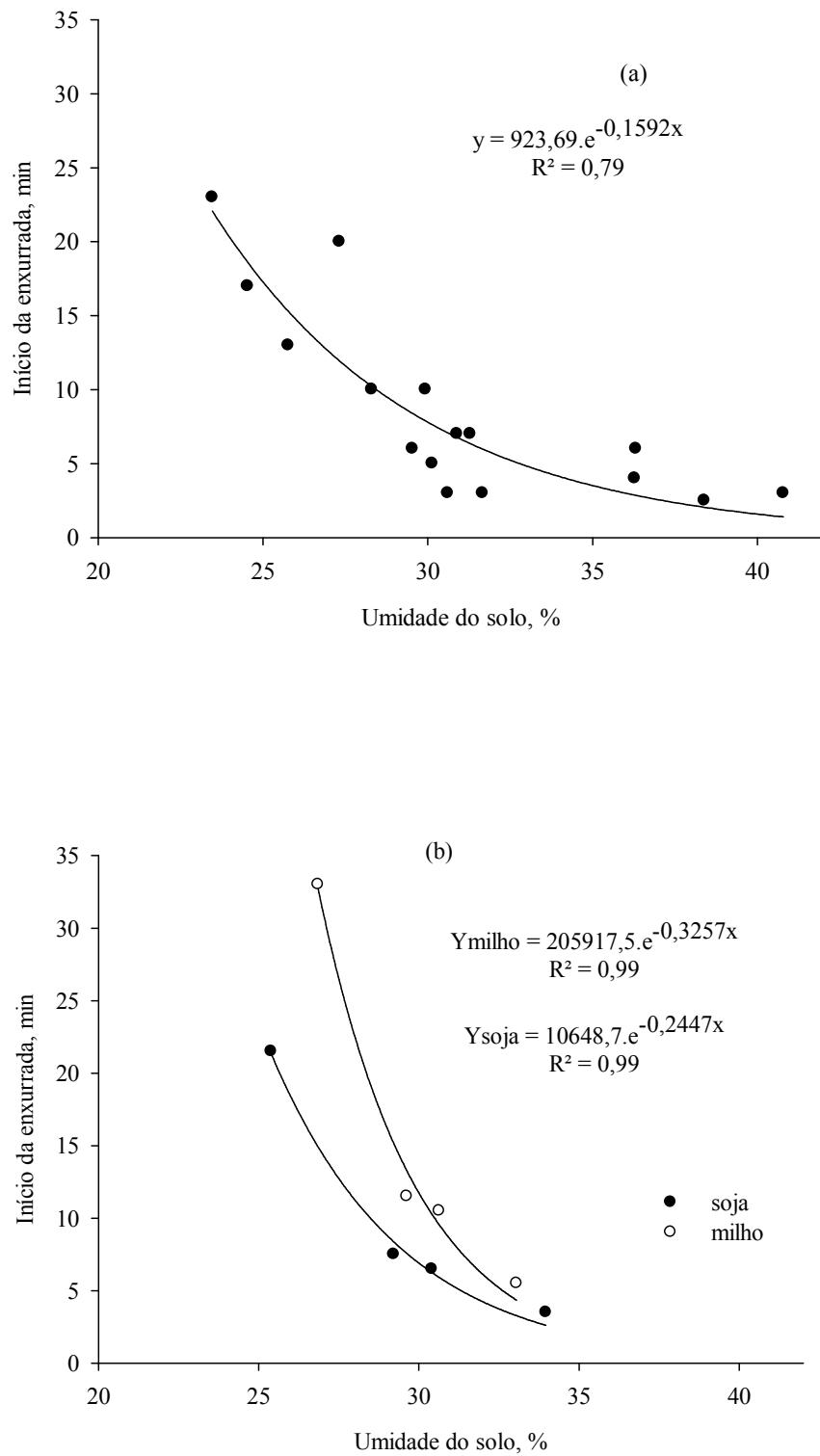


Figura 13 - Correlação entre o tempo de início da enxurrada e a umidade do solo imediatamente antes de cada chuva simulada aplicada: (a) conjunto de dados dos cultivos no sentido do declive e tratamento testemunha e (b) cultivo em contorno para o milho e para a soja.

4.5 VELOCIDADE DA ENXURRADA

A velocidade da enxurrada (VE) foi influenciada pela direção da operação de semeadura e pelos testes de chuva simulada e a média de todos os tratamentos com cultivo diferiu da média do tratamento testemunha (Tabela 3).

Os valores da VE dos testes de chuva simulada, em todos os tratamentos e a comparação das médias pelo Teste de Tukey (5 %) estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Velocidade de escoamento superficial nos quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive e na parcela testemunha (média de duas repetições).

| Teste (DAS ¹) | Soja | | | Milho | | | Média ^{2a} | Test. |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|---------------|
| | Declive | Contorno | Média | Declive | Contorno | Média | | |
| m s ⁻¹ | | | | | | | | |
| 1 (30) | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,104 a | 0,14 |
| 2 (64) | 0,12 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,07 | 0,09 | 0,096 ab | 0,12 |
| 3 (88) | 0,09 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,076 b | 0,12 |
| 4 (120) | 0,09 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,075 b | 0,13 |
| <i>Média^{2b}</i> | <i>0,11</i> | <i>0,07</i> | <i>0,09</i> | <i>0,10</i> | <i>0,08</i> | <i>0,09</i> | <i>0,09 B</i> | <i>0,13 A</i> |

¹ Dia após a semeadura. ² Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si; ^a letras minúsculas referem-se à diferença entre as médias dos tratamentos em cada teste e ^b letras maiúsculas referem-se à diferença entre as médias dos tratamentos com a testemunha.

Nos tratamentos com semeadura na direção do declive, a VE foi de 0,105 m s⁻¹ e, na semeadura em contorno foi de 0,075 m s⁻¹, na média dos testes de chuva e das culturas.

A menor VE na semeadura em contorno deveu-se à barreira física formada pela rugosidade superficial e pelos colmos e hastes das plantas transversais ao declive, em comparação à semeadura na direção do declive, conforme Barbosa et al., (2010).

A VE foi reduzida também em função do crescimento das plantas. Assim, no teste 1 de chuva, quando as culturas estavam em estágio inicial de crescimento, a VE foi de 0,1 m s⁻¹, portanto, maior do que nos testes 3 e 4, de 0,075 m s⁻¹, quando as culturas estavam em estágio pleno e final de desenvolvimento. No quarto teste de chuva, houve a influência da senescência das culturas, com consequente queda das folhas no caso da soja, o que aumentou a barreira física ao escoamento.

4.6 PERDAS DE SOLO

As perdas de solo (PS) nos tratamentos com cultivo apresentaram diferença significativa em relação à testemunha. Diferiram também entre as culturas e as formas de semeadura, bem como na interação entre ambas (Tabela 3).

Os valores de PS em cada teste de chuva simulada, em todos os tratamentos (média de duas repetições) estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Perda de solo em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em quatro testes de chuva simulada ao longo dos ciclos da soja e do milho, semeados no sentido do declive e em contorno ao declive e na parcela testemunha (média de duas repetições).

| Teste (DAS ¹) | Soja | | | Milho | | | Test. |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | Declive | Contorno | Média | Declive | Contorno | Média | |
| t ha ⁻¹ | | | | | | | |
| 1 (30) | 2,12 | 0,54 | 1,33 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 11,66 |
| 2 (64) | 2,35 | 0,45 | 1,40 | 0,41 | 0,35 | 0,38 | 21,04 |
| 3 (88) | 1,62 | 0,44 | 1,03 | 0,20 | 0,10 | 0,15 | 11,61 |
| 4 (120) | 1,87 | 0,58 | 1,22 | 0,28 | 0,13 | 0,21 | 27,39 |
| <i>Total</i> | <i>7,95</i> | <i>2,02</i> | <i>4,98</i> | <i>1,34</i> | <i>1,03</i> | <i>1,19</i> | <i>71,70</i> |

¹ Dia após a semeadura.

A PS nos tratamentos com cultivo foi de 3 t ha⁻¹, na média dos tratamentos e no total dos testes de chuva, enquanto, no tratamento sem cultivo do solo, foram de 71,7 t ha⁻¹ (Figura 14).

O cultivo o solo sob semeadura direta, mantendo o solo coberto com resíduos culturais, promoveu sua cobertura com o dossel das plantas e melhorou a estrutura por meio das raízes das plantas, reduzindo em aproximadamente 96 % as PS em relação ao solo sem cultivo e desprotegido de resíduos culturais (Figura 15). Resultados semelhantes foram encontrados por Beutler et al. (2003), onde a semeadura direta reduziu em 99 % as PS em relação ao solo sem cultivo e descoberto. De acordo com Bertol et al. (2007), a semeadura direta reduziu as perdas de solo em 88 % em relação ao preparo convencional.

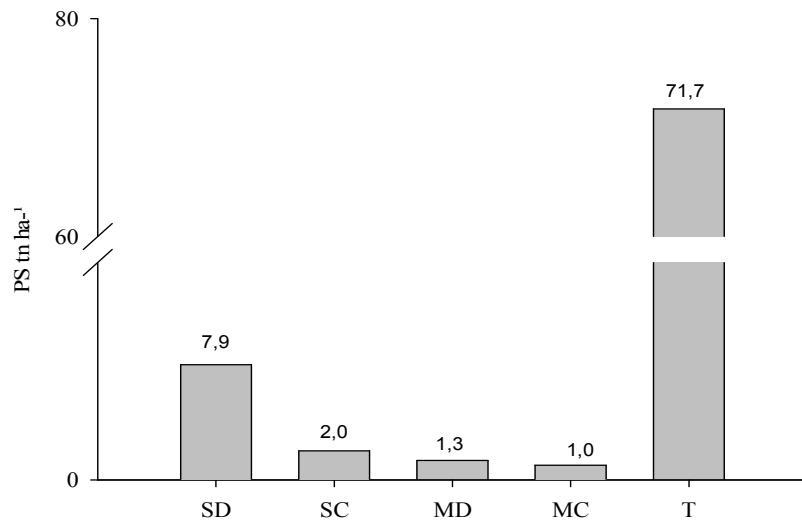


Figura 14 - Perda de solo total obtida em quatro testes de chuva simulada em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, nos tratamentos, soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive (MC) e testemunha (T).



Figura 15 - Diferença na concentração de sedimento na enxurrada, durante um teste de chuva simulada em: a) parcela cultivada sob semeadura direta e b) solo sem cultivo e descoberto, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico.

Por meio da análise do efeito simples de interação entre cultura e direção de semeadura, foi possível verificar que as PS foram maiores nos tratamentos com cultivo de soja do que com milho, tanto na semeadura em contorno como na direção do declive (Tabela 10).

Tabela 10- Análise estatística¹ do desdobramento do efeito da interação entre as culturas, soja e milho, e formas de semeadura, sentido do declive e em contorno.

| | Declive | Contorno |
|--------------------------------|---------|----------|
| t ha ⁻¹ | | |
| Soja | 7,95 aA | 2,02 bA |
| Milho | 1,34 ab | 1,03 aB |

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Letras minúsculas compararam as médias nas linhas (forma de semeadura) e as letras maiúsculas compararam as nas colunas (culturas).

O tratamento com soja perdeu em média 49 % mais solo do que o milho, quando, em ambos os cultivos, a operação de semeadura foi realizada em contorno ao declive. Na semeadura realizada no sentido do declive, a diferença de PS aumentou para 83 % entre os dois tratamentos. Dechen et al. (1981), em experimento realizado em um Latossolo Roxo, constataram que, de modo geral, as gramíneas foram mais eficientes no controle das PS do que as leguminosas, em todos os estágios de desenvolvimento das culturas, constatação essa feita também por Luciano et al. (2009), comparando aveia e ervilhaca.

Ainda considerando o efeito simples de interação dos fatores, agora comparando as PS quanto à direção de semeadura, em cada cultura, observou-se que somente nos tratamentos com soja tal diferença foi significativa. Neste caso, no cultivo em contorno a PS foi 75 % inferior à semeadura na direção da pendente. Wischmeier & Smith (1978) sugerem que o cultivo em contorno reduz em média 50 % as PS em relação ao morro abaixo, em declividades entre 3 e 8 %. De acordo com estes autores, para declividades maiores, como a utilizada neste trabalho, a eficiência do cultivo em contorno tende a ser maior.

Na cultura do milho, a não significância quanto à direção de semeadura, pode ser conferida à alta eficiência desta cultura na proteção do solo, tanto pelo efeito da copa na cobertura do solo, quanto, pelo efeito das raízes fasciculadas na melhoria da estrutura do solo. De acordo com Dechen et al. (1981), as raízes de gramíneas potencializam a agregação do solo na camada superficial. Portanto, é possível que este efeito tenha-se sobreposto ao efeito da direção de semeadura, na comparação entre estes tratamentos quanto às PS.

Cogo et al. (2007), em um experimento sobre um Argissolo Vermelho, observaram que a semeadura direta em contorno reduziu o escoamento superficial e a erosão hídrica pluvial do solo em comparação à semeadura efetuada na direção

do declive. Albuquerque et al. (2002) concluíram que o cultivo em nível em relação àquele em desnível reduziu as perdas de solo (PS) e as perdas de água (PA) em 53 % e 20 %, respectivamente, afirmando que, por sua eficiência e simplicidade, o cultivo em contorno representa uma importante prática no controle da erosão hídrica. Luciano et al. (2009), em experimento realizado em um Cambissolo Húmico, observaram PS e PA respectivamente 43 % e 27 % menores na semeadura em contorno do que na direção da pendente.

A perda de solo não teve correlação com o crescimento das culturas. A distribuição percentual da PS total e a PS acumulada, nos quatro testes de chuva simulada e para cada tratamento são observadas na Figura 16.

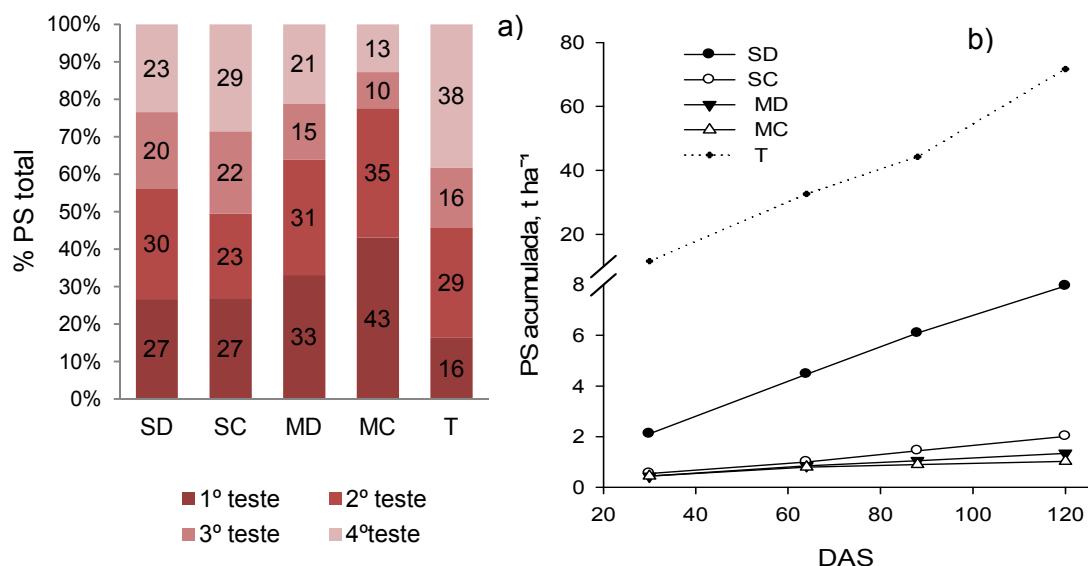


Figura 16 - Perda de solo nos tratamentos soja semeada no sentido do declive (SD) e em contorno (SC), milho semeado no sentido do declive (MD) e em contorno (MC) e testemunha (T), nos quatro testes de chuva simulada: a) Percentual da perda de solo total em cada teste de chuva simulada e b) perda de solo acumulada em função do dia após a semeadura (DAS).

O fator K obtido foi $0,0132 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, dentro da faixa para os solos brasileiros conforme descrito por Cogo, 1988 ($0,006$ a $0,049 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e próximo ao valor encontrado para este mesmo tipo de solo, Cambissolo Húmico Alumínico léptico, por Bertol et al., 2002c ($0,0115 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ mm}^{-1}$).

4.7 PERDAS DE ÁGUA

As perdas de água (PA) apresentaram diferença entre os testes de chuva simulada e entre as formas de semeadura (Tabela 3).

Os dados médios de PA de todos os tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a comparação das médias pelo Teste de Tukey (5%) estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 -Perdas de água por enxurrada, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, observadas nos diferentes cultivos, formas de semeadura e em solo sem cultivo e descoberto, nos diferentes testes de chuva simulada ao longo do ciclo das culturas (média de duas repetições).

| Teste (DAS) | Soja | | | Milho | | | Média ² | Test. |
|-------------------------------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|--------------------|-------|
| | Declive | Contorno | Média | Declive | Contorno | Média | | |
|% da chuva aplicada..... | | | | | | | | |
| 1 (30) | 78,4 | 66,3 | 72,3 | 75,7 | 60,9 | 68,3 | 70,3 ab | 60,3 |
| 2 (64) | 86,9 | 84,8 | 85,9 | 84,5 | 78,2 | 81,3 | 83,6 a | 81,0 |
| 3 (88) | 61,8 | 51,8 | 56,8 | 61,9 | 36,1 | 49,0 | 52,9 b | 66,9 |
| 4 (120) | 87,0 | 73,5 | 80,2 | 77,6 | 40,7 | 59,2 | 69,7 ab | 78,5 |
| Média | 78,5 | 69,1 | 73,8 | 74,9 | 54,0 | 64,5 | | 71,7 |

¹ Dia após a semeadura. ² Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

A média das PA no segundo teste, 84 %, diferiu da média do terceiro teste, 53 %, coincidindo, respectivamente, com, maior e menor umidade antecedente do solo (Tabela 2). Demonstrando que, quanto maior a umidade antecedente do solo, maiores foram as PA.

Os tratamentos com semeadura na direção do declive perderam 77 % da água das chuvas aplicadas, enquanto, nos de semeadura em contorno, as PA foram de 62 % das chuvas aplicadas, na média dos testes e dos cultivos. Portanto, a semeadura em contorno reduziu em 15 % as PA em relação ao morro abaixo, em consequência, em parte do TI e, em parte da VE. Tais fatores contribuíram para o aumento da infiltração de água no solo e consequente redução no escoamento superficial na semeadura em contorno.

Menores PS e PA no cultivo em contorno em comparação ao morro abaixo foram observadas por Van Doren et al. (1950) e Luciano et al. (2009). Silva & De Maria (2011), verificaram que o cultivo em contorno foi eficiente na redução das

perdas de água apenas para comprimentos de rampa de até 50 m, reduzindo em 7,8 % quando comparado a semeadura realizada morro abaixo, enquanto para comprimento de rampa de 75 m ocorreu o contrário. Os autores atribuíram este comportamento à grande quantidade de palha na superfície de um solo com alta capacidade de infiltração e relativamente baixa declividade, o que pode ter atenuado os efeitos da direção de semeadura em virtude da palha constituir um obstáculo maior na superfície do solo, que os pequenos diques feitos pelos discos da semeadora.

Os valores de PA se correlacionaram em forma de exponencial negativa com os de TI, com coeficiente de determinação de 0,86 (Figura 17), demonstrando que, quanto maior o tempo transcorrido do início da chuva ao inicio do escoamento, menores as perdas de água.

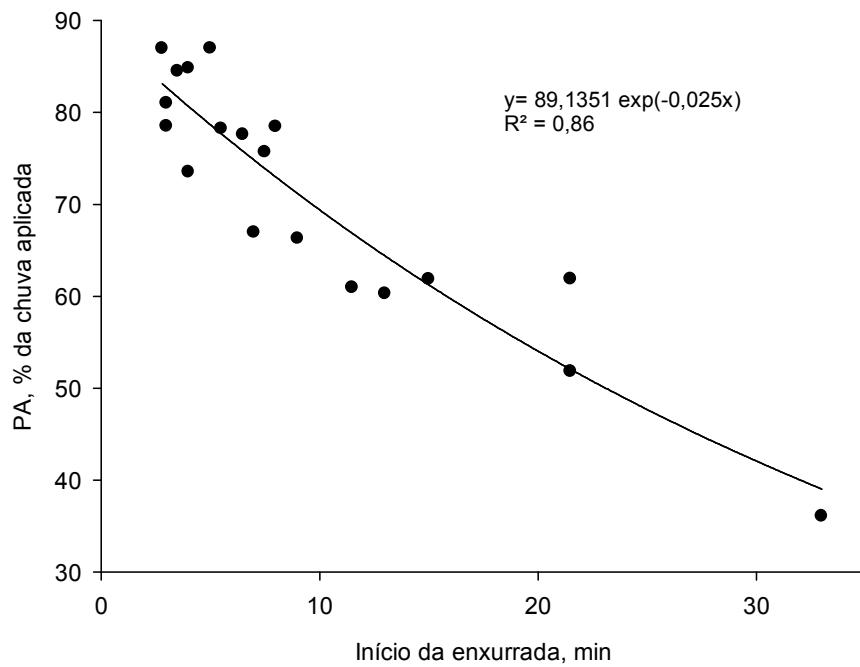


Figura 17 - Correlação exponencial negativa das perdas de água e tempo de início da enxurrada, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico de Lages, SC.

A não detecção de diferença nas PA entre as culturas deveu-se à variabilidade da umidade inicial do solo entre os testes de chuva, o que se sobreponha ao efeito proporcionado por elas. Embora, de acordo com Luciano et al. (2009), plantas com raízes fasciculadas, como gramíneas que apresentam maior volume de raízes, as quais aumentam a porosidade do solo, contribuem para aumentar a

infiltração e reduzir o volume da enxurrada. Este tipo de sistema radicular promove maior resistência mecânica do solo à desagregação pela enxurrada e menor erosão hídrica.

As menores reduções das PA (Tabela 15) do que de PS (Tabela 13), observadas na maioria dos trabalhos de erosão hídrica (KONKHE, 1968; COGO, 1981; SCHIK ET AL., 2000; SILVA ET AL., 2005; BERTOL ET AL., 2007; AMARAL ET AL., 2008; GOBBI ET AL., 2011), ocorrem pelo fato do solo ter limitada capacidade de infiltração, independente do sistema de manejo, a partir da qual a enxurrada tende a igualar-se em diferentes sistemas de manejo do solo.

4.7.1 Hidrogramas

A taxa instantânea de descarga da enxurrada (TDE) ao longo do tempo, em cada teste de chuva simulada para todos os tratamentos estudados foram representado por hidrogramas (Figura 18).

No primeiro teste de chuva simulada, o tempo de início de escoamento foi menor nos cultivos semeados no sentido do declive, e estes atingiram maiores valores de taxas instantâneas de descarga que os cultivos semeados em contorno ao declive (Figura 18a). Os sulcos formados no sentido da pendente, por meio da operação de semeadura, atuam como canais de escoamento nos quais a água da enxurrada se concentra ao longo do declive, desagregando e transportando solo com maior energia.

No segundo teste de chuva simulada, os tratamentos tiveram comportamentos semelhantes entre si (Figura 18b). O início do escoamento ocorreu em média aos 3,8 minutos, com um desvio padrão de 1 minuto. As perdas médias de água foram de 83%, com desvio padrão de 3%. O teor de umidade do solo próximo ao da saturação, sobrepos os efeitos dos tratamentos.

O terceiro teste de chuva simulada, com menor teor umidade do solo (média de 25%), apresentou hidrogramas distintos entre os cinco tratamentos (Figura 18c). O tratamento testemunha foi o que primeiro iniciou a enxurrada, em torno dos 7 min. e o que apresentou maior PA (67%), seguido pela SD aos 15 min., com uma PA de 62%. A SC e MD tiveram início aos 22 min., embora a SC tenha promovido maior infiltração de água no solo, com volume de enxurrada 10% menor que o MD. O

último iniciar a enxurrada foi o tratamento do MC, aos 33 min. após o início da chuva.

O quarto teste de chuva, realizado ao final do ciclo dos cultivos, também apresentou uma elevada umidade do solo, promovendo um rápido início da enxurrada e um comportamento semelhante entre os tratamentos (Figura 18d).

A parcela testemunha, por ter sido revolvida anteriormente, com operação de aração e gradagem, apresentou, no primeiro teste, um maior tempo de início de escoamento, pois proporcionou ao solo maior infiltração e maior capacidade de retenção de água. Com o passar dos testes, tais características foram reduzidas, pelo alisamento da superfície e selamento superficial.

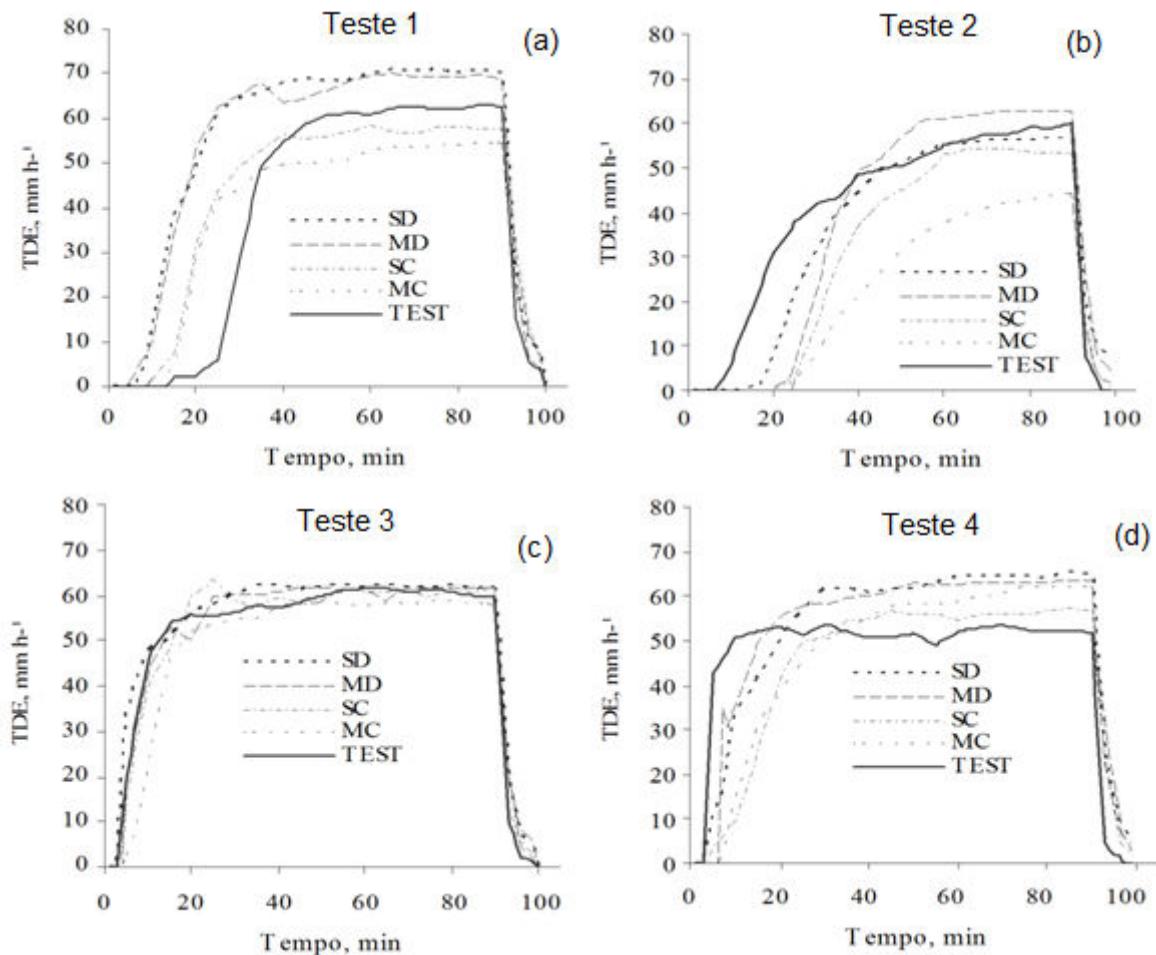


Figura 18 - Taxa instantânea de descarga da enxurrada (TDE) em função do tempo, nos tratamentos: soja semeada no sentido do declive (SD), milho semeado no sentido do declive (MD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado em contorno ao declive (MC) e testemunha (TEST), parcela sem cultivo e descoberta, nos quatro testes de chuva simulada ao longo do ciclo das culturas.

5 CONCLUSÕES

1. O solo cultivado sob sistema de semeadura direta, comparado ao solo sem cultivo e descoberto, reduziu a velocidade da enxurrada e, em grande magnitude as perdas de solo (96 %), mas não influenciou o início do escoamento e as perdas de água.
2. O cultivo em contorno promoveu maior tempo de início do escoamento, reduziu a velocidade da enxurrada e, com isso, amortizou as perdas por erosão hídrica, de água em 15 % e de solo, na cultura da soja, em 74 %, em relação ao cultivo na direção da pendente.
3. O cultivo do milho em contorno ao declive não proporcionou redução das perdas de solo, quando comparado ao milho no sentido do declive.
4. A cultura do milho apresentou características mais protecionistas do solo quando comparada à cultura da soja; promoveu maior cobertura do solo pela copa, com desenvolvimento mais rápido e retardou o início do escoamento.
5. As perdas de solo na cultura do milho foram 76% menores do que na cultura da soja, embora o tipo de cultura não tenha exercido influencia nas perdas de água.
6. A condição de umidade do solo precedente às chuvas simuladas aplicadas foi o fator preponderante nas perdas de água.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J. E. & ARKIN, G. F. .A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:789-792. 1977.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. & SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*. Vol.6, n.1, pp. 136-141. ISSN 1807-1929, 2002.
- AMARAL, A. J.; BERTOL, I. ; COGO, N. P. ; BARBOSA, F. T. . Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2145-2155, 2008.
- BARBOSA, F. T. ; BERTOL, I. ; RAMOS, R. R. ; RAMOS, J. C. ; WERNER, R. S. . Comprimento crítico de declive em duas direções de semeadura direta sob resíduos de milho e trigo num Nitossolo. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia, MG. CDROOM. Uberlândia : SBCS, 2011. v. 1. p. 1-4
- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I. ; LUCIANO, R. V.; GONZÁLEZ, A. P. ; VÁZQUEZ, E. V. . Teor de nitrogênio solúvel na água de erosão hídrica em cultura de aveia e ervilhaca em três formas de semeadura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 439-446, 2009.
- BARBOSA, F. T; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; PAZ-FERREIRO, J. . Proporção e tamanho de sedimentos e teor de carbono orgânico na enxurrada e no solo para dois cultivos e duas formas de semeadura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V. 34, p. 1701-1710, 2010.
- BARRETO, A. G. O. P. História e geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo. Dissertação (mestrado), Esalq Piracicaba, 120p., 2007.
- BENNETT, H. H. *Soil conservation*. New York, London: McGraw-Hill, 1939. 939p.
- BERTOL, I. & ALMEIDA, J. A. . Tolerância de Perda de Solo Por Erosão Para Os Principais Solos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, VIÇOSA, MG, v. 24, n. 3, p. 657-668, 2000.
- BERTOL, I. ; VÁZQUEZ, E. V. ; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P. ; LUCIANO, R. V. ; FABIAN, E. L. . Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um solo Nitossolo Háplico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (Impresso), v. 34, p. 245-252, 2010.

- BERTOL, I. ; COGO, N. P.; SCHICK, J. ; GUADAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. do . Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 133-142, 2007.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparamos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:409-418, 1997.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. & AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *R. Bras. Ci. Solo*, 26:465-471, 2002c.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. VISENTIN, D. & COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *R. Bras. Ci. Solo*, 26:455-464, 2002b.
- BERTOL, I.; SCHICK, J. ; BATISTELA, O. . Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 26, p. 545-552, 2002a.
- BERTONI, J. . Espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. *Bragantia*, v. 18, n 10. 1959.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone Editora, 5 ed., 2005.
- BERTONI, R. & PESTANA, F.I. Relação chuva/perdas por erosão em diferentes tipos de solos. *Bragantia*, 23:3-11, 1964.
- BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P.. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférreo submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, VIÇOSA, MG, v. 27, n. 2, p. 509-517, 2003.
- CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. de O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:597-607, 2005.
- CASSEL, D.H.; RACZKOWSKI, C.M. & DENTON, H.P. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1436-1443, 1995.
- CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: Ceretta,

- C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.333-370, 2007.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R. ; SCHWARZ, R. A.. Perdas de Solo e Água por Erosão Hídrica Influenciadas por Métodos de Preparo, Classes de Declive e Níveis de Fertilidade do Solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.
- COGO, N. P; PORTELA, J. C.; AMARAL, A. J.; TREIN, C. R.; GILLES, L.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J. P. Erosão e Escoamento Superficial em Semeadura Direta Efetuada com Máquina Provida de Hastes Sulcadoras, Influenciadas pela Direção da Operação de Semeadura e pela Cobertura da Superfície do Solo. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado, RS. 2007.
- COGO, N.; FOSTER, G.R. & MOLDENHAUER, W.C. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope length limits for conservation tillage. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 20:475-483, 1996.
- COGO, N.P . Soybean production and the soil erosion problems and solutions. South America. In: SHIBLES, R.. ed. World Soybean Research Conference III, Ames, Iowa, 1985. Proceddings. Boulder, Westview Press, 1985. 1262p.
- COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1988. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.251-262.
- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. West Lafayet te, Purdue Univer s i ty, 1981. 346p. (Tese de Doutorado).
- COOK, H.L.. The nature and controlling variables of the water erosion process. Soil Science Society of America Proceedings. Madson, v.1 n.1. p.60-64, 1936.
- DECHEN, S. L. F.; LOMBARDI NETO, F. & CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. Campinas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Piracicaba, v.5, p.133-137. 1981.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A. & SCHWARZ, R. A. Manejo de enxurrada em sistema plantio direto. Porto Alegre, Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.
- ELLISON, W. D. Soil erosion studies. Agricultural Engineering. 1947.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. Dados e Informações Biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Sul Catarinense – UPR 3. Florianópolis. 2002. 76 p.

ENGEL, F.; BERTOL, I. ; RITTER, S. R. ; GONZÁLEZ, A. P. ; PAZ-FERREIRO, J.; VÁZQUEZ, E. V.. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stage of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 103, p. 216-221, 2009.

FORSYTHE, W. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Internacional de Ciências Agrícolas, 209p., 1975.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: Basselman, J. A., Hidrological modeling of Small Watersheds. Am. Soc. of Agric. Eng., p. 297-300, 1982.

FOSTER, G.R. & MEYER, L.D. Soil erosion and sedimentation by water - an overview. Proceedings of the National Symposium on Soil Erosion and Sedimentation by Water (Chicago), America Society Agriculture Engineering, St. Joseph. p. 1-13. 1977

FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B. & MOLDENHAUER, W.C. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. Transaction of America Society Agriculture Engineering, 25:935-947, 1982

GOBBI, E.; BERTOL, I. ; BARBOSA, F. T.; WERNER, R. S. ; RAMOS, R. R. ; PAZ-FERREIRO, J.; GEBLER, L. Erosão hídrica associada a algumas variáveis hidrológicas em pomar de maçã submetido a diferentes manejos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)*, v. 35, p. 1013-1024, 2011.

HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca: Cornell University Press, 1971. 320p.

HUDSON, N. W. Soil Conservation. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 324p.

HUGGINS, L.F. Small watershed hydrology. Lafayette, Purdue University / Agricultural Engineering Department, 1979

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.449-510.

KOHNKE, H. Soil physics. New York, McGraw – Hill, 1968. 224p.

- LARSON, W.E. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:118-122, 1964.
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.. Erosão Hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada; I. Perdas de solo e água.. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)*, v. 28, p. 1033-1044, 2004.
- LEVIEN, R., & COGO, N. P.. Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. *Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 2001.
- LOPES, P.R.; COGO, N.P. & LEVIEN, R.. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:71-75, 1987.
- LUCIANO, R. V.; BERTOL, I. ; BARBOSA, F. T. ; VÁZQUEZ, E. V. ; FABIAN, E. L.. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 669-676, 2009.
- MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:901-909, 2003.
- MEYER, L. D.; FOSTER, G. R. & NIKOLOW, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. *Transactions of America Society Agriculture Engineering*, 18:905-911, 1975.
- MEYER, L.D. & McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. *Agricultural Engineers*, St. Joseph, 39:644-648. 1958.
- MICHELENA, R. O.; MON, R. El cultivo em contorno, una práctica para la conservación del solo y del agua. Documentos (informes): Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de Suelos – Castelar, Centro de Investigación em Recursos Naturales. p. 1 – 10. Buenos Aires, Argentina. 2002.
- PANACHUKI, E. ; BERTOL, I. ; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. . Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1777-1785, 2011.
- PORTELA, J.C.; COGO, N.P.; AMARAL, A.J; GILLES, L.; BAGATINE, T.; CHAGAS, J.P; PORTZ, G. Hidrogramas e sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 225-240, 2011.

- RAUWS, G. & GOVERS, G. Hydraulics and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils. *J. Soil Sci.*, 39:111-124, 1988.
- SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. Sistema Plantio Direto - O produtor pergunta, a Embrapa responde. Dourados: Embrapa- CPAO, Brasília: Embrapa SPI, 248p., 1998.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JÚNIOR, A. A. 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*, 24:427-436, 2000.
- SILVA, D. D. ; PRUSKI, F. F. ; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. . Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 2, p. 409-419, 2005.
- SILVA, I. F.; ANDRADE, A.P.; CAMPOS FILHO, O. R. & OLIVEIRA, F. A. P. Efeito de diferentes coberturas e de práticas conservacionistas no controle da erosão. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:289-292, 1986.
- SILVA, R. L. & DE MARIA, I. C.. Erosão em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. *Rev. bras. eng. agríc. ambiental*. 2011, vol.15, n.6, pp. 554-561. ISSN 1807-1929. 2011.
- SLONEKER LL & MOLDENHAUER WC. 1977. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *Journal of Soil and Water Conservation* 32: 231-236.
- SOUZA, F. S. de; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; PINHO, R. G. V.; LIMA, G. C.. Índice de cobertura vegetal pela cultura do milho no período de chuvas intensas no sul de Minas Gerais. *Ciência agrotécnica*, Lavras, v. 34, n. 2, p. 345-351, 2010.
- SWANSON, N.P. Suggestions for use the rotating-boom field plot rainfall simulator to obtain data for application of the Universal Soil Loss Equation. Paraná, FAO, Nebraska University, 1965. 6p. (Relatório de Consultoria)
- VAN DOREN, C. A.; STAUFFER, R. S.; KIDDER, E. H. Effect of Contour Farming on Soil Loss and Runoff. *Soil Science Society Proceedings - Illinois Agriculture Experiment Station*. Urbana – EUA, 1950.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, (Agricultural Handbook, 537). USDA, 58p.1978.

ANEXOS

Anexo 1 – Características físicas do solo da camada de 0 – 2,5 cm, dos tratamentos com duas repetições: soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive (MC) e solo sem cultivo e descoberto (T), determinadas após a implantação do experimento com chuva simulada, em Cambissolo Húmico Alumínico léptico.

| Tratamento | Rep. | Granulometria | | | Densidade | | | Porosidade | | DMP ¹ |
|--------------|------|---------------|-------|--------|-----------|------|-------|------------|-------|------------------|
| | | Areia | Silte | Argila | Partícula | Solo | Total | Macro | Micro | |
| SD | 1 | 16,4 | 39,5 | 44,0 | 2,45 | 0,93 | 62,2 | 33,4 | 28,8 | 5,66 |
| SD | 2 | 25,9 | 43,0 | 31,1 | 2,27 | 1,09 | 51,9 | 15,6 | 36,2 | 6,06 |
| SC | 1 | 19,5 | 42,1 | 38,4 | 2,45 | 1,24 | 48,5 | 5,7 | 39,1 | 5,58 |
| SC | 2 | 21,5 | 44,5 | 34,0 | 2,42 | 1,25 | 49,5 | 12,3 | 37,3 | 5,08 |
| MD | 1 | 15,5 | 41,9 | 42,6 | 2,33 | 0,86 | 63,0 | 32,0 | 31,0 | 4,97 |
| MD | 2 | 22,2 | 43,8 | 34,0 | 2,49 | 1,35 | 45,7 | 8,2 | 37,5 | 5,59 |
| MC | 1 | 19,0 | 41,2 | 39,8 | 2,51 | 1,33 | 47,2 | 11,7 | 35,5 | 5,43 |
| MC | 2 | 32,0 | 41,1 | 26,9 | 2,42 | 0,99 | 59,0 | 23,5 | 35,6 | 6,06 |
| T | 1 | 19,9 | 39,0 | 41,2 | 2,54 | 1,06 | 58,5 | 20,0 | 38,5 | 5,30 |
| T | 2 | 10,3 | 46,6 | 43,1 | 2,51 | 0,88 | 65,1 | 32,4 | 32,7 | 4,32 |
| <i>média</i> | | 20,2 | 42,3 | 37,5 | 2,44 | 1,10 | 55,1 | 19,5 | 35,2 | 5,4 |

¹ Diâmetro médio ponderado

Anexo 2 – Características físicas do solo da camada de 2,5 – 5,0 cm, dos tratamentos com duas repetições: soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive (MC) e solo sem cultivo e descoberto (T), determinadas após a implantação do experimento com chuva simulada, em Cambissolo Húmico Alumínico léptico.

| Tratamento | Rep. | Granulometria | | | Densidade | | | Porosidade | | DMP ¹ |
|--------------|------|---------------|--------|--------|-----------|--------------------|-------|------------|-------|------------------|
| | | Areia | Silte | Argila | Partícula | Solo | Total | Macro | Micro | |
|  |  | ..... | %..... |  | ..... | g cm ⁻³ | ..... | ..... | ..... | (--) |
| SD | 1 | 16,4 | 39,5 | 44,1 | 2,40 | 1,28 | 46,8 | 7,7 | 39,1 | 6,03 |
| SD | 2 | 23,3 | 41,8 | 34,9 | 2,33 | 1,29 | 44,5 | 2,3 | 42,2 | 6,10 |
| SC | 1 | 18,8 | 41,3 | 39,8 | 2,50 | 1,26 | 44,8 | 5,7 | 39,1 | 5,97 |
| SC | 2 | 20,7 | 44,3 | 35,0 | 2,40 | 1,32 | 49,5 | 13,0 | 36,5 | 5,63 |
| MD | 1 | 15,2 | 41,7 | 43,1 | 2,34 | 0,99 | 57,7 | 24,5 | 33,1 | 5,57 |
| MD | 2 | 20,6 | 44,4 | 35,0 | 2,53 | 1,28 | 49,3 | 11,6 | 37,7 | 5,80 |
| MC | 1 | 17,7 | 37,7 | 44,6 | 2,49 | 1,31 | 47,4 | 10,6 | 36,7 | 5,55 |
| MC | 2 | 20,9 | 44,3 | 34,9 | 2,45 | 1,11 | 54,8 | 17,3 | 37,5 | 6,23 |
| T | 1 | 20,9 | 38,0 | 41,2 | 2,55 | 0,84 | 67,0 | 35,9 | 31,2 | 3,69 |
| T | 2 | 20,4 | 37,4 | 42,2 | 2,43 | 0,96 | 60,6 | 25,2 | 35,5 | 4,43 |
| <i>média</i> | | 19,5 | 41,0 | 39,5 | 2,44 | 1,16 | 52,2 | 15,4 | 36,9 | 5,5 |

¹ Diâmetro médio ponderado

Anexo 3 – Características físicas do solo da camada de 5,0 – 10,0 cm, dos tratamentos com duas repetições: soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive (MC) e solo sem cultivo e descoberto (T), determinadas após a implantação do experimento com chuva simulada, em Cambissolo Húmico Alumínico léptico.

| Tratamento | Rep. | Granulometria | | | Densidade | | | Porosidade | | DMP ¹ |
|--------------|------|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|------------|-------------|------------------|
| | | Areia | Silte | Argila | Partícula | Solo | Total | Macro | Micro | |
|  |  | ..... | %..... |  | ..... | g cm ⁻³ | ..... | ..... | ..... | (--) |
| SD | 1 | 17,0 | 40,1 | 42,9 | 2,28 | 1,10 | 51,5 | 11,6 | 39,9 | 5,49 |
| SD | 2 | 22,1 | 41,4 | 36,6 | 2,54 | 1,19 | 53,1 | 11,7 | 41,4 | 6,00 |
| SC | 1 | 19,2 | 42,2 | 38,6 | 2,48 | 1,39 | 43,2 | 0,2 | 43,0 | 5,69 |
| SC | 2 | 20,8 | 42,6 | 36,6 | 2,39 | 1,36 | 44,0 | 2,6 | 41,4 | 4,98 |
| MD | 1 | 15,7 | 41,0 | 43,4 | 2,15 | 1,11 | 48,2 | 7,2 | 41,0 | 5,85 |
| MD | 2 | 20,3 | 44,3 | 35,4 | 2,39 | 1,29 | 46,1 | 5,1 | 41,1 | 5,66 |
| MC | 1 | 19,3 | 43,0 | 37,7 | 2,54 | 1,34 | 47,0 | 5,0 | 42,0 | 5,34 |
| MC | 2 | 19,0 | 41,5 | 39,4 | 2,47 | 1,14 | 54,0 | 14,5 | 39,5 | 5,74 |
| T | 1 | 21,2 | 37,8 | 41,0 | 2,55 | 1,36 | 46,8 | 26,1 | 20,6 | 3,33 |
| T | 2 | 19,9 | 37,8 | 42,3 | 2,52 | 1,14 | 55,0 | 14,3 | 40,6 | 3,76 |
| <i>média</i> | | <i>19,4</i> | <i>41,2</i> | <i>39,4</i> | <i>2,43</i> | <i>1,24</i> | <i>48,9</i> | <i>9,8</i> | <i>39,1</i> | <i>5,2</i> |

¹ Diâmetro médio ponderado

Anexo 4 – Características físicas do solo da camada de 10,0 - 20,0 cm, dos tratamentos com duas repetições: soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive (MC) e solo sem cultivo e descoberto (T), determinadas após a implantação do experimento com chuva simulada, em Cambissolo Húmico Alumínico léptico.

| Tratamento | Rep. | Granulometria | | | Densidade | | | Porosidade | | DMP ¹ |
|--------------|------|---------------|--------|--------|-----------|--------------------|-------|------------|-------|------------------|
| | | Areia | Silte | Argila | Partícula | Solo | Total | Macro | Micro | |
|  |  | ..... | %..... |  | ..... | g cm ⁻³ | ..... | ..... | ..... | (--) |
| SD | 1 | 16,1 | 39,0 | 44,8 | 2,28 | 1,27 | 51,5 | 11,6 | 39,9 | 5,47 |
| SD | 2 | 20,7 | 40,3 | 39,0 | 2,48 | 1,19 | 51,9 | 6,8 | 45,1 | 6,11 |
| SC | 1 | 19,6 | 41,9 | 38,4 | 2,40 | 1,22 | 49,1 | 5,5 | 43,6 | 5,33 |
| SC | 2 | 18,3 | 45,0 | 36,6 | 2,43 | 1,24 | 49,3 | 6,5 | 42,8 | 5,35 |
| MD | 1 | 15,0 | 40,4 | 44,6 | 2,47 | 1,19 | 51,7 | 8,2 | 43,6 | 6,05 |
| MD | 2 | 21,4 | 42,0 | 36,6 | 2,48 | 1,34 | 46,0 | 10,9 | 35,2 | 6,00 |
| MC | 1 | 18,1 | 44,3 | 37,6 | 2,54 | 1,33 | 47,7 | 5,7 | 42,0 | 5,28 |
| MC | 2 | 21,7 | 36,3 | 42,0 | 2,58 | 1,14 | 54,0 | 14,5 | 39,5 | 5,39 |
| T | 1 | 22,0 | 37,3 | 40,7 | 2,56 | 1,15 | 55,0 | 15,9 | 39,1 | 3,40 |
| T | 2 | 19,3 | 37,5 | 43,2 | 2,62 | 1,10 | 57,8 | 16,5 | 41,3 | 3,85 |
| <i>média</i> | | 19,2 | 40,4 | 40,4 | 2,48 | 1,22 | 51,4 | 10,2 | 41,2 | 5,2 |

¹ Diâmetro médio ponderado

Anexo 5 – Umidade do solo (0-10cm), cobertura do solo pela copa das plantas e cobertura por resíduos, imediatamente antes de cada um dos testes de chuva simulada, para os tratamentos com duas repetições: soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive e testemunha, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico de Lages –SC.

| Teste de chuva simulada | DAS ¹ | Soja Declive (SD) | | Soja Contorno (SC) | | Milho declive (MD) | | Milho contorno (MC) | | Testemunha (T) | |
|------------------------------------|------------------|-------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|---------------------|------|----------------|------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| <i>Umidade do solo, %</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 29,9 | 36,3 | 29,8 | 26,8 | 30,1 | 28,3 | 27,8 | 31,4 | 23,6 | 28,5 |
| 2 | 64 | 40,8 | 38,4 | 36,7 | 37,7 | 31,7 | 36,3 | 27,9 | 38,2 | 35,9 | 33,5 |
| 3 | 88 | 24,5 | 25,8 | 22,5 | 22,5 | 27,3 | 23,5 | 22,9 | 30,8 | 26,3 | 24,3 |
| 4 | 120 | 30,9 | 30,6 | 31,9 | 32,6 | 31,3 | 29,5 | 25,9 | 35,4 | 34,7 | 24,1 |
| MÉDIA | | 32,2 | | 30,1 | | 29,8 | | 30,0 | | 28,9 | |
| <i>Cobertura pela copa, %</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 6,1 | 8,0 | 4,9 | 10,1 | 30,7 | 26,9 | 34,6 | 40,3 | 0 | 0 |
| 2 | 64 | 32,2 | 40,1 | 44,2 | 55,5 | 77,9 | 80,2 | 78,2 | 79,3 | 0 | 0 |
| 3 | 88 | 43,6 | 54,4 | 53,0 | 51,7 | 86,2 | 85,7 | 82,7 | 76,3 | 0 | 0 |
| 4 | 120 | 25,3 | 22,9 | 26,2 | 29,4 | 53,7 | 55,8 | 47,9 | 47,4 | 0 | 0 |
| MÉDIA | | 29,1 | | 34,4 | | 62,1 | | 60,8 | | 0,0 | |
| <i>Cobertura pelos resíduos, %</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 77,0 | 67,5 | 71,5 | 67,0 | 74,5 | 84,5 | 77,0 | 81,0 | 0 | 0 |
| 2 | 64 | 59,5 | 65,5 | 68,0 | 61,5 | 71,5 | 73,5 | 70,0 | 67,0 | 0 | 0 |
| 3 | 88 | 54,5 | 52,0 | 61,0 | 60,0 | 70,5 | 67,0 | 65,5 | 66,5 | 0 | 0 |
| 4 | 120 | 63,0 | 62,0 | 72,0 | 79,5 | 65,5 | 67,0 | 66,0 | 72,5 | 0 | 0 |
| MÉDIA | | 62,6 | | 67,6 | | 71,8 | | 70,7 | | 0,0 | |

¹ Dia após a semeadura

Anexo 6 – Início do escoamento, velocidade da enxurrada e intensidade real de chuva aplicada, em cada testes de chuva simulada, para os tratamentos com duas repetições: soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive e testemunha, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico de Lages –SC.

| Teste de chuva simulada | DAS ¹ | Soja Declive (SD) | | Soja Contorno (SC) | | Milho declive (MD) | | Milho contorno (MC) | | Testemunha (T) | |
|--|------------------|-------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|----------------|-------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| <i>Início do escoamento, min.</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 9,0 | 7,0 | 10,0 | 8,0 | 5,0 | 10,0 | 10,0 | 13,0 | 13,0 | 13,0 |
| 2 | 64 | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 3,0 | 3,0 |
| 3 | 88 | 17,0 | 13,0 | 19,0 | 24,0 | 20,0 | 23,0 | 24,0 | 42,0 | 8,0 | 6,0 |
| 4 | 120 | 7,0 | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 7,0 | 6,0 | 7,0 | 14,0 | 3,0 | 3,0 |
| MÉDIA | | 7,8 | | 9,6 | | 9,8 | | 15,1 | | 6,5 | |
| <i>Velocidade da enxurrada², m s⁻¹</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 0,13 | 0,12 | 0,08 | 0,07 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,13 | 0,15 |
| 2 | 64 | 0,13 | 0,10 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,05 | 0,12 | 0,12 |
| 3 | 88 | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,12 | 0,11 |
| 4 | 120 | 0,11 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 0,06 | 0,13 | 0,14 |
| MÉDIA | | 0,11 | | 0,07 | | 0,10 | | 0,08 | | 0,13 | |
| <i>Intensidade real de chuva aplicada, mm h⁻¹</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 80,87 | 67,29 | 70,20 | 69,15 | 80,87 | 69,15 | 70,20 | 67,29 | 70,15 | 70,15 |
| 2 | 64 | 62,56 | 66,34 | 65,50 | 65,50 | 62,56 | 65,50 | 65,50 | 66,34 | 66,24 | 66,24 |
| 3 | 88 | 63,27 | 60,27 | 68,10 | 68,53 | 63,27 | 68,53 | 68,10 | 60,27 | 65,31 | 65,31 |
| 4 | 120 | 62,65 | 68,23 | 63,58 | 63,02 | 62,65 | 63,02 | 63,58 | 68,23 | 62,49 | 62,49 |
| MÉDIA | | 66,44 | | 66,70 | | 66,94 | | 66,19 | | 66,05 | |

¹ Dia após a semeadura; ² medida realizada aos 40 min. após o início da enxurrada.

Anexo 7 – Perda de solo (PS) e perda de água (PA), resultante de cada testes de chuva simulada, para os tratamentos com duas repetições: soja semeada no sentido do declive (SD), soja semeada em contorno ao declive (SC), milho semeado no sentido do declive (MD), milho semeado em contorno ao declive e testemunha, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico de Lages –SC.

| Teste de chuva simulada | DAS ¹ | Soja Declive (SD) | | Soja Contorno (SC) | | Milho declive (MD) | | Milho contorno (MC) | | Testemunha (T) | |
|---|------------------|-------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|----------------|--------|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| <i>Perda de solo², t ha⁻¹</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 1,887 | 2,345 | 0,393 | 0,693 | 0,508 | 0,380 | 0,447 | 0,439 | 11,254 | 12,066 |
| 2 | 64 | 2,259 | 2,442 | 0,375 | 0,534 | 0,540 | 0,288 | 0,313 | 0,397 | 22,255 | 19,824 |
| 3 | 88 | 1,290 | 1,945 | 0,139 | 0,751 | 0,272 | 0,130 | 0,148 | 0,049 | 11,988 | 11,232 |
| 4 | 120 | 1,741 | 1,990 | 0,170 | 0,982 | 0,250 | 0,318 | 0,229 | 0,034 | 27,744 | 27,029 |
| TOTAL | | 7,950 | | 2,019 | | 1,343 | | 1,028 | | 71,696 | |
| <i>Perdas de água, % da chuva aplicada</i> | | | | | | | | | | | |
| 1 | 30 | 79,1 | 77,8 | 68,0 | 64,5 | 77,7 | 73,6 | 64,7 | 57,2 | 69,2 | 51,4 |
| 2 | 64 | 88,8 | 85,1 | 87,9 | 81,7 | 83,0 | 86,0 | 82,1 | 74,4 | 84,2 | 77,8 |
| 3 | 88 | 67,1 | 56,5 | 57,6 | 46,0 | 61,9 | 61,8 | 52,4 | 19,8 | 69,5 | 64,4 |
| 4 | 120 | 85,0 | 89,0 | 77,4 | 69,7 | 78,0 | 77,1 | 76,2 | 5,3 | 78,7 | 78,3 |
| MÉDIA | | 78,6 | | 69,1 | | 74,9 | | 54,0 | | 71,7 | |

¹ Dia após a semeadura; ² perda corrigida para a declividade média das parcelas e intensidade padrão de 64 mm h⁻¹.