

**FABRÍCIO TONDELLO BARBOSA**

**EROSÃO HÍDRICA EM TRÊS FORMAS DE SEMEADURA DE AVEIA  
E ERVILHACA EM UM CAMBISSOLO HÚMICO: PERDAS DE  
NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO**

**LAGES, SC**

**2008**

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**FABRÍCIO TONDELLO BARBOSA**

**EROSÃO HÍDRICA EM TRÊS FORMAS DE SEMEADURA DE AVEIA  
E ERVILHACA EM UM CAMBISSOLO HÚMICO: PERDAS DE  
NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Manejo do Solo.

**Orientador:** Dr. Ildegardis Bertol

**LAGES, SC**

**2008**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS  
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

**EROSÃO HÍDRICA EM TRÊS FORMAS DE SEMEADURA DE AVEIA E  
ERVILHACA EM UM CAMBISSOLO HÚMICO: PERDAS DE NUTRIENTES E  
CARBONO ORGÂNICO**

**FABRÍCIO TONDELLO BARBOSA**  
Engenheiro Agrônomo

Aprovado em: 03/03/2008  
Pela banca examinadora:

Homologado em:  
Por:

---

Ildegardis Bertol  
Dr. em Ciência do Solo  
Orientador – UDESC/Lages – SC

---

Dr. Osmar Klauberg Filho  
Coordenador Técnico do Curso de  
Mestrado em Manejo do Solo e  
Coordenador do Programa de Pós-  
Graduação em Ciências Agrárias –  
UDESC/Lages - SC

---

Nerilde Favaretto  
Dra. em Ciência do Solo  
Professora da UFPR/Curitiba - PR

---

Cristian Berto da Silveira  
Dr. em Química Inorgânica  
Professor da UDESC/Lages – SC

---

Dr. Adil Knackfuss Vaz  
Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

---

Mari Lucia Campos  
Dra. em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas)  
Professora da UDESC/Lages – SC

LAGES  
Santa Catarina - Brasil  
2008

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde, oportunidades concedidas e conforto nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Alziro e Nair, exemplos de honestidade, fé, humildade e força de vida, além da confiança depositada em mim.

Ao meu irmão Éderson, grande Engenheiro Agrônomo, pela confiança, incentivo e amizade; e também a minha prima (irmã) Kelen.

A Vanessa, minha namorada, grande presente que ganhei durante o mestrado, a qual admiro e respeito muito.

Ao professor Ildegardis Bertol, excelente profissional e pessoa, pela orientação, amizade e convivência de vários anos, desde a graduação.

A Rodrigo Vieira Luciano, amigão de república e colega de trabalho.

Aos bolsistas de iniciação científica e, antes de tudo amigos, Evandro Luiz Fabian, Eduardo Zavaschi, Rafael Pegoraro, Bruno Mezzomo Barroso, Ezequiel Bosseti e Rodrigo Daltoé Berci.

Aos demais professores do Departamento de Solos, em especial, ao professor Cristian Berto da Silveira e aos laboratoristas Fátima e Henrique, pela amizade e pelos ensinamentos passados.

Aos amigos em Lages, Aline da Silva, Amanda Drehmer, Éderson Gobbi, Danilo Marcon, Leonardo Biffi, Luciane Veronezi, Tamara Pereira, Tatiana Arruda, Patrícia Giovana e aos demais colegas do mestrado.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A UDESC, pela formação profissional, na graduação e no mestrado.

## RESUMO

O uso e manejo inadequado do solo aumentam a erosão hídrica, provocam poluição das águas superficiais e assoreamento de rios e lagos fora do local da erosão e empobrecem o solo no local de origem da mesma. Com o objetivo de avaliar as perdas de nitrogênio, fósforo e potássio solúveis na água de enxurrada e de fósforo, potássio e carbono orgânico nos sedimentos de enxurrada, conduziu-se um experimento sob chuva simulada, num Cambissolo Húmico alumínico léptico, com declividade média de  $0,119\text{ m m}^{-1}$ , em Lages, SC, no período de abril a novembro de 2006. Testes de chuva, com intensidade constante de  $64\text{ mm h}^{-1}$  e duração de uma hora foram aplicados em quatro épocas durante o ciclo das culturas de aveia preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e uma época sobre os resíduos culturais das mesmas, em três formas de semeadura das culturas sob preparo convencional: semeadura mecanizada de aveia em linhas no sentido morro abaixo (AP); semeadura manual de aveia a lanço, sendo as sementes incorporadas manualmente com rastelo (AL); semeadura mecanizada de aveia em linhas em contorno no declive (AC); semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas no sentido morro abaixo (EP); semeadura manual de ervilhaca a lanço, sendo as sementes incorporadas manualmente com rastelo (EL); e semeadura mecanizada de ervilhaca em linhas em contorno no declive (EC). A aveia foi mais eficiente no controle das perdas de solo, enquanto que a ervilhaca morro abaixo teve as maiores perdas. O volume de enxurrada foi maior na semeadura morro abaixo e o tipo de cultura pouco afetou esta variável. A aplicação de uréia na aveia, imediatamente antes da chuva, elevou os teores de N-NH<sub>4</sub> na água de enxurrada, ultrapassando a tolerância para a comunidade aquática. No teste sobre os resíduos culturais, os teores de N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> e K solúveis na água de enxurrada e de P e K nos sedimentos aumentaram em relação ao teste anterior no ciclo das culturas. A semeadura em contorno aumentou os teores de N-NO<sub>3</sub> na água de enxurrada e de P e K nos sedimentos, em relação à semeadura morro abaixo. Os teores de CO nos sedimentos foram pouco afetados pelos tratamentos e testes de chuva. As perdas de N, P e K na água de enxurrada foram maiores na semeadura morro abaixo, onde a ervilhaca perdeu mais N e a aveia mais K, enquanto as perdas de P, K e CO nos sedimentos foram maiores na ervilhaca. A taxa de empobrecimento do solo para P e K foi menor que 1,0, enquanto que para o CO foi superior a unidade.

**Palavras-chave:** Perda de nutrientes. Cultivo em contorno. Chuva simulada.

## ABSTRACT

The inappropriate use and management of soil increase water erosion, causing pollution of surface water and silting of rivers and lakes out of the place of erosion and depletion of soil at its site of origin. To evaluate the loss of nitrogen, phosphorus and potassium soluble in water runoff and the loss of phosphorus, potassium and organic carbon in sediments of the runoff, was performed an experiment under simulated rain, in a Inceptisol, with average slope  $0,119 \text{ m m}^{-1}$ , in Lages, SC, in the period of April to November 2006. Tests of rain, with constant intensity of  $64 \text{ mm h}^{-1}$  lasting one hour were applied in four periods during the cycle of the cultures of oat (*Avena strigosa*) and common vetch (*Vicia sativa*) and one period in the residue of these cultures in three forms of sowing of cultures under conventional tillage: i) mechanized seedling of oats in lines towards hillslope (OP); ii) handle seedling of oats by throwing, with seeds embedded manually with chisel (OH); iii) mechanized seedling of oats in contour lines on the slope (OC); iv) mechanized seedling of vetch in lines towards hillslope (VP); v) handle seedling by throwing of vetch, with seeds embedded manually with chisel (VH); and vi) mechanized seedling of vetch in contour lines in the slope (VC). The oat culture was more effective in controlling the loss of soil, while the hillslope seeded vetch had the greatest losses. The volume of runoff was higher at sowing in hillslope and the type of the culture little affected this variable. The application of urea in oats, just before the rain, raised the levels of  $\text{N-NH}_4$  in water runoff, exceeding the tolerance of the aquatic community. In the test on the cultural residues, the levels of  $\text{N-NH}_4$ ,  $\text{N-NO}_3$  and soluble K in water runoff and P and K in the sediments increased when compared to the former test in the cycle of cultures. The sowing in contour increased the levels of  $\text{N-NO}_3$  in water runoff and P and K in the sediments, for the sowing towards hillslope. The levels of CO in sediments were little affected by the treatments and tests of rain. Losses of N, P and K in water runoff were higher at sowing towards hillslope, where the oat culture lost more N and the vetch culture more K, while the losses of P, K and CO in the sediments were higher in the vetch culture. The rate of depletion of soil to P and K was less than 1.0, while for CO was greater than the unity.

**Keywords:** Nutrient losses. Contour tillage. Simulated rainfall.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Textura e características químicas do Cambissolo Húmico alumínico léptico de Lages, SC, referentes aos perfis da área experimental.....	25
<b>Tabela 2</b> - Intensidade ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e altura (mm) das chuvas simuladas aplicadas com duração de uma hora.....	28
<b>Tabela 3</b> - Volume de escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	34
<b>Tabela 4</b> - Concentração de sedimentos na enxurrada, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	35
<b>Tabela 5</b> - Perda de solo ajustada para intensidade de chuva de $64 \text{ mm h}^{-1}$ e declividade de $0,119 \text{ m m}^{-1}$ , nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	36
<b>Tabela 6</b> - Teor de N-NH <sub>4</sub> solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	38
<b>Tabela 7</b> - Teor de N-NO <sub>3</sub> solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	40
<b>Tabela 8</b> - Teor de P solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	42
<b>Tabela 9</b> - Teor de K solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	44
<b>Tabela 10</b> - Perdas totais de N mineral, P e K solúveis na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos (somatório dos cinco testes de chuva simulada e média das duas repetições).....	46
<b>Tabela 11</b> - P extraível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nos sedimentos do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	48

<b>Tabela 12-</b> K trocável (mg dm <sup>-3</sup> ) nos sedimentos do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	51
<b>Tabela 13-</b> CO (%) nos sedimentos do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições).....	53
<b>Tabela 14-</b> Perdas de P, K e CO nos sedimentos da erosão hídrica nos diferentes tratamentos (somatório de cinco testes de chuva simulada e média de duas repetições).....	55
<b>Tabela 15-</b> Teores de N mineral, P extraível, K trocável e CO na camada de 0–2,5 cm de profundidade do solo, nos diferentes tratamentos (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada).....	56
<b>Tabela 16-</b> Razão entre os teores de P, K e CO dos sedimentos erodidos com os teres de P, K e CO na camada 0-2,5 cm do solo (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada).....	57

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Disposição dos tratamentos na área experimental.....	27
<b>Figura 2</b> - Distribuição dos testes de chuva simulada no tempo, durante o cultivo de aveia e ervilhaca.....	28
<b>Figura 3</b> - Relação entre o teor de N-NH <sub>4</sub> na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).....	37
<b>Figura 4</b> - Relação entre o teor de N-NO <sub>3</sub> na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).....	39
<b>Figura 5</b> - Relação entre o teor de N na água da enxurrada e o teor de N na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.....	41
<b>Figura 6</b> - Relação entre o teor de P na água de enxurrada e a carga de sedimentos na água de enxurrada (média das repetições e dos tratamentos).....	43
<b>Figura 7</b> - Relação entre o teor de P na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).....	43
<b>Figura 8</b> - Relação entre o teor de K na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).....	45
<b>Figura 9</b> - Relação entre o teor de P nos sedimentos da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).....	49
<b>Figura 10</b> - Relação entre os teores de P nos sedimentos da enxurrada e de P na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.....	50

**Figura 11-** Relação entre o teor de K nos sedimentos da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).....51

**Figura 12-** Relação entre os teores de K nos sedimentos da enxurrada com os teores de K na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.....52

**Figura 13-** Relação entre os teores de CO nos sedimentos da enxurrada com os teores de CO na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.....53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO.....	14
2.2 FATORES QUE AFETAM A EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO.....	15
2.3 ORIENTAÇÃO DE PREPARO DO SOLO E SEMEADURA DE CULTURAS EM RELAÇÃO AO DECLIVE.....	17
2.4 NUTRIENTES DE PLANTAS E CARBONO ORGÂNICO PERDIDOS POR EROSÃO HÍDRICA.....	18
2.4.1 Considerações gerais.....	18
2.4.2 Teor de nutrientes na camada superficial do solo.....	19
2.4.3 Teor de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada.....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
3.2 SOLO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	24
3.3 UNIDADE EXPERIMENTAL.....	25
3.4 APARELHO SIMULADOR DE CHUVAS.....	25
3.5 TRATAMENTOS.....	26
3.6 MANEJO DAS CULTURAS.....	27
3.7 TESTES DE CHUVA SIMULADA.....	27
3.8 PROCEDIMENTOS DE CAMPO, ANTERIORES A APLICAÇÃO DAS CHUVAS....	28
3.8.1 Amostras do solo para análise química.....	28

3.9 PROCEDIMENTOS EM CAMPO, DURANTE A APLICAÇÃO DAS CHUVAS.....	29
3.9.1 Taxa instantânea e amostragem de enxurrada para determinação da concentração de sedimentos.....	29
3.9.2 Amostragem de enxurrada para determinação do teor de nutrientes e carbono orgânico.....	29
3.9.3 Intensidade observada das chuvas simuladas aplicadas.....	29
3.10 PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO, APÓS OS TESTES DE CHUVA.....	30
3.10.1 Volume total de enxurrada.....	30
3.10.2 Concentração de sedimentos na enxurrada.....	30
3.10.3 Perda de solo total.....	30
3.10.4 Teor de nutrientes e carbono orgânico no escoamento superficial.....	30
3.10.5 Teor de nutrientes e carbono orgânico na camada de 0 – 2,5 cm do solo.....	31
3.10.6 Ajuste de dados.....	32
3.10.7 Regressões.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
4.1 VOLUME DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	33
4.2 CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	34
4.3 PERDA DE SOLO.....	35
4.4 TEORES DE N, P e K SOLÚVEIS NA ÁGUA DA ENXURRADA.....	36
4.5 PERDAS TOTAIS DE N, P e K SOLÚVEIS NA ÁGUA DA ENXURRADA.....	46
4.6 TEORES DE P, K e CO NOS SEDIMENTOS DA ENXURRADA.....	48
4.7 PERDAS TOTAIS DE P, K e CO NOS SEDIMENTOS DA ENXURRADA.....	53
4.8 TEORES DE N, P, K e CO NA CAMADA DE 0-2,5 CM DO SOLO.....	55
4.9 TAXA DE EMPOBRECIMENTO DO SOLO.....	56
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A história da humanidade está ligada ao uso do solo, sendo que a prosperidade de uma nação depende em muito da riqueza de suas terras. Além do mais, a qualidade dos recursos hídricos, a qual depende da qualidade do uso e manejo do solo, vem piorando gradativamente, um fato preocupante, pois a água controla toda a atividade biológica do planeta. Por estas razões, são necessárias pesquisas no campo da conservação do solo e da água, de forma a garantir um ambiente equilibrado para as atuais e futuras gerações.

O solo é um recurso natural que vem sendo degradado ao longo dos anos pelas práticas agrícolas em praticamente todo o mundo. O uso e manejo inadequado do solo pelo homem aumentam a erosão hídrica, sendo um problema que preocupa a sociedade, pois atinge a todos. A água e sedimentos transportados no processo erosivo contêm nutrientes, matéria orgânica e produtos químicos, os quais podem ser depositados nos cursos de água. Isto provoca a poluição e eutrofização das águas superficiais, assoreamento de rios e lagos, além de empobrecer o solo no local de origem da erosão pela degradação física e biológica e redução de sua fertilidade, o que diminui a capacidade produtiva das terras agrícolas.

Os nutrientes perdidos por erosão hídrica podem estar adsorvidos aos sedimentos ou solubilizados na água perdida pelo escoamento superficial. A cobertura vegetal, os sistemas de manejo e cultivo, a quantidade e o método de aplicação dos fertilizantes e corretivos no solo, a topografia, o volume e a intensidade do escoamento superficial, são os principais fatores que influenciam as perdas de nutrientes e carbono orgânico, pois afetam o teor dos mesmos na água e nos sedimentos e afetam a perda total de água e de sedimentos perdidos por erosão.

Práticas conservacionistas de controle à erosão, principalmente as de caráter mecânico, vêm sendo esquecidas por parte dos técnicos e agricultores da região sul do país. Tal esquecimento vem acontecendo desde o advento da semeadura direta, em que a manutenção da cobertura do solo por resíduos vegetais dissipava a energia cinética das gotas de chuva que é o principal agente erosivo, reduzindo as perdas de solo e água por erosão hídrica. Em determinadas situações, no entanto, a adoção de uma única medida conservacionista não é

suficiente para controlar as perdas de solo, água e nutrientes em níveis toleráveis, principalmente no aspecto ambiental. Tais situações ocorrem principalmente em áreas declivosas, grandes comprimentos de rampa, regiões de alta precipitação pluviométrica, solos com baixa capacidade de infiltração de água, reduzida cobertura do solo por resíduos vegetais, semeadura das culturas em linhas paralelas à pendente e sistemas de manejo onde se mantêm elevados teores de nutrientes na superfície do solo. Nestas situações torna-se necessário adotar práticas conservacionistas complementares, objetivando a manutenção da capacidade produtiva dos solos e da qualidade das águas superficiais.

No cultivo em contorno, as operações de preparo e semeadura feitas seguindo as curvas de nível do terreno, a rugosidade orientada formada pelas marcas dos implementos e a disposição das plantas opostas ao sentido do declive, aumentam o armazenamento e a infiltração de água no solo. Além disso, filtram os sedimentos, retardam o início da enxurrada e reduzem o volume de escoamento superficial. Isto pode alterar o comportamento dos nutrientes e do carbono orgânico perdidos em relação ao preparo e semeadura no sentido paralelo ao declive. O objetivo do trabalho foi avaliar sob chuva simulada, as perdas de nitrogênio mineral, fósforo e potássio solúveis na água da enxurrada e de fósforo, potássio e carbono orgânico nos sedimentos da enxurrada em três formas de semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*), em solo revolvido, durante o ciclo e sobre os resíduos culturais das culturas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO

A erosão hídrica pluvial do solo é causada pela ação da chuva sobre o solo, constituída pelas fases de desagregação, transporte e deposição das partículas, onde tais fases podem ocorrer concomitantemente e, por isso não as torna bem distintas uma das outras (ELLISON, 1947). A maior parte da energia erosiva provém das gotas de chuva e, o restante, do escoamento superficial (WISCHMEIER & SMITH, 1958).

A desagregação é a separação das partículas ou agregados da massa de solo, causada principalmente pela ação da energia cinética do impacto das gotas de chuva, mas também pela energia cisalhante do escoamento superficial. O transporte consiste no deslocamento das partículas desagregadas para fora do local de origem, pelo salpicamento das partículas devido ao impacto das gotas de chuva, mas, principalmente, pela energia do escoamento superficial. A deposição ocorre quando a quantidade de material transportado excede a capacidade de transporte do fluxo, quando esta capacidade é reduzida ou quando a chuva cessa. A deposição é seletiva, sendo que as partículas mais grosseiras ou de maior densidade são depositadas primeiro ao longo do comprimento da rampa (ELLISON, 1947; FOSTER & MEYER, 1972; FOSTER, 1982).

Dependendo das condições superficiais do solo e da forma de atuação do agente erosivo, a erosão pode ocorrer na forma entre sulcos ou em sulcos (ELLISON, 1947; MEYER et al., 1975). Na erosão entre sulcos, a desagregação das partículas de solo é ocasionada pelo impacto das gotas de chuva, sendo que o transporte, o qual poderá ser para dentro dos sulcos, se deve ao salpicamento provocado pelo impacto das gotas combinado ao fluxo laminar turbulento do escoamento superficial. Na erosão em sulcos, a ação do escoamento superficial concentrado dentro dos sulcos é responsável tanto pela desagregação quanto pelo transporte. Esta forma de erosão é originada em pequenos sulcos que se formam em decorrência do escoamento superficial, marcas das operações de preparo e nas depressões naturais do terreno. O impacto das gotas de chuva, apesar de não atingir diretamente a superfície do solo abaixo

da lâmina de escoamento, produz turbulência no fluxo, aumentando a capacidade de desagregação e transporte, por suspender e manter suspensas as partículas de solo (MEYER et al., 1975; ALBERT et al., 1980; FOSTER, 1982). A erosão em sulcos depende dos sedimentos produzidos pela erosão entre sulcos, mas a erosão entre sulcos é independente da erosão em sulcos (MEYER et al., 1975; ALBERT et al., 1980; FOSTER, 1982).

## 2.2 FATORES QUE AFETAM A EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO

Os fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo são: o clima, solo, topografia, cobertura e manejo e práticas conservacionistas, os quais se manifestam com intensidade variável (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Estes fatores podem ser estudados separadamente, o que facilita a verificação de sua importância relativa. Para mesmas condições de topografia e manejo, a erosão hídrica do solo é igual ao produto da erosividade da chuva pela erodibilidade do solo (HUDSON, 1981).

A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão do solo. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e freqüência da chuva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005) que influem no tamanho e energia das gotas e nas características da enxurrada e definem sua erosividade (fator R da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE). Assim, o valor de R representa o potencial do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial para causar erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD et al., 1997).

O solo é o agente passivo no processo erosivo e sua susceptibilidade à erosão hídrica é representada pelo fator erodibilidade do solo (fator K da USLE), expresso pela taxa de perda de solo por unidade de índice de erosividade (WISCHMEIER & SMITH, 1978). O fator K depende da natureza do solo, ou seja, de suas propriedades físicas, como estrutura, textura, permeabilidade e densidade, assim como de suas características químicas e biológicas que exercem diferentes influências na erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). A interação dessas propriedades é complexa, de modo que algumas delas influenciam a capacidade de infiltração de água do solo e, outras, a capacidade do solo resistir à desagregação e ao transporte pelos agentes erosivos (WISCHMEIER & MANNERING, 1969). Portanto, alguns solos são mais suscetíveis a erosão que outros.

A topografia do terreno é representada principalmente pela inclinação do declive e pelo comprimento da rampa, exercendo forte influência sobre a erosão hídrica do solo. Estes componentes da topografia são avaliados separadamente, mas ocorrem juntos no campo,

sendo agrupados em um único fator topográfico (fator LS da USLE) para estudos de erosão hídrica (WISCHMEIER & SMITH, 1978). As perdas de solo são proporcionais ao comprimento da rampa elevado a potência média de 0,5 e à inclinação do declive elevada à potência média de 1,5 (HUDSON, 1981). Portanto, se aumentarmos na mesma proporção o comprimento e a inclinação do declive, os incrementos maiores nas perdas de solo ocorrerão para a inclinação do declive, devido a sua maior influência sobre o aumento da velocidade e volume da enxurrada (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O fator cobertura e manejo do solo (fator C da USLE) expressa a relação entre a perda de solo de uma área sob determinado sistema de manejo e cobertura e a perda de solo de uma área mantida continuamente descoberta, sem vegetação e preparada no sentido do declive, sendo o fator que exerce maior influência na erosão hídrica (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A cobertura do solo inclui aquela ocasionada pelos resíduos vegetais na superfície e pela parte aérea das plantas (FOSTER, 1982). O fator C sofre o efeito da variação do período vegetativo da cultura, cobertura do solo pela copa das plantas e por resíduos culturais, manejo dos resíduos culturais, tipo de preparo do solo, rotação de culturas e efeito residual de cultivos anteriores, além da variação da erosividade e erodibilidade (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A cobertura do solo por resíduos vegetais é mais eficaz na redução da erosão do que a cobertura pela copa das plantas, pois a maior parte das gotas interceptadas pela parte aérea das plantas pode readquirir velocidade e atingir a superfície do solo. Em contrapartida, a energia cinética da gota de chuva pode ser dissipada totalmente ao atingir o resíduo sobre a superfície, o qual reduz ainda a velocidade do escoamento e aumenta a infiltração de água no solo (MANNERING & MEYER, 1962; WISCHMEIER & SMITH, 1978; FOSTER, 1982). Isto induz a deposição dos sedimentos transportados pelo fluxo devido a diminuição da velocidade do escoamento superficial (GILLEY et al., 1987; BERTOL et al., 1997b).

O sistema de preparo e manejo do solo afeta a cobertura e as propriedades físicas da camada superficial, exercendo influência sobre a taxa de infiltração de água no solo e escoamento superficial, afetando as perdas de solo (COGO, 1981; BERTOL et al., 1987; 1997a). Os preparamos convencionais se caracterizam pela redução da cobertura e rugosidade, aumentando a erosão hídrica do solo, enquanto os preparamos conservacionistas se caracterizam por pouca movimentação de solo, preservando a maior parte dos resíduos vegetais e aumentando a porosidade e rugosidade da superfície do solo (COGO et al., 1984; BERTOL et al., 1987; 1997a). A semeadura direta que é considerada um sistema de manejo conservacionista, apresenta baixa rugosidade, mas alta cobertura por resíduos vegetais,

geralmente ancorados nas soqueiras das culturas, aumentando a consolidação e a resistência do solo à erosão hídrica (BERTOL et al., 1997a; 1998).

As práticas conservacionistas de suporte (fator P da USLE) estabelecem a relação entre as perdas de solo de uma dada área com determinada prática conservacionista de suporte e as perdas de solo de uma área sem nenhuma dessas práticas (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Controlam a erosão porque reduzem a velocidade e consequente capacidade de transporte do escoamento (FOSTER, 1982). As práticas conservacionistas de suporte são basicamente de caráter mecânico, e compreendem o preparo e semeadura em contorno, o cultivo em faixas com rotação de culturas e o terraceamento (WISCHMEIER & SMITH, 1978), podendo a alternância de capinas também ser considerada (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). Estas práticas tem por objetivo principal reduzir a ação erosiva do escoamento superficial, sendo complementares às práticas conservacionistas básicas, dadas pela cobertura e manejo do solo.

### 2.3 ORIENTAÇÃO DE PREPARO DO SOLO E SEMEADURA DE CULTURAS EM RELAÇÃO AO DECLIVE

A rugosidade da superfície do solo é representada pela microondulação do terreno, formada pelas microelevações e microdepressões da superfície do solo (ALLMARAS et al., 1967). Esta rugosidade pode ser de duas formas: orientada pelo preparo, a qual é influenciada pelas marcas do preparo, e aleatória, a qual é caracterizada pela ocorrência irregular de elevações e depressões na superfície do solo (BURWELL et al., 1963). A primeira forma corresponde à rugosidade produzida pelas marcas do preparo do solo, caracterizada pela presença ordenada de elevações (pequenos diques) e depressões (pequenos sulcos) na superfície do terreno, as quais podem estar dispostas na direção do declive ou transversal ao mesmo. A segunda é caracterizada pela ocorrência irregular de elevações e depressões, não permitindo, visualmente, identificar a direção do preparo. As duas formas, a aleatória e a em sulcos transversais ao declive, reduzem as perdas de solo e água, uma vez que aumentam a retenção superficial da água da chuva (ZOLDAN JUNIOR, 2006; LUCIANO, 2008).

No cultivo em contorno, as operações de preparo, semeadura e demais operações de cultivo, são feitas no sentido transversal à pendente (cortando o declive), seguindo curvas de nível ou linhas em contorno (PIRES & SOUZA, 2003; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). Com isso, as fileiras de plantas, os pequenos sulcos e leiras e os restos culturais deixados na superfície do solo, são dispostos de maneira a formarem barreiras que dificultam

o percurso livre da enxurrada e, consequentemente, aumentam o armazenamento de água na superfície, oportunizando maior infiltração de água no solo. Assim, esse cultivo reduz a velocidade e a quantidade de enxurrada que escoa na superfície, dissipando a energia cisalhante da enxurrada e, em decorrência, proporciona menor erosão hídrica (PIRES & SOUZA, 2003; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005, DERNARDIN et al., 2005). Além do mais, as plantas em fileiras aprisionam parte dos sedimentos do escoamento superficial e as microondulações do terreno, por reterem água temporariamente, promovem sedimentação de parte das partículas em suspensão na água de escoamento para dentro das microdepressões do relevo e, com isso, reduzem a concentração de sedimentos na água de escoamento superficial.

Dados obtidos pela Seção de Conservação do Solo do IAC (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005), mostram que a semeadura em contorno reduz 50% as perdas de solo e 30% as de água, em relação à semeadura na direção da pendente. A efetividade do cultivo em contorno diminui dos solos argilosos para os arenosos; à medida que o comprimento de rampa e a declividade do terreno aumentam; e das culturas mais densas para as menos densas (PIRES & SOUZA, 2003; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Quando o preparo é feito no sentido do declive (morro abaixo), o processo erosivo é muito favorecido e acelerado. Isto porque cada pequeno sulco ou leira produzido pela aração morro abaixo representa um caminho livre para a enxurrada, assim como as linhas das culturas, quando também dispostas morro abaixo, formam, entre elas, verdadeiros corredores, por onde a água desce livremente, e adquire velocidade suficiente para, com pequena infiltração, causar grande erosão (PIREZ & SOUZA, 2003).

A redução da quantidade de sedimentos em suspensão na água, bem como de substâncias químicas e/ou orgânicas em solução na enxurrada, além do aumento da quantidade de água infiltrada no solo, decorrentes do emprego da semeadura em contorno, pode contribuir, expressivamente, para a melhoria da qualidade das águas, principalmente de mananciais de superfície (DERNARDIN et al., 2005).

## 2.4 NUTRIENTES DE PLANTAS E CARBONO ORGÂNICO PERDIDOS POR EROSÃO HÍDRICA

### 2.4.1 Considerações gerais

Os nutrientes de plantas e carbono orgânico perdidos pela erosão hídrica em lavouras são responsáveis pelo empobrecimento do solo no local de origem da erosão e consequente redução da produtividade das culturas, bem como pela contaminação ambiental fora do local

da erosão (SCHICK et al., 2000). Os nutrientes presentes no escoamento superficial de terras agrícolas contribuem para a eutrofização das águas em mananciais (POTE et al., 1996). O nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes adicionados ao solo para suplementar a fertilidade natural e, juntamente com o cálcio, magnésio, potássio e matéria orgânica, são altamente suscetíveis às perdas pela erosão hídrica e são fontes de contaminação das águas (ALBERTS et al., 1978). Embora o nitrogênio e fósforo solúveis representem uma pequena fração destes elementos totais perdidos por erosão, tais formas são mais prontamente biodisponíveis do que as formas de nitrogênio e fósforo ligadas aos sedimentos (McISAAC et al., 1995).

As perdas de nutrientes podem ser expressas tanto em teores dos elementos na suspensão ou nos sedimentos, como em quantidades perdidas por área (BERTOL, 1994b; SCHICK, 1999; SCHICK et al., 2000). O teor de um elemento no escoamento varia principalmente com seu teor no solo, o qual é influenciado pelo preparo, manejo e cobertura do solo, pelas fertilizações e pelo volume de chuvas (JOHNSON et al., 1979; SEGANFREDO et al., 1997; SCHICK et al., 2000). A perda total de nutrientes na água do escoamento depende do volume total de escoamento e dos teores dos referidos nutrientes na água do escoamento superficial (GUADAGNIN, 2003). No entanto, a perda total de nutrientes e carbono orgânico nos sedimentos erodidos depende da quantidade de solo perdido por erosão hídrica e dos teores dos referidos nutrientes no solo erodido (SCHICK et al., 2000; GUADAGNIN, 2003).

#### 2.4.2 Teor de nutrientes na camada superficial do solo

A quantidade e o manejo do adubo são fatores que interferem no teor dos nutrientes no solo. Aplicações de grandes quantidades de adubos nas lavouras, durante longo tempo, tendem a elevar os teores de nutrientes no solo e, consequentemente, elevar tais teores no escoamento superficial, especialmente em áreas sem revolvimento do solo (POTE et al., 1996; SCHICK et al., 2000). A aplicação de adubo, sem revolvimento do solo, produz grande potencial para perda de nutrientes, pois estes elementos ficam concentrados na superfície do solo, sendo mais suscetíveis ao transporte pelo escoamento superficial (SHARPLEY et al., 1991). A incorporação do adubo com o revolvimento do solo diminui o teor dos nutrientes na superfície, pois o preparo incorpora os adubos e os resíduos e os distribui na camada preparada (BERTOL et al., 2004a).

Além do mais, sistemas conservacionistas, por manterem os resíduos vegetais na superfície do solo, proporcionam aumento no teor dos nutrientes na camada superficial do solo em relação ao preparo convencional. Isto se deve aos nutrientes que se acumulam na superfície do solo ao serem liberados dos resíduos vegetais (McDOWEL e McGREGOR, 1980; BURWELL et al., 1975) e também ao processo de lixiviação de nutrientes dos tecidos vegetais de plantas vivas, por lavagem da parte aérea das plantas pela água das chuvas (BARISAS et al., 1978; MODEL, 1990).

A velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos culturais durante sua decomposição depende da localização e da forma em que esses nutrientes se encontram no tecido vegetal. O potássio, que se encontra em componentes não estruturais e na forma iônica no vacúolo das células das plantas (MARSCHNER, 1995; GIACOMINI et al., 2003), é o elemento mais facilmente lixiviado, podendo ser extraído dos tecidos vegetais apenas com a água da chuva. No caso do fósforo, cuja maior parte encontra-se associado a componentes orgânicos do tecido vegetal (MARSCHNER, 1995), sua liberação está intimamente ligada ao processo de decomposição pelos microorganismos do solo. O aporte de nitrogênio no solo proveniente dos tecidos vegetais é predominantemente mediado pelos microorganismos do solo que fazem a mineralização da matéria orgânica (CANTARELLA, 2007).

#### 2.4.3 Teor de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada

A intensidade do preparo do solo é um fator que influencia o volume de escoamento e a erosão hídrica, afetando o transporte de elementos químicos solúveis ou adsorvidos quimicamente, principalmente os nutrientes de plantas oriundos dos adubos aplicados (RICHADSON et al., 1995). Os preparos de solo que se caracterizam por apresentar elevada cobertura e/ou rugosidade superficial, as perdas de solo e água são reduzidas, o que pode diminuir as perdas de nutrientes por erosão (BERTOL, 1994b; KING et al., 1996; SEGANFREDO et al., 1997; SCHICK et al., 2000). Os teores de nutrientes solúveis na água da enxurrada em geral são semelhantes ou maiores nos preparos conservacionistas do que nos convencionais (BARISAS et al., 1978; SCHICK et al., 2000). Isto é atribuído ao revolvimento do solo nos preparos convencionais e à ausência de revolvimento nos conservacionistas, onde, em função da forma de aplicação dos adubos, o teor de nutrientes é mais elevado na camada superficial do solo.

Daniel et al. (1994) e Schick et al. (2000), constataram que os teores de fósforo na camada superficial do solo apresentaram correlação linear e positiva com os teores desse

elemento nos sedimentos presentes na água da enxurrada. Leite (2003) observou que os teores de fósforo, potássio e carbono orgânico nos sedimentos do escoamento relacionaram-se direta e positivamente com a composição química da camada de 0 – 2,5 cm de profundidade do solo de onde o sedimento se originou. No geral, os sedimentos erodidos apresentam maior teor de nutrientes do que a composição química original do solo, o que é atribuído à textura do material transportado pela erosão, o qual provavelmente é mais rico em silte e argila do que o solo de onde ele se originou (LANGDALE et al., 1985). Entretanto, o maior teor de nutrientes na enxurrada de sistemas de preparo do solo conservacionistas é compensado pela menor perda total de solo e água, refletindo-se, assim em menores perdas totais de nutrientes nestes sistemas de manejo, do que nos convencionais (McDOWELL & McGREGOR, 1984).

As taxas de enriquecimento por nutrientes geralmente são inversamente proporcionais as perdas de solo e água, pois, quando a velocidade do escoamento é baixa, a enxurrada não consegue transportar as partículas de solo maiores, diminuindo as perdas de solo por erosão. O aumento na proporção de partículas menores na enxurrada, resultante dessa situação, aumenta a proporção de colóides minerais e orgânicos nos sedimentos e, com isso, o enriquecimento dos mesmos em nutrientes de plantas e carbono orgânico (BARROWS & KILMER, 1963; ALBERTS & MOLDENHAUER, 1981).

O processo de remoção de nutrientes pela erosão hídrica tende a ser seletivo, uma vez que a matéria orgânica e as partículas mais finas do solo, ambas mais ricas em nutrientes do que as mais grosseiras, são mais vulneráveis ao transporte pela enxurrada do que estas (BARROWS & KILMER, 1963). A matéria orgânica é o primeiro constituinte a ser removido pela erosão hídrica, em função de sua alta concentração na superfície do solo e pela sua baixa densidade, o que justifica o maior teor de carbono orgânico nos sedimentos da erosão do que na camada superficial original do solo (BARROWS & KILMER, 1963; SCHICK et al., 2000).

Langdale et al. (1985) observaram, durante nove anos de cultivo sob chuva natural, que os teores de fósforo aumentaram na água do escoamento quando ocorreram diminuições na carga de sedimentos na enxurrada. Sharpley (1980), Sharpley et al. (1981) e Burwel et al. (1975), também afirmaram que os nutrientes, em especial o fósforo, presentes na água do escoamento superficial, podem ser readsorvidos pelas partículas de solo, em grande parte pelos sedimentos finos em suspensão na água da enxurrada. Isto faz com que o teor do elemento diminua na forma solúvel à medida que aumenta a quantidade de sedimentos suspensos na água da enxurrada.

O tempo de aplicação do adubo em relação aos eventos de chuva, bem como a forma de colocação de adubos no solo, afeta a perda de nutrientes por enxurrada (CASSOL et al., 2002). Na maioria dos sistemas de manejo do solo, maiores quantidades de fertilizantes são aplicadas na implantação das culturas e, por essa razão, os maiores teores de nutrientes perdidos na enxurrada podem ocorrer durante o início do ciclo das culturas, em relação ao fim da fase de crescimento vegetal (LEITE, 2003; ENGEL, 2005). Shumam (2002) verificou maiores teores de fósforo no escoamento superficial no primeiro teste de chuva simulada, com redução considerável nos testes subseqüentes. Mello (2002) observou que os teores de nitrogênio na água da enxurrada foram maiores no teste 1, diminuindo nos testes 2 e 3 de chuva simulada, durante o ciclo da soja, independentemente do tipo de tratamento. Cassol et al. (2002) encontraram maiores perdas de nutrientes nas primeiras chuvas, a não ser o potássio que apresentou comportamento variável durante as chuvas. A quantidade de adubo aplicado também pode exercer influência nas perdas de nutrientes. Pote et al. (1996) observaram que doses crescentes de fósforo aplicado no solo correlacionaram-se linear e positivamente com os aumentos nos teores do elemento na água da enxurrada. Em sistemas de cultivo de solo conservacionista e convencional, Langdale et al. (1985) observaram aumento do teor de fósforo na água da enxurrada quando a dose do fertilizante aumentou de 20 para 50 kg ha<sup>-1</sup>, aplicado no momento da semeadura, nas culturas de milho, pousio, milho, cevada, soja, trigo, soja, trigo e sorgo.

Em sistemas de manejo do solo que envolvem manejo adequado de resíduos vegetais (resíduos não incorporados ao solo), espera-se que as perdas de nutrientes sejam reduzidas. No entanto, mesmo em tais condições, é possível que ocorra a lavagem dos resíduos vegetais (BURWELL et al., 1975; VIEIRA et al., 1978), os quais, juntamente com as plantas, são fontes de nutrientes solúveis (BARISAS et al., 1978; JOHNSON et al., 1979) que podem ser perdidos com o escoamento superficial. Bertol et al. (2007) verificaram que o teor de potássio solúvel na água da enxurrada apresentou um ligeiro aumento a partir do quarto para o quinto teste de chuva simulada. Os autores atribuíram este comportamento à intensa lixiviação deste elemento pelo dossel das plantas de soja, as quais estavam na fase final de seu ciclo (maturação fisiológica), em que as folhas mais velhas caíram sobre a superfície do solo. Ros (1993) avaliou a liberação de fósforo durante a decomposição de diversas plantas de cobertura e verificou que 64% do fósforo da ervilhaca e 33% da aveia foram liberados nos primeiros 30 dias após o manejo das plantas com uma gradagem. Giacomini et al. (2003), estudando o efeito da liberação de fósforo e potássio dos resíduos culturais de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro, constatou que na ervilhaca menos de 60% do fósforo permaneceu nos resíduos

culturais nos primeiros 15 dias, no nabo e na aveia este valor foi superior a 90%. Isto resultou em maior teor de fósforo solúvel em água da ervilhaca, que superou a aveia em 27%. Já em relação ao potássio, os autores constataram que o elemento foi rapidamente liberado dos resíduos culturais, com taxa média de liberação 4,5 vezes maior do que a observada no fósforo. Na primeira amostragem, realizada aos 15 dias, apenas 10% do potássio permanecia nos resíduos culturais da ervilhaca, 15% no nabo e 45% na aveia, constatando que a maior parte do potássio dos resíduos culturais das plantas de cobertura é liberada logo após o manejo das espécies. Aita & Giacomini (2003) estudando a liberação de nitrogênio pela decomposição de resíduos culturais, encontraram maior velocidade de decomposição e liberação do elemento dos resíduos da ervilhaca em comparação com a aveia.

Os teores de nutrientes são, em geral, maiores nos sistemas sem mobilização do solo (SCHICK et al., 2000, BERTOL et al., 2003, BERTOL et al., 2004a; 2004b). Isto é causado pelo contato direto da água da enxurrada com os resíduos vegetais e com a camada superficial do solo, ambos ricos em nutrientes. Por outro lado, em sistemas de manejo com mobilização do solo, os fertilizantes e resíduos vegetais são misturados na camada preparada do solo e, como resultado, estão menos sujeitos a remoção pela enxurrada (BERTOL et al., 2007).

O volume de chuva e de escoamento pode influenciar o comportamento dos nutrientes perdidos por erosão hídrica. Mihara (2001), estudando perdas de nitrogênio e fósforo sob chuvas de aproximadamente 150 mm, constatou que o teor de nitrogênio no escoamento diminuiu com o aumento da enxurrada. Schomberg & Steiner (1999) observaram elevadas perdas de nitrogênio, fósforo e potássio em solo cultivado, variando com o volume de chuva simulada aplicada, o mesmo ocorrendo com os trabalhos de Langdale et al. (1985), onde as diferenças foram significativas nas perdas de fósforo quando ocorreram grandes variações no volume escoamento. Berg et al. (1998), no entanto, não encontraram diferenças nas perdas de nitrogênio e fósforo na suspensão do escoamento, quando ocorreram pequenas variações no volume de escoamento.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO E CLIMA DA ÁREA EXPERIMENTAL**

O experimento foi conduzido entre abril e novembro de 2006, sob condições de chuva simulada, com parcelas em campo, na Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, no Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV, na cidade de Lages, SC, com coordenadas de 27° 49' latitude Sul e 50° 20' longitude, a Oeste de Greenwich, a 900m de altitude média, no Planalto Sul Catarinense. O clima é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen (subtropical úmido, chuvoso, com verões frescos). O relevo do local é suave-ondulado.

#### **3.2 SOLO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL**

O solo da área experimental é um Cambissolo Húmico alumínico léptico, horizonte A moderado, com substrato composto de siltitos e argilitos. As principais características de três perfis descritos encontram-se na Tabela 1.

O local do experimento era mantido sob campo natural, com predomínio de gramíneas nativas, até março de 2006. Antes da implantação do experimento, a área recebeu correção da acidez do solo, com incorporação de 15 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT= 80%), incorporado por meio de duas arações a 20 cm de profundidade e duas gradagens a 15 cm de profundidade.

Tabela 1 - Textura e características químicas do Cambissolo Húmico alumínico léptico de Lages, SC, referentes aos perfis da área experimental

Perfil-Hor.	Prof. cm	Argila .....	Silte % .....	Areia (1:1)	pH(H <sub>2</sub> O) ..	P mg kg <sup>-1</sup> ..	K .. cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ..	Ca ..	Mg ..	Al ..	C.O. %
P1-A	0-22/30	28	50	22	4,7	10,0	168	2,4	1,7	4,4	3,0
P1-Bi	22/30-43/60	28	47	25	4,6	1,2	37	1,9	1,1	6,8	1,1
P1-Cr	43/60-84+	32	66	2	4,9	0,6	39	1,7	1,1	7,9	0,1
P2-A	0-17	29	51	20	4,8	4,6	193	2,4	1,7	4,6	2,3
P2-AB	17-35	33	45	22	4,5	1,9	88	2,0	1,1	6,8	1,4
P2-Bi	35-58/60	30	47	23	4,5	0,8	46	2,0	1,0	7,5	0,7
P2-BC	58/60-74+	32	47	21	4,5	0,6	38	1,9	1,1	7,7	0,5
P2-Cg	74+	35	55	10	4,6	0,2	28	1,9	1,1	8,3	0,1
P3-A1	0-12	24	47	29	5,0	6,2	158	2,7	2,3	3,0	2,7
P3-A2	12-28	26	46	28	4,6	4,3	81	2,2	1,4	6,3	2,3
P3-AB	28-50	26	43	31	4,6	1,4	44	2,2	1,2	6,5	1,2
P3-Bi	50-66	29	42	29	4,6	1,3	34	2,0	1,0	6,9	1,8
P3-C1	66-80/85	33	43	24	4,6	0,2	31	1,6	0,9	8,4	1,3
P3-Cr	80/85+	29	67	4	4,9	0,1	30	1,7	0,9	9,1	0,1

### 3.3 UNIDADE EXPERIMENTAL

A unidade experimental ou parcela tinha dimensões de 3,5 m de largura e 11 m de comprimento, orientada no sentido do declive, com área de 38,5 m<sup>2</sup>, delimitada nas partes laterais e extremidade superior por chapas galvanizadas com 20 cm de altura, cravadas a 10 cm de profundidade no solo. A extremidade inferior era delimitada por uma calha coletora do escoamento, a qual era conectada a uma tubulação de PVC que permitia a condução do fluxo até uma trincheira situada seis metros abaixo, onde as amostras de enxurrada foram coletadas. A área experimental era composta por seis tratamentos e duas repetições, totalizando doze parcelas experimentais, com declividade média de 0,119 m m<sup>-1</sup>, com variação de 0,088 a 0,149 m m<sup>-1</sup> (Anexo 1).

### 3.4 APARELHO SIMULADOR DE CHUVAS

Para a realização das chuvas simuladas, utilizou-se um aparelho simulador de chuva de braços rotativos que cobre simultaneamente duas unidades experimentais, distanciadas entre si em 3,5 m (IAPAR, 1975; SWANSON, 1975). O aparelho é composto por 10 braços, distribuídos radialmente em cima de uma torre central, com 30 bicos nos braços distribuídos de forma helicoidal, formando uma espiral concêntrica. Na realização das chuvas, o simulador operou com 15 bicos abertos que produziam a chuva artificial, com intensidade constante e

planejada de  $64 \text{ mm h}^{-1}$ . A intensidade das chuvas foi controlada por meio de dois manômetros, um deles localizado a aproximadamente 7 m da entrada de água no simulador, operando com pressão de  $12,3 \text{ kg cm}^{-2}$  e, o segundo, localizado em um dos braços rotativos, operando com pressão de  $6,5 \text{ kg cm}^{-2}$ . O ajuste das pressões, necessárias para se conseguir a intensidade de chuva planejada de  $64 \text{ mm h}^{-1}$ , era realizado abrindo ou fechando o registro localizado na tubulação próximo ao aparelho simulador de chuvas. A fonte de água era proveniente de um açude próximo ao local, onde a água era captada por um conjunto moto-bomba e conduzido até o aparelho por meio de tubulação de PVC.

### 3.5 TRATAMENTOS

Os tratamentos estudados, conduzidos sob solo revolvido por duas araçãoes e duas gradagens para incorporação do calcário, eram compostos por duas culturas, aveia preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*) em três formas (orientações) de semeadura das culturas, em duas repetições. O experimento era formado por duas subunidades, sendo que cada subunidade continha uma cultura (Figura 1).

Tratamento 1 – semeadura mecanizada de aveia preta em linhas no sentido paralelo ao declive (morro abaixo) – AP.

Tratamento 2 – semeadura manual de aveia preta a lanço, sendo as sementes incorporadas manualmente com rastelo – AL.

Tratamento 3 – semeadura mecanizada de aveia preta em linhas no sentido transversal ao declive (em contorno) – AC.

Tratamento 4 – semeadura mecanizada de ervilhaca comum em linhas no sentido paralelo ao declive (morro abaixo) – EP.

Tratamento 5 – semeadura manual de ervilhaca comum a lanço, sendo as sementes incorporadas manualmente com rastelo – EL.

Tratamento 6 – semeadura mecanizada de ervilhaca comum em linhas no sentido transversal ao declive (em contorno) – EC.

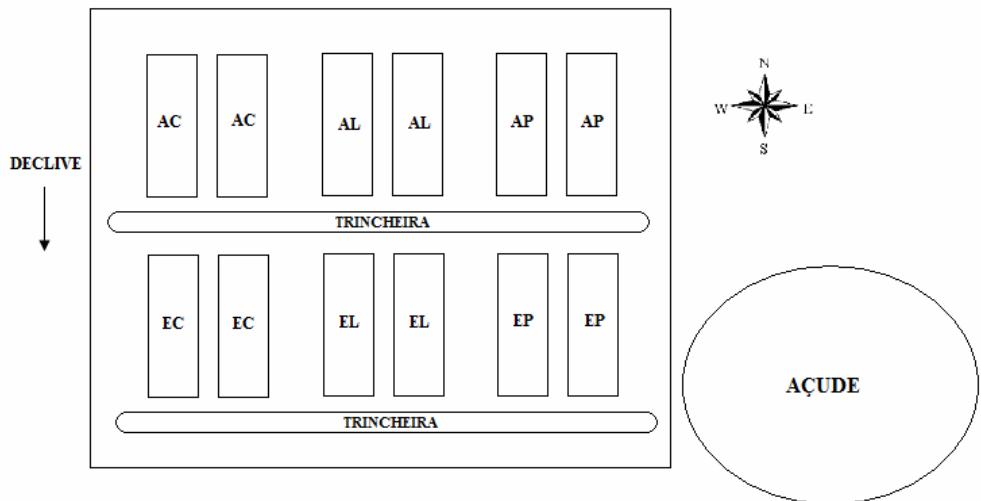


Figura 1 - Disposição dos tratamentos na área experimental.

### 3.6 MANEJO DAS CULTURAS

A semeadura das culturas foi realizada no dia 05 de julho de 2006, com semeadora própria de parcelas experimentais acoplada ao trator nos tratamentos AP, AC, EP e EC. A regulagem da profundidade das sementes foi de 4 cm, formando sulcos no solo nesta profundidade, na direção da linha da semeadora. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,20 m. Nos tratamentos semeados a lanço (AL e EL), as sementes foram distribuídas manualmente e incorporadas ao solo com um rastelo. A quantidade de semente aplicada foi de 100 kg ha<sup>-1</sup> para a aveia preta e 60 kg ha<sup>-1</sup> para a ervilhaca comum. As culturas receberam adubações distintas, segundo às recomendações técnicas da Comissão de fertilidade do solo (2004). Os adubos foram incorporados ao solo, um dia antes da semeadura das culturas, por meio de uma gradagem leve. Foi aplicada a dose de 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O mais 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na ervilhaca comum; e 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O mais 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na aveia preta, nas formas de superfosfato triplo e cloreto de potássio. As sementes de ervilhaca foram inoculadas com rhizobium específico. Nos tratamentos com aveia, foi aplicado 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, em cobertura, na forma de uréia, imediatamente antes do primeiro teste de chuva simulada, que correspondia ao estágio inicial de perfilhamento da aveia. No início do enchimento de grãos, em novembro de 2006, as culturas foram roçadas com roçadora costal e, posteriormente, o resíduo vegetal foi distribuído uniformemente sobre o solo.

### 3.7 TESTES DE CHUVA SIMULADA

Durante a realização do experimento, foram feitos cinco testes de chuva simulada, com duração de 60 minutos cada, com intensidade variável entre 58 e 87 mm h<sup>-1</sup> (Tabela 2).

Tabela 2 - Intensidade ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e altura (mm) das chuvas simuladas aplicadas, com duração de uma hora

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
AP	63	67	63	63	68	65
AL	69	68	70	66	72	69
AC	58	77	70	66	67	68
EP	67	76	76	72	78	74
EL	68	87	80	75	81	78
EC	76	84	79	76	81	79

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

Com isso, a altura de chuva foi igual ao valor da intensidade da chuva. No dia 04 de agosto de 2006, 30 dias após a semeadura das culturas, foi realizado o teste 1. O teste 2 foi realizado no dia 13 de setembro, o teste 3 no dia 17 de outubro, o teste 4 no dia 21 de outubro e, o teste 5, no dia 24 de novembro. Do teste 1 ao teste 4, as chuvas foram realizadas sobre o ciclo das culturas, enquanto o teste 5 foi realizado sobre os resíduos vegetais presentes na superfície do solo, 10 dias após as culturas terem sido roçadas. A Figura 2 exemplifica a distribuição dos testes de chuva simulada no tempo. Como o aparelho simulador de chuvas cobria simultaneamente duas unidades experimentais, as quais eram repetições dos tratamentos, foram realizadas 6 chuvas por teste, resultando em um total de 30 chuvas durante o período de estudo.

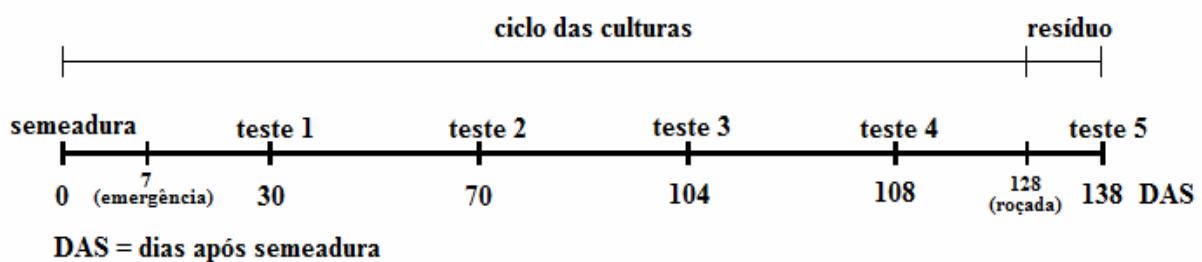


Figura 2 - Distribuição dos testes de chuva simulada no tempo, durante o cultivo de aveia e ervilhaca.

### 3.8 PROCEDIMENTOS DE CAMPO, ANTERIORES A APLICAÇÃO DAS CHUVAS

#### 3.8.1 Amostras do solo para análise química

Imediatamente antes de cada teste de chuva simulada, foram coletadas amostras do solo na profundidade de 0-2,5 cm, com auxílio de um facão, em três pontos na parcela, as quais foram homogeneizadas em uma única amostra, para posterior determinação em laboratório do teor de nutrientes e carbono orgânico do solo.

### 3.9 PROCEDIMENTOS EM CAMPO, DURANTE A APLICAÇÃO DAS CHUVAS

#### 3.9.1 Taxa instantânea e amostragem de enxurrada para determinação da concentração de sedimentos

Após o início da enxurrada, iniciou-se a medição da taxa instantânea de enxurrada que era feita em intervalos de três minutos. Para isso, utilizou-se uma proveta graduada de 1.000 ml ou 2.000 ml, conforme a necessidade, a qual era colocada sob o fluxo, na extremidade do cano conectado à calha coletora, de onde saia à enxurrada. A duração da coleta variava de três a dez segundos, conforme a vazão, anotando-se o volume e o tempo de coleta. Em seguida, colocava-se sob o fluxo um pote plástico com capacidade de 1000 ml, mantido ali o tempo necessário para enchê-lo, objetivando a coleta de enxurrada para posterior determinação da concentração de sedimentos na mesma.

#### 3.9.2 Amostragem de enxurrada para determinação do teor de nutrientes e carbono orgânico

Para a determinação do teor de nutrientes e carbono orgânico nos sedimentos da enxurrada, foram utilizados os mesmos sedimentos provenientes da coleta para determinação da concentração de sedimentos na enxurrada, conforme descrito anteriormente (item 3.9.1).

A coleta de amostras da enxurrada para a determinação dos teores de nutrientes solúveis na água da enxurrada foi feita em pote plástico com capacidade de 300 ml, em intervalos de 10 minutos, até o fim da chuva. Em cada teste de chuva simulada, também foram coletadas amostras da água do açude para determinação dos teores de nutrientes solúveis, para serem descontados dos teores obtidos nas amostras da água da enxurrada. Todas as amostras foram congeladas para posterior análise química, em laboratório.

#### 3.9.3 Intensidade observada das chuvas simuladas aplicadas

Para verificação da intensidade das chuvas simuladas aplicadas, foram distribuídos estrategicamente 20 pluviômetros sobre a área coberta pela chuva simulada, com área de captação de 53,60 cm<sup>2</sup> cada um. Depois de cessada a chuva, fez-se a leitura do volume de água dos pluviômetros, com auxílio de uma proveta graduada (ml). A intensidade da chuva aplicada foi calculada dividindo-se o volume médio de água coletada nos pluviômetros (ml) por 53,60 cm<sup>2</sup>. Multiplicando o resultado encontrado pelo valor obtido da divisão de 60

minutos pelo tempo total de duração da chuva (minutos), e multiplicando por 10, encontrou-se a intensidade da chuva, expressa em  $\text{mm h}^{-1}$ .

### 3.10 PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO, APÓS OS TESTES DE CHUVA

#### 3.10.1 Volume total de enxurrada

O volume total de enxurrada de cada chuva foi obtido pela integração das taxas instantâneas de enxurrada, com resultados expressos mm e porcentagem da chuva aplicada.

#### 3.10.2 Concentração de sedimentos na enxurrada

No laboratório, os potes plásticos de 1000 ml coletados sob o fluxo da enxurrada a cada três minutos, foram pesados. O material permaneceu em repouso para decantação dos sedimentos. Posteriormente, retirou-se o líquido sobrenadante com o uso de um sistema de sifão, deixando uma lâmina de água de aproximadamente 2,0 cm sobre os sedimentos. Os potes foram levados à estufa à temperatura de 50 °C, onde permaneceram por 72 horas e, quando secos, efetuou-se novamente a pesagem. O cálculo da concentração de sedimentos na enxurrada foi feito dividindo-se o peso dos sedimentos secos pelo peso dos sedimentos + água. A concentração média de sedimentos durante o tempo de duração da enxurrada foi obtida por meio da média aritmética dos valores de concentração de sedimentos na enxurrada, com o resultado expresso em  $\text{g L}^{-1}$ .

#### 3.10.3 Perda de solo total

A quantidade total de solo foi obtida pela integração das taxas instantâneas de perda de solo, calculada multiplicando-se a taxa instantânea de enxurrada pela concentração instantânea de sedimentos. Os resultados obtidos na área da parcela ( $38,5 \text{ m}^2$ ) foram extrapolados para a área de 1,0 ha e expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

#### 3.10.4 Teor de nutrientes e carbono orgânico no escoamento superficial

Para análise dos nutrientes e carbono orgânico contidos nos sedimentos erodidos, foram utilizados os sedimentos provenientes dos potes de 1000 ml (item 3.9.2). Após determinada a concentração de sedimentos nos potes (item 3.10.2), os sedimentos

provenientes destes foram misturados em uma única amostra, por parcela, para a realização da análise química. Neste material, foram determinados os teores de fósforo extraível e potássio trocável, utilizando o método do extrator duplo ácido (Mehlich-1), com leituras dos teores de potássio feitos em fotômetro de chama e as de fósforo em espectrofotômetro, utilizando curvas de calibração apropriadas. Os teores de carbono orgânico nos sedimentos foram determinados por titulometria, utilizando o método de Walkley-Black, que tem o princípio da oxidação dos compostos orgânicos do solo por dicromato em meio ácido. Estas metodologias estão descritas em Tedesco et al. (1995). Os teores de nitrogênio mineral nos sedimentos não foram possíveis de serem determinados, em virtude da pequena quantidade de sedimentos contidos nos potes.

Para determinação do teor de nutrientes solúveis na água da enxurrada, foram usados os potes descritos no (item 3.9.2). Após descongeladas, as amostras de enxurrada foram filtradas em papel filtro de 8,0 µm de diâmetro dos poros. Como os potes foram congelados, houve decantação dos sedimentos no fundo do mesmo e, com isso, a água ficou límpida, visualmente sem colóides presentes em suspensão, o que facilitou a filtragem. Os teores dos nutrientes solúveis na água da enxurrada foram determinados individualmente por pote, mas o valor correspondente, por parcela, foi obtido por uma média dos mesmos e, subtraindo-se o valor obtido pelo teor do elemento contido na água do açude. Determinaram-se os teores de potássio solúvel, através de leitura direta em fotômetro de chama, nitrogênio solúvel na forma de amônio ( $N-NH_4$ ) e na forma de nitrato ( $N-NO_3$ ), através de destilação direta do material e posterior titulação, pelo método de Bremner & Keeney (1966). Estas metodologias são descritas em Tedesco et al. (1995). Os teores de fósforo solúvel foram determinados em espectrofotômetro, através do método do teste do ácido ascórbico, descrito em Murphy & Riley (1962).

### 3.10.5 Teor de nutrientes e carbono orgânico na camada de 0 – 2,5 cm do solo

Nas amostras de solo coletadas na profundidade de 0 – 2,5 cm, anteriormente à aplicação de cada teste de chuva, foram analisados os teores de fósforo extraível, potássio trocável e carbono orgânico, seguindo as mesmas metodologias utilizadas para os sedimentos da enxurrada (item 3.10.4). Para a determinação dos teores de nitrogênio mineral no solo na forma de amônio ( $N-NH_4$ ) e na forma de nitrato ( $N-NO_3$ ), foi utilizado o método descrito por Bremner & Keeney (1966), por extração com KCl e destilação do material. Isto consta em Tedesco et al. (1995).

### 3.10.6 Ajuste de dados

Devido à variação verificada na intensidade das chuvas simuladas aplicadas (Tabela 2) e na declividade das parcelas experimentais (Anexo 1), os dados de perda de solo foram ajustados para a intensidade planejada de  $64 \text{ mm h}^{-1}$  e declividade média de  $0,119 \text{ m m}^{-1}$ .

Para obtenção do primeiro fator de correção, dividiu-se a intensidade de chuva planejada pela intensidade de chuva observada, elevando o valor ao quadrado e, o resultado, multiplicado pela perda total de solo observada. Após este ajuste, a perda total de solo ainda foi ajustada para a declividade média das parcelas de  $0,119 \text{ m m}^{-1}$ . Isto foi feito multiplicando-se a perda de solo ajustada para a intensidade de  $64 \text{ mm h}^{-1}$  pelo valor obtido da divisão do fator S do declive médio de  $0,119 \text{ m m}^{-1}$  pelo fator S do declive de cada parcela, conforme metodologia de Wischmeier & Smith (1978). O fator S é calculado por:  $S = 0,065 + 4,56\text{sen}\theta + 65,41\text{sen}\theta^2$ , onde  $\theta$  é o ângulo do declive.

### 3.10.7 Regressões

Os teores dos nutrientes solúveis na água da enxurrada e os teores dos nutrientes nos sedimentos da erosão hídrica foram relacionados, por análise de regressão, com a altura de chuva acumulada, contabilizando as chuvas simuladas aplicadas somadas as chuvas naturais. Isto foi feito para o período compreendido durante o ciclo de desenvolvimento das culturas. Para o ajuste da função, foram utilizados os valores de cada tratamento na média das repetições, mas, como ilustração, os gráficos constam apenas os valores médios destes teores em cada teste de chuva. Como houve aplicação de nitrogênio apenas nos tratamentos com aveia, anterior ao teste 1 de chuva simulada (item 3.6), neste caso, o comportamento dos teores de nitrogênio solúvel na água da enxurrada foram separados por cultura na análise de regressão.

Para o ajuste da função das regressões envolvendo os teores dos nutrientes solúveis na água da enxurrada ou os teores dos nutrientes nos sedimentos da erosão hídrica, relacionados com o teor do elemento na camada de 0-2,5 cm do solo, foram utilizados os valores de cada tratamento em cada teste de chuva, na média das repetições.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 VOLUME DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O volume de escoamento superficial ou enxurrada teve maior influência da forma de semeadura do que pelo tipo de cultura (Tabela 3). A semeadura com orientação no sentido da pendente apresentou o maior volume de escoamento em relação às demais formas de semeadura, tanto na aveia quanto na ervilhaca, mostrando que a rugosidade aleatória e a orientada pelo preparo na direção oposta ao declive reduzem as perdas de água, concordando com Zoldan Junior (2006) e Luciano (2008). No geral, o volume de enxurrada foi baixo, variando entre os tratamentos de 10% a 28% da chuva aplicada, na média dos testes de chuva. Isto é devido ao solo ter sido recentemente preparado, cujo uso anterior era campo natural, portanto, o mesmo ainda apresentava boa qualidade estrutural e valores elevados de massa vegetal misturada ao solo e de matéria orgânica.

Na semeadura a lanço, as baixas perdas de água se devem a rugosidade superficial aleatória, sem orientação, deixada pelo preparo nos tratamentos a lanço, aliada ao fato da semeadura não ter sido mecanizada, onde não ocorreu compactação superficial pelo rodado do trator, o que aconteceu nas demais formas de semeadura. Na semeadura em contorno, o baixo volume de enxurrada se deve às marcas transversais ao declive deixadas pela semeadora e aos pneus do trator e da própria semeadora, aumentando a armazenagem de água superficial. O maior volume de escoamento na semeadura em direção à pendente é explicado pela orientação dos sulcos da semeadura e das marcas dos pneus do trator e da semeadora no sentido da pendente, facilitando o livre escoamento superficial, o que concorda com Pires & Souza (2003).

Na cultura da aveia preta, a enxurrada na pendente foi 9% maior do que em contorno e 16% maior do que a lanço, enquanto na ervilhaca essas diferenças foram respectivamente de 12% e 15%, em relação ao volume de chuva, na média dos testes de chuva.

Tabela 3 - Volume de escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
	% da chuva aplicada .....					
AP	22	34	16	28	41	28
AL	04	14	07	15	22	12
AC	10	17	10	25	33	19
EP	23	25	19	30	28	25
EL	06	14	08	11	12	10
EC	09	14	09	16	15	13

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

#### 4.2 CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A concentração de sedimentos no escoamento superficial apresentou ampla variação entre as culturas, formas de semeadura e testes de chuva simulada (Tabela 4). Ao longo dos testes de chuva, houve tendência de diminuição da concentração de sedimentos transportados na água da enxurrada em todos os tratamentos. Isto se deve ao desenvolvimento das culturas, pois, com o crescimento das mesmas, aumentou a proteção do solo pelo desenvolvimento da parte aérea e também das raízes, as quais aumentaram a resistência do solo à erosão. Além disso, o fato dos sedimentos prontamente disponíveis ao transporte pela enxurrada estarem presentes em maiores quantidades nos testes iniciais, devido ao solo ter sido recentemente revolvido mecanicamente.

A semeadura em contorno reduziu a concentração de sedimentos na enxurrada em 67% no caso da aveia e em 48% no caso da ervilhaca, em relação à semeadura em direção a pendente, na média dos testes de chuva, enquanto que a semeadura a lanço apresentou concentração de sedimentos intermediária entre a semeadura em contorno e na pendente, em ambos os cultivos. A maior eficácia do contorno na aveia explica-se pela característica da cultura, que é mais densa, conforme Pires & Souza (2003). Tanto a parte aérea quanto as raízes da aveia, proporcionaram maior capacidade de reter sedimentos e de aumentar à resistência do solo à desagregação (raízes) do que a ervilhaca.

Tabela 4 - Concentração de sedimentos na enxurrada, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
	$\text{g L}^{-1}$					
AP	2,1	0,7	0,7	0,4	0,4	0,9
AL	1,7	0,9	0,9	0,3	0,4	0,8
AC	0,6	0,5	0,3	0,1	0,1	0,3
EP	2,7	3,2	2,7	0,9	0,9	2,1
EL	2,8	2,3	1,3	1,0	0,9	1,6
EC	1,9	1,2	1,1	0,4	0,7	1,1
Média	2,0	1,5	1,2	0,5	0,6	-

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

#### 4.3 PERDA DE SOLO

As perdas de solo variaram entre  $0,036 \text{ t h}^{-1}$  (aveia em contorno no teste 4) a  $0,430 \text{ t ha}^{-1}$  (ervilhaca a lanço no teste 1), apresentando uma tendência de diminuir do teste 1 ao teste 4 (Tabela 5). Esta tendência pode ser explicada pelo desenvolvimento vegetativo das plantas, evitando assim, que as gotas de chuva incidissem diretamente sobre o solo desagregando as partículas. No teste 5, houve um ligeiro aumento nas perdas de solo em relação ao teste 4, explicado pelo maior volume de água perdida do que no teste anterior, já que houve uma ligeira diminuição na concentração de sedimentos na enxurrada. A semeadura em contorno reduziu as perdas totais de solo em 12% na aveia e 56% na ervilhaca, em relação à semeadura morro abaixo, na média dos testes de chuva. Isto mostra que a forma de semeadura afetou menos as perdas de solo na cultura da aveia. A menor perda total de solo na semeadura em contorno explica-se pela disposição dos sulcos no solo e, principalmente na aveia, aos colmos das plantas, os quais dissiparam a energia do escoamento superficial e, ainda, filtraram os sedimentos transportados pela enxurrada, depositando-os nos sulcos deixados pela semeadura, conforme Pires & Souza (2003), Bertoni & Lombardi Neto (2005) e Dernardin et al. (2005). Além disso, o desenvolvimento do sistema radicular, principalmente da aveia (gramínea), aumentou a resistência do solo à desagregação e ao transporte de partículas de solo pela enxurrada, promovendo maior resistência do solo a erosão hídrica do que a ervilhaca (leguminosa). A aveia mostrou maior eficiência no controle das perdas de solo, explicado do mesmo modo como para a concentração de sedimentos na enxurrada.

Tabela 5 - Perda de solo ajustada para intensidade de chuva de 64 mm h<sup>-1</sup> e declividade de 0,119 m m<sup>-1</sup>, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Total
	t ha <sup>-1</sup>					
AP	0,291	0,129	0,048	0,046	0,082	0,596
AL	0,189	0,181	0,030	0,040	0,080	0,520
AC	0,222	0,144	0,065	0,036	0,057	0,524
EP	0,340	0,462	0,288	0,159	0,179	1,428
EL	0,430	0,303	0,188	0,178	0,213	1,312
EC	0,216	0,154	0,090	0,076	0,099	0,635
Média	0,281	0,229	0,118	0,089	0,118	-

AP: aveia morro abixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

#### 4.4 TEORES DE N, P e K SOLÚVEIS NA ÁGUA DA ENXURRADA

Os teores de nitrogênio na forma de amônio (N-NH<sub>4</sub>) solúvel na água da enxurrada variaram entre os tratamentos e testes de chuva simulada, com maior amplitude entre as culturas, nos testes 1 e 5 (Tabela 6). Os referidos teores decresceram do início para o final do ciclo das culturas (teste 1 ao teste 4), em decorrência das chuvas simuladas aplicadas, em todos os tratamentos. Estes dados assemelham-se aos obtidos por Leite (2003) e Guadagnin (2003). Na aveia, esta redução foi de 4,8 para 0,1 mg L<sup>-1</sup> e, na ervilhaca, foi de 1,3 para 0,3 mg L<sup>-1</sup>, na média das formas de semeadura. Na cultura da aveia, tal diminuição apresentou comportamento potencial decrescente com o aumento da altura de chuva ao longo dos testes (Figura 3), com grau de ajuste significativo. Já para a ervilhaca, esta diminuição apresentou comportamento linear, também significativo. A redução do estoque de amônio no solo, decorrente da absorção pelas plantas, o processo de nitrificação e o transporte pela enxurrada de chuvas antecedentes (natural ou simulada), ao longo do ciclo das culturas, explicam tal comportamento.

No teste 1, o teor de N-NH<sub>4</sub> na água da enxurrada foi 3,7 vezes maior na cultura da aveia do que na ervilhaca, na média (Figura 3). Isto se deve ao fato de que nos tratamentos com aveia, imediatamente antes da realização do teste, foi aplicado nitrogênio em cobertura na forma de uréia, o que não foi feito para a ervilhaca, conforme consta em material & métodos. Com isso, a uréia, em contato com a superfície do solo e com a água da chuva, disponibilizou o nitrogênio na forma amoniacal, aumentando o seu teor na água da enxurrada. Dos testes 2 ao 4 (ciclo das culturas), a variação nos teores de N-NH<sub>4</sub> entre as culturas foi menos pronunciado. Isto ocorreu, pois a forma N-NH<sub>4</sub> no solo, tende a ser convertida rapidamente para a forma nítrica, e desta forma, houve uma redução acentuada nos teores de N-NH<sub>4</sub> do teste 1 ao teste 2, principalmente na cultura da aveia, onde foi aplicado uréia. Isto

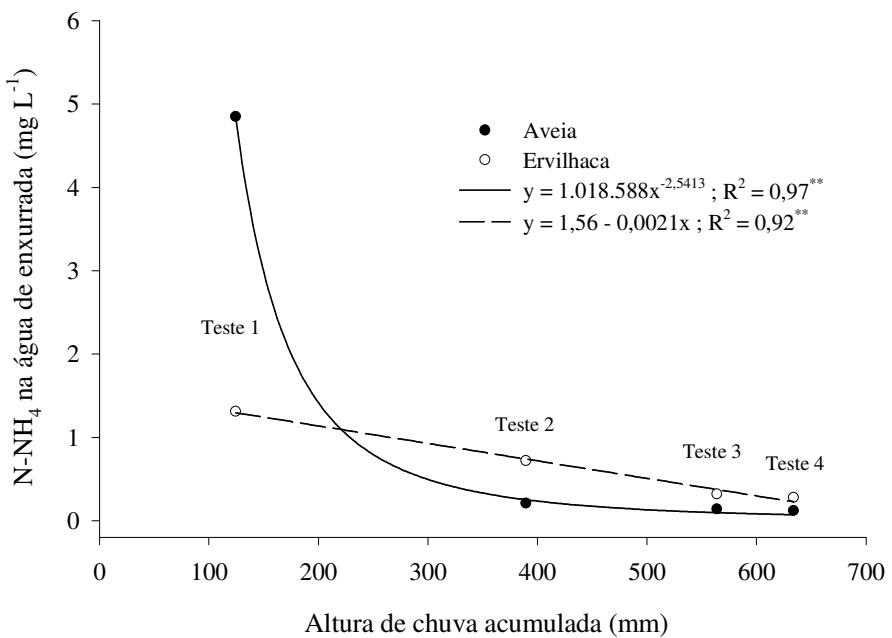


Figura 3 - Relação entre o teor de N-NH<sub>4</sub> na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).

também ajuda a entender o comportamento dos teores de N-NH<sub>4</sub> entre as culturas ao longo dos testes de chuva, o qual teve comportamento potencial na aveia e linear na ervilhaca (Figura 3).

No teste 1, o teor de N-NH<sub>4</sub> na água da enxurrada foi 3,7 vezes maior na cultura da aveia do que na ervilhaca, na média (Figura 3). Isto se deve ao fato de que nos tratamentos com aveia, imediatamente antes da realização do teste, foi aplicado nitrogênio em cobertura na forma de uréia, o que não foi feito para a ervilhaca, conforme consta em material & métodos. Com isso, a uréia, em contato com a superfície do solo e com a água da chuva, disponibilizou o nitrogênio na forma amoniacal, aumentando o seu teor na água da enxurrada. Dos testes 2 ao 4 (ciclo das culturas), a variação nos teores de N-NH<sub>4</sub> entre as culturas foi menos pronunciado. Isto ocorreu, pois a forma N-NH<sub>4</sub> no solo, tende a ser convertida rapidamente para a forma nítrica, e desta forma, houve uma redução acentuada nos teores de N-NH<sub>4</sub> do teste 1 ao teste 2, principalmente na cultura da aveia, onde foi aplicado uréia. Isto também ajuda a entender o comportamento dos teores de N-NH<sub>4</sub> entre as culturas ao longo dos testes de chuva, o qual teve comportamento potencial na aveia e linear na ervilhaca (Figura 3).

Por outro lado, no teste 5, realizado sobre os resíduos culturais, houve um aumento de 5,0 vezes no teor de N-NH<sub>4</sub> na água da enxurrada na cultura da aveia e 7,1 vezes na cultura da

ervilhaca, em relação ao teste anterior (Tabela 6). Isto ocorreu, pois anterior ao teste 5, as culturas foram roçadas. Com isso, ocorreu liberação de nitrogênio pela decomposição dos resíduos culturais que se iniciava, disponibilizando-o na superfície do solo e para o transporte pelo escoamento superficial. Também se observa, no teste 5, que o teor de N-NH<sub>4</sub> na água da enxurrada foi 3,8 vezes maior na cultura da ervilhaca do que na aveia, o que pode ser atribuído a decomposição mais rápida do resíduo da ervilhaca, conforme Aita & Giacomini (2003). Segundo Cantarella (2007), o uso de gramíneas, como a aveia, prolonga a proteção física do solo, mas, por outro lado, limita a adição de nitrogênio ao sistema, pelo fato de poder haver imobilização temporária de nitrogênio pela biomassa microbiana no processo de decomposição deste tipo de resíduo.

Em relação às formas de semeadura, houve pouca variação no teor de N-NH<sub>4</sub> na água da enxurrada, mostrando pouca influência da orientação de semeadura para esta forma de nitrogênio (Tabela 6).

No que se refere aos teores de N-NH<sub>4</sub> aceitáveis para a qualidade das águas, não devem ser maiores que 2,5 mg L<sup>-1</sup> para peixes (organismos aquáticos), conforme cita Sharpley et al. (1987). No teste 1, os tratamentos com aveia, que receberam uréia imediatamente antes da chuva, superaram os teores aceitáveis em 2,0 vezes, na média das formas de semeadura (Tabela 6). Com isso, a água escoada superficialmente poderá prejudicar a comunidade aquática se encontrar um corpo d'água. Isto é preocupante, pois é prática comum entre os agricultores aplicar este tipo de fertilizante nitrogenado pouco antes da chuva.

Tabela 6 - Teor de N-NH<sub>4</sub> solúvel (mg L<sup>-1</sup>) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Tese 5	Média
AP	4,9	0,1	0,1	0,1	0,5	1,2
AL	4,0	0,2	0,1	0,1	0,4	0,9
AC	5,6	0,3	0,2	0,1	0,6	1,4
EP	1,6	0,6	0,3	0,2	1,9	0,9
EL	1,2	0,7	0,3	0,2	1,7	0,8
EC	1,1	0,9	0,3	0,4	2,1	1,0
Média	3,1	0,5	0,2	0,2	1,2	-

AP: aveia morro abixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

Os teores de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) solúvel na água da enxurrada, do mesmo modo que os teores de N-NH<sub>4</sub>, diminuíram ao longo do ciclo das culturas (testes 1 ao 4), aumentando no teste 5, realizado sobre os resíduos culturais (Tabela 7). A redução do estoque de N-NO<sub>3</sub> da superfície do solo, a partir do início do período de cultivo e ao longo do

ciclo das culturas, se deve, além da absorção pelas plantas e das perdas por erosão, pela lixiviação de nitrato, ocasionada pela infiltração de água no perfil do solo. Isto ocorre porque é baixa a interação química do nitrato com os minerais do solo, já que solos tropicais apresentam predominância de cargas negativas, o que faz com que o nitrato esteja solúvel e sujeito a descida no perfil do solo, na dependência da quantidade de água que infiltra, conforme Cantarella (2007). Durante a instalação do experimento, o solo foi revolvido mecanicamente, o que favoreceu a mineralização do nitrogênio, pela decomposição da massa vegetal do campo natural que foi incorporado. Isto também explica o maior teor de nitrato na água da enxurrada do teste 1, em relação aos demais testes de chuva, durante o ciclo das culturas. Relacionando os teores de N-NO<sub>3</sub> na água da enxurrada com a altura de chuva ao longo dos testes, o mesmo apresentou comportamento potencial decrescente, com grau de ajuste significativo, tanto na cultura da aveia quanto na ervilhaca (Figura 4).

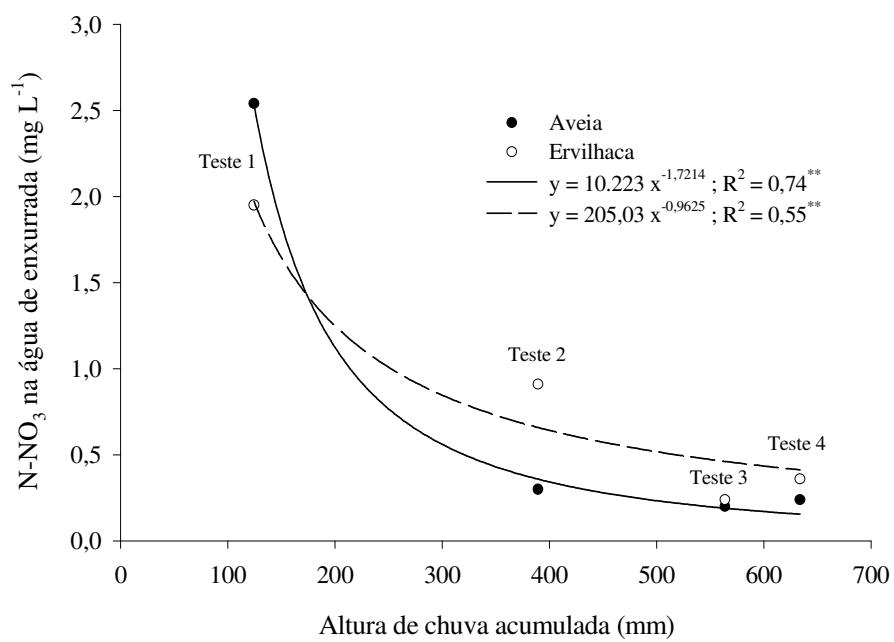


Figura 4 - Relação entre o teor de N-NO<sub>3</sub> na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).

No teste 1, os teores de N-NO<sub>3</sub> tiveram maior influência da orientação de semeadura do que das culturas (Tabela 7). A semeadura em contorno apresentou os maiores teores na água da enxurrada, sendo 2,9 e 2,3 vezes superiores aos tratamentos morro abaixo e a lanço, respectivamente, na média das culturas. Já no teste 5 (sobre os resíduos vegetais), os teores de N-NO<sub>3</sub> na água da enxurrada foram superiores ao teste anterior e sofreram maior influência das culturas, sendo 4,0 vezes maiores sob os resíduos da ervilhaca do que da aveia. Na

ervilhaca, estes teores foram inclusive superiores aos encontrados no primeiro teste de chuva, explicados pela decomposição mais rápida do resíduo da ervilhaca, liberando o nitrogênio em maior quantidade e mais rapidamente do que a aveia, conforme Aita & Giacomini (2003).

Também no teste 5, observa-se que, dentro de cada cultura, os teores de N-NO<sub>3</sub> na água da enxurrada foram maiores na semeadura em contorno do que na semeadura morro abaixo (Tabela 7). Isto pode estar relacionado, ao menos em parte, ao fato de que, na semeadura em contorno, os sulcos dispostos de maneira oposta ao declive ficaram completamente preenchidos com água, a qual estava em contato direto com a superfície do solo e com os resíduos culturais em decomposição que estavam ancorados e retidos dentro destas depressões. Estas interações podem ter aumentado o teor de N-NO<sub>3</sub> na água de enxurrada na semeadura realizada em contorno em relação à semeadura morro abaixo, pois, na semeadura morro abaixo, os sulcos na direção do declive não acumulavam água dentro das depressões.

Os teores de N-NO<sub>3</sub> na água da enxurrada ficaram abaixo do tolerável pela resolução BRASIL - CONAMA (2005), em todos os tratamentos e testes de chuva. Esta resolução estabelece padrões de qualidade das águas e, de acordo com ela, o teor de N-NO<sub>3</sub> para águas doces não deve ser superior a 10,0 mg L<sup>-1</sup>.

Tabela 7 - Teor de N-NO<sub>3</sub> solúvel (mg L<sup>-1</sup>) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Tese 5	Média
AP	1,3	0,3	0,2	0,2	1,0	0,6
AL	2,2	0,3	0,2	0,2	1,0	0,8
AC	4,1	0,3	0,2	0,3	1,5	1,3
EP	1,3	1,0	0,3	0,2	4,7	1,5
EL	1,1	0,5	0,1	0,3	3,5	1,1
EC	3,5	1,3	0,3	0,6	5,8	2,3
Média	2,3	0,6	0,2	0,3	2,9	-

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

Os teores de nitrogênio solúvel (N-NH<sub>4</sub> + N-NO<sub>3</sub>) na água da enxurrada se relacionaram com os teores de nitrogênio mineral (N-NH<sub>4</sub> + N-NO<sub>3</sub>) presentes na camada de 0-2,5 cm do solo (Figura 5), apresentando uma correlação positiva do tipo potencial, com coeficiente de correlação significativo. Assim, à medida que aumentou o teor no solo, aumentou o teor na água da enxurrada, sendo 81% do comportamento explicado pelo modelo.

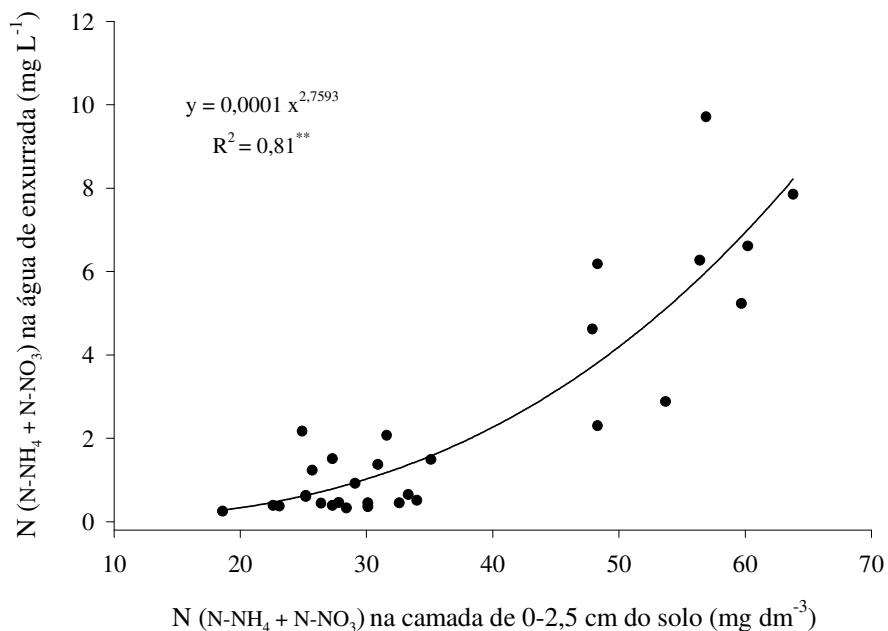


Figura 5 - Relação entre o teor de N na água da enxurrada e o teor de N na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.

O teor de fósforo solúvel na água da enxurrada, em função dos distintos tratamentos e chuvas simuladas aplicadas, é apresentado na Tabela 8. Em todos os tratamentos e testes de chuva aplicados, os valores encontrados foram baixos, com variação de 0,01 a 0,06 mg L<sup>-1</sup>, conforme constatado também por Mello (2002), Guadagnim (2003) e Leite (2003). Isto se deve ao fato deste elemento ser pouco solúvel em água, apresentando maior teor nos sedimentos do que na água da enxurrada, devido a sua forte adsorção aos colóides do solo. Além do mais, devido à incorporação do fósforo ao solo nas operações de aração e gradagem, houve a mistura do elemento no perfil do solo, diminuindo o seu contato com a água de escoamento e, assim, diminuindo o seu teor na água, conforme observado por Bertol et al. (2004a).

O teor de fósforo solúvel na água da enxurrada não variou entre os tratamentos, na média dos testes de chuva, mostrando pouca influência da orientação de semeadura e do tipo de cultura no teor deste elemento na água do escoamento superficial (Tabela 8). O teor de fósforo aumentou ao longo dos testes de chuva, atingindo o máximo no teste 5. O maior teor no teste 5, pode estar associado à presença dos resíduos vegetais na superfície do solo, conforme Giacomini et al. (2003), cuja decomposição pelos microrganismos liberou o elemento, o qual, por ser imóvel no solo, tendeu a se concentrar na superfície e a ser carreado pela enxurrada.

Apesar do baixo teor de fósforo na água da enxurrada, este elemento, na forma solúvel, é totalmente biodisponível, enquanto que somente uma fração do fósforo ligado aos sedimentos é biodisponível, podendo, com isso, contribuir para a eutrofização das águas, conforme McIsaac et al. (1995). Segundo resolução BRASIL - CONAMA (2005), que estabelece padrões de qualidade das águas, o teor de fósforo total em água doce (classe 1), não deve ser superior a  $0,020 \text{ mg L}^{-1}$  para ambiente lêntico,  $0,025 \text{ mg L}^{-1}$  para ambiente intermediário e 0,1 para ambiente lótico.

Tabela 8 - Teor de P solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Tese 5	Média
AP	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,03
AL	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,03
AC	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,03
EP	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,03
EL	0,01	0,02	0,04	0,04	0,06	0,03
EC	0,01	0,02	0,04	0,04	0,06	0,03
Média	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	-

AP: aveia morro abixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

O aumento no teor de fósforo na água do escoamento superficial, ao longo dos testes de chuva simulada aplicadas (Tabela 8), pode estar relacionado, em parte, à diminuição da carga de sedimentos na água da enxurrada no decorrer dos referidos testes (Figura 6), concordando com dados obtidos por Langdale et al. (1985). Os sedimentos têm menor capacidade de adsorver fósforo solúvel em água quando a carga de sedimentos na enxurrada é menor, o que faz com que o elemento se apresente em maior teor na forma solúvel quando a carga de sedimentos na enxurrada é menor, conforme Sharpley (1980), Sharpley et al. (1981) e Burwel et al. (1975).

O teor de P solúvel na água da enxurrada não se relacionou com o teor de fósforo extraíável na camada de 0-2,5 cm do solo, mas relacionou-se de forma linear e positiva com a altura de chuva acumulada durante o ciclo das culturas (teste 1 ao teste 4) (Figura 7). Pela lógica, poderia se esperar o inverso, pois, a tendência seria o teor do elemento diminuir ao longo dos testes de chuva, já que ele vai sendo transportado pelo escoamento, absorvido pelas plantas e, cada vez menos disponível devido às reações de adsorção química do elemento no solo. Este comportamento ressalta a pressuposição de que o teor do elemento na água da enxurrada aumenta com a diminuição da carga de sedimentos na enxurrada, conforme Sharpley (1980), Sharpley et al. (1981) e Burwel et al. (1975).

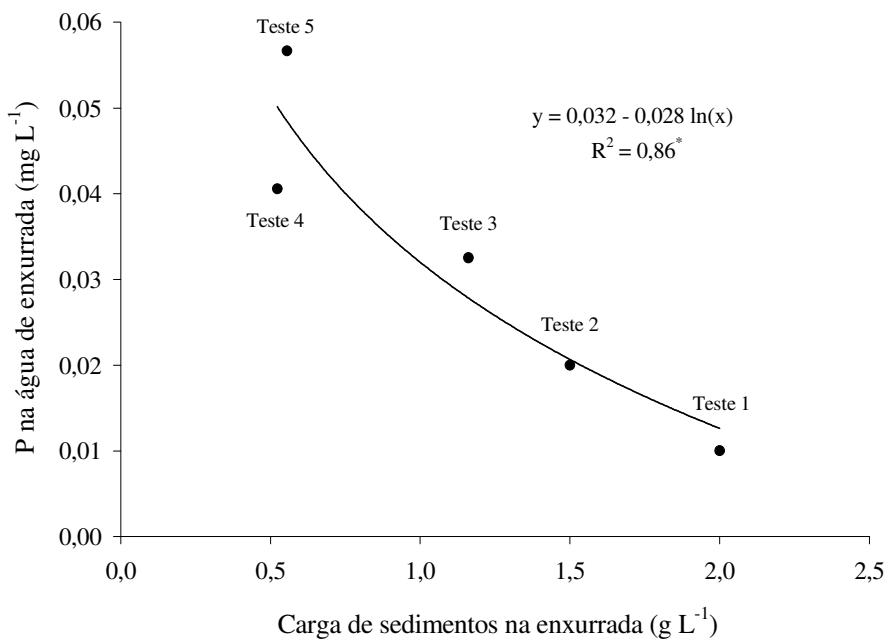


Figura 6 - Relação entre o teor de P na água de enxurrada e a carga de sedimentos na água de enxurrada (média das repetições e dos tratamentos).

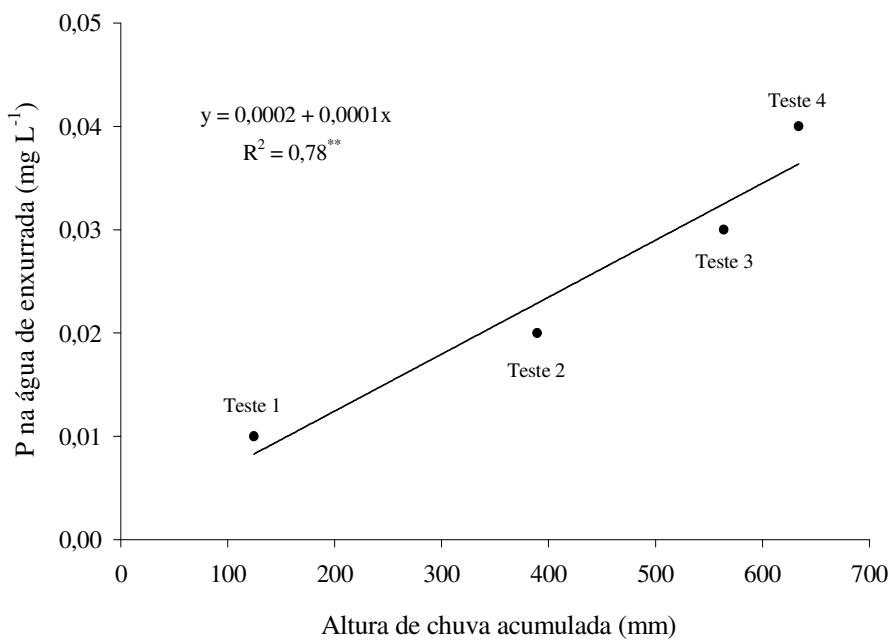


Figura 7 - Relação entre o teor de P na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).

Os teores de potássio na água do escoamento superficial (Tabela 9) foram maiores que os de fósforo (Tabela 8), em todos os tratamentos e testes de chuva simulada, conforme constatado também por Mello (2002) e Guadagnim (2003). Isto se deve ao fato deste elemento ter maior solubilidade em água do que o fósforo, além de ser um elemento que está

presente em maior quantidade e ser mais móvel no solo. Os teores encontrados na água da enxurrada estão abaixo dos valores referenciados em CETESB (2005), em todos os tratamentos e testes de chuva, o que indica que os teores de potássio nas águas naturais são normalmente menores do que  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . Teores acima do valor de referência podem ser encontrados nas águas de lixiviação e/ou de escoamento superficial de terras agrícolas, devido à utilização de fertilizantes potássicos na agricultura.

Nos testes de chuva realizados durante o ciclo das culturas (teste 1 ao teste 4), não foi observada uma tendência clara do comportamento do teor de potássio na água do escoamento superficial entre os tratamentos, mas, na média dos mesmos, observou-se que o teor do elemento diminuiu do teste 1 ao teste 2 e, depois ocorreu, um ligeiro aumento nos testes 3 e teste 4 (Tabela 9). Este comportamento pode estar relacionado, primeiro, com a diminuição do elemento no solo pela erosão e absorção pelas plantas, do teste 1 ao teste 2 e, depois, à lixiviação deste elemento pelo dossel das plantas, principalmente das folhas mais velhas em senescência, no decorrer dos testes 3 e 4, especialmente no final do ciclo das culturas, conforme Bertol et al. (2007).

Tabela 9 - Teor de K solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Tese 5	Média
AP	2,1	0,4	1,3	2,5	9,0	3,0
AL	3,9	0,8	0,8	1,8	7,9	3,0
AC	2,7	1,1	2,4	1,9	9,5	3,5
EP	1,0	1,1	1,4	1,6	8,4	2,7
EL	1,2	1,2	0,8	0,6	6,3	2,0
EC	1,3	1,7	1,1	1,2	5,9	2,2
Média	2,0	1,0	1,3	1,6	7,8	-

AP: aveia morro abajo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abajo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

No teste 5, realizado sobre os resíduos culturais, houve um aumento substancial do teor de potássio na água do escoamento, em relação ao teste 4 (Tabela 9). Na cultura da aveia, este aumento foi de 4,2 vezes e, na ervilhaca, foi de 6,0 vezes, em relação aos teores no teste anterior. Provavelmente, isto ocorreu pela liberação rápida de potássio, devido à lavagem dos resíduos vegetais pela água da chuva, já que o potássio se encontra em elementos não estruturais da planta, conforme Marschner (1995) e Giacomini et al. (2003). No teste 5, o teor de potássio na água da enxurrada foi maior nos resíduos da cultura da aveia do que da ervilhaca, na ordem de  $8,8 \text{ mg L}^{-1}$  e  $6,7 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, na média dos tratamentos. Uma possível explicação para este comportamento é o fato da aveia ter produzido  $2,2 \text{ t ha}^{-1}$  a

mais de matéria seca do que a ervilhaca, na média dos tratamentos (Anexo 2), já que ambos resíduos têm liberação rápida de potássio nos primeiros dias após o seu manejo, conforme Giacomini et al. (2003). Observa-se pequena variação no teor de potássio na água da enxurrada em relação às formas de semeadura. No cultivo em contorno e morro abaixo, o teor foi de  $2,9 \text{ mg L}^{-1}$  e, a lanço, foi de  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ , na média das culturas e dos testes de chuva aplicados.

Ao relacionar o teor de potássio na água da enxurrada com a altura de chuva acumulada (Figura 8), o modelo polinomial ajustou-se aos dados. Apesar de o modelo possuir grau de correlação baixo, devido a grande variação dos dados, observa-se que houve tendência de diminuição nos teores de potássio na água da enxurrada no teste 2 em relação ao teste anterior. Isto se deve à lixiviação do elemento no perfil do solo, à extração pelas plantas e às perdas por erosão. A partir do teste 3, o teor de potássio na água da enxurrada aumentou em relação ao teste anterior, provavelmente pelo fato da água da chuva, ao lavar as plantas nesta fase do desenvolvimento das culturas, solubilizou o potássio e fez com que o elemento ficasse disponível ao transporte, principalmente na água da enxurrada, concordando com Barisas et al. (1978) e Model (1990).

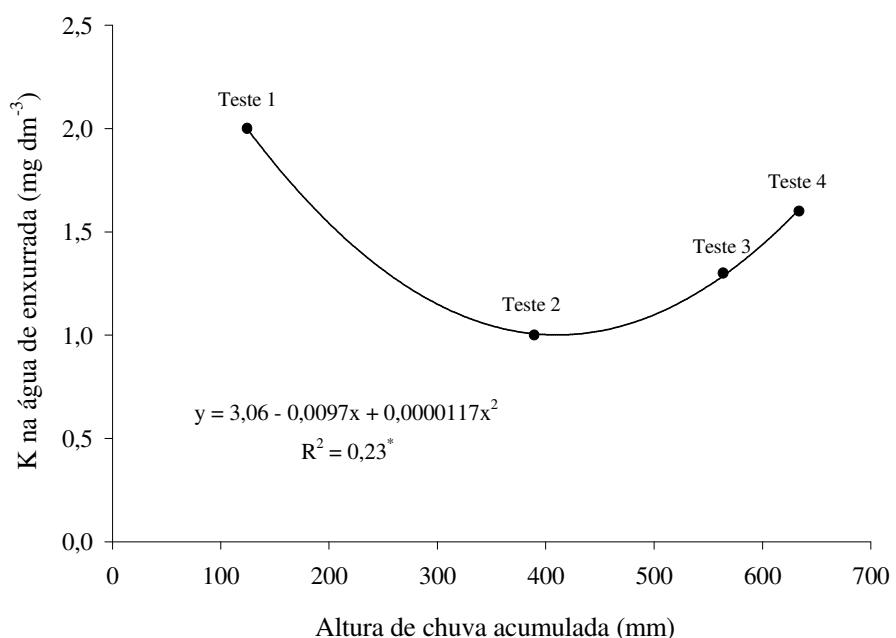


Figura 8 - Relação entre o teor de K na água da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).

No geral, o teor de potássio na água do escoamento superficial não apresentou uma boa relação com o teor do elemento na camada 0-2,5 cm do solo, com o volume de

escoamento superficial e com a carga de sedimentos na enxurrada, quando relacionado com cada uma dessas variáveis, isoladamente, o que não permitiu identificar com clareza o comportamento do potássio na água do escoamento superficial com relação a nenhuma destas variáveis.

#### 4.5 PERDAS TOTAIS DE N, P e K SOLÚVEIS NA ÁGUA DA ENXURRADA

As perdas totais de nitrogênio solúvel ( $\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_3$ ) na água da enxurrada variaram entre os tratamentos estudados (Tabela 10). Tais perdas oscilaram entre  $469 \text{ g ha}^{-1}$  no tratamento AL e  $2.392 \text{ g ha}^{-1}$  no tratamento EP. Na média dos tratamentos, a aveia perdeu 35% menos nitrogênio do que a ervilhaca, apesar de ter sido aplicado uréia em cobertura na aveia e as perdas de água terem sido maiores nesta cultura. Isto foi compensado pelo fato do teor de nitrogênio solúvel ( $\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_3$ ) na água do escoamento superficial ter sido maior na ervilhaca, na maioria dos testes, principalmente no teste 5, realizado sobre os resíduos culturais, onde a ervilhaca apresentou teores de nitrogênio nas formas de amônio e nitrato superiores a aveia (Tabelas 6 e 7). Na média das culturas, as semeaduras a lanço e contorno reduziram respectivamente, 66% e 23% as perdas de nitrogênio solúvel na água do escoamento em relação à semeadura realizada morro abaixo. Assim, as maiores perdas de água na semeadura morro abaixo tiveram maior influência nas perdas do elemento do que os teores do mesmo na água do escoamento superficial. Relacionando as perdas de nitrogênio na água da enxurrada com a quantidade do elemento aplicado em cobertura na forma de uréia, o que aconteceu somente nos tratamentos com aveia, as referidas perdas equivaleram a 7,4%, 2,4% e 6,4% do nitrogênio aplicado nos tratamentos AP, AL e AC, respectivamente.

Tabela 10 - Perdas totais de N mineral, P e K solúveis na água do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos (somatório dos cinco testes de chuva simulada e média das duas repetições)

Tratamento	N	P	K
	.....	$\text{g ha}^{-1}$	.....
AP	1.484	26	3.454
AL	469	15	1.646
AC	1.273	25	2.898
EP	2.392	33	2.740
EL	854	14	902
EC	1.706	18	1.223
Média	1.363	22	2.144

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

As perdas totais de fósforo solúvel por escoamento superficial foram baixas em todos os tratamentos (Tabela 10), de acordo com os trabalhos de Schick et al. (2000) e Mello (2002). As perdas deste elemento variaram de 14 g ha<sup>-1</sup> no tratamento EL a 33 g ha<sup>-1</sup> no tratamento EP, no total dos cinco testes de chuva simulada. Em comparação com a quantidade de fósforo adicionado ao solo por adubação, as perdas do elemento na água da enxurrada corresponderam a 0,14% do elemento aplicado na aveia e a 0,17% do aplicado na ervilhaca, na média dos tratamentos. Isto se deve a baixa solubilidade deste elemento, além de estar presente em baixos teores no solo e fortemente adsorvido aos colóides, conforme Bertol (1994a). Por esta razão, as diferenças nas perdas de fósforo foram pequenas entre os tratamentos, mesmo tendo ocorrido grandes variações no volume de escoamento superficial entre os mesmos. A semeadura a lanço foi a que apresentou a menor perda de fósforo, seguida da semeadura em contorno, com redução respectivamente de 51% e 27%, em comparação com o tratamento morro abaixo, na média das culturas. Isto se deve às menores perdas de água por escoamento superficial nos tratamentos a lanço e contorno (Tabela 3).

As perdas totais de potássio na água do escoamento superficial foram maiores do que as perdas de fósforo (Tabela 10), concordando com Cassol et al. (2002) e Bertol et al. (2003). O potássio apresentou perdas 98 vezes maiores que as de fósforo, na média dos tratamentos. Este comportamento é explicado pelo fato deste elemento ter maior solubilidade em água em relação ao fósforo, ser encontrado em teores maiores no solo e ser facilmente lixiviado de tecidos dos resíduos culturais e das próprias culturas na fase de senescência. O tratamento AL foi o que apresentou a menor perda de potássio, correspondendo a 3,8 vezes menos do que o tratamento EP que perdeu a maior quantidade. No geral, a ervilhaca perdeu 39% menos potássio do que a aveia, na média dos tratamentos, explicado pela combinação da menor perda de água e menor teor do elemento na água do escoamento superficial na ervilhaca. Este comportamento é o inverso do que ocorreu com o nitrogênio, o qual se perdeu em maior quantidade na ervilhaca. As semeaduras a lanço e contorno reduziram respectivamente 59% e 34% as perdas de potássio em comparação com a semeadura morro abaixo, na média das culturas. Essas perdas se devem ao efeito combinado do teor de potássio na água do escoamento (Tabela 9) com o volume de água perdida (Tabela 3). Comparando com a quantidade de potássio adicionado ao solo por adubação, as quantidades perdidas na água da enxurrada foram relativamente altas. Estas perdas foram equivalentes a 11,9%, 5,7%, 10,0%, 9,4%, 3,1% e 4,2% do elemento aplicado respectivamente nos tratamentos AP, AL, AC, EP, EL, EC.

#### 4.6 TEORES DE P, K e CO NOS SEDIMENTOS DA ENXURRADA

Os teores de P extraível nos sedimentos da enxurrada diminuíram do teste 1 ao teste 3 (Tabela 11), concordando com Leite (2003), Engel (2005) e Shumam (2002). Isto pode ser explicado pelo fato deste elemento ter sido extraído do solo pelas culturas durante o seu desenvolvimento, por ter ocorrido adsorção química do P e, ainda, devido ao próprio processo erosivo das chuvas antecedentes (natural ou simulada) que transportou o elemento junto com os sedimentos perdidos. A variação nos teores de fósforo nos sedimentos foi de  $26,6 \text{ mg dm}^{-3}$  no teste 1 a  $16,4 \text{ mg dm}^{-3}$  no teste 3, na média dos tratamentos. Isto corresponde a uma redução de 38% do teste 1 ao teste 3. No teste 4, houve uma tendência de estabilização dos teores de fósforo nos sedimentos em relação ao teste anterior, devido, em parte, ao fato do teste 4 ter sido realizado apenas 4 dias após o teste 3, conforme descrito em material e métodos. Ao relacionar os teores de fósforo nos sedimentos perdidos na enxurrada com a altura de chuva acumulada (Figura 9), durante o ciclo das culturas (teste 1 ao teste 4), observa-se que o modelo polinomial decrescente ajustou-se aos dados. Isto significa que à medida que as chuvas foram sendo aplicadas, os teores de fósforo tenderam a diminuir, a uma taxa cada vez menor, explicado pelos mesmos motivos já apresentados anteriormente.

No teste 5, realizado sobre os resíduos culturais, houve um aumento de 79% nos teores de fósforo nos sedimentos em relação ao teste 4, provavelmente devido à liberação do elemento pela decomposição dos resíduos culturais que se iniciava (Tabela 11).

Tabela 11 - P extraível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nos sedimentos do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Tese 5	Média
AP	26,5	20,6	12,7	15,9	27,0	20,5
AL	25,1	19,3	13,5	13,3	28,8	20,0
AC	31,0	22,4	13,8	18,7	31,0	23,4
EP	24,5	19,3	19,1	17,0	31,9	22,3
EL	24,7	21,3	17,2	16,1	30,2	21,9
EC	28,1	23,8	22,4	20,5	33,2	25,6
Média	26,6	21,1	16,4	16,9	30,3	-

AP: aveia morro abixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

Os teores de fósforo nos sedimentos da enxurrada apresentaram pequena variação entre os tratamentos estudados, na média dos testes de chuva (Tabela 11), tendo sido de  $20,0 \text{ mg dm}^{-3}$  no tratamento AL a  $25,6 \text{ mg dm}^{-3}$  no tratamento EC. Apesar dessa pequena variação, a semeadura realizada em contorno apresentou os maiores teores de fósforo nos sedimentos

do que a semeadura morro abaixo, o que pode ser atribuído provavelmente à redução dos sedimentos grosseiros e consequente aumento da proporção de sedimentos coloidais ricos em fósforo no contorno, conforme Barrows e Kilmer (1963) e Alberts e Moldenhauer (1981).

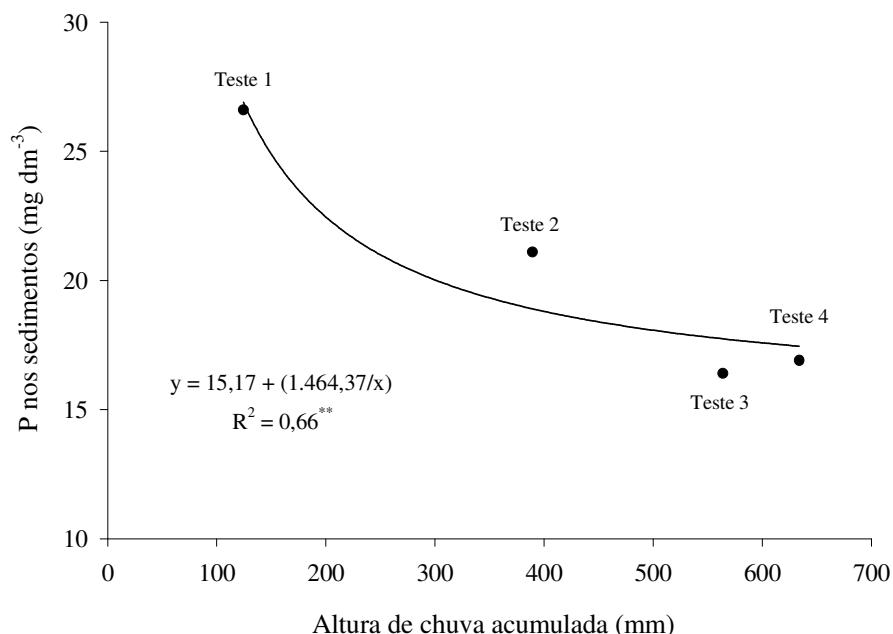


Figura 9 - Relação entre o teor de P nos sedimentos da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).

Relacionando-se os teores de P nos sedimentos da enxurrada com os da camada 0-2,5 cm do solo, verifica-se que houve correlação linear e positiva entre as duas variáveis, com  $R^2 = 0,63$  (Figura 10), concordando com Daniel et al. (1994), Schick et al. (2000) e Leite (2003). Isto mostra que maiores teores deste nutriente na camada superficial do solo tendem a elevar os teores nos sedimentos do escoamento superficial, já que a camada mais superficial do solo é aquela preferencialmente removida no processo erosivo.

Os teores de potássio nos sedimentos erodidos foram altos em todos os tratamentos e testes de chuva simulada, com variações entre os tratamentos e testes de chuva simulada (Tabela 12). Este comportamento se explica em função da quantidade elevada de potássio aplicado na forma de adubo, teores naturais relativamente altos neste tipo de solo e decomposição dos resíduos vegetais do campo natural que liberou o elemento, já que o solo tinha sido recentemente preparado e pela primeira vez. Do teste 1 ao teste 3, observa-se que os teores de potássio nos sedimentos diminuíram. Esta redução foi de 323 mg dm<sup>-3</sup> para 223 mg dm<sup>-3</sup>, na média dos tratamentos. Isto pode ser devido à absorção do elemento durante o desenvolvimento das culturas, às perdas do elemento por erosão hídrica ao longo dos testes e, ainda, devido à possível lixiviação de potássio em profundidade no perfil do solo.

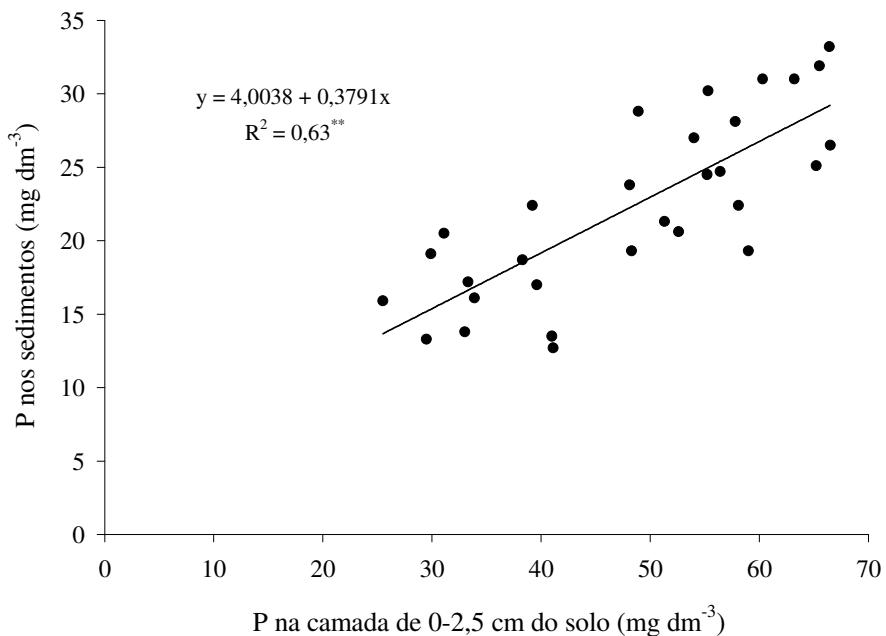


Figura 10 -Relação entre os teores de P nos sedimentos da enxurrada e de P na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.

Já no teste 4, ocorreu um ligeiro aumento nos teores do elemento nos sedimentos da enxurrada em relação ao teste anterior, provavelmente pela lixiviação de potássio das folhas mais velhas, devido à ação da água da chuva, no estágio final do ciclo das culturas, conforme constatado por Bertol et al. (2007). Este comportamento se evidencia ao relacionar o teor de potássio nos sedimentos da enxurrada com a altura de chuva acumulada (Figura 11), durante o ciclo das culturas (teste 1 ao teste 4), a cujos dados o modelo polinomial se ajusta, decrescendo do teste 1 ao teste 3 e aumentando do teste 3 ao teste 4.

No teste 5, realizado sobre os resíduos culturais (Tabela 12), ocorreu um aumento de 23% nos teores de potássio dos sedimentos em relação ao teste 4, atribuído à liberação do nutriente lixiviado a partir dos resíduos das culturas, conforme Burwel et al. (1975), McDowell e McGregor (1980) e Giacomini et al. (2003).

Em relação às formas de semeadura, a realizada em contorno apresentou em geral os maiores teores de potássio nos sedimentos perdidos (Tabela 12). Na aveia, o teor do elemento no tratamento AC foi 21% maior do que nos tratamentos AL e AP. Já na ervilhaca, o teor no tratamento EC foi 27% maior do que no tratamento EL e 11% maior do que no EP. Isto confirma que o cultivo realizado em contorno, aumenta a proporção de sedimentos finos na enxurrada, mais ricos em potássio do que o cultivo morro abaixo, conforme Barrows e Kilmer (1963).

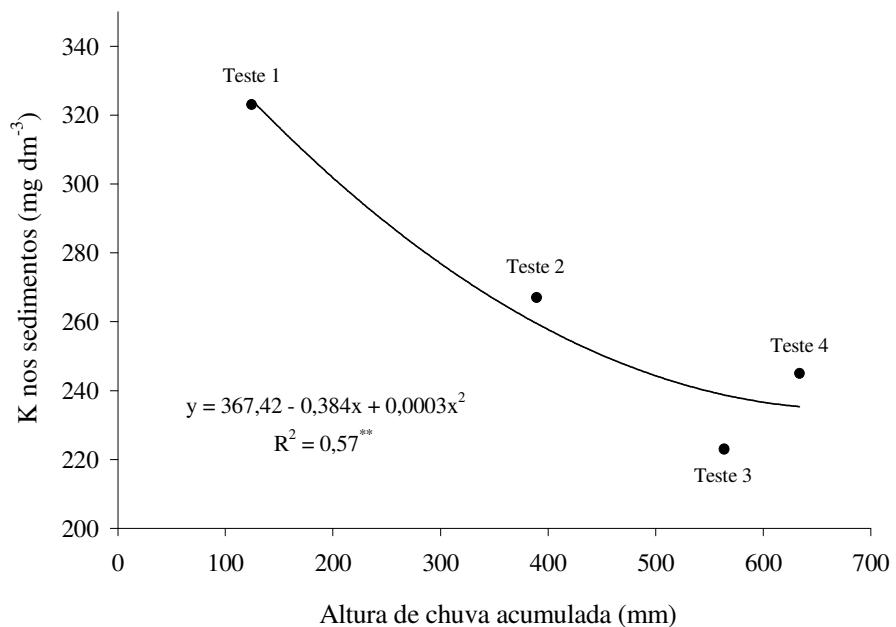


Figura 11 -Relação entre o teor de K nos sedimentos da enxurrada e a altura de chuva acumulada (natural e simulada), durante o ciclo das culturas de aveia e ervilhaca (média das repetições).

Considerando as culturas, a aveia apresentou teor de potássio de 276 mg dm<sup>-3</sup> e a ervilhaca 268 mg dm<sup>-3</sup> nos sedimentos da enxurrada, na média dos tratamentos e testes de chuva, demonstrando pequena variação entre as culturas (Tabela 12). Considerando os testes de chuva, por outro lado, o teste 5 foi o que apresentou a maior diferença entre as culturas, na média dos tratamentos. A aveia apresentou sedimentos com teor de potássio 16,5% maior que a ervilhaca, possivelmente explicado como ocorreu com o teor do elemento na água do escoamento superficial (Item 4.4).

Tabela 12 - K trocável (mg dm<sup>-3</sup>) nos sedimentos do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
AP	288	249	223	215	315	258
AL	287	238	204	244	318	258
AC	370	288	260	302	340	312
EP	326	259	223	243	294	269
EL	300	236	201	214	225	235
EC	365	334	229	250	316	299
Média	323	267	223	245	301	-

AP: aveia morro abajo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abajo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

Relacionando os teores de potássio na camada de 0–2,5 cm do solo com os do elemento nos sedimentos da enxurrada, observa-se uma correlação positiva entre ambas as

variáveis (Figura 12), concordando com Pote et al. (1996), Leite (2003) e Bertol et al. (2007). Isto demonstra que a camada superficial do solo, rica em nutrientes, efetivamente influencia os teores de potássio nos sedimentos, sendo tal elemento facilmente transportado pela enxurrada nos eventos de erosão hídrica pluvial.

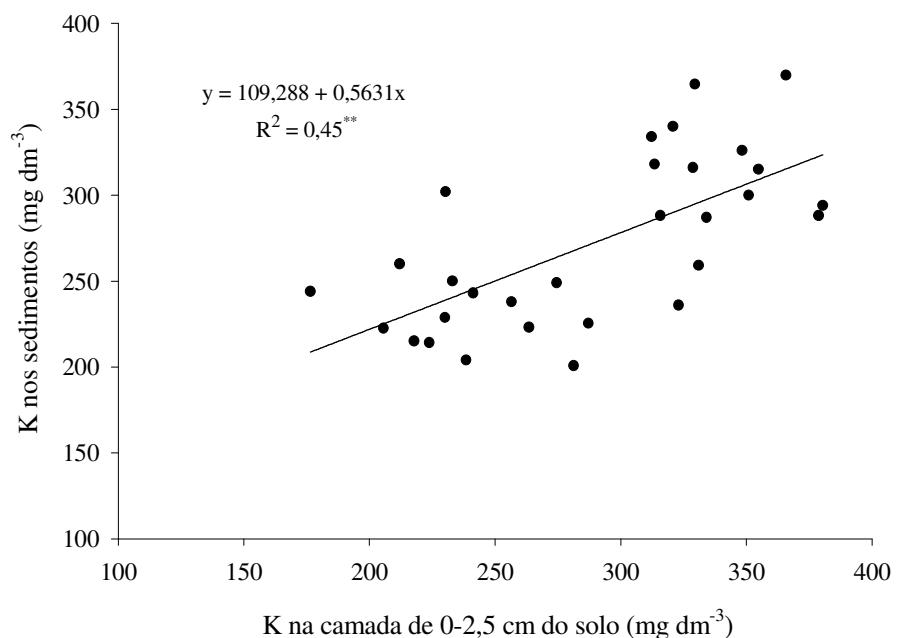


Figura 12 -Relação entre os teores de K nos sedimentos da enxurrada com os teores de K na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.

Os teores de carbono orgânico nos sedimentos transportados pelo escoamento superficial foram elevados em todos os tratamentos e testes de chuva (Tabela 13). Tal comportamento se deve ao fato da área ter sido recém preparada, pela primeira vez, onde o uso anterior do solo era campo natural que apresentava elevados teores naturais de carbono orgânico no solo, conforme descrito em material e métodos. Os teores de carbono orgânico nos sedimentos do escoamento foram semelhantes, revelando que o tipo de cultura, forma de semeadura e testes de chuva pouco influenciaram esta variável no período de estudo, tendo sido de 3,4% e 3,6% na aveia e na ervilhaca, respectivamente, na média dos tratamentos. Na média das formas de semeadura, os teores foram 3,7%, 3,6% e 3,4%, nas semeaduras realizadas morro abaixo, em contorno e a lanço, respectivamente.

Os teores de carbono orgânico nos sedimentos erodidos apresentaram correlação linear e positiva com os teores na camada de 0-2,5 cm do solo de onde se originaram os sedimentos, com  $R^2 = 0,60$  (Figura 13), constatado também por Leite (2003). Isto se deve ao fato de que o carbono orgânico é um dos primeiros constituintes a serem removidos pela erosão hídrica,

devido à baixa densidade da matéria orgânica, o que a torna prontamente disponível ao transporte pela enxurrada, conforme Barrows e Kilmer (1963) e Schick et al. (2000).

Tabela 13 - CO (%) nos sedimentos do escoamento superficial, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Média
AP	3,8	3,7	3,9	3,8	3,8	3,8
AL	3,2	2,9	3,3	3,3	3,2	3,2
AC	3,4	3,0	3,3	3,4	3,5	3,3
EP	3,7	3,3	3,4	3,3	3,6	3,5
EL	3,4	3,4	3,8	3,5	3,5	3,5
EC	3,8	3,5	3,9	3,8	3,9	3,8
Média	3,6	3,3	3,6	3,5	3,6	-

AP: aveia morro abixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

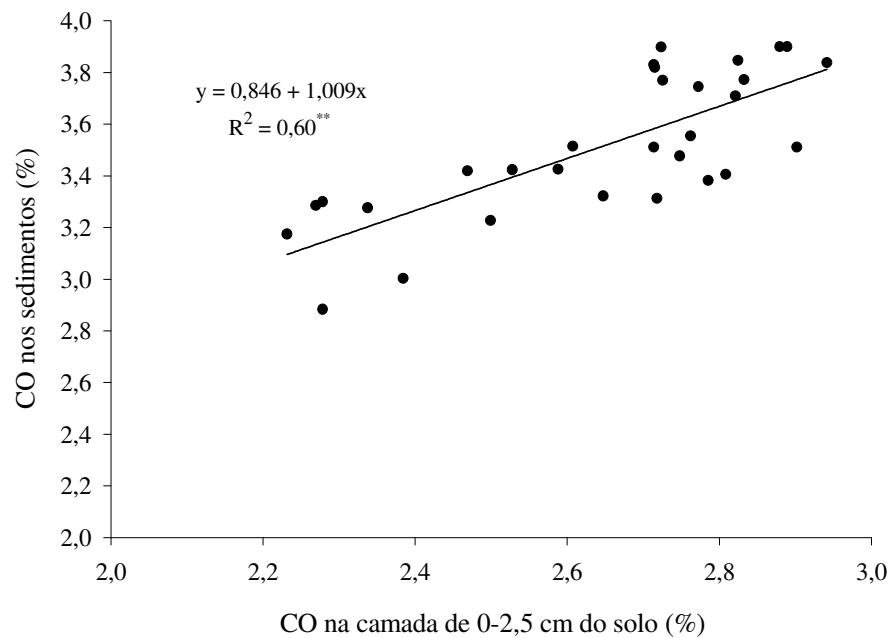


Figura 13 - Relação entre os teores de CO nos sedimentos da enxurrada com os teores de CO na camada 0-2,5 cm do solo, nos tratamentos e testes de chuva simulada.

#### 4.7 PERDAS TOTAIS DE P, K e CO NOS SEDIMENTOS DA ENXURRADA

As perdas de fósforo nos sedimentos do escoamento superficial ocorreram em pequenas quantidades em todos os tratamentos (Tabela 14), quando comparada à quantidade aplicada ao solo na forma de adubo, concordando com Castro et al. (1986), Bertol (1994b) e Schick et al. (2000). Isto ocorreu porque as perdas de solo foram baixas. As perdas de fósforo nos sedimentos da enxurrada foram semelhantes às perdas na água, pois, apesar dos teores do elemento na água da enxurrada terem sido baixos, as perdas de água foram altas, ocasionando

um efeito de compensação. Na aveia, as perdas variaram de 11,0 g ha<sup>-1</sup> no tratamento AL a 13,9 g ha<sup>-1</sup> no tratamento AP e, na ervilhaca, esta variação foi de 16,6 g ha<sup>-1</sup> no tratamento EC a 31,2 g ha<sup>-1</sup> no tratamento EP. Estas pequenas variações são explicadas principalmente pelas menores perdas de solo nas semeaduras realizadas a lanço e contorno em comparação com a semeadura morro abaixo. Comparando as culturas, a aveia reduziu em 50% as perdas de fósforo nos sedimentos da erosão em relação à ervilhaca, na média dos tratamentos, influenciada principalmente pelas menores perdas de solo na aveia, as quais foram 52% menores do que na ervilhaca, já que os teores do elemento nos sedimentos variaram pouco entre as culturas.

As perdas de potássio nos sedimentos erodidos foram em geral pequenas (Tabela 14), em comparação com a quantidade adicionada ao solo, correspondendo a 0,8% do total aplicado na forma de adubo, na média dos tratamentos. Apesar dos teores elevados do elemento nos sedimentos, as perdas de solo foram baixas, o que justifica as baixas perdas do elemento. As perdas de potássio nos sedimentos erodidos foram 89% menores do que as perdas do elemento na água do escoamento superficial, na média dos tratamentos. Isto é explicado pela alta solubilidade do potássio em água e pelas altas perdas de água em comparação com as perdas de solo. Relacionando com as perdas de fósforo, as perdas de potássio foram 12 vezes maiores, explicadas pelos maiores teores de potássio nos sedimentos em relação ao fósforo. As perdas de potássio foram em torno de duas vezes maiores na ervilhaca do que na aveia, na média dos tratamentos, devido as perdas de solo na ervilhaca terem sido maiores. Na aveia, o tratamento AL apresentou redução de 18,5% e 14,5% nas perdas de potássio em relação aos tratamentos AC e AP, respectivamente. Já na ervilhaca, o tratamento AC foi o que apresentou as menores perdas, com reduções de 47,9% e 37,9% em relação aos tratamentos AP e AL, respectivamente. Estes comportamentos se justificam pelas diferenças ocorridas nas perdas de solo entre os tratamentos na cultura da ervilhaca, em cujo cultivo tais perdas apresentaram maior variação do que os tratamentos no cultivo da aveia (Tabela 5).

As perdas de carbono orgânico nos sedimentos perdidos por erosão foram 1.534 e 127 vezes maiores, do que as perdas de fósforo e potássio, respectivamente, na média dos tratamentos (Tabela 14). Isto ocorreu em razão do carbono orgânico ser encontrado em grandes quantidades nos sedimentos da erosão. As perdas de carbono orgânico foram influenciadas principalmente pelas perdas de solo, já que os teores nos sedimentos apresentaram pouca variação entre tratamentos. Isto explica a menor perda de carbono orgânico no tratamento AL (16,2 kg ha<sup>-1</sup>) que perdeu menos solo (0,520 t ha<sup>-1</sup>) e, ao mesmo

tempo explica a maior perda de carbono orgânico no tratamento EP ( $49,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que perdeu mais solo ( $1,428 \text{ t ha}^{-1}$ ).

No geral, as perdas de fósforo, potássio e carbono orgânico nos sedimentos do escoamento superficial foram mais influenciadas pelas perdas de solo do que pelos teores dos elementos e do carbono orgânico nos sedimentos. Deste modo, tais perdas foram pequenas, explicadas pelas baixas quantidades de solo perdido nos diversos tratamentos estudados.

Tabela 14 - Perdas de P, K e CO nos sedimentos da erosão hídrica nos diferentes tratamentos (somatório de cinco testes de chuva simulada e média de duas repetições)

Tratamento	P ..... g ha <sup>-1</sup> .....	K	CO kg ha <sup>-1</sup>
AP	14	163	23
AL	11	139	16
AC	13	171	17
EP	31	386	50
EL	29	325	46
EC	17	201	24
Média	19	231	29

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

#### 4.8 TEORES DE N, P, K e CO NA CAMADA DE 0-2,5 CM DO SOLO

Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e carbono orgânico na camada de 0-2,5 cm do solo em geral apresentaram pouca variação entre os tratamentos estudados (Tabela 15). Pequenas diferenças nos teores desses elementos e carbono orgânico na camada de 0-2,5 cm do solo são esperadas em estudos de erosão, em função do grande tamanho das unidades experimentais, motivo pelo qual dificilmente são homogêneas em termos dessas propriedades químicas. Entre as culturas, as maiores variações ocorreram com o nitrogênio que apresentou teor 19,2 % maior na ervilhaca do que na aveia, devido à liberação mais rápida de nitrogênio pelos resíduos culturais da ervilhaca. Em relação às formas de semeadura, elas não apresentaram um comportamento definido, devido a pouca influência da forma de semeadura nos teores dos elementos e carbono orgânico na camada 0-2,5 cm do solo no período de estudo. Ocorre que a camada removida no processo erosivo corresponde a apenas aos primeiros milímetros de solo e a camada amostrada foi muito maior (25 mm). Com isso, logicamente, a forma de semeadura exerceu maior influência nos teores dos elementos e carbono orgânico nos sedimentos erodidos do que na camada de 0-2,5 cm de profundidade do solo.

Tabela 15 - Teores de N mineral, P extraível, K trocável e CO na camada de 0–2,5 cm de profundidade do solo, nos diferentes tratamentos (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada)

Tratamento	N	P mg dm <sup>-3</sup>	K	CO %
AP	35,4	47,9	286	2,8
AL	30,4	48,7	264	2,3
AC	32,7	50,6	289	2,5
EP	38,8	47,7	313	2,7
EL	38,8	46,0	293	2,8
EC	39,8	48,5	287	2,9

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

#### 4.9 TAXA DE EMPOBRECIMENTO DO SOLO

A taxa de empobrecimento do solo é o resultado da divisão do teor de determinado elemento nos sedimentos do escoamento pelo seu teor na camada de 0–2,5 cm de profundidade do solo, conforme Leite (2003).

No geral, a taxa de empobrecimento do solo para fósforo e potássio apresentou valores inferiores a 1,0, com exceção dos tratamentos AC e EC para o potássio (Tabela 16). Isto significa que os teores destes elementos nos sedimentos erodidos foram menores que os teores da camada 0-2,5 cm do solo de onde os sedimentos se originaram, discordando de Langdale et al. (1985). Isto provavelmente está relacionado às diferenças nas proporções das frações areia, silte e argila dos sedimentos da enxurrada e da camada superficial do solo. Estes dados assemelham-se aos encontrados por Cavichiolo (2005) que encontrou menores teores de fósforo e potássio nos sedimentos, além de encontrar nos sedimentos maiores teores de areia e silte e menores teores de argila em relação ao solo de origem, em um dos solos de estudo. Com isso, pressupõe-se que as frações de solo maiores que se agregam menos e contém menos nutrientes de plantas, como por exemplo a areia e o silte, foram removidas em proporções maiores do que as contidas no solo de origem, pois estavam mais prontamente disponíveis ao transporte do que as frações menores como a argila que é mais agregante. O solo apresentava boa resistência a erosão no período de estudo, pelo fato de ter sido recém preparado e pela primeira vez, estando ainda bem estruturado fisicamente e com altos níveis de matéria orgânica durante a aplicação das chuvas, o que de fato contatou-se por meio das baixas perdas de solo.

Para o fósforo e potássio, observa-se que a taxa de empobrecimento do solo nos tratamentos AC e EC apresentaram os maiores valores (Tabela 16). Isto é um indicativo de que esta forma de semeadura, realizada em contorno, aumentou a proporção de sedimentos

coloidais, ricos em nutrientes, mostrando, por isso, uma tendência de aumento dos teores desses nutrientes de plantas neste tipo de orientação de semeadura, em relação às demais, concordando com Barrows & Kilmer (1963) e Alberts & Moldenhauer (1981).

Os teores de carbono orgânico nos sedimentos transportados pela enxurrada foram maiores do que os teores na camada superficial do solo, de 0–2,5 cm (Tabela 16). Isso é justificado pelo fato de que a matéria orgânica é um constituinte facilmente removível pela erosão hídrica, devido a sua baixa densidade, o que facilita seu transporte, conforme Barrows e Kilmer (1963) e Schick et al. (2000). Os teores de carbono orgânico nos sedimentos transportados pela enxurrada foram 33% maiores do que os teores na camada superficial do solo, na média dos tratamentos e testes de chuva, concordando com Bertol et al. (2004b).

Tabela 16 - Razão entre os teores de P, K e CO dos sedimentos erodidos com os teores de P, K e CO na camada 0–2,5 cm do solo (média de duas repetições e cinco testes de chuva simulada)

Tratamento	P (P sed / P solo)	K (K sed / K solo)	CO (CO sed / CO solo)
AP	0,43	0,90	1,38
AL	0,41	0,98	1,37
AC	0,46	1,08	1,35
EP	0,47	0,86	1,29
EL	0,48	0,80	1,28
EC	0,53	1,04	1,31

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

## 5 CONCLUSÕES

1. A aveia foi mais eficiente do que a ervilhaca no controle das perdas de solo, cujas perdas foram pouco influenciadas pela forma de semeadura na aveia, e, na ervilhaca, a semeadura morro abaixo apresentou as maiores perdas de solo. O volume de enxurrada foi maior na semeadura morro abaixo do que nas demais formas de semeadura e o tipo de cultura pouco afetou esta variável.
2. A aplicação de uréia na aveia, imediatamente antes da chuva, elevou os teores de N-NH<sub>4</sub> na água da enxurrada, ultrapassando limites toleráveis para a comunidade aquática.
3. Os teores dos nutrientes solúveis na água de enxurrada e nos sedimentos erodidos foram maiores no início do que no final do ciclo das culturas, com exceção do P solúvel cujos teores aumentaram ao longo do ciclo das culturas.
4. No teste de chuva sobre os resíduos culturais, os teores de N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> e K solúveis na água de enxurrada e de P e K nos sedimentos erodidos aumentaram em relação ao teste anterior realizado no ciclo das culturas, sendo estes teores maiores sobre os resíduos da ervilhaca, com exceção do K que foi maior sobre os resíduos da aveia.
5. A semeadura em contorno aumentou os teores de N-NO<sub>3</sub> na água de enxurrada e de P e K nos sedimentos erodidos, em relação à semeadura morro abaixo.
6. Os teores de CO nos sedimentos de enxurrada não foram afetados pelo tipo de cultura, forma de semeadura e testes de chuva.
7. As perdas de N, P e K na água de enxurrada foram maiores na semeadura morro abaixo, sendo a perda de N maior na ervilhaca e a de K maior na aveia, enquanto que as perdas de P, K e CO nos sedimentos foram maiores na ervilhaca.
8. As taxas de empobrecimento do solo para P e K apresentaram valores inferiores a 1,0, enquanto para o CO tais taxas foram superiores a unidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.
- ALBERTS, E. E.; SCHUMAN, G. E.; BURWELL, R. E. Seasonal runoff losses of nitrogen and phosphorus from Missouri Valley loss watersheds. **J. Environ. Qual.**, v. 7, n. 2, p. 203-207, 1978.
- ALBERTS, E. E.; MOLDENHAUER, N. C.; FOSTER, G. R. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill-flow. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison, v. 44, n. 3, p. 590-595, 1980.
- ALBERTS, E. E.; MOLDENHAUER, W. C. Nitrogen and phosphorus transported by eroded soil aggregates. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, v. 45, p. 391-396, 1981.
- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; HOLT, R. F. Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 31, p. 550-556, 1967.
- BARISAS, S. G. et al. Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients, a rainfall simulation study. **Trans. of the ASAE**, v. 21, p. 983-897, 1978.
- BARROWS, H. L.; KILMER, V. J. Plant nutrient losses from soil by water erosion. In: NORMANN, A. G. **Advances in Agronomy**. New York: Academic Press, 1963. v. 15, p. 303-316.
- BERG, W. A.; SMITH, S. J.; COLEMAN, G. A. Management effects on runoff, soil, and nutrient losses from highly erodible soils in the Southern plains. **J. Soil and Water Cons.**, v. 43, p. 407-410, 1988.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 11, p. 187-192, 1987.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparamos de solo e rotação de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, v.18, p. 267-271, 1994a.

BERTOL, I. Perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo sob rotação de culturas. **Universidade & Desenvolvimento**, Florianópolis, v. 2, n. 3, p. 174-184, 1994b.

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 ausência de resíduos culturais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 21, n. 3, p. 409-418, 1997a.

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 ausência de resíduos culturais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 21, p. 409-418, 1997b.

BERTOL, I. et al. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, n. 4, p. 705-712, 1998.

BERTOL, I. et al. Nutrient losses by water erosion. **Sci. Agr.** v. 60, p. 581-586, 2003.

BERTOL, I. et al. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptissol sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo.**, v. 28, p. 485-494, 2004a.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossol Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Bras. Ci. Solo.**, v. 28, p. 1.045-1.054, 2004b.

BERTOL, I. et al. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil & Tillage Research**, n 94, p 142 – 150, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.

BRASIL – CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário oficial da União**. Brasília, 2005.

BREMNER, J. M.; KEENEY, D. S. Determination and isotope ratio analysis of different forms of Nitrogen in soils: 3 – Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction – distillation methods. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 30, p. 577-582, 1966.

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R.; AMEMIYA, M. A. Field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 27, p. 697-700, 1963.

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

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p. p. 375 – 470.

CASSOL, E. A. et al. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, n. 3, p. 705-712, 2002.

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

CAVICHOLO, S. R. **Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantio de *Pinus taeda***. 2005. 139 p. (Tese de Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2005.

CETESB - Variáveis de qualidade das águas. **Secretaria do Estado do meio ambiente**, SP. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>> Acesso em: 03 nov. 2007.

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

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

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: SBCS/NRS, 2004. 400 p.

DANIEL, T. C. et al. Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorus management. **J. Soil and Water Cons.**, v. 40, p. 30-38, 1994.

DERNARDIN, J. E. et al. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88 p.

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

ENGEL, F. L. **Erosão hídrica em diferentes estágios de crescimento da cultura da soja, em diferentes métodos de preparo do solo**. 2005. 88 p (Dissertação de mestrado) – UDESC, Lages, 2005.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. Transport of soil particles by shallow flow. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, v. 15, p. 99-102, 1972.

FOSTER, G. R. Modelling the erosion processes. In: Hydrological modelling of small watersheds. **Amer. Soc. Agr. Eng.**, St. Joseph, p. 297-300, 1982.

GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GILLEY, J. E.; FINKNER, S. C.; VARVEL, G. E. Size distribution of sediment as affected by surface residue and slope length. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 5, p. 1419-1424, 1987.

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

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.

HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 324p.

IAPAR. Recomendações gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação de solo no Brasil. In: 1º ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 7-11 de junho de 1975, Londrina. **Anais...** Londrina, 1975. p. 107-120.

JOHNSON, C. B. et al. Tillage effects on sediment and nutrients in runoff from small watersheds. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, p. 1110-1114, 1979.

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

LANGDALE, G. W.; LEONARD, R. A.; THOMAS, A. W. Conservation practices effects on phosphorus losses from Southern Piedmont watersheds. **J. Soil and Water Cons.**, v. 40, p. 157-160, 1985.

LEITE, D. **Erosão hídrica sob chuva simulada em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes manejos**. 2003. 100 p. (Dissertação de Mestrado) - UDESC, Lages, 2003.

LUCIANO, R. V. **Erosão hídrica em três formas de semeadura de aveia e ervilhaca em um Cambissolo Húmico**. 2008. 84 p. (Dissertação de Mestrado) – UDESC, Lages, 2008.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 880 p.

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

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

McISAAC, G. F.; MITCHELL, J. K.; HIRSCHI, M. C. Dissolved phosphorus concentrations in runoff from simulated rainfall on corn and soybean tillage systems. **J. Soil and Water Cons.**, v. 50, n. 4, p. 383-387, 1995.

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

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

MIHARA, M. Nitrogen and phosphorus losses due to soil erosion during a typhoon, Japan. **J. of Agric. Eng. Res.**, v. 78, n. 2, p. 209-216, 2001.

MODEL, N. S. **Rendimento de milho e aveia e propriedades do solo relacionados ao modo de aplicação de fósforo e potássio e técnicas de preparo de solo**. 1990. 115 p. (Dissertação de mestrado) – UFRGS, Porto Alegre, 1990.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.26, n.1, p.31-36, 1962.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 176 p.

POTE, D. H. et al. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, v. 60, p. 855-859, 1996.

RENARD, K. J. et al. **Predicting soil erosion by water**: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington: USDA, 1997. 384 p. (Agricultural Handbook).

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

ROS, C. O. da. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto.** 1993. 85 f. (Dissertação de Mestrado)-UFSM, Santa Maria, 1993.

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

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 437 – 447, 2000.

SCHOMBERG, H. H., STEINER, J. L. Nutrient dinamics of crop residues decomposing on fallow no till soil surface. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, v. 63, n. 3, p. 607-613, 1999.

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

SHARPLEY, A. N. The enrichment of soil in runoff sediments. **J. Environ. Qual.**, v. 9, p. 521-526, 1980.

SHARPLEY, A. N. et al. The sorption of soluble phosphorus by soil material during transport in runoff from cropped and grassed watersheds. **J. Environ. Qual.**, v. 10, p. 211-215, 1981.

SHARPLEY, A.N.; SMITH, S.J.; NANNEY, J.W. Environmental impact of agricultural nitrogen phosphorus use. **American Chemical Society**, 1987, 11p.

SHARPLEY, A. N.; TROEGER, W. W.; SMITH, S. J. The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. **J. Environ. Qual.**, v. 20, p. 235-238, 1991.

SHUMAN, L. M. Phosphorus and nitrate nitrogen in runoff following fertilizer application to turfgrass. **J. Environ. Qual.**, v. 31, p. 1710-1715, 2002.

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

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

VIEIRA, M. J.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Perdas por erosão em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glycine max (L.) Merr*) em condições de chuva simulada. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 2, p. 209-214, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. Am. Geophys. Un.**, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

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

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

ZOLDAN JUNIOR, W. A. **Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma escarificação aplicada após cinco e meio anos de uso de sistemas de manejo do solo, e suas relações com a erosividade de chuva e erosão hídrica em um Nitossolo Háplico**. 2006. 100 p. (Dissertação de Mestrado) - UDESC, Lages, 2006.

**ANEXOS**

Anexo 1 - Declividade das parcelas experimentais ( $m m^{-1}$ )

Parcela	Declividade
P1	0,1487
P2	0,1463
P3	0,1327
P4	0,1147
P5	0,0880
P6	0,0890
P7	0,1313
P8	0,1113
P9	0,0993
P10	0,1118
P11	0,1175
P12	0,1367

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 2 - Matéria seca obtida pelos resíduos das culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	$Kg m^2$	$t ha^{-1}$
P1	0,730	7,3
P2	0,702	7,0
P3	0,606	6,1
P4	0,371	3,7
P5	0,687	6,9
P6	1,106	11,1
P7	0,239	2,4
P8	0,533	5,3
P9	0,435	4,4
P10	0,614	6,1
P11	0,376	3,8
P12	0,660	6,6

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 3 - Cobertura do solo pela copa das plantas ( $m^2 m^{-2}$ ) anterior aos testes de chuva simulada, nos diferentes tratamentos (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
AP	0,30	0,74	0,90	0,95	0,72
AL	0,29	0,77	0,90	0,95	0,73
AC	0,31	0,77	0,90	0,95	0,73
EP	0,23	0,56	1,00	1,00	0,70
EL	0,25	0,49	1,00	1,00	0,69
EC	0,24	0,52	1,00	1,00	0,69

AP: aveia morro abaixo; AL: aveia a lanço; AC: aveia em contorno; EP: ervilhaca morro abaixo; EL: ervilhaca a lanço; EC: ervilhaca em contorno.

Anexo 4 - Nitrogênio na forma de amônio solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ), na água do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	6.0	0.1	0.1	0.1	0.6
P2	3.9	0.2	0.2	0.2	0.4
P3	3.3	0.2	0.1	0.1	0.3
P4	4.7	0.1	0.1	0.1	0.4
P5	7.9	0.2	0.3	0.1	0.5
P6	3.4	0.4	0.1	0.2	0.7
P7	1.3	0.9	0.3	0.4	2.1
P8	1.0	0.9	0.4	0.4	2.0
P9	1.2	0.7	0.2	0.3	1.5
P10	1.2	0.7	0.7	0.2	1.9
P11	1.3	0.6	0.3	0.3	2.0
P12	1.9	0.6	0.3	0.2	1.9

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 5 - Nitrogênio na forma de nitrato solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ), na água do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	1.3	0.3	0.3	0.2	1.0
P2	1.4	0.4	0.2	0.2	1.0
P3	1.8	0.3	0.2	0.2	0.9
P4	2.6	0.3	0.1	0.2	1.1
P5	5.4	0.3	0.2	0.2	1.4
P6	2.8	0.4	0.2	0.3	1.6
P7	3.7	1.5	0.4	0.6	6.4
P8	3.2	1.0	0.3	0.5	5.0
P9	1.1	0.5	0.1	0.2	3.1
P10	1.1	0.6	0.1	0.3	3.9
P11	1.2	0.6	0.3	0.2	4.7
P12	1.4	1.1	0.3	0.2	4.7

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 6 - Fósforo solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ), na água do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	0,01	0,01	0,03	0,03	0,05
P2	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05
P3	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05
P4	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05
P5	0,01	0,03	0,03	0,04	0,06
P6	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06
P7	0,01	0,02	0,04	0,04	0,06
P8	0,01	0,03	0,04	0,04	0,06
P9	0,01	0,02	0,04	0,04	0,06
P10	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05
P11	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07
P12	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 7 - Potássio solúvel ( $\text{mg L}^{-1}$ ), na água do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	1,0	0,2	1,5	2,6	8,6
P2	3,2	0,7	1,0	2,3	9,4
P3	3,8	0,7	1,3	2,2	8,6
P4	4,1	0,9	0,2	1,5	7,2
P5	4,4	1,3	1,3	1,4	9,1
P6	1,0	1,0	3,6	2,4	10,0
P7	0,4	1,4	0,9	1,3	5,8
P8	2,2	2,0	1,4	1,1	6,0
P9	2,2	0,6	0,8	0,7	7,0
P10	0,1	1,9	0,7	0,4	5,6
P11	0,9	1,3	1,4	2,6	9,6
P12	1,1	0,9	1,4	0,7	7,2

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 8 - Fósforo extraível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), nos sedimentos da erosão hídrica, nos cinco testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	21,2	21,0	10,0	14,0	24,3
P2	31,8	20,2	15,4	17,9	29,7
P3	26,2	18,3	13,6	11,6	31,2
P4	23,9	20,2	13,4	15,0	26,3
P5	30,1	24,1	13,9	20,5	33,2
P6	31,8	20,6	13,7	16,9	28,8
P7	25,6	28,5	19,3	19,6	31,8
P8	30,5	19,1	25,5	21,3	34,5
P9	30,5	19,1	12,4	15,2	30,4
P10	19,0	23,4	22,0	17,1	30,0
P11	29,3	21,8	19,0	21,2	33,4
P12	19,6	16,8	19,3	12,8	30,3

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 9 - Potássio trocável ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), nos sedimentos da erosão hídrica, nos cinco testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	258,0	264,0	225,0	244,0	306,0
P2	318,0	234,0	220,0	186,0	324,0
P3	306,0	256,0	206,0	160,0	296,0
P4	268,0	220,0	202,0	328,0	340,1
P5	379,8	276,0	302,0	334,0	340,0
P6	359,8	300,0	218,0	270,0	340,0
P7	359,0	366,0	285,4	304,0	366,0
P8	370,0	302,0	172,0	196,0	266,0
P9	330,0	228,0	192,8	242,0	212,0
P10	270,0	244,0	208,6	186,2	238,7
P11	310,0	268,0	264,0	288,0	322,0
P12	342,0	250,0	182,0	198,0	266,0

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 10 -Carbono orgânico (%), nos sedimentos da erosão hídrica, nos cinco testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	3,7	3,8	3,9	4,2	3,5
P2	4,0	3,6	3,9	3,5	4,0
P3	3,6	3,3	3,3	3,3	3,2
P4	2,8	2,4	3,3	3,3	3,2
P5	3,3	3,0	3,3	3,1	3,5
P6	3,5	3,0	3,3	3,7	3,5
P7	4,1	4,0	3,9	3,9	3,8
P8	3,5	3,0	3,9	3,6	4,0
P9	3,5	3,5	3,5	4,2	3,9
P10	3,3	3,3	4,2	2,9	3,0
P11	3,4	3,2	3,5	3,3	3,5
P12	4,1	3,4	3,4	3,3	3,6

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 11 -Nitrogênio mineral ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na camada 0-2,5 cm de profundidade do solo, coletado imediatamente antes dos testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	59,9	40,3	36,1	31,9	38,0
P2	52,9	24,9	10,2	28,4	32,2
P3	46,9	29,4	18,5	33,3	30,0
P4	49,6	30,8	18,7	23,5	31,8
P5	66,2	24,2	19,3	23,5	30,5
P6	47,6	26,3	35,4	21,7	32,7
P7	46,3	21,4	31,9	31,2	68,5
P8	49,5	28,4	34,7	27,0	59,1
P9	49,7	19,3	29,8	31,9	55,2
P10	46,9	32,2	23,1	36,1	64,1
P11	59,5	25,6	24,2	30,8	57,9
P12	48,0	29,1	26,3	24,9	62,4

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 12 - Fósforo extraível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na camada 0-2,5 cm de profundidade do solo, coletado imediatamente antes dos testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	54,9	50,7	25,8	27,3	49,9
P2	78,0	54,5	56,5	23,7	58,0
P3	49,7	52,2	40,0	32,5	39,8
P4	80,8	65,7	42,0	26,5	58,0
P5	78,0	41,9	34,3	36,0	62,5
P6	48,5	74,2	31,7	40,5	58,0
P7	54,6	57,0	45,7	31,6	64,9
P8	60,9	39,2	32,7	30,7	67,9
P9	52,6	52,3	32,4	31,6	60,3
P10	60,1	50,2	34,2	36,3	50,3
P11	62,0	64,4	34,1	51,5	68,2
P12	48,4	32,1	25,8	27,7	62,7

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 13 -Potássio trocável ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na camada 0-2,5 cm de profundidade do solo, coletado imediatamente antes dos testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	363,5	243,5	192,1	226,5	276,5
P2	394,0	305,5	219,0	209,0	433,0
P3	327,3	201,0	218,5	152,0	236,2
P4	340,9	312,0	258,5	201,0	390,9
P5	379,0	327,5	184,0	226,0	296,6
P6	352,5	304,0	240,0	234,5	345,0
P7	356,5	303,5	209,0	215,0	317,7
P8	302,5	321,0	251,0	251,0	339,8
P9	360,5	310,0	271,5	222,5	309,4
P10	341,2	336,0	291,0	225,0	264,9
P11	345,0	373,5	261,0	222,0	373,1
P12	351,5	288,5	266,0	260,5	387,7

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 14 - Carbono orgânico (%) na camada 0-2,5 cm de profundidade do solo, coletado imediatamente antes dos testes de chuva simulada aplicadas, nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	2,9	3,0	2,9	2,8	2,6
P2	2,7	2,7	2,6	2,6	2,8
P3	2,6	2,4	2,4	2,3	2,2
P4	2,4	2,2	2,2	2,3	2,3
P5	2,4	2,3	2,2	2,4	2,7
P6	2,6	2,4	2,4	2,6	2,5
P7	3,1	2,9	2,8	2,8	3,0
P8	2,8	2,9	3,0	2,9	2,8
P9	2,8	2,9	2,7	2,7	3,0
P10	2,7	2,7	2,8	2,8	2,5
P11	2,8	2,7	2,7	2,8	2,8
P12	2,8	2,6	2,5	2,6	2,7

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 15 - Perdas de Nitrogênio ( $\text{g ha}^{-1}$ ), na água do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicados nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	868,3	102,7	37,0	63,6	412,7
P2	170,5	41,7	12,2	32,4	217,1
P3	396,4	84,4	25,5	64,8	463,3
P4	443,2	273,4	86,6	101,2	1444,4
P5	93,9	149,5	35,6	42,1	508,4
P6	316,3	239,7	46,3	111,0	880,5
P7	93,9	149,5	35,6	42,1	508,4
P8	316,3	239,7	46,3	111,0	880,5
P9	396,4	84,4	25,5	64,8	463,3
P10	443,2	273,4	86,6	101,2	1444,4
P11	868,3	102,7	37,0	63,6	412,7
P12	170,5	41,7	12,2	32,4	217,1

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 16 - Perdas de Fósforo ( $\text{g ha}^{-1}$ ), na água do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicados nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	1,4	1,2	3,0	6,9	13,9
P2	0,3	1,3	1,5	3,9	7,9
P3	0,7	2,9	2,1	6,5	14,4
P4	1,6	3,9	4,3	10,4	12,4
P5	0,3	1,8	2,2	3,3	4,7
P6	0,6	2,9	2,8	4,6	8,5
P7	0,3	1,8	2,2	3,3	4,7
P8	0,6	2,9	2,8	4,6	8,5
P9	0,7	2,9	2,1	6,5	14,4
P10	1,6	3,9	4,3	10,4	12,4
P11	1,4	1,2	3,0	6,9	13,9
P12	0,3	1,3	1,5	3,9	7,9

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 17 - Perdas de Potássio ( $\text{g ha}^{-1}$ ), na água do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicados nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	289,0	95,7	127,4	436,6	2505,7
P2	108,7	72,8	38,6	181,3	1244,8
P3	156,6	145,9	170,8	317,6	2107,4
P4	154,1	208,7	202,2	348,8	1826,4
P5	46,9	149,2	48,0	45,4	612,4
P6	86,6	194,8	80,5	143,9	717,1
P7	46,9	149,2	48,0	45,4	612,4
P8	86,6	194,8	80,5	143,9	717,1
P9	156,6	145,9	170,8	317,6	2107,4
P10	154,1	208,7	202,2	348,8	1826,4
P11	289,0	95,7	127,4	436,6	2505,7
P12	108,7	72,8	38,6	181,3	1244,8

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 18 - Perdas de Fósforo ( $\text{g ha}^{-1}$ ), nos sedimentos do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicados nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	7,7	2,7	0,6	0,7	2,2
P2	4,7	3,5	0,4	0,4	1,9
P3	6,9	3,2	0,9	0,7	1,8
P4	8,3	8,9	5,5	2,7	5,7
P5	10,6	6,4	3,2	2,9	5,4
P6	6,1	3,7	2,0	1,6	3,3
P7	10,6	6,4	3,2	2,9	5,4
P8	6,1	3,7	2,0	1,6	3,3
P9	6,9	3,2	0,9	0,7	1,8
P10	8,3	8,9	5,5	2,7	5,7
P11	7,7	2,7	0,6	0,7	2,2
P12	4,7	3,5	0,4	0,4	1,9

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 19 - Perdas de Potássio ( $\text{g ha}^{-1}$ ), nos sedimentos do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicados nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	83,8	32,2	10,6	10,1	25,9
P2	54,4	43,1	6,3	9,9	25,5
P3	82,0	41,4	16,9	11,0	19,3
P4	110,9	119,7	64,3	38,6	52,6
P5	129,1	71,5	37,9	38,1	48,2
P6	79,0	51,5	20,6	19,1	31,2
P7	129,1	71,5	37,9	38,1	48,2
P8	79,0	51,5	20,6	19,1	31,2
P9	82,0	41,4	16,9	11,0	19,3
P10	110,9	119,7	64,3	38,6	52,6
P11	83,8	32,2	10,6	10,1	25,9
P12	54,4	43,1	6,3	9,9	25,5

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 20 - Perdas de carbono orgânico ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), nos sedimentos do escoamento superficial, nos cinco testes de chuva simulada aplicados nas culturas de aveia preta e ervilhaca comum

Parcela	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
P1	11,2	4,8	1,9	1,8	3,1
P2	6,1	5,2	1,0	1,3	2,5
P3	7,6	4,3	2,1	1,2	2,0
P4	12,7	15,4	9,9	5,3	6,4
P5	14,6	10,3	7,2	6,3	7,4
P6	8,3	5,4	3,5	2,9	3,8
P7	14,6	10,3	7,2	6,3	7,4
P8	8,3	5,4	3,5	2,9	3,8
P9	7,6	4,3	2,1	1,2	2,0
P10	12,7	15,4	9,9	5,3	6,4
P11	11,2	4,8	1,9	1,8	3,1
P12	6,1	5,2	1,0	1,3	2,5

P1 e P2 (tratamento AP: aveia morro abaixo); P3 e P4 (tratamento AL: aveia a lanço); P5 e P6 (tratamento AC: aveia em contorno); P7 e P8 (tratamento EC: ervilhaca em contorno); P9 e P10 (tratamento EL: ervilhaca a lanço) e P11 e P12 (tratamento EP: ervilhaca morro abaixo).

Anexo 21 - Chuvas naturais ocorridas durante o cultivo de aveia e ervilhaca, no município de Lages, SC, no período de julho a novembro de 2006

Dia/mês	Volume (mm)	Dia/mês	Volume (mm)	Dia/mês	Volume (mm)
01/07	4,9	31/08	9,4	15/10	9,0
02/07	23,0	01/09	9,6	19/10	0,5
09/07	9,2	02/09	23,8	26/10	1,0
16/07	0,9	09/09	16,2	30/10	7,1
24/07	7,4	10/09	0,9	01/11	45,1
25/07	4,8	15/09	13,6	03/11	0,7
26/07	15,6	16/09	7,6	05/11	24,1
27/07	9,2	20/09	6,0	17/11	50,8
28/07	10,5	21/09	6,0	19/11	94,4
07/08	3,2	23/09	1,0	20/11	7,9
10/08	3,8	29/09	5,5	25/11	4,7
15/08	2,4	01/10	20,9	26/11	11,1
16/08	109,6	05/10	9,6	28/11	8,7
18/08	4,8	11/10	22,0	-	-
27/08	4,7	12/10	0,2	-	-

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

Barbosa, Fabrício Tondello

Erosão hídrica em três formas de sementeira de aveia  
e ervilhaca em um Cambissolo Húmico: perdas de  
nutrientes e carbono orgânico. / Fabrício Tondello  
Barbosa – Lages, 2008.

73 p.

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

1. Solos - Erosão. 2. Nutrientes. 3. Cultivo em curva de nível. 4. Chuva artificial. 5. Título.

CDD – 631.45