



**UFSM**

**Dissertação de Mestrado**

**NUTRIENTES NA ÁGUA DO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM  
MULCHING VERTICAL**

---

**Rafael Dalla Costa**

**PPGEA**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2004**

**NUTRIENTES NA ÁGUA DO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO  
COM MULCHING VERTICAL**

---

por  
**Rafael Dalla Costa**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,  
Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, da  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**PPGEA**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2004**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A comissão examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**NUTRIENTES NA ÁGUA DO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM  
MULCHING VERTICAL**

elaborada por  
Rafael Dalla Costa

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Afranio Almir Righes, Ph.D**  
(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Dr. Thomé Lovato**  
UFSM

---

**Prof. Dra. Marcia Xavier Peiter**  
URI

Santa Maria, 18 de outubro de 2004.

## DEDICATÓRIA

Aos meus Pais

Francisco Dalla Costa

Deroci Lúcia Denardin Dalla Costa

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, por proporcionar o meio físico e uma estrutura docente para o meu aprendizado;

Ao professor Afranio Almir Righes, pela orientação e ensinamentos;

Aos professores Dalvan José Reinert e José Miguel Reichert e orientados, pela ajuda na instalação e programação de equipamentos;

Ao pesquisador da Embrapa-CNPT José Eloir Denardin, pelo acolhimento, camaradagem, ensinamentos e auxílio na condução do trabalho;

Ao CNPq/CT-HIDRO, pela concessão de bolsa e auxílio financeiro para realização do trabalho;

Aos funcionários do laboratório de solos da Embrapa-CNPT, pelo valioso auxílio nas análises para a condução do trabalho;

Aos colegas de curso, Miguel Herbes e Sandra Maria Garcia;

Ao amigo e colega Luís Henriques do Amaral, por uma grande amizade cultivada e as suas horas despendidas para auxiliar-me;

À Tatiana Fiorin, uma colega e principalmente amiga, pela grande parcela no auxílio na confecção desse trabalho.

À minha namorada e amiga, Josiane Miranda Furtado, pelo afeto, compreensão e palavras que vieram em momentos difíceis durante essa minha caminhada.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>RELAÇÃO DE TABELAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RELAÇÃO DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RELAÇÃO DE ANEXOS.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1 <i>Sistema Plantio Direto .....</i>	4
2.2 <i>Mulching Vertical.....</i>	5
2.3 <i>Perdas de Nutrientes .....</i>	7
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
3.1 <i>Localização e Solo.....</i>	12
3.2 <i>Histórico da Área Experimental.....</i>	12
3.3 <i>Tratamentos.....</i>	13
3.4 <i>Caracterização das Parcelas Experimentais .....</i>	13
3.5 <i>Instalação dos Tratamentos .....</i>	14
3.6 <i>Caracterização Física e Hídrica do Solo.....</i>	16
3.7 <i>Aplicação da Chuva Simulada .....</i>	19
3.8 <i>Escoamento Superficial.....</i>	24
3.9 <i>Determinação das concentrações e quantidades de nutrientes da enxurrada.....</i>	27
3.10 <i>Análise Estatística .....</i>	28
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1 <i>Escoamento superficial acumulado.....</i>	29
4.2 <i>Concentrações dos nutrientes.....</i>	34

<i>4.3 Quantidades perdidas de nutrientes</i> .....	39
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	46
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47
<b>ANEXOS</b> .....	53

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### NUTRIENTES NA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO COM MULCHING VERTICAL

Autor: Rafael Dalla Costa  
Orientador: Afranio Almir Righes  
Local e data da defesa: Santa Maria, 18 de outubro de 2004.

Os principais poluentes de mananciais hídricos nas áreas rurais são a matéria orgânica, os sedimentos, nutrientes e os pesticidas, transportados principalmente pelo escoamento da água oriunda das terras agricultadas. Devido a esse fato, faz-se necessário o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias que reduzam tais descargas de resíduos indesejáveis, mais precisamente alguns nutrientes considerados importantes nesse processo, como nitrogênio, fósforo, potássio e o carbono orgânico, que foram analisados neste trabalho. Esse experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa, Passo Fundo-RS, com o objetivo de avaliar as perdas de nutrientes na água do escoamento superficial com o uso do *mulching* vertical em sistema plantio direto sob diferentes intensidades de chuva simulada de forma a promover o manejo sustentável das culturas, bem como, proporcionar alternativas na adoção de sistemas conservacionistas pelos produtores, visando à redução do impacto ambiental de agentes agroquímicos na poluição dos mananciais hídricos. Os tratamentos constituíram-se de parcelas sem *mulching* vertical, *mulching* vertical a cada 10 metros e *mulching* vertical a cada 5 metros, em área com sistema plantio direto a treze anos. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições. Simularam-se chuvas com intensidades de precipitação de 70 e 106 mm h<sup>-1</sup>, durante a fase inicial de desenvolvimento do trigo e, posteriormente, da soja. Os volumes totais do escoamento superficial para os tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m, nas duas épocas, não diferem entre si, entretanto reduzem entre 49,6 e 67,1 %, em relação ao tratamento sem *mulching* vertical. As concentrações de nutrientes na enxurrada não apresentam diferença significativa em relação aos tratamentos. As perdas totais de nutrientes em ordem decrescente são carbono orgânico, potássio, nitrogênio total e fósforo, estando diretamente relacionadas aos volumes de água do escoamento superficial acumulado de cada tratamento.



## **ABSTRACT**

Dissertation of Master Degree  
Agricultural Engineering Graduate Program  
Federal University of Santa Maria - RS, Brazil

### **NUTRIENTS ON THE WATER FROM RUNOFF IN NO TILLAGE SYSTEM WITH VERTICAL MULCHING**

Author: Rafael Dalla Costa  
Advisor: Afranio Almir Righes  
Place and date of presentation: Santa Maria, October 18<sup>th</sup>, 2004.

The main pollutants of water resources from agricultural areas are organic matter, sediments, nutrients and pesticides, carried out mainly by runoff from farming lands. Considering this fact, it is very important the development and application of new technologies to reduce such undesirable residues discharges, specifically some nutrients, as nitrogen, phosphorus, potassium and the organic carbon considered important in this process, that were analyzed in this study. The experiment was carried out in the experimental area at Embrapa, Passo Fundo-RS/Brazil, with the objective to evaluate nutrients losses on the water from runoff using a vertical mulching in no tillage system under different intensities of simulated rainfall to promote a sustainable crop management, as well as, to provide new alternatives in the adoption of conservation systems that can be used by farmers, that aiming to reduce the environmental impact of chemical agents on the water sources pollution. The treatments were without vertical mulching, vertical mulching furrow every 10 meters and vertical mulching furrow every 5 meters, located perpendicular to the soil slope in no tillage system for thirteen years. The field experiment was in a completed randomized blocks design with three replications. Rainfalls intensities of 70 and 106 mm h<sup>-1</sup> were simulated during the initial growth stage of wheat and soybean development. The variances analysis of total volumes of water from the treatments with vertical mulching each 10 and 5 m, apart showed no significant differences between itself, nevertheless reduce 49.6 to 67.1%, when compared to the treatment without vertical mulching. The nutrients concentrations itself in relation to the treatments has no significant difference. The sequence of totals nutrients losses from higher to lower concentration is: organic carbon, potassium, phosphorus and total nitrogen, which are directly related to the volumes of water from runoff.

## RELAÇÃO DE TABELAS

- TABELA 1. Densidades de partícula e do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo Passo Fundo sob treze anos de cultivo em sistema plantio direto. Valores médios de seis repetições. Passo Fundo – RS.....18
- TABELA 2. Volumes do escoamento superficial acumulado ( $\text{dm}^3$ ). Resultados da fase inicial da cultura do trigo (primeira época) com diferentes intensidades de chuva. Duração de 1h para  $70 \text{ mm h}^{-1}$  e de 0,5 h para  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS..30
- TABELA 3. Volumes do escoamento superficial acumulado ( $\text{dm}^3$ ). Resultados do início do desenvolvimento da soja (segunda época) com diferentes intensidades de chuva. Duração de 1h para  $70 \text{ mm h}^{-1}$  e de 0,5 h para  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS.....31
- TABELA 4. Quadrados médios, médias ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), graus de liberdade (GL) e coeficientes de variação (CV) das concentrações de potássio (K), fósforo (P) carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), obtidas para cada tratamento, nas duas épocas e diferentes intensidades de chuva. Passo Fundo – RS.....34

- TABELA 5. Quadrados médios, médias ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), graus de liberdade (GL) e coeficientes de variação (CV) das quantidades de potássio (K), fósforo (P) carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), perdidas em cada tratamento. Simulação de chuva na fase inicial da cultura do trigo para a intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS.....38
- TABELA 6. Quadrados médios, médias ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), graus de liberdade (GL) e coeficientes de variação (CV) das quantidades de potássio (K), fósforo (P) carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), perdidas em cada tratamento. Simulação de chuva no início do desenvolvimento da soja para diferentes intensidades. Passo Fundo – RS.....39
- TABELA 7. Percentuais de redução das quantidades de nutrientes perdidos, somente para os tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m em relação ao tratamento sem *mulching* vertical que apresentaram diferença significativa, na fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS.....40

## RELAÇÃO DE FIGURAS

- FIGURA 1. Esquema das parcelas experimentais e tratamentos com sulcos de *mulching* vertical a cada 10 metros e a cada 5 metros. Passo Fundo – RS.....13
- FIGURA 2. Abertura dos sulcos de *mulching* vertical no sentido perpendicular ao declive do terreno. Passo Fundo – RS...14
- FIGURA 3. Valetadeira rotativa adaptada para abertura dos sulcos. Passo Fundo – RS.....15
- FIGURA 4. Conjunto moto-bomba com conversor de frequência juntamente à tomada de água. Passo Fundo – RS.....19
- FIGURA 5. Teste de simulação de chuva para escolha dos bocais dos aspersores e intensidades de chuva a serem simuladas nos testes de escoamento superficial de água sob plantio direto com *mulching* vertical. Passo Fundo – RS.....20
- FIGURA 6. Simulador de chuva em pleno funcionamento. Passo Fundo – RS.....21
- FIGURA 7. Quebra-vento instalado no bloco experimental durante a simulação das chuvas. Passo Fundo – RS.....22

- FIGURA 8. Sistema de determinação do escoamento superficial com sensor de nível, juntamente com armazenador de dados digital (*data logger*), localizado dentro da proteção. Passo Fundo – RS.....24
- FIGURA 9. Equipamentos para medição e coleta do escoamento superficial para cada parcela. Passo Fundo – RS.....27
- FIGURA 10. Conteúdo inicial de água no solo antes da simulação da chuva com intensidade de precipitação de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , nas duas épocas de avaliações em duas camadas de solo amostradas. Valores médios de três repetições em cada parcela. Passo Fundo – RS.....28
- FIGURA 11. Volumes médios do escoamento superficial acumulado nas duas épocas e diferentes intensidades de aplicação. Passo Fundo – RS.....32
- FIGURA 12. Concentrações de potássio (K), fósforo (P), carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) determinadas na água do escoamento superficial em todos os tratamentos, referente a fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Valores médios de três repetições. Passo Fundo – RS.....35
- FIGURA 13. Concentrações de potássio (K), fósforo (P), carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) determinadas na água do escoamento superficial em todos os tratamentos, referente ao início do desenvolvimento da soja com intensidade de chuva de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ . Valores médios de três repetições. Passo Fundo – RS.....36

- FIGURA 14. Concentrações de potássio (K), fósforo (P), carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) determinadas na água do escoamento superficial em todos os tratamentos, referente ao início do desenvolvimento da soja com intensidade de chuva de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Valores médios de três repetições. Passo Fundo – RS.....36
- FIGURA 15. Quantidades médias das perdas de nutrientes na fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS.....41
- FIGURA 16. Quantidades médias das perdas de nutrientes no início do desenvolvimento da cultura da soja com intensidade de chuva de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS.....42

## RELAÇÃO DE ANEXOS

- ANEXO A. Vazões lidas no hidrômetro e respectivas leituras nos sensores para calibração das calhas medidoras do escoamento superficial.....52
- ANEXO B. Ajuste da calibração dos sensores por regressão linear, obtendo-se as equações de calibração para transformação da leitura dos sensores em vazão das calhas medidoras.....54
- ANEXO C. Quadrados médios e graus de liberdade (GL) da análise de variância dos dados de volume de escoamento superficial acumulado após a simulação de chuva das duas intensidades de precipitação testadas nas duas épocas de avaliações....55
- ANEXO D. Valores das concentrações dos nutrientes, em  $\text{mg dm}^{-3}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados na fase inicial da cultura do trigo com diferentes intensidades de chuva simulada.....56
- ANEXO E. Valores das concentrações dos nutrientes, em  $\text{mg dm}^{-3}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados no início do desenvolvimento da soja com diferentes intensidades de chuva simulada.....57

- ANEXO F. Quantidades de nutrientes, em  $\text{Kg ha}^{-1}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados na fase inicial da cultura do trigo, com diferentes intensidades, de acordo com o volume total escoado em cada parcela na primeira época.....58
- ANEXO G. Quantidades de nutrientes, em  $\text{Kg ha}^{-1}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados no início do desenvolvimento da soja, com diferentes intensidades, de acordo com o volume total escoado em cada parcela na segunda época.....59
- ANEXO H. Médias das quantidades perdidas por tratamento de potássio, fósforo carbono orgânico e nitrogênio total, em  $\text{Kg ha}^{-1}$ , obtidas na fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ .....60
- ANEXO I. Médias das quantidades perdidas por tratamento de potássio, fósforo, carbono orgânico e nitrogênio total, em  $\text{Kg ha}^{-1}$ , obtidas no início do desenvolvimento da soja com intensidade de chuva de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ .....61



## 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos sistemas agrícolas está diretamente relacionada ao manejo do solo e das culturas. Seu princípio está baseado na manutenção e melhoria da estrutura do solo aumentando a taxa de infiltração de água, reduzindo o escoamento superficial.

No Rio Grande do Sul, a exemplo de outros Estados brasileiros, o crescimento e o desenvolvimento econômico não foram acompanhados pela manutenção da qualidade do meio ambiente, nomeadamente da preservação dos recursos florestais, hídricos e dos solos. O desenvolvimento da agricultura e da pecuária deu-se, em parte, às custas da destruição das florestas nativas existentes, modificando drasticamente a paisagem da região.

Com a explosão da cultura da soja, naquela época, associada aos incentivos do governo, os solos do Rio Grande do Sul foram intensamente mobilizados pelo sistema de preparo tradicional, que consistia de uma ou duas arações e duas ou mais gradagens. Na região do Planalto, na sucessão trigo-soja os solos foram submetidos a esse sistema pelo menos duas vezes ao ano. Este procedimento, entre outras alterações, provocou a redução do conteúdo de matéria orgânica no solo, destruição dos agregados, tanto pela ação mecânica dos implementos como pelo impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto e, conseqüentemente, a degradação da estrutura. Para minimizar o problema, foram usadas técnicas de terraceamento que apenas desviavam a enxurrada para os mananciais e não aumentavam suficientemente a infiltração de água no solo.

Mais recentemente, com adoção do sistema plantio direto, a perda de solos por erosão foi praticamente controlada. A manutenção da superfície do solo com cobertura foi tão importante no controle da erosão hídrica que os agricultores passaram a retirar os terraços sem problemas significativos de perdas de solo por erosão. Entretanto, em áreas com longas pendentes, a retirada dos terraços tem provocado um significativo fluxo de água sobre a

superfície do solo, agravada ainda pelo fato de que em muitas situações não mais é observada a recomendação técnica conservacionista de realizar a semeadura em curva de nível. Este procedimento foi rapidamente difundido e utilizado pelos agricultores devido à reduzida perda de solo por erosão e o aumento da capacidade operativa das máquinas agrícolas. O tráfego de máquinas pesadas nas operações de colheita e de outras atividades de deslocamento sobre o solo tem contribuído para a compactação do mesmo, reduzindo a taxa de infiltração, causando perdas de água por escoamento superficial. Embora esse fluxo de superfície não cause problemas graves no que se refere ao transporte de sedimentos, apresenta problemas quanto às perdas e transporte de nutrientes promovendo um posterior acúmulo desses nos mananciais adjacentes as áreas de cultivo, potencializando um desequilíbrio ambiental. A diminuição da rugosidade da superfície do solo encontrado embaixo da palha proporcionou um aumento do fluxo do escoamento sob a mesma.

Os principais poluentes dos mananciais hídricos nas áreas rurais são a matéria orgânica, os sedimentos, nutrientes e os pesticidas, transportados principalmente pelo escoamento da água oriunda das terras agricultadas. A malha viária, representada pelas estradas rurais e caminhos internos das propriedades, em geral construídas e conservadas de modo inadequado, contribuem de forma significativa para a erosão e a contaminação da água com sólidos totais. Entretanto, é importante a viabilização de alternativas como a utilização do *mulching* vertical em sistema plantio direto podendo reduzir o transporte de sedimentos para os mananciais, diminuindo a contaminação.

O uso adequado do solo e da água, aliado às práticas de manejo e conservação exigidas para cada sistema de cultivo ou criação, pode reverter o processo de degradação dos recursos considerados e reduzir as perdas, tanto de solo como de nutrientes. O monitoramento das perdas de solo, água e nutrientes pode tanto indicar a velocidade dos processos de degradação pela erosão, quanto indicar a eficácia das medidas conservacionistas que venham a ser implementadas nas microbacias.

Dessa forma, o trabalho visa promover o manejo sustentável do sistema plantio direto, bem como, proporcionar alternativas na adoção de sistemas conservacionistas pelos produtores, visando à redução do impacto ambiental de agentes agroquímicos na poluição dos mananciais hídricos.

Assim, a hipótese que será testada é de que a utilização do *mulching* vertical em sistema plantio direto reduz o transporte de nutrientes para os mananciais.

Neste contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar as perdas de nutrientes na água do escoamento superficial com o uso do *mulching* vertical em sistema plantio direto sob chuva simulada. Os objetivos específicos foram: (i) determinar o volume do escoamento superficial acumulado, para diferentes intensidades e duração de chuva simulada, em cada parcela; (ii) avaliar as concentrações de potássio, fósforo, carbono orgânico e nitrogênio total na enxurrada em função do *mulching* vertical em sistema plantio direto; e (iii) avaliar as quantidades de potássio, fósforo, carbono orgânico e nitrogênio total perdidas na enxurrada em função do *mulching* vertical em sistema plantio direto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistema Plantio Direto

A mobilização do solo é uma das principais causas antrópicas da ocorrência de erosão hídrica, que provoca perdas consideráveis de água e solo, podendo em casos extremos, tornar terra imprópria para práticas agrícolas (DECHEN & PROCHNOW, 2003). Várias pesquisas foram e ainda são realizadas com o intuito de solucionar os problemas como a erosão e o empobrecimento do solo, através do desenvolvimento de técnicas de controle da erosão. Uma dessas técnicas é o uso do sistema plantio direto, que elimina as operações de aração e gradagem do solo.

O sistema plantio direto é destaque no emprego dos princípios de conservação do solo e da água, atualmente em maior uso no sul do País. Esse sistema consiste na aplicação de um conjunto de tecnologias baseado na ausência de preparo e na cobertura permanente do solo (EMBRAPA-CPAO, 1989). O plantio direto, em comparação com outros métodos de preparo do solo, é um dos sistemas em que a energia de impacto das gotas de chuva é amortecida pela camada de cobertura morta que fica na superfície do solo, controlando eficazmente a erosão do solo (DERPSCH et al., 1991).

A energia cinética da gota de água da chuva ( $K_e$ ) é suficiente para lançar partículas de solo a 1 m de altura. Essa energia é obtida pela equação:  $K_e = 0,5 MV^2$ , sendo  $M$  a massa e  $V$  a velocidade da gota de chuva. A energia (de impacto) da gota de água provoca o desprendimento das partículas de solo que são presas umas às outras por adesão e coesão. A lâmina de água resultante transporta as partículas de solo, podendo causar sulcos de erosão e, até mesmo, voçorocas (SOARES, 2004).

A constante cobertura da superfície do solo com vegetação ou com resíduos culturais, contempladas no sistema de plantio direto, dissipam a energia cinética das gotas de chuva, diminuem o escoamento superficial da

água e, conseqüentemente, a erosão (WOLSCHICK, 2000). LOPES et al. (1987) concluíram que o aumento na porcentagem de cobertura morta do solo por resíduos culturais diminuiu acentuadamente a velocidade do escoamento superficial de água, independentemente do tipo de resíduo cultural utilizado. A cobertura do solo por resíduos culturais mostrou-se uma forma simples e eficaz de reduzir a capacidade de transporte dos sedimentos pela enxurrada. Em trabalho conduzido durante sete anos por DECHEN & PROCHNOW (2003), demonstraram que 20% da precipitação pluvial total foi perdida com a enxurrada no solo mantido totalmente descoberto.

A palha na superfície do solo aumenta a tortuosidade do fluxo superficial de água, reduzindo a velocidade de escoamento superficial, tendo mais tempo para infiltrar (ELTZ, 1987). A infiltração de água no solo é muito afetada pelo sistema de manejo do mesmo. No sistema plantio direto a palha cobrindo a superfície do solo protege contra o impacto direto das gotas de chuva. Como não há desagregação do solo, não há selamento superficial e a água pode infiltrar-se sem maiores problemas. A proporção da água da chuva que se infiltra no solo é decisiva no processo de erosão. Quanto maior for a capacidade de infiltração de água no solo, tanto menor será o escoamento superficial que normalmente é o maior responsável pela fase de transporte da erosão.

Segundo DECHEN & PROCHNOW (2003), a agricultura por si só, ocasiona redução nas qualidades física e química do solo, tomando-se um solo de mata como exemplo. Porém, ocorrendo erosão e mau uso essa redução nas qualidades do solo é indubitavelmente acentuada. Os autores ainda afirmam que é necessário ressaltar a importância da manutenção e/ou utilização de práticas que mantenham a cobertura do solo protegendo-o da erosão.

## **2.2 *Mulching* Vertical**

O *mulching* vertical, como técnica para as culturas anuais, é definido por RIGHES et al. (2002), como sendo a substituição de parte do solo por

material mais poroso, sendo constituído por sulcos transversais ao declive do terreno, com 7,5 cm de largura e 40 cm de profundidade, e atua, fundamentalmente, no aumento da taxa de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, na redução do deflúvio. Com isso, ocorre aumento no fluxo de água para dentro do solo, aumentando o conteúdo de matéria orgânica, trazendo melhorias para a estrutura e aeração do solo. Para que isto ocorra é necessário que o referido *mulching* atinja a superfície do solo ficando em contato com a atmosfera (RIGHES et al., 2002). O *mulching* vertical é uma tecnologia que, em princípio, não deverá ter aplicação generalizada em toda extensão da lavoura, mas reservada para talvegues de elevada concentração de enxurrada (DENARDIN et al, 2004).

O uso do *mulching* vertical tem-se evidenciado altamente significativo no incremento do fluxo de água para dentro do perfil, quando o solo apresenta uma camada compactada logo abaixo da camada arável (pé de arado). NISHIJIMA & RIGHES (1987) estudaram o efeito de cinco sistemas de manejo de solo no escoamento superficial, sob condições de chuva natural. O experimento foi desenvolvido com a cultura do milho em um Podzólico Vermelho amarelo, unidade de mapeamento São Pedro, com 7% de declividade. Os cinco sistemas de preparo foram: convencional (uma aração e duas gradagens); *mulching* vertical (sulcos transversais ao declive do solo com 40 cm de profundidade e 15 cm de largura), espaçados de 10 m, e preenchidos manualmente com palha picada; escarificação; cultivo mínimo; e semeadura direta. Os resultados evidenciaram que a semeadura direta e o cultivo mínimo reduziram o escoamento superficial em 81% e 55%, respectivamente, em relação ao preparo convencional. O tratamento com escarificação não teve diferença significativa no escoamento superficial em relação ao preparo convencional. O *mulching* vertical reduziu o escoamento superficial em 52% em relação ao preparo convencional, evidenciando ser uma prática promissora para a redução do escoamento superficial.

Além da redução do escoamento superficial, o *mulching* vertical, em cultivos arbóreos, tem a função de melhorar a exploração das raízes no perfil

do solo, bem como, permitir a aplicação de fertilizante em profundidade com o objetivo de fazer com que os nutrientes cheguem na profundidade das raízes ativas (PARODI, 2003).

Segundo HERBES (2003), testando o *mulching* vertical com espaçamento de 5 e 10 metros, usando chuva simulada com intensidade de precipitação de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , em solo Passo Fundo, com duração de 1 hora, não verificou escoamento superficial, devido ao aumentando do fluxo de água para dentro do perfil do solo.

É importante salientar que o *mulching* vertical não constitui técnica de aplicação generalizada na lavoura, sendo indicada para locais críticos, com elevada concentração de deflúvio (EMBRAPA, 2003).

### **2.3 Perdas de Nutrientes**

Um dos problemas mais importantes na área de conservação do solo é o escoamento superficial, devido aos efeitos causados pelo seu deslocamento na superfície do solo. O deslocamento superficial é influenciado por vários fatores. Dentre os fatores climáticos, destaca-se a precipitação com suas duas principais características, intensidade e duração, sendo que quanto maior a intensidade da chuva mais facilmente a taxa de infiltração de água no solo é superada, provocando assim, excesso de água que escoará superficialmente. A duração da chuva também é diretamente proporcional ao escoamento superficial, pois à medida que a chuva se prolonga a capacidade de infiltração de água no solo se reduz, favorecendo o escoamento superficial (PRUSKI et al., 2003).

Isto levou a uma intensificação de estudos sobre a influência da estrutura do solo e do manejo de ecossistemas terrestres na concentração de nutrientes nas águas de lagos e rios, em consequência da ampliação e da intensificação da agricultura necessária à produção de alimentos para uma população crescente. A influência do tipo de vegetação e da quantidade de

fertilizantes usados na agricultura sobre a qualidade das águas de rio tem sido bastante estudada (SCHELSKE & STOERMER 1972; McCOOL, 1978; WELLINGS & BELL, 1980; PETERJONH, 1982; AMARAL et al., 2004). E também há pesquisas sobre a influência de características do solo, em termos de composição química (PIERCE, 1982) e em termos do movimento das águas de enxurrada e de percolação lateral (PETERJOHN & CORREL, 1984; LEITE, 1984) e do movimento de águas freáticas (LAWRANCE et al., 1984) na remoção de nutrientes pela drenagem superficial das águas pluviais.

Segundo SHIPITALO et al. (1990), o destino das substâncias químicas aplicadas superficialmente são dependentes do solo específico e de fatores climáticos como também das propriedades das substâncias químicas agrícolas.

Um dos grandes problemas que a erosão provoca é a perda de nutrientes. Alguns ambientalistas e ecologistas dizem que o mundo está frente a uma crise do nitrogênio como resultado do uso de fertilizantes nitrogenados comercializados e da liberação dos óxidos de nitrogênio por combustão, em altas temperaturas, na planta e na combustão interna de motores (VIETS et al., 1971).

Segundo AITA (1997), o entendimento da dinâmica do nitrogênio no solo é fundamental para a racionalização no uso dos fertilizantes nitrogenados minerais ou orgânicos, tanto do ponto de vista da produtividade das culturas como da qualidade ambiental.

O nutriente mais afetado no processo de degradação do solo é o nitrogênio, devido a sua principal fonte, a matéria orgânica, concentrar-se na superfície do solo e é perdido seletivamente pelo processo de erosão (AITA, 1997).

VIETS et al. (1971), dizem ainda que, quando se aplica fertilizante nitrogenado a um solo, o nitrogênio pode seguir quatro caminhos diferentes: (i) ser perdido por desnitrificação ( $N_2$ ) ou por volatilização de  $NH_3$ , erosão, escoamento superficial, etc; (ii) permanecer no solo até o final do cultivo; (iii) ser retirado pela cultura; e (iv) ser lixiviado para a água subterrânea, onde pode vir a ser um poluente. O conhecimento da contribuição de cada um destes



processos ou componentes do nitrogênio-fertilizante aplicado é de grande importância para o engenheiro agrônomo. A difusão do nitrato ocorre muito lentamente no solo sem o apreciável movimento da água. A transferência do nitrato é só maior no solo com um maior movimento de água (VIETS et al., 1971).

Para LIBARDI et al. (1978), do total de nitrogênio percolado, parte vem da matéria orgânica e parte do fertilizante. Segundo ALBERTS et al. (1978), as perdas de nitrogênio podem ser consideradas muito graves, posto que a maior parte do nitrogênio perdido está combinada com a matéria orgânica, cujos teores são baixos no latossolo vermelho amarelo distrófico. Outrossim, as perdas de nitrogênio analisadas incluem tanto a forma inorgânica quanto a orgânica, sendo essa última uma fonte potencial de nitrogênio, por causa de sua posterior mineralização pela atividade biológica do solo que a transforma em formas disponíveis de amônio e nitrato. GROHMANN & CATANI (1949) encontraram no solo transportado 2,0 vezes mais matéria orgânica, 2,8 mais  $P_2O_5$ , 2,3 mais  $K_2O$  e 1,9 mais  $CaO$  do que no solo original. CASTRO et al. (1986) verificaram que em latossolo roxo ocorreram perdas mais elevadas de nutrientes na enxurrada do que no sedimento; as perdas totais de nutrientes foram proporcionais às perdas de água e de solo; e a concentração dos nutrientes no sedimento independem da quantidade deste, sendo o cálcio o único elemento que apresentou correlação linear significativa para esta relação. As perdas totais de nutrientes foram proporcionais às perdas de solo e de água, sendo que o volume destas perdas está relacionado com o manejo do solo. Conhecendo-se a composição química de apenas algumas enxurradas e sedimentos, pode-se estimar as perdas totais de elementos minerais e matéria orgânica a que está sujeito o solo.

Os grandes fluxos de água decorrentes das precipitações, segundo BASSOI (1992), proporcionaram lixiviações de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre até a profundidade de 90 cm no solo.

A água da enxurrada, mesmo com baixa concentração de sólidos, poderá estar transportando nutrientes (advindos da calagem, adubação e

decomposição dos resíduos culturais), matéria orgânica e agroquímicos (VOLK, et al., 2004).

Os componentes do escoamento superficial apresentam informações importantes para uma análise precisa e integrada das perdas de nutrientes. O primeiro aspecto é a diferença no carreamento de nutrientes que ocorre durante os eventos de chuva-vazão, caracterizado por vazões altas em curto espaço de tempo, e o transporte de nutrientes que ocorre durante o escoamento de base, caracterizado por vazões baixas por longos períodos. O segundo aspecto importante é a composição do escoamento, existe uma parcela de nutrientes associada aos sedimentos e uma carga de nutrientes dissolvida no escoamento (MINELLA et al., 2004).

Para DOTTO (1988), o manejo do solo com *mulching* vertical e com resteva superficial, reduziu as perdas totais de matéria orgânica no sedimento carreado de 77% e 60 %, respectivamente, em relação ao preparo convencional. A quantidade de potássio encontrado nos sedimentos erodidos foi de 1,5; 1,8 e 3,4 vezes maior do que a de fósforo, respectivamente, para os tratamentos *mulching* vertical, resteva superficial e preparo convencional.

SCHICK et al. (2000), verificaram que a concentração de nutrientes na enxurrada varia com a sua concentração no solo, influenciada pela quantidade e forma de aplicação dos adubos e pela cobertura e manejo do solo. Reforçando o verificado por esse autor, BERTOL et al. (2003) determinando as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na água perdida por erosão, perceberam que essas são extremamente influenciadas pelo sistema de manejo adotado no solo e aumenta com a elevação de aplicação de fertilizantes e com a intensidade de revolvimento do solo.

A aplicação de adubos nas lavouras tende a aumentar as concentrações de fósforo e potássio na superfície do solo, especialmente na semeadura direta sem preparo do solo, proporcionando aumento das concentrações desses nutrientes na enxurrada. Isto pode explicar em parte o verificado por AMARAL et al. (2004) que, utilizando índices de impacto para água de riacho, encontraram para a semeadura direta o sistema de manejo que

apresentou os maiores índices de impacto, principalmente, para os elementos fósforo e potássio.

Para LEITE (1985), há fortes indícios de analogia entre teores de fósforo e potássio contidos na camada do manto detrítico no horizonte Ap do solo, nas águas de percolação lateral de superfície e nas águas fluviais do ecossistema do Cacau. Os teores de fósforo e potássio na lixívia do manto e no horizonte Ap do solo parecem obedecer a uma variação sazonal que é associada a processos de assimilação, retenção e perdas de nutrientes do ecossistema do Cacau. A atividade biológica do manto e do horizonte Ap pode influir nas perdas de fósforo e potássio através das águas de percolação lateral, enquanto o uso de fertilizantes pode ser mais uma razão do aumento de potássio nas águas fluviais, no verão.

MINELLA et al. (2004), em trabalho de descarga de nitrogênio e fósforo em bacia hidrográfica, verificaram que as quantidades desses nutrientes perdidos no escoamento foram maiores em períodos que o volume escoado foi mais elevado. Esses resultados confirmaram o verificado por BERTOL et al. (2003), onde afirmam que as perdas de nutrientes são principalmente influenciadas pela perda de água.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e Solo

O trabalho foi realizado no município de Coxilha, Rio Grande do Sul, na área experimental pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa do Trigo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), situada na cidade de Passo Fundo. Essa unidade experimental, denominada como área II, está localizada na rodovia RS – 135, próximo ao Km 7, na região fisiográfica do Planalto Médio, com latitude de 28° 15' 41" sul e longitude de 52° 24' 45" oeste e com altitude aproximada de 709 metros. A temperatura máxima média, mínima média e temperatura média anual são de 23,3 °C, 12,9 °C e 17,5 °C, respectivamente. A precipitação pluviométrica anual média, é de 1664 mm, com distribuição estacional média de, 443; 396; 390 e 435 mm, no verão, outono, inverno e primavera, respectivamente (IPAGRO, 1989).

O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 1999). Textura muito argilosa com 59,86 % de argila, relevo suave ondulado, fase floresta subtropical sub-perenifólia com araucárias.

#### 3.2 Histórico da Área Experimental

A área já vem sendo cultivada, pela Embrapa Trigo, em sistema plantio direto com rotação de culturas por um período de treze anos. A rotação utilizada compreende no período de inverno as culturas de aveia preta (*Avena strigosa* S.), aveia branca (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum* L.), triticale (*Triticale hexaplóide* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa*) e no período de verão as culturas de soja (*Glycine max* L. Merrill) e de milho (*Zea mays* L.).

### 3.3 Tratamentos

O experimento foi constituído por três tratamentos com três repetições, em delineamento experimental de blocos ao acaso, totalizando nove parcelas experimentais.

- Tratamento 1 – Sem *mulching* vertical (testemunha);
- Tratamento 2 – Sulcos de *mulching* vertical a cada 10 m;
- Tratamento 3 – Sulcos de *mulching* vertical a cada 5 m.

Os tratamentos foram instalados no ano agrícola de 2002/2003 em área de plantio direto cultivada com o trigo, cultivar BRS 179, na densidade de aproximadamente 325 sementes  $m^{-2}$ , no dia 16 de junho de 2003. Subseqüentemente foi semeada a cultura da soja, cultivar BR 317. A semeadura da soja ocorreu no dia 20 de dezembro de 2003 na densidade de 35 sementes  $m^{-2}$ . As linhas de semeadura foram no sentido longitudinal das parcelas, ou seja, no sentido do declive. A adubação utilizada em ambas as épocas foram de 250 Kg  $ha^{-1}$  da formulação comercial 5-20-20. A distribuição do adubo foi realizada na linha de semeadura.

### 3.4 Caracterização das Parcelas Experimentais

Cada bloco foi constituído por três parcelas experimentais, que continham uma repetição de cada tratamento, distribuídas aleatoriamente dentro do bloco. As parcelas possuíam as dimensões de 3,5 m de largura por 22,5 m de comprimento (Figura 1). Assim, área total de cada parcela foi de 78,75  $m^2$ , com uma declividade média de 7,5 %.

As parcelas foram delimitadas lateralmente por chapas de aço galvanizado, introduzidas no solo até a profundidade de 0,10 m, para evitar que

o fluxo superficial de água de uma parcela não interferisse no fluxo da parcela ao lado, tendo na parte inferior das parcelas calhas coletoras de enxurrada.

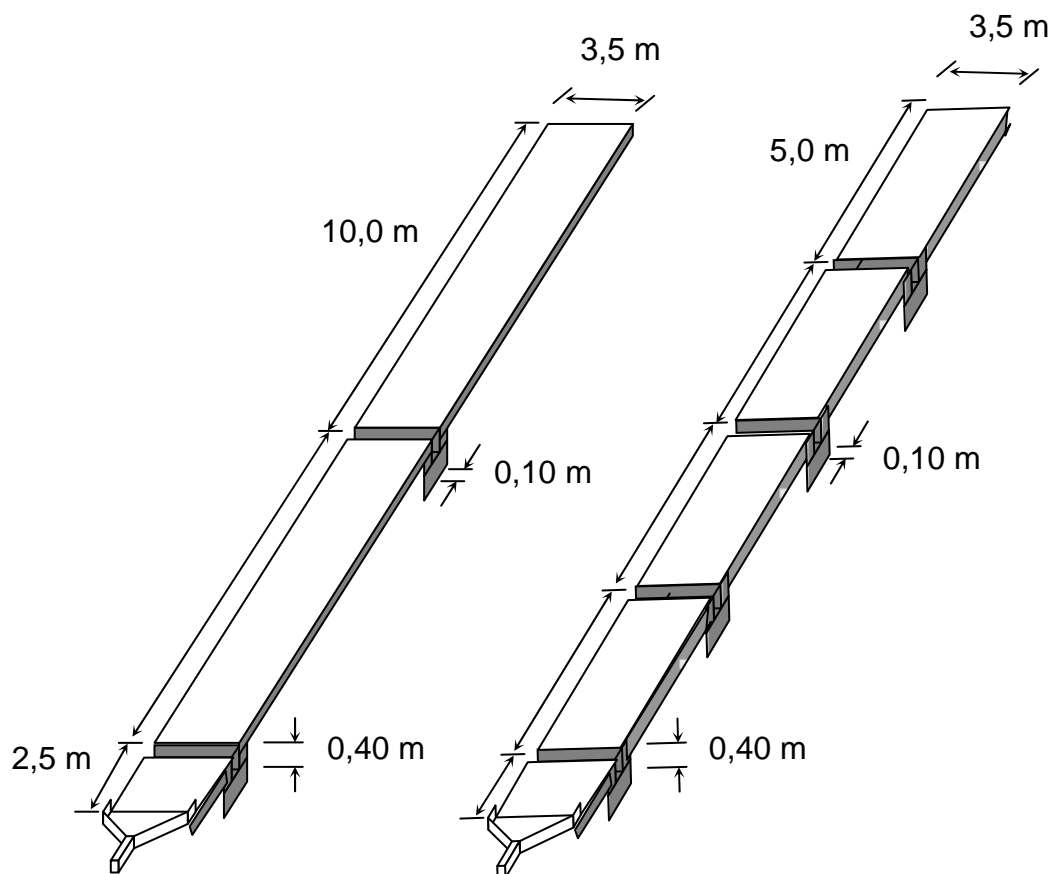


FIGURA 1. Esquema das parcelas experimentais e tratamentos com sulcos de *mulching* vertical a cada 10 metros e a cada 5 metros. Passo Fundo – RS.

### 3.5 Instalação dos Tratamentos

Os tratamentos foram instalados no dia 09 de janeiro de 2003, durante o ciclo da cultura da soja. Perpendicularmente ao declive foram abertos sulcos com as dimensões de 3,5 m de comprimento x 0,10 m de largura e 0,40 m de profundidade, utilizando-se uma valetadeira rotativa produzida pela SEMEATO

S.A. Indústria e Comércio e usada para drenagem em solos de várzeas, adaptada para reduzir a largura de abertura dos sulcos (Figura 2). O solo proveniente da abertura dos sulcos foi arremessado para cima ficando relativamente distribuído na superfície do terreno (Figura 3).

Os sulcos foram preenchidos manualmente com palha de trigo e compactada para proporcionar estabilidade às paredes do sulco.

As parcelas experimentais que receberam os tratamentos de *mulching* vertical a cada 10 metros e a cada 5 metros foram constituídas por 2 sulcos e 4 sulcos, respectivamente. Nos dois casos o último sulco de *mulching* vertical ficou localizado 2,5 metros acima da calha coletora do escoamento superficial (Figura 1).

Para evitar o deslocamento de água de um sulco de *mulching* vertical coincidente a outro, locados em parcelas vizinhas, foram utilizadas chapas de aço com dimensões de 0,40 m x 0,25 m para delimitar o comprimento do *mulching* vertical em cada parcela que recebeu este tratamento.



FIGURA 2. Valetadeira rotativa adaptada para abertura dos sulcos para a confecção do *mulching* vertical. Passo Fundo – RS.



FIGURA 3. Abertura dos sulcos de *mulching* vertical no sentido perpendicular ao declive do terreno. Passo Fundo – RS.

### 3.6 Caracterização Física e Hídrica do Solo

Para a caracterização física do solo foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e não deformada. A densidade de partícula foi determinada usando o método do balão volumétrico (CAUDURO & DORFMAN, 1986). Para a determinação da densidade do solo, porosidade total, micro e macroporosidade e distribuição do tamanho de poros, foram coletadas amostras de solo com estrutura natural não deformada usando um cilindro de Uhland pequeno. As camadas amostradas foram de 0-0,025; 0,025-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-1,0 metro de profundidade, com seis repetições por camada, sendo que as amostras foram retiradas na porção mediana das camadas. No laboratório foi efetuada a preparação das mesmas para a determinação da microporosidade usando a mesa de tensão. Para a saturação das amostras e movimentação sem danificar a estrutura, colocou-se um pano



na parte inferior do cilindro, preso com o auxílio de uma borracha. As amostras foram umedecidas em uma bandeja até que o momento em que constatou-se o espelhamento da água na superfície do solo. Nesse momento, elevou-se o nível da água até a borda superior da amostra e após a completa saturação, determinou-se a massa do solo saturado. As amostras saturadas foram colocadas na mesa de tensão e aplicou-se uma tensão de 1 kPa até obter-se massa constante, o que ocorreu aproximadamente após 24 horas. Assim obteve-se a massa de solo correspondente à tensão de 1 kPa. Novamente as amostras foram resaturadas e colocadas na mesa de tensão, aplicando-se subsequentemente as tensões de 2; 4 e 6 kPa até atingirem massa constante, para cada tensão, o que ocorreu aproximadamente após 48 horas. Entre a aplicação de uma tensão e outra determinou-se a massa úmida das amostras correspondente a cada tensão aplicada. Após a determinação da massa úmida do solo correspondente a tensão de 6 kPa, as amostras foram colocadas em estufa a 105 °C até atingirem massa constante, obtendo-se assim, a massa seca do solo. Para cada tensão aplicada colocou-se na mesa de tensão dois cilindros em branco (somente com pano e borracha) para obtenção da tara (massa correspondente ao pano úmido + massa do cilindro + borracha) para obter a massa do solo seco a ser usada nos cálculos dos parâmetros físicos.

Considerando-se a massa seca do solo contido no cilindro determinou-se o volume do mesmo, possibilitando também, a determinação da densidade do solo utilizando metodologia descrita por BLAKE (1965). A porosidade do solo foi calculada pela seguinte equação:

$$P_t = \left[ \frac{(D_p - D_s)}{D_p} \right] \quad [1]$$

sendo:

$P_t$  = porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ );

$D_p$  = densidade de partícula ( $Mg m^{-3}$ );

$D_s$  = densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ ).

A microporosidade do solo foi determinada pelo volume de água retida pelo solo após atingir o equilíbrio quando submetido à tensão de 6 kPa. A microporosidade foi calculada pela equação:

$$Mi = \frac{(Ms6 - Mss)}{Vc} \quad [2]$$

sendo:

$Mi$  = microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );

$Ms 6$  = massa do solo correspondente à tensão de 6 kPa (Mg);

$Mss$  = massa do solo seco em estufa a 105° C até massa constante (Mg);

$Vc$  = volume do cilindro ( $m^{-3}$ ).

A macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade, conforme a equação:

$$Ma = Pt - Mi \quad [3]$$

sendo:

$Ma$  = macroporosidade ( $m^3 m^{-3}$ );

$Pt$  = porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ );

$Mi$  = microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ).

As determinações das características físicas (Tabela 1) foram realizadas no laboratório de hidráulica agrícola do departamento de engenharia rural e no laboratório de física do solo do departamento de solos, ambos pertencentes à Universidade Federal de Santa Maria.

TABELA 1. Densidades de partícula e do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo Passo Fundo sob treze anos de cultivo em sistema plantio direto. Valores médios de seis repetições. Passo Fundo – RS.

Propriedades do solo	Camadas do solo (cm)				
	0 - 2,5	2,5 -15	15 - 30	30 - 40	40 - 100
Dens. partícula ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Dens. do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1
Porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,52	0,50	0,54	0,55	0,58
Micro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,41	0,40	0,42	0,43	0,44
Macro ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,11	0,10	0,12	0,12	0,14

### 3.7 Aplicação da Chuva Simulada

Para simular as chuvas aplicadas simultaneamente sobre três parcelas (um bloco), foi utilizado um sistema de irrigação convencional com aspersores fixos, semelhantes aos utilizados em de pivô central. O simulador constituía-se de uma linha principal com tubulação de 3 polegadas de diâmetro localizada na extremidade superior do bloco e 4 linhas laterais de 21 metros de comprimento, construídas com tubulações de PVC rígido de 2 polegadas de diâmetro situadas junto às chapas divisórias das parcelas. Cada linha lateral possuía 7 aspersores distribuídos a 3,5 metros eqüidistantes ao longo da linha, com aproximadamente 1,5 metros de altura.

A fonte de água foi de um açude distante 200 metros da área experimental. A tomada d'água foi realizada por um conjunto moto-bomba (Figura 4), marca KSB, conectado a um conversor de freqüência, marca WEG, utilizado para regular a rotação do motor elétrico para o ajuste da pressão de serviço, em 200 kPa.



FIGURA 4 – Conjunto moto-bomba com conversor de frequência juntamente à tomada de água. Passo Fundo – RS.

Para avaliar o efeito do *mulching* vertical no escoamento superficial da água em função dos tratamentos, aplicaram-se diferentes intensidades médias e extremas de precipitação, no intuito de obter uma melhor percepção dos possíveis efeitos atribuídos aos tratamentos utilizados. Para tal, realizou-se testes (Figura 5) para escolha dos bocais dos aspersores que aplicassem a chuva desejada.

Os testes foram realizados para cada diâmetro de bocal, montando-se o sistema de irrigação fora da área experimental e distribuindo pluviômetros em uma malha quadrada, para verificar a intensidade de chuva produzida. Após os testes, foram selecionados os bocais de 4,0 e 4,4 mm de diâmetro para simular chuvas com intensidade de precipitação de 70 e 106 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente, com a pressão de serviço de 200 kPa.



FIGURA 5. Teste de simulação de chuva para escolha dos bocais dos aspersores e intensidades de chuva a serem simuladas nos testes de escoamento superficial de água sob plantio direto com *mulching* vertical. Passo Fundo – RS.

As simulações das chuvas ocorreram em duas épocas, na fase inicial da cultura do trigo, aproximadamente 60 dias após a semeadura da mesma e, no início do desenvolvimento da cultura da soja, após 25 dias decorridos de sua semeadura.

Com o sistema de irrigação instalado sobre a área de um dos blocos (Figura 6), foi simulada uma chuva com intensidade de precipitação de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , utilizando os bocais de 4,0 mm de diâmetro, até o momento em que se notou taxa de enxurrada constante nas calhas medidoras. Foi considerada taxa constante de enxurrada quando a leitura dos sensores nas calhas medidoras se mantinha estável, o que ocorreu em torno de 75 minutos de simulação de chuva. Após esta simulação, foram substituídos os bocais de 4,0 mm de diâmetro pelos bocais de 4,4 mm de diâmetro em todos os aspersores para simular a chuva de intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Esta simulação também foi aplicada até obter-se a taxa constante de escoamento superficial, o que

ocorreu aproximadamente aos 30 minutos do início da simulação da chuva. Em média, o tempo entre as simulações das chuvas de intensidades diferentes foi de 15 minutos. A pressão de serviço do sistema foi de 200 kPa nas duas intensidades de precipitação simuladas. O ajuste da rotação da bomba neste sistema foi realizado indiretamente pelo controle de rotação do motor com o auxílio de um conversor de frequência conectado ao conjunto moto-bomba e periodicamente monitorada por um manômetro instalado no último aspersor de uma das linhas laterais do sistema de irrigação.



FIGURA 6. Simulador de chuva cobrindo um bloco. Passo Fundo – RS.

Terminada a simulação de chuva de um bloco, o sistema de irrigação era deslocado para o bloco subsequente. Assim, o processo foi repetido, como

descrito anteriormente, simulando primeiro a precipitação de menor intensidade, correspondente a  $70 \text{ mm h}^{-1}$ .

Para evitar o efeito de deriva da chuva, durante a simulação, provocada pela ação do vento, utilizou-se um quebra-vento. Este, construído por sombrite e canos de alumínio, ancorado com amarrações em estacas. A sua disposição cobria as laterais da parcela, onde havia a incidência de vento. O equipamento improvisado possuía uma altura de 3,5 m. Observando-se a Figura 7, pode-se ter uma melhor visualização de como era disposto o quebra-vento em um dos blocos. O quebra-vento, juntamente com os outros equipamentos, também era deslocado para o bloco seguinte, salvo quando não houvesse ação imprópria de ventos.



FIGURA 7. Quebra-vento instalado no bloco experimental durante a simulação das chuvas. Passo Fundo – RS.

Assim, como o sistema de irrigação, as calhas medidoras tipo HS com os sensores de nível também foram deslocadas, instaladas e rigorosamente niveladas no bloco seguinte a receber a simulação de chuva.

Antes da simulação da intensidade de chuva de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , para cada época, foram coletadas amostras de solo na parte mediana das camadas de 0 a 0,15 metros e de 0,15 a 0,40 metros de profundidade. O solo foi considerado saturado antes da segunda aplicação de chuva ( $106 \text{ mm h}^{-1}$ ). As coletas foram realizadas nas parcelas a 0,80 m abaixo da linha do mulching vertical. As amostras de solo foram acondicionadas em cápsulas de alumínio e levadas até o laboratório de análise de solos da Embrapa-CNPT, para a determinação do conteúdo de água no solo, pelo método gravimétrico.

Devido aos sensores possuírem equações de calibração diferentes, foi optado pela distribuição dos sensores de modo aleatório nas parcelas, com o objetivo de eliminar o erro sistemático.

### 3.8 Escoamento Superficial

O volume de água escoado de cada parcela foi conduzido, através de um cano de 6,0 m de comprimento, às calhas medidoras tipo HS (0,6 foot deep), dotadas de poço tranquilizador (BRAKENSIEK et al., 1979). Nestes poços tranquilizadores foram instalados sensores de nível para o monitoramento do escoamento superficial.

A variação da altura da lâmina de água escoada das parcelas foi monitorada por sensores de nível, desenvolvidos pela empresa LP Tecnologia, situada na Incubadora de Empresas da Universidade Federal de Santa Maria e, instalados nas calhas medidoras tipo HS para realizar leituras a cada trinta segundos. Os sensores emitiam um sinal em milivolt para um *data logger* que armazenava os dados em *bits* (Figura 8). O sistema era alimentado por uma bateria de 12 volts.

Para obter-se o volume de água escoada nas calhas medidoras, realizou-se a calibração dos sensores para transformar os dados armazenados em *bits* para unidades de vazão de escoamento,  $\text{dm}^3 \text{ min}^{-1}$ . A calibração dos sensores foi realizada posicionando as calhas medidoras em seqüência,



fazendo com que vazões conhecidas através de hidrômetros de precisão aplicadas na primeira calha passassem pelas calhas seguintes. Cada calha foi cuidadosamente nivelada vertical e horizontalmente.



FIGURA 8. Sistema de determinação do escoamento superficial com sensor de nível, juntamente com armazenador de dados digital (*data logger*), localizado dentro da proteção. Passo Fundo – RS.

Os sensores foram conectados ao *data logger* para registro dos dados de leitura. Numerados os sensores e calhas, efetuou-se, simultaneamente, a leitura no hidrômetro e no *data logger*. Após a coleta de vários dados, relacionou-se a vazão conhecida com os dados de leitura dos sensores armazenados em *bits* no *data logger*, obtendo-se por regressão a curva e a equação de calibração para cada sensor.

$$\text{Sensor 1: } Q = 9,53828 - 0,50767\text{bits} + 0,0086569\text{bits}^2 \quad [4]$$

$$r^2 = 0,972 \quad \mathbf{C.V.= 0,8}$$

$$\text{Sensor 2: } Q = 1,64932 - 0,40673\text{bits} + 0,0067458\text{bits}^2 \quad [5]$$

$$r^2 = 0,971 \quad \mathbf{C.V.= 0,9}$$

$$\text{Sensor 3: } Q = 41,54574 - 1,19654\text{bits} + 0,00917397\text{bits}^2 \quad [6]$$

$$r^2 = 0,973 \quad \mathbf{C.V.= 0,9}$$

sendo:

Q = vazão das calhas medidoras ( $\text{dm}^3 \text{min}^{-1}$ );

*bits* = unidade de armazenamento no *data logger* dos dados lidos pelos sensores de nível.

Os dados que originaram as equações de calibração para cada sensor podem ser visualizados nos anexos A e B, respectivamente.

Após a simulação das chuvas, os dados de escoamento superficial armazenados no *data logger* foram transferidos para um computador portátil. Utilizando-se as equações de calibração [4], [5] e [6] correspondente a cada sensor, obteve-se a vazão de escoamento superficial em cada parcela experimental. Os valores de escoamento superficial, em  $\text{dm}^3 \text{min}^{-1}$ , foram multiplicados por 60 minutos, transformando-os em  $\text{dm}^3 \text{h}^{-1}$  e, em seguida, dividiu-se o valor expresso em  $\text{dm}^3 \text{h}^{-1}$  pela área da parcela experimental obtendo-se, desta forma, o valor da taxa de enxurrada, em  $\text{dm}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , o que corresponde a expressão em  $\text{mm h}^{-1}$ . Como o registro do *data logger* era a cada 30 segundos, obteve-se o valor da taxa de escoamento para cada intervalo desses. Essas foram transformadas para litros a cada 30 segundos utilizando a seguinte equação:

$$V_n = \frac{T_n \cdot A}{120} \quad [7]$$

sendo:

$V_n$  = Volume da enxurrada para cada 30 segundos ( $\text{dm}^3$ );

$T_n$  = Taxa de escoamento para cada 30 segundos ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$A$  = Área da parcela ( $\text{m}^2$ ).

Com o somatório dos  $V_n$ , foi possível encontrar o volume de escoamento superficial acumulado, para o tempo de simulação de cada chuva.

### **3.9 Determinação das concentrações e quantidades de nutrientes da enxurrada**

Durante cada simulação de chuva foram retirados cerca de  $0,5 \text{ dm}^3$  de água proveniente da enxurrada de cada tratamento, ou seja, de cada parcela constituinte de um bloco. As amostras eram realizadas num intervalo de cinco minutos, contados a partir do início do escoamento superficial e, seguidamente, colocadas em recipiente maior. Isso foi feito até o término da simulação para cada intensidade de chuva. Depois de realizadas várias coletas e concluída a simulação, a água da enxurrada foi homogeneizada dentro do recipiente maior. Depois, as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno. A seguir, as mesmas foram congeladas imediatamente, mantidas assim até a realização das análises de acordo com metodologia descrita no CETESB (1989). Foram determinados os seguintes nutrientes: nitrogênio total, potássio, fósforo e carbono orgânico segundo TEDESCO et al., (1995). Na Figura 9, podem ser visualizados os frascos de polietileno, utilizado para armazenar e congelar as amostras, de cor transparente e tampa amarela (à esquerda) e o recipiente maior, onde eram armazenadas as várias amostras, de cor azul (à direita).

Obtidas as concentrações dos nutrientes em questão, determinou-se a quantidade de nutriente perdido por parcela, para cada intensidade de chuva. Esta determinação foi realizada utilizando-se os valores de escoamento acumulado total, obtidos pelo sistema de calhas medidoras e *data logger*. O tempo utilizado para o cálculo do volume total de água acumulado de cada

tratamento foi de uma hora para a intensidade de chuva de  $70 \text{ mm h}^{-1}$  e de trinta minutos para a intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ .

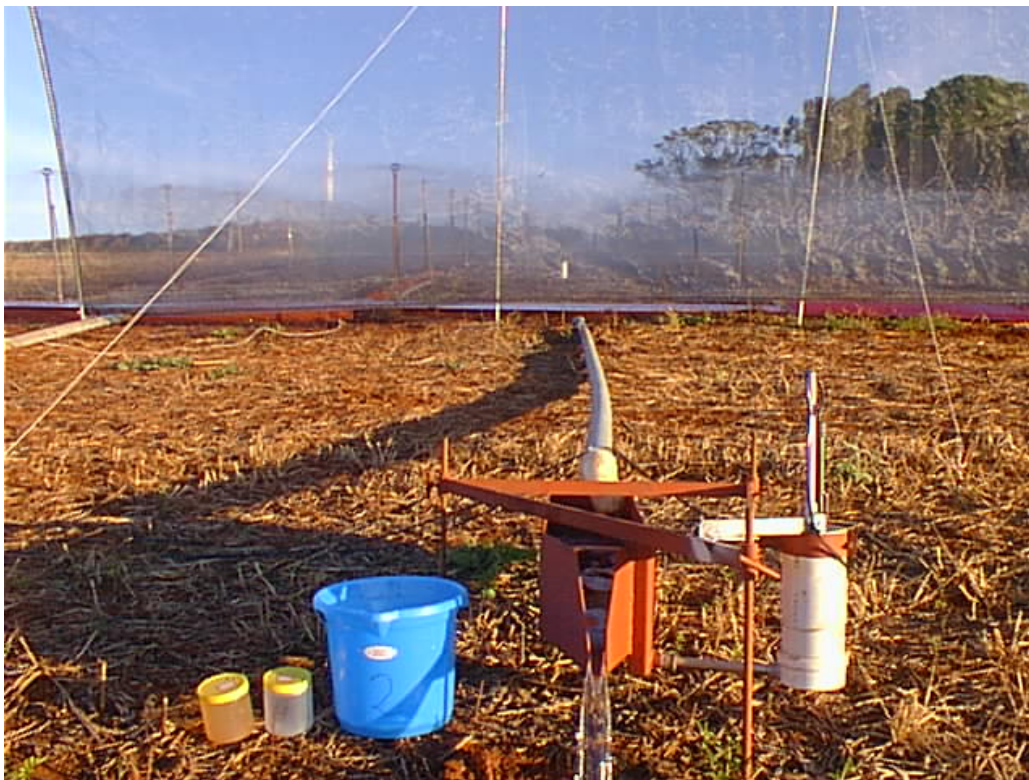


FIGURA 9. Equipamentos para medição e coleta do escoamento superficial para cada parcela. Passo Fundo – RS.

### 3.10 Análise Estatística

As concentrações de nutrientes e as quantidades de nutrientes perdidos em cada simulação de chuva foram submetidas a análise da variância, utilizando-se o programa estatístico SAS (1985). O teste de comparação de médias empregado foi o de Duncan, em nível de 5 % de probabilidade de erro. As médias foram comparadas entre tratamentos dentro de cada época de avaliações.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Escoamento superficial acumulado

Neste capítulo foi incluído, além dos resultados de escoamento superficial, os conteúdos de água no solo, determinados antes da simulação da primeira aplicação de intensidade de chuva de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , nas duas épocas (Figura 10).

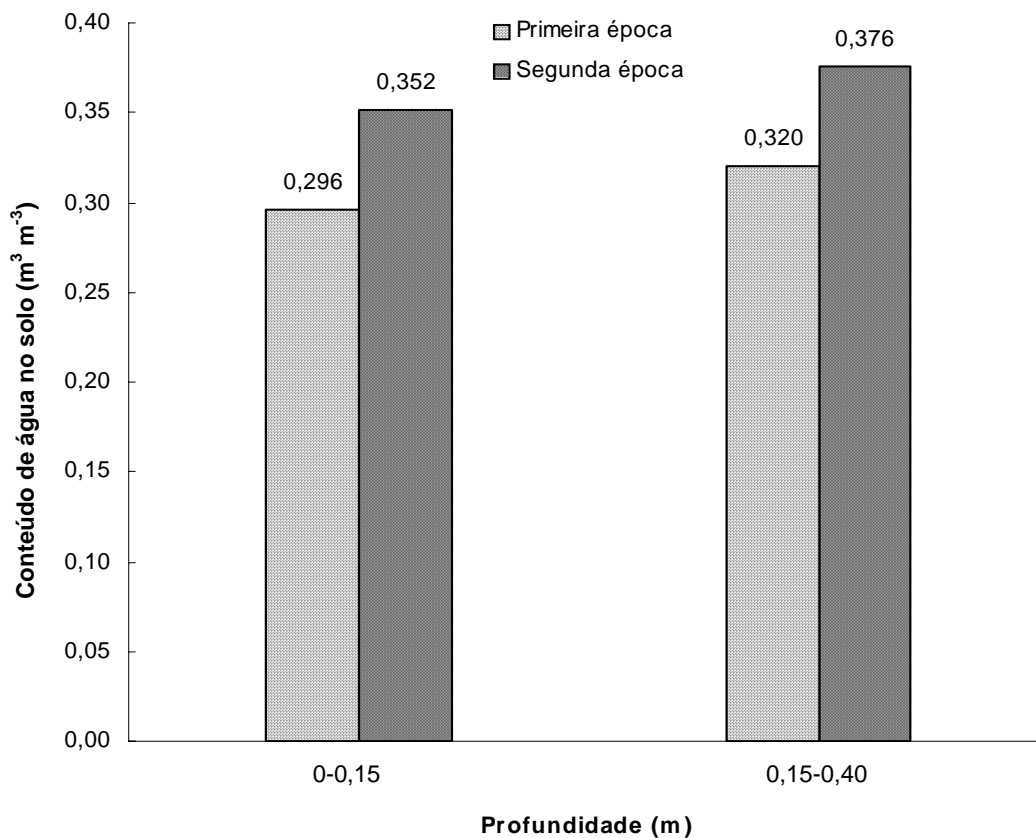


FIGURA 10. Conteúdo inicial de água no solo antes da simulação da chuva com intensidade de precipitação de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , nas duas épocas de avaliações em duas camadas de solo amostradas. Valores médios de três repetições em cada parcela. Passo Fundo – RS.

Analisando a Figura 10, verifica-se que os resultados do conteúdo inicial de água no solo no início do desenvolvimento da cultura da soja (segunda época) é de  $0,056 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  maior do que na primeira época, nas duas camadas. Essa diferença implica que, no início do desenvolvimento da soja, o solo possuía um menor conteúdo de água armazenado do que na fase inicial da cultura do trigo (primeira época). Devido a esse fato, faz-se necessário um maior volume de água para atingir a capacidade de armazenamento do solo em questão.

Os resultados da análise da variância dos volumes de escoamento superficial acumulado, referentes às duas épocas e duas intensidades de simulação de chuva encontram-se no anexo C. A partir desses resultados originou-se as Tabelas 2 e 3. Os volumes de enxurrada obtidos no escoamento superficial acumulado nos tratamentos sem *mulching* vertical, com *mulching* a cada 10 e 5 m, na fase inicial da cultura do trigo, podem ser observados na Tabela 2. Na simulação de chuva, com intensidade de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , têm-se valores apenas para o tratamento sem *mulching* vertical. Isto ocorreu por não ter havido escoamento superficial nas parcelas que continham os tratamentos com *mulching* vertical, mesmo com duração de 1 h de chuva. Assim, obteve-se volume de enxurrada nulo e, conseqüentemente, taxa de escoamento zero.

O fato de não ter ocorrido escoamento superficial na fase inicial da cultura do trigo (Tabela 2) e ter ocorrido no início do desenvolvimento da soja (Tabela 3), pode ser explicado pelo conteúdo inicial de água no solo (Figura 10). Observa-se que no início do desenvolvimento da soja o conteúdo de água no solo foi superior em  $0,056 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  em relação à fase inicial da cultura do trigo. Isto representa, em uma área de  $78,75 \text{ m}^2$  (parcela) e uma profundidade de 0,40 m, uma diferença de volume armazenado de água no solo de aproximadamente  $1800 \text{ dm}^3$ . Este volume, associado à presença do *mulching* vertical dos tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m, pode ter sido o ponto crucial para que não ocorresse o escoamento superficial na fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva simulada de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ . Neste caso, pode-se afirmar que a taxa de infiltração das parcelas manteve-se sempre maior do que a intensidade da precipitação, para o tempo considerado.

Na intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ , na fase inicial da cultura do trigo, observou-se volumes de escoamento superficial acumulado em todos os tratamentos. O tratamento sem *mulching* vertical foi o que obteve o maior volume escoado, diferindo dos tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m. Esses, por sua vez, não apresentaram diferença entre si, em relação aos volumes acumulados. Os valores médios dos volumes totais de escoamento superficial, nos tratamentos com *mulching* a cada 10 e 5 m e intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ , foram 51 e 50,9 % menores, respectivamente, que o valor médio do tratamento sem *mulching* vertical.

TABELA 2. Volumes do escoamento superficial acumulado ( $\text{dm}^3$ ). Resultados da fase inicial da cultura do trigo (primeira época) com diferentes intensidades de chuva. Duração de 1h para  $70 \text{ mm h}^{-1}$  e de 0,5 h para  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS.

Tratamento	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
-----Intensidade da chuva de $70 \text{ mm h}^{-1}$ -----				
Sem <i>mulching</i> vertical	1167,03	1014,82	875,74	1019,20
<i>Mulching</i> vertical a cada 10 m	*	*	*	*
<i>Mulching</i> vertical a cada 5 m	*	*	*	*
-----Intensidade da chuva de $106 \text{ mm h}^{-1}$ -----				
Sem <i>mulching</i> vertical	1243,12	1087,65	932,76	1087,84 a**
<i>Mulching</i> vertical a cada 10 m	606,69	532,62	459,64	532,98 b
<i>Mulching</i> vertical a cada 5 m	640,44	534,56	428,68	534,56 b

\* não houve escoamento superficial durante a simulação da chuva.

\*\* Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 3 podem ser visualizados os volumes obtidos, no início do desenvolvimento da soja, do escoamento superficial acumulado nos tratamentos

sem *mulching* vertical, com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m. Na simulação de chuva com intensidade de 70 mm h<sup>-1</sup>, os valores médios de escoamento acumulado ficaram semelhantes, proporcionalmente, com os da fase inicial da cultura do trigo na intensidade de 106 mm h<sup>-1</sup>. Novamente o maior volume ficou com o tratamento sem *mulching* vertical, diferenciando dos tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m. Os valores médios, na intensidade de 70 mm.h<sup>-1</sup>, dos tratamentos, com *mulching* a cada 10 e 5 m, foram, respectivamente, 49,6 e 55,4 % menores que o valor médio do tratamento sem *mulching* vertical.

TABELA 3. Volumes do escoamento superficial acumulado (dm<sup>3</sup>). Resultados do início do desenvolvimento da soja (segunda época) com diferentes intensidades de chuva. Duração de 1h para 70 mm h<sup>-1</sup> e de 0,5 h para 106 mm h<sup>-1</sup>. Passo Fundo – RS.

Tratamento	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
-----Intensidade da chuva de 70 mm h <sup>-1</sup> -----				
Sem <i>mulching</i> vertical	702,51	679,60	436,49	606,20 a**
<i>Mulching</i> vertical a cada 10 m	295,58	305,00	315,38	305,32 b
<i>Mulching</i> vertical a cada 5 m	314,81	256,20	240,10	270,34 b
-----Intensidade da chuva de 106 mm h <sup>-1</sup> -----				
Sem <i>mulching</i> vertical	1112,15	924,63	610,55	882,44 a
<i>Mulching</i> vertical a cada 10 m	332,41	260,61	278,70	290,57 b
<i>Mulching</i> vertical a cada 5 m	*	*	*	*

\* Dados perdidos.

\*\* Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Esses percentuais de redução, para as duas épocas avaliadas, concordam com resultados obtidos por HERBES (2003), onde encontrou que a



aplicação do *mulching* vertical em sistema plantio direto reduz o escoamento superficial de água no solo em 48,66 e 54,54 %, respectivamente, com *mulching* vertical a cada 10 e 5 metros em comparação ao sistema plantio direto sem *mulching* vertical. NISHIJIMA & RIGHES (1987), verificaram uma redução de 52 % no escoamento superficial no tratamento com *mulching* vertical a cada 10 m (15 cm de largura x 40 cm de profundidade) em relação ao tratamento com sistema convencional sem *mulching* vertical, em experimento realizado sob chuva natural, na unidade de mapeamento São Pedro em Santa Maria-RS.

Na Figura 11, pode-se visualizar melhor as diferenças ocorridas entre os tratamentos nas duas épocas e intensidades de chuvas testadas.

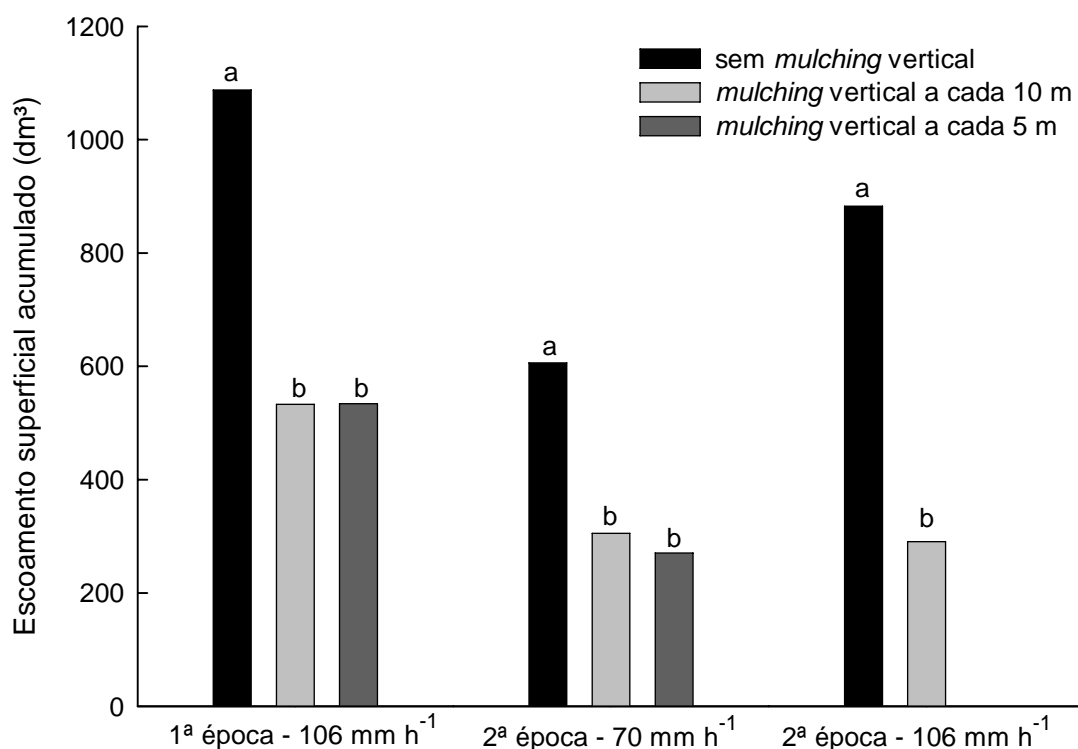


FIGURA 11. Volumes médios do escoamento superficial acumulado nas duas épocas e diferentes intensidades de aplicação. Passo Fundo – RS.

Os volumes médios acumulados do escoamento superficial, bem como a sua magnitude, são melhores mostrados na Figura 11. As letras acima das barras indicam que tratamentos seguidos de mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ , no início do desenvolvimento da soja, observa-se a maior diferença ocorrida entre os tratamentos sem *mulching* vertical e com *mulching* vertical a cada 10 m. Com isso, a percentagem de redução também foi a maior, obtendo 67,1 %, comparando o tratamento com *mulching* vertical a cada 10 m em relação ao sem *mulching* vertical. Os resultados de escoamento superficial do tratamento com *mulching* vertical a cada 5 m foram perdidos devido a falha no equipamento.

Quanto ao volume de escoamento superficial acumulado, determinados nesse experimento, pode-se dizer que, independente de época e intensidade de chuva, o tratamento sem *mulching* vertical apresentou sempre uma média de volume escoado maior que os tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m, aproximadamente o dobro do volume, com exceção do início do desenvolvimento da soja com intensidade de chuva de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ , sendo mais de três vezes maior. Assim, infere-se que o uso do *mulching* vertical, tanto a 10 ou 5 m de espaçamento entre si, reduziu as perdas de água por escoamento superficial, em relação ao plantio direto, para as duas intensidades de chuva testada neste trabalho.

## 4.2 Concentrações dos nutrientes

Os valores individuais das concentrações utilizados para análise desse capítulo encontram-se nos anexos D e E. As análises das concentrações dos nutrientes foram realizadas para cada época e intensidade de chuva simulada, podendo ser visualizadas na Tabela 4. Nessa temos os quadrados médios, graus de liberdade, médias e coeficientes de variação das concentrações de

nutrientes verificados que foram: potássio, fósforo, carbono orgânico e nitrogênio total.

TABELA 4. Quadrados médios, médias ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), graus de liberdade (GL) e coeficientes de variação (CV) das concentrações de potássio (K), fósforo (P) carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), obtidas para cada tratamento, nas duas épocas e diferentes intensidades de chuva. Passo Fundo – RS.

	Quadrados Médios			Média	CV (%)
	Blocos	Tratamento	Resíduo		
GL	2	2	4	-	-
-----1ª época – Intensidade da chuva de 106 mm h <sup>-1</sup> -----					
K	0,3164 <sup>ns</sup>	0,0850 <sup>ns</sup>	0,0488	2,85	7,74
P	0,0025 <sup>ns</sup>	0,0021 <sup>ns</sup>	0,0034	0,29	19,61
CO	8,9672 <sup>ns</sup>	1,7053 <sup>ns</sup>	11,5128	20,81	16,31
NT	1,9311 <sup>*</sup>	0,8137 <sup>ns</sup>	0,2518	2,75	18,22
-----2ª época – Intensidade da chuva de 70 mm h <sup>-1</sup> -----					
K	6,5393 <sup>ns</sup>	0,7515 <sup>ns</sup>	2,2277	3,87	38,52
P	0,0157 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>	0,0044	0,11	60,76
CO	108,2500 <sup>*</sup>	48,2500 <sup>ns</sup>	14,5000	13,67	27,86
NT	1,2645 <sup>*</sup>	0,0313 <sup>ns</sup>	0,1094	0,88	37,44
-----2ª época – Intensidade da chuva de 106 mm h <sup>-1</sup> -----					
K	1,4157 <sup>ns</sup>	0,2460 <sup>ns</sup>	1,3350	3,26	35,41
P	0,0880 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>	0,0193	0,23	58,92
CO	8,6944 <sup>ns</sup>	11,4444 <sup>ns</sup>	15,9444	10,72	37,24
NT	0,4324 <sup>ns</sup>	0,0161 <sup>ns</sup>	0,0912	0,60	50,44

<sup>ns</sup> Não significativo.

<sup>\*</sup> Significativo em nível de 5% de probabilidade erro.

Os resultados observados na Tabela 4 evidenciam que não houve diferença significativa entre tratamentos, para qualquer época ou intensidade de chuva testada. Assim, as concentrações de cada nutriente não diferiram nos tratamentos dentro de cada época e intensidade de chuva.

As Figuras 12, 13 e 14, permitem visualizar as concentrações de potássio, fósforo, carbono orgânico e nitrogênio total nas duas épocas e intensidades de chuva simulada realizadas no trabalho. As médias mostradas em cada gráfico não possuem diferença, conforme consta na Tabela 4.

Os valores de concentração obtidos para o potássio foram encontrados, em média, para cada época e intensidade de chuva entre 2,85 e 3,87 mg dm<sup>-3</sup>. Já BERTOL et al. (2003), encontraram médias superiores a essas em dois tratamentos estudados em trabalho realizado, (i) semeadura direta de soja em campo natural dessecado e queimado; e (ii) semeadura direta de soja em campo natural dessecado, que foram, respectivamente, na concentração de 10,97 e 9,00 mg dm<sup>-3</sup>, explicado pela relativa mobilidade do potássio no solo, o que não ocorreu neste trabalho.

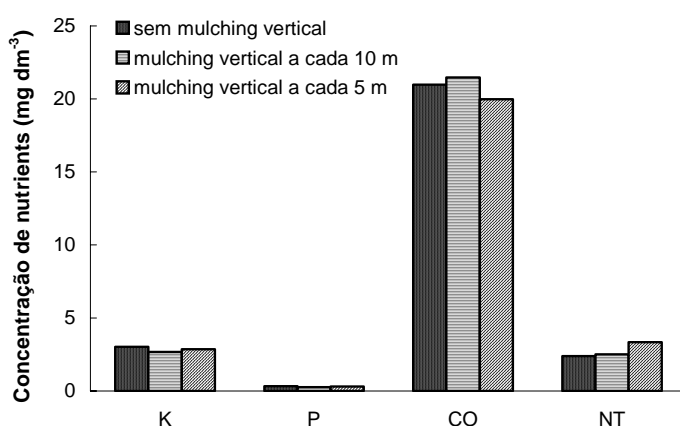


FIGURA 12. Concentrações de potássio (K), fósforo (P), carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) determinadas na água do escoamento superficial em todos os tratamentos, referente à fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de 106 mm h<sup>-1</sup>. Valores médios de três repetições. Passo Fundo – RS.

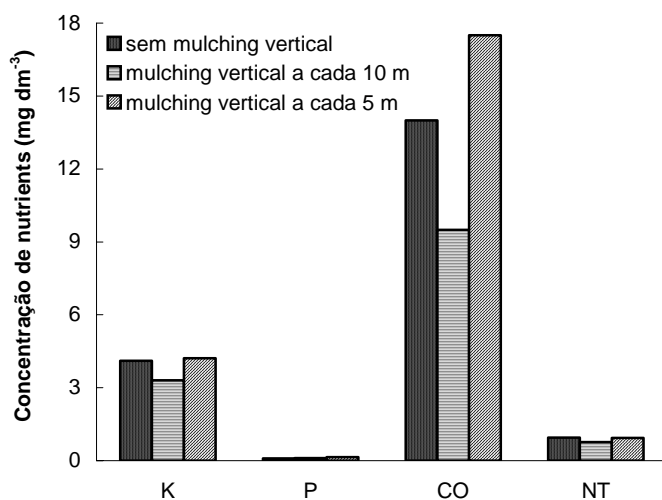


FIGURA 13. Concentrações de potássio (K), fósforo (P), carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) determinadas na água do escoamento superficial em todos os tratamentos, referente ao início do desenvolvimento da soja com intensidade de chuva de 70 mm h<sup>-1</sup>. Valores médios de três repetições. Passo Fundo – RS.

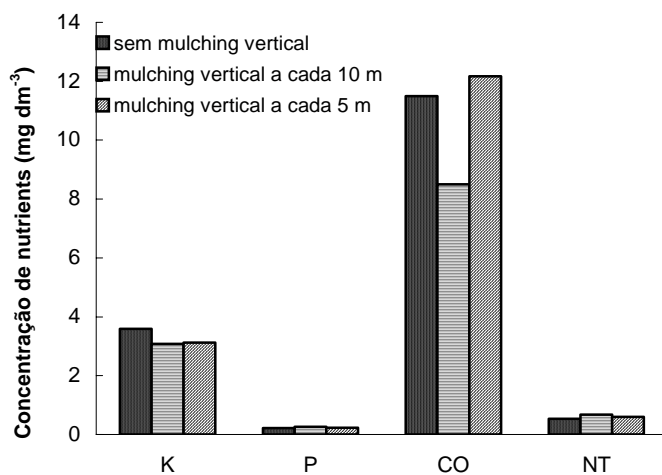


FIGURA 14. Concentrações de potássio (K), fósforo (P), carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) determinadas na água do escoamento superficial em todos os tratamentos, referente ao início do desenvolvimento da soja com intensidade de chuva de 106 mm h<sup>-1</sup>. Valores médios de três repetições. Passo Fundo – RS.

Analisando as Figuras 12, 13 e 14, observa-se que o fósforo foi encontrado sempre em menores concentrações do que os demais nutrientes, ficando os valores próximos a  $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$ . Estas concentrações discordam de BERTOL et al. (2003), que encontraram concentrações de  $0,01 \text{ mg dm}^{-3}$  em cinco tratamentos estudados, sendo dois com semeadura direta. Os baixos valores encontrados, segundo os autores, podem ser explicado pela baixa concentração de fósforo livre no solo devido a forte absorção aos colóides. Para as condições do presente experimento, considerando que o sistema plantio direto já vem sendo utilizado a mais de 13 anos no local, provavelmente os colóides já tenham retido fósforo em boa quantidade, ficando assim maior concentração do elemento na superfície do solo para ser carregado pela enxurrada.

Observando as médias obtidas para os nutrientes, verifica-se que os teores médios de carbono orgânico foram bem superiores nas duas épocas e intensidades, em relação às concentrações dos outros nutrientes. Isto pode ser explicado pela contribuição dos resíduos vegetais, cujos nutrientes e resíduos foram mantidos na superfície em função da ausência de preparo, concordando com BRIGNONI et al. (2004).

O nitrogênio total foi encontrado num valor médio geral na concentração de  $1,41 \text{ mg dm}^{-3}$ , com intervalo de 0,6 a 2,75 entre as médias de cada época e intensidade de chuva. MINELLA et al. (2004), trabalhando com descarga de nitrogênio em bacia hidrográfica com cultivo de fumo, encontraram um valor médio geral de concentração de nitrogênio de  $2 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo esse valor muito próximo ao verificado no presente trabalho. BERTOL et al. (2003), também trabalhando com nutrientes, obtiveram resultados médios de concentração de nitrogênio de  $0,80 \text{ mg dm}^{-3}$ , variando de 0,55 a  $1,04 \text{ mg dm}^{-3}$ , nos tratamentos com semeadura direta de soja. Com isso, pode-se inferir que os valores das concentrações de nitrogênio total encontrados nesse trabalho vão de encontro com os resultados encontrados por BERTOL et al. (2003) e MINELLA et al. (2004), não apresentando grandes variações nas comparações.

### 4.3 Quantidades perdidas de nutrientes

As quantidades de nutrientes em  $\text{Kg ha}^{-1}$  foram obtidas computando-se os valores de escoamento superficial acumulado de cada parcela, com suas respectivas concentrações de nutrientes. Os valores individuais de perdas de nutrientes para cada tratamento, época de aplicação e intensidade de chuva encontram-se nos anexos F e G.

Nas Tabela 5 e 6, são apresentados os resultados da análise da variância das quantidades totais de nutrientes perdidas nos tratamentos para a primeira e segunda época, respectivamente, com diferentes intensidades de chuva. Pode-se visualizar que, na fase inicial da cultura do trigo, obteve-se dados com diferenças significativas para todos os nutrientes analisados, apresentando coeficientes de variação baixos, demonstrando boa confiabilidade nos resultados.

TABELA 5. Quadrados médios, médias ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), graus de liberdade (GL) e coeficientes de variação (CV) das quantidades de potássio (K), fósforo (P) carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), perdidas em cada tratamento. Simulação de chuva na fase inicial da cultura do trigo para a intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$ . Passo Fundo – RS.

	Quadrados Médios			Média	CV (%)
	Blocos	Tratamento	Resíduo		
GL	2	2	4	-	-
K	0,0023 <sup>ns</sup>	0,0493*	0,0004	0,26	7,73
P	0,00007 <sup>ns</sup>	0,00034*	0,00002	0,03	18,97
CO	0,3459 <sup>ns</sup>	2,3599*	0,1741	1,90	21,92
NT	0,0042*	0,0188*	0,0018	0,24	18,06

<sup>ns</sup> Não significativo.

\* Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.

Na simulação de chuva no início do desenvolvimento da cultura da soja (Tabela 6), observa-se diferença entre os tratamentos apenas para o carbono orgânico, o que não ocorreu para os outros nutrientes, mesmo variando a intensidade de aplicação da chuva.

TABELA 6. Quadrados médios, médias ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), graus de liberdade (GL) e coeficientes de variação (CV) das quantidades de potássio (K), fósforo (P) carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT), perdidas em cada tratamento. Simulação de chuva no início do desenvolvimento da soja para diferentes intensidades. Passo Fundo – RS.

	Quadrados Médios			Média	CV (%)
	Blocos	Tratamento	Resíduo		
-----Intensidade da chuva de 70 mm h <sup>-1</sup> -----					
K	0,0060 <sup>ns</sup>	0,0254 <sup>ns</sup>	0,0051	0,19	37,46
P	-	-	-	0,01	-
CO	0,1377 <sup>ns</sup>	0,3067*	0,0278	0,66	25,23
NT	0,0027 <sup>ns</sup>	0,0010 <sup>ns</sup>	0,0004	0,04	50,85
-----Intensidade da chuva de 106 mm h <sup>-1</sup> -----					
K	0,0085 <sup>ns</sup>	0,1232 <sup>ns</sup>	0,0098	0,26	38,60
P	0,00001 <sup>ns</sup>	0,00015 <sup>ns</sup>	0,00005	0,02	38,57
CO	0,1921 <sup>ns</sup>	1,3348 <sup>ns</sup>	0,1810	0,78	54,19
NT	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>	0,0003	0,04	44,89

<sup>ns</sup> Não significativo.

\* Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.

A partir das quantidades médias perdidas de potássio, fósforo, carbono orgânico e nitrogênio total por tratamento, nas duas épocas (Anexos H e I), originou a Tabela 7 e as Figuras 15 e 16, para melhor demonstrar as reduções



e diferenças das perdas de nutrientes nas duas épocas de simulação de chuva em função dos tratamentos testados.

TABELA 7. Percentuais de redução das quantidades de nutrientes perdidos, somente para os tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m em relação ao tratamento sem *mulching* vertical que apresentaram diferença significativa, na fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de 106 mm h<sup>-1</sup>. Passo Fundo – RS.

Tratamentos	Potássio	Fósforo	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total	Carbono Orgânico*
	----- % -----				
<i>Mulching</i> vertical a cada 10 m	56,1	50,0	51,2	46,9	63,0
<i>Mulching</i> vertical a cada 5 m	51,2	42,5	53,6	31,3	39,0

\* Referente a segunda época e intensidade de 70 mm h<sup>-1</sup>.

Para as letras que estão na parte superior das barras dos gráficos das Figuras 15 e 16, significa que tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Observando as Figuras 15 e 16, inferiram-se comentários, nos parágrafos seguintes, a respeito do comportamento dos nutrientes analisados em função das quantidades totais perdidas em cada tratamento, para cada época e intensidade de chuva simulada no presente trabalho.

Analisando as perdas de potássio ocorridas, na fase inicial da cultura do trigo, observa-se que o tratamento sem *mulching* vertical (testemunha) resultou em perdas de 0,41 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo que nos tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m obtiveram perdas menores na ordem de 56,1 e 51,2%, respectivamente, em relação a testemunha. No início do desenvolvimento da soja, não houve diferença significativa nas perdas de potássio entre os tratamentos de acordo com a análise da variância apresentada na Tabela 6,

sendo válido para as duas intensidades de chuva. Analisando os valores médios de potássio perdido, na segunda época de simulação, em função das intensidades de chuva de 70 e 106 mm h<sup>-1</sup>, constatou-se que foram de 0,19 e 0,26 Kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

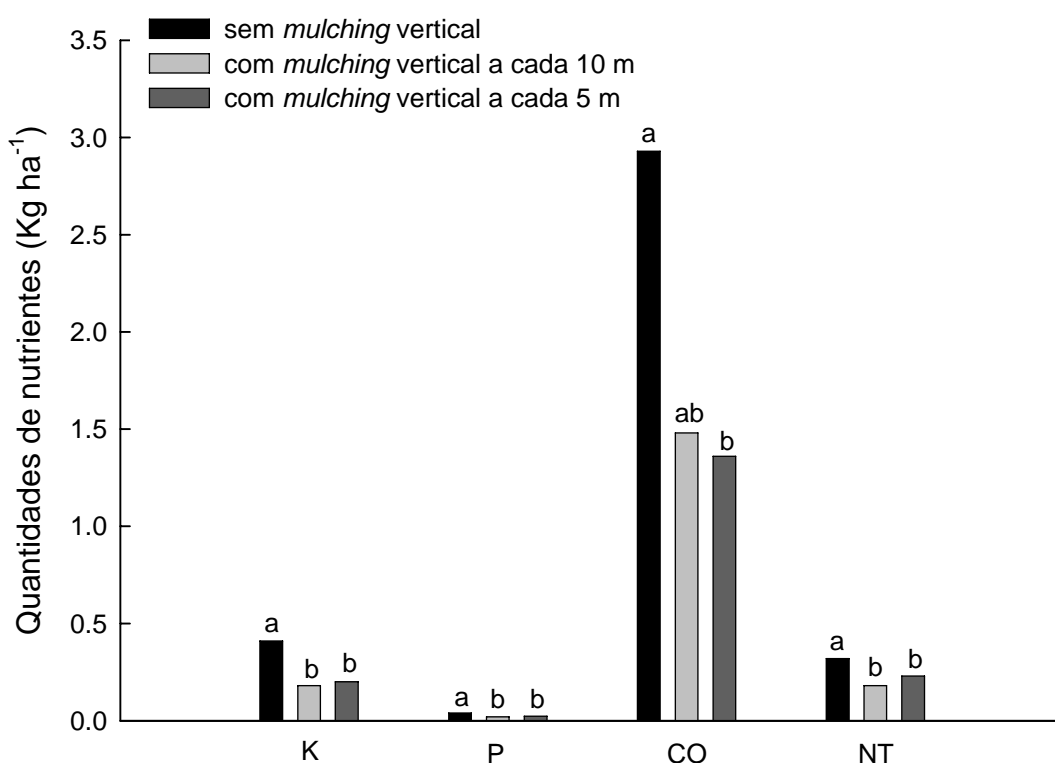


FIGURA 15. Quantidades médias das perdas de nutrientes na fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de 106 mm h<sup>-1</sup>. Passo Fundo – RS.

Na análise das perdas de fósforo ocorridas na primeira simulação, constata-se uma perda de 0,04 Kg ha<sup>-1</sup>, para o tratamento sem *mulching* vertical, diferindo significativamente em relação aos tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m, que apresentaram uma redução de 50 e 42,5 %,

respectivamente, em relação à testemunha (sem *mulching* vertical). No início do desenvolvimento da soja, além do fósforo não apresentar diferença significativa, observou-se que as quantidades perdidas foram menores em relação a fase inicial da cultura do trigo, ficando com médias que variou na faixa de 0,01 a 0,02 Kg ha<sup>-1</sup>.

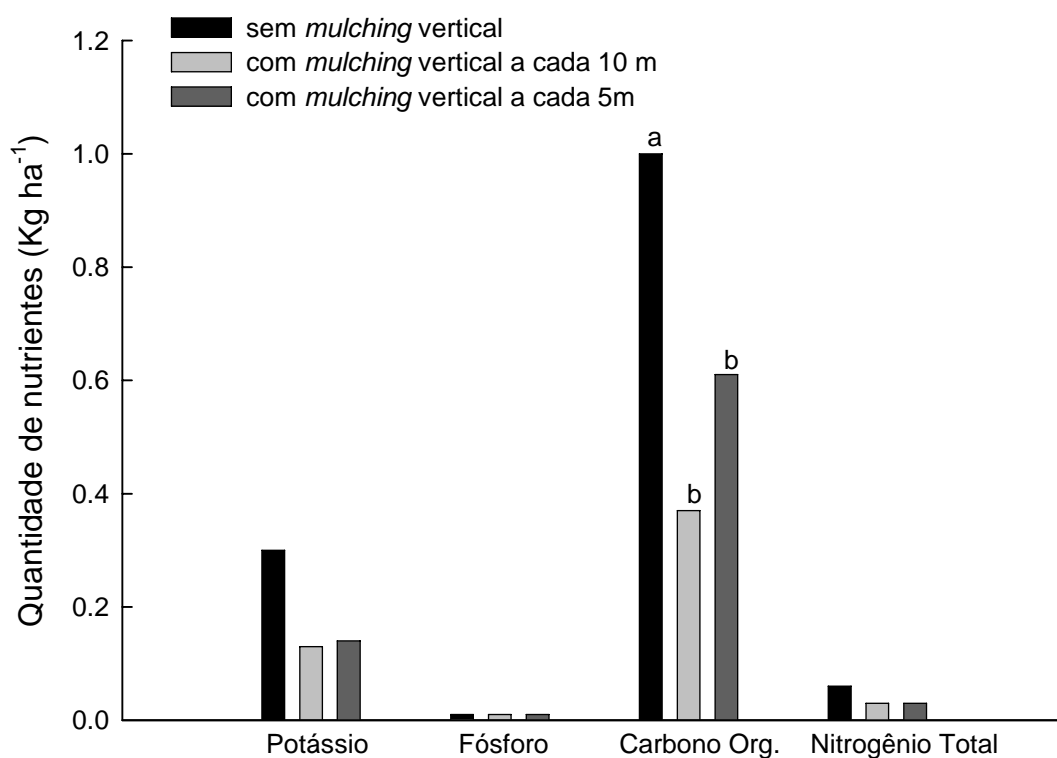


FIGURA 16. Quantidades médias das perdas de nutrientes no início do desenvolvimento da cultura da soja com intensidade de chuva de 70 mm h<sup>-1</sup>. Passo Fundo – RS.

O carbono orgânico foi o nutriente que apresentou os maiores valores médios de perdas, quando comparado aos demais (Tabelas 5 e 6). O tratamento sem *mulching* vertical apresentou perdas na ordem de 2,93 Kg ha<sup>-1</sup>,

na primeira época, e  $1,0 \text{ Kg ha}^{-1}$ , na segunda época com intensidade de  $70 \text{ mm h}^{-1}$ , sendo superiores aos tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m. As reduções nas perdas de carbono orgânico podem ser melhor observadas na Tabela 7, onde variaram na faixa de 39 a 63%, comparados com a testemunha, considerando as duas épocas

O nitrogênio total, na primeira época, resultou em uma quantidade total perdida de  $0,32 \text{ Kg ha}^{-1}$ , enquanto que na segunda época, onde não houve diferença entre os tratamentos nas duas intensidades de chuva testada, a média geral foi bem menor, ficando em  $0,04 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Isto implica que as perdas de água por escoamento superficial foram menores, o que ocorreu com todos outros nutrientes analisados nesse trabalho, onde as perdas totais foram sempre menores na segunda época. Os tratamentos com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m, obtiveram uma redução de 46,9 e 31,3%, respectivamente, em relação a testemunha.

De posse desses valores percentuais faz-se uma comparação com os obtidos anteriormente no volume do escoamento superficial acumulado entre os tratamentos. Observa-se, com isso, uma semelhança de comportamento quanto às diferenças percentuais do tratamento sem *mulching* vertical para os com *mulching* vertical a cada 10 e 5 m. Assim, pode-se inferir que as diferenças nas perdas de nutrientes entre os tratamentos, na primeira época, dependeram somente do volume do escoamento superficial acumulado durante a duração da simulação de chuva, já que as concentrações não apresentaram diferença significativa, dentro de cada época e intensidade de chuva simulada. Esses resultados concordam com BERTOL et al. (2003), onde afirmam que as perdas de nutrientes são influenciadas principalmente pela perda de água. MINELLA et al. (2004), também verificaram que as quantidades de nutrientes perdidos no escoamento são maiores em períodos que o volume escoado é mais elevado.

Assim, observou-se que a magnitude das perdas totais de nutrientes, em ordem decrescente, foram carbono orgânico, potássio, nitrogênio total e fósforo, seguindo a mesma ordem das concentrações determinadas de cada nutriente analisado no capítulo anterior. Estas concentrações estão diretamente

relacionadas aos volumes acumulados de água do escoamento superficial determinados nos tratamentos testados no presente trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos e as condições em que foi desenvolvido o presente trabalho, conclui-se que:

- O uso do *mulching* vertical, em sistema plantio direto em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, reduz as perdas de água por escoamento superficial entre 49,6 e 67,1 %, em função do espaçamento entre os sulcos com *mulching* e das intensidades de chuva;
- As concentrações de cada nutriente analisado na água da enxurrada, não diferem entre tratamentos, nas épocas das simulações e intensidades de chuva;
- As perdas totais de nutrientes em ordem decrescente são carbono orgânico, potássio, nitrogênio total e fósforo, seguindo a mesma ordem das concentrações de cada um, e estão diretamente relacionadas aos volumes acumulados de água do escoamento superficial de cada tratamento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, S. D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Editora Pallotti, 1997. cap. 4, p.76-111.

ALBERTS, E. E.; SCHUMAN, G. E.; BURWELL, R. E. Seasonal runoff losses of nitrogen and phosphorus from Missouri Valley Loess watersheds. **Journal of Environmental Quality**, v. 7, p. 203-207, 1978.

AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T. *et alii*. Efeito ambiental das perdas de nutrientes pela erosão hídrica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

BASSOI, L. H.; CARVALHO, A. M. de. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho (*Zea mays* L.) com e sem irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 3, p. 283-287, 1992.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C. *et alii*. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agrícola**, v. 60, n.3, p. 581-586, 2003.

BLAKE, G. R. Bulk density. In: BLACK, C. A.; EVANS D. D.; WHITE J. L. *et alii*. **Methods of soil analysis Part 1: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.374-390.

BRAKENSIEK, D. L.; OSBORN, H. B.; RAWLS, W. J. **Field manual for research in agricultural hydrology**. Minneapolis: USDA, 1979. 547p.

BRIGNONI, L. F.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T. *Et alii*. Perdas de P, K e CO na água e no sedimento da erosão hídrica em sistemas de semeadura direta. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

CASTRO, O. M.; LOMBARDI NETO, F.; QUAGGIO, J. A. *et alii*. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 293-297, 1986.

CAUDURO, F. A. & DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação & drenagem**. Porto Alegre: PRONI: IPH/UFRGS, 1986. 216p.

CETESB. **Guia de coletas e preservação de amostras de água**. São Paulo. SP. Cetesb. 1989. 105 p.

DECHEN, S. C. F. & PROCHNOW, D. Erosão e Produtividade. Informativo Técnico: **O Agrônomo**, Campinas, v. 55, n. 1, p. 22-24, 2003

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. *et alii*. **Sistema Plantio Direto: com ou sem práticas conservacionistas complementares de manejo da enxurrada?** Boletim Informativo da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Disponível em: <[http://www.febrapdp.org.br/informe\\_14\\_pagina\\_6.htm](http://www.febrapdp.org.br/informe_14_pagina_6.htm)>. Acesso em: 25 ago. 2004.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N. *et alii*. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Londrina: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1991. 268p.

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



ELTZ, F. L. F. Influência do manejo nas propriedades físicas do solo e erosão. **II Curso de Atualização em Fertilidade e Manejo do Solo**. Ponta Grossa, 1987.

EMBRAPA, **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de produção de informação, 1999. 412p.

EMBRAPA-CPAO. **Plantio direto**. Dourados: [s.n.],1989.

EMBRAPA, **Embrapa Trigo desenvolve técnica para diminuir a erosão e a poluição ambiental**. Notícias. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/noticias/not0342.htm0342.htm>> Acesso em: 25 mar. 2004.

GROHMANN, F. & CATANI, R. A. O empobrecimento causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo arenito Bauru. **Bragantia**, v.9, p. 125-132, 1949.

HERBES, M. G. **Escoamento superficial em sistema plantio direto com *mulching* vertical**. 2003. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria.

IPAGRO, S. D. E. A. **Atlas agroclimático do estado Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, 1989. 102p.

LAWRANCE, R. R.; TODD, R. L.; ASMUSSEN, L. E. Nutrient cycling in a agricultural watershed: I. Phrcatic movement. **Journal Environmental Quality**, v. 13, p. 22-27, 1984.

LEITE, J. O. Perdas de água e nutrientes em uma plantação de Cacau do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, n. 3, p. 337-343, 1984.

LEITE, J. O. Relação entre o fósforo, o potássio e o cálcio contidos em quatro componentes do ecossistema de Cacau na Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 95-101, 1985.

LIBARDI, P. L. & REICHARDT, K. Destino de uréia aplicada a um solo tropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 40-44, 1978.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 193-197, 1987.

McCOOL, R. H. S. Chemical runoff from pastures: the influence of fertilizer in riparian zones. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, New Zealand, v. 12, p. 371-380, 1978.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; GIONGO, A. Descarga de nitrogênio e fósforo em bacia hidrográfica cultivada com fumo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

NISHIJIMA, T. & RIGHES, A. A. Escoamento superficial de água em cinco sistemas de manejo do solo com cultura do milho. **Ciência Rural**, v. 17, n. 3, p. 223-233, 1987.

PARODI, G. **Sanidad Vegetal**. San Francisco, C. A. Bs. As., Argentina. Disponível em: <<http://www.jctreeshapers.com.ar/sanidad.html>>. Acesso em: 25 ago. 2004.

PETERJONH, W. T. & CORREL, D. L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observation on the role of a riparian forest. **Ecology**, Ithaca, v. 65, n. 5, p. 1466-1475, 1984.

PETERJONH, W. T. **Nutrient transformation in three singleland-use watersheds-Miami**, University of Ohio, 1982. s.n.p.Thesis.

PIERCE, J. W. Geology and Soils of Rhode River Watershed. In: CORREL, D. L. **Environmental data summary for Rhode River Ecosystem. V. A, part 1. Maryland, Chesapeake Bay.** ed. Center for Environmental Studies, 1982. p. 181-126.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 88p.

RIGHES, A. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. *et alii.* **Mulching** vertical e escoamento superficial no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA / UFBA / Embrapa, 2002. 4p. - EAS\_207.

SAS Institute. **SAS User's guide: statistics.** 5. ed. Cary, N. C., 1985, 956p.

SCHELSKE, C. L. & STOERMER, E. F. Phosphorus, Silica and entrophication in lake Michigan. **Americam Society of Limnology and Oceanografy Special Symposium**, v.1, p. 157-170,1972.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. *et alii.* Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico sbmetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 437-447, 2000.

SHIPITALO, M. J.; EDWARDS, W. M.; DICK, W. A. *et alii.* Initial Storm Effects on Macropore Transport of Surface - Applied Chemicals in No-Till Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 6, p. 1530-1536, 1990.

SOARES, J. V. **Introdução a Hidrologia de Florestas.** Curso de Hidrologia Florestal. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/dsr/viane/hidrologia/DOCs\\_PDFs/Cap%editulo8c.pdf](http://www.dsr.inpe.br/dsr/viane/hidrologia/DOCs_PDFs/Cap%editulo8c.pdf)> Acesso em: 15 out. 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. *et alii.* **Análise de solos, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

VIETS JR., F. G. & HAGEMAN, R. H. Factors Affecting the Accumulation of nitrate in soil, water, and plants: **Agricultural Research Service: United States Department of Agriculture**. Agriculture Handbook, Washington, n. 413, p. 1-20, 1971.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; PORTZ, G. *et alii*. Perda de nutrientes por erosão hídrica em solo com e sem cultivo, na condição de semeadura direta. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

WELLINGS, S. R. & BELL, J. P. Movement of water and nitrate in the unsaturated zone of upper chalk near Winchester Hunts. **Journal of Hydrology**, v. 48, p. 119-136, 1980.

WOLSCHICK, D. **Perdas de nitrogênio por lixiviação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho em condições de excesso hídrico**. 2000. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria.

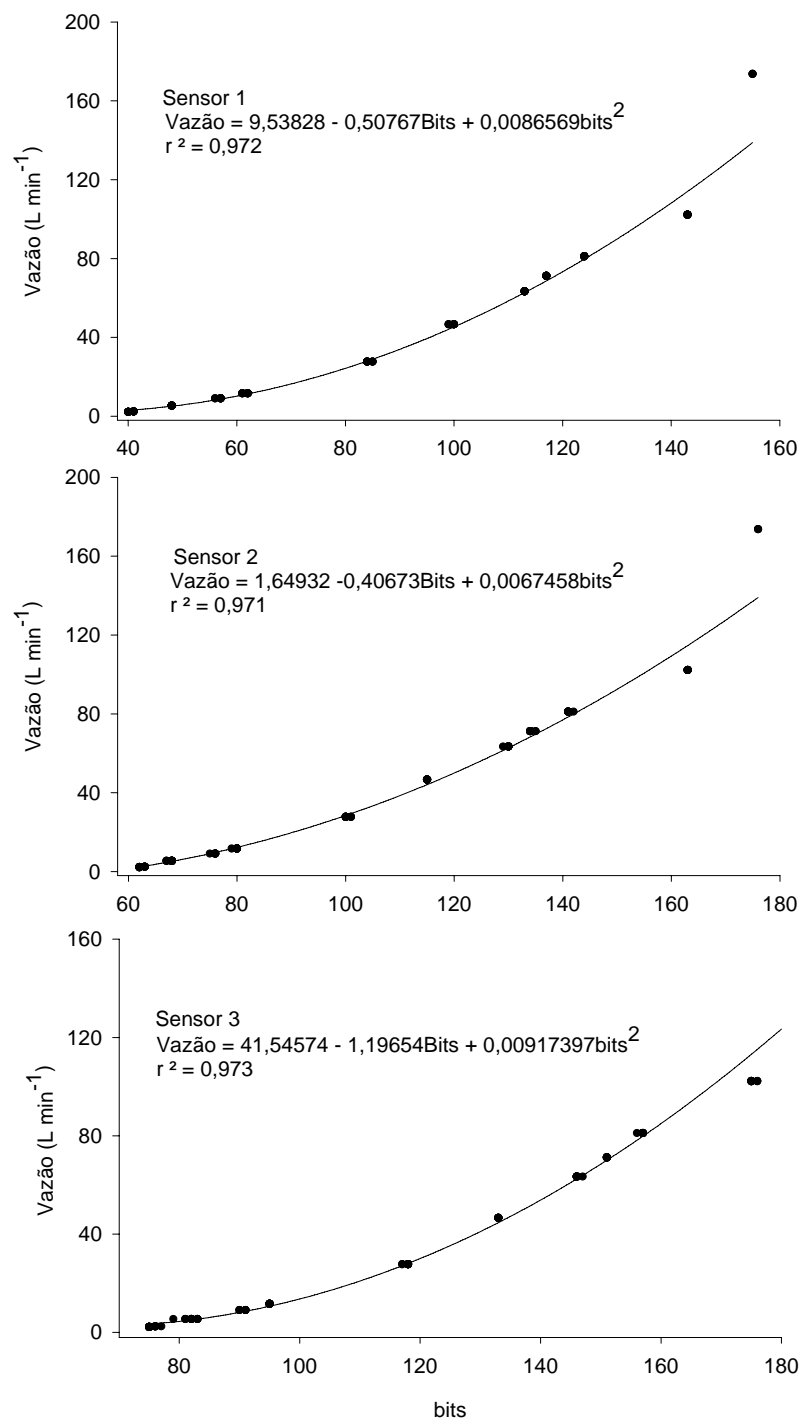
## **ANEXOS**

**ANEXO A** – Vazões lidas no hidrômetro e respectivas leituras nos sensores para calibração das calhas medidoras do escoamento superficial.

Vazão (dm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> )	Sensores											
	Sensor 1				Sensor 2				Sensor 3			
	----- <i>bits</i> -----											
2,24	40	40	40	40	62	62	62	62	75	75	75	75
	40	40	40	40	62	62	62	62	75	75	75	75
	40	40	40	40	62	62	62	62	75	75	75	75
	40	40	40		62	62	62		75	75	75	
2,4	41	41	41	41	63	63	63	63	76	76	76	76
	41	41	41		63	63	63		76	76	77	
5,42	48	48	48	48	67	67	67	68	79	81	81	81
	48	48	48	48	68	68	68	68	82	82	82	83
	48	48	48	48	68	68	68	68	82	82	83	82
	48	48	48	48	68	68	68	68	83	82	83	83
9,1	57	57	57	56	76	76	76	76	91	91	91	90
	56	57	57	57	76	76	75	76	90	91	90	91
11,6	61	61	61	62	80	80	80	80	95	95	95	95
	61	62	61	62	79	80	80	80	95	95	95	95
	62	62	62	62	80	80	80	80	95	95	95	95
	62				80				95			
27,76	84	84	84	85	100	100	100	100	117	118	117	118
	84	84	84	85	101	100	101	100	118	118	118	118
	85	85	84		101	100	100		118	118	118	
46,6	100	100	100	99	115	115	115	115	133	133	133	133
	99	100	100	99	115	115	115	115	133	133	133	133
	100	100			115	115			133	133		

	113	113	113	113	130	129	130	130	146	146	146	146
63,42	113	113	113	113	130	130	130	130	146	146	146	146
	113	113	113	113	130	130	130	130	147	146	146	146
	117	117	117	117	134	134	134	134	151	151	151	151
71,18	117	117	117	117	134	134	134	134	151	151	151	151
	117	117	117		134	135	135	134	151	151	151	151
	124	124	124	124	141	141	141	141	157	156	157	157
81,08	124	124	124	124	141	141	141	141	157	157	157	157
	124	124	124		142	141	141		157	157	157	
	143	143	143	143	163	163	163	163	175	175	175	175
102,2	143	143	143	143	163	163	163	163	175	175	176	175
	143	143	143	143	163	163	163	163	175	175	176	176
	143	143			163	163			175	175		
173,62	155	155	155		176	176	176		187	188	187	

**ANEXO B** – Ajuste da calibração dos sensores por regressão linear, obtendo-se as equações de calibração para transformação da leitura dos sensores em vazão das calhas medidoras.





**ANEXO C** – Quadrados médios e graus de liberdade (GL) da análise de variância dos dados de volume de escoamento superficial acumulado após a simulação de chuva das duas intensidades de precipitação testadas nas duas épocas de avaliações.

		Quadrado médio			
		Fase inicial da cultura do trigo		Início do desenvolvimento da cultura da soja	
	GL	70 mm h <sup>-1</sup>	106 mm h <sup>-1</sup>	70 mm h <sup>-1</sup>	106 mm h <sup>-1***</sup>
Tratamento	2	*	306997,27**	102266,03**	525465,14**
Bloco	2	*	37315,78**	11699,42 <sup>ns</sup>	38602,17 <sup>ns</sup>
Resíduo	4	*	1690,84	5838,49	27027,78
CV (%)		*	5,72	19,39	28,03

<sup>ns</sup> Não significativo.

\* Dados perdidos.

\*\* Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro.

\*\*\* Graus de liberdade igual a 1, 2 e 2, respectivamente para tratamento, bloco e resíduo.

**ANEXO D** – Valores das concentrações dos nutrientes, em  $\text{mg dm}^{-3}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados na fase inicial da cultura do trigo com diferentes intensidades de chuva simulada.

Concentrações de nutrientes em $\text{mg dm}^{-3}$						
Tratamento	Bloco	Potássio	Fósforo	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total	
-----Intensidade da chuva de 70 $\text{mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	4,59	0,21	23,92	5,55
<i>mulching</i>	1	2	2,55	0,18	12,10	1,70
vertical*	1	3	2,45	0,20	19,50	2,00
-----Intensidade da chuva de 106 $\text{mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	2,75	0,34	23,92	1,92
<i>mulching</i>	1	2	2,75	0,32	19,50	2,30
vertical	1	3	3,57	0,29	19,50	2,95
<i>Mulching</i>	2	1	2,65	0,23	18,01	2,12
vertical a	2	2	2,45	0,24	19,50	1,58
cada 10 m	2	3	2,96	0,33	26,88	3,86
<i>Mulching</i>	3	1	3,06	0,38	20,97	3,48
vertical a	3	2	2,45	0,23	18,01	2,43
cada 5 m	3	3	3,06	0,31	20,97	4,14

\* não se obteve valores de concentração para os tratamentos com *mulching* a cada 10 e 5 m, devido a não ter corrido escoamento superficial durante a realização dessa intensidade de chuva no período de 1h.

**ANEXO E** – Valores das concentrações dos nutrientes, em  $\text{mg dm}^{-3}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados no início do desenvolvimento da soja com diferentes intensidades de chuva simulada.

Concentrações de nutrientes em $\text{mg dm}^{-3}$						
Tratamento	Bloco	Potássio	Fósforo	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total	
-----Intensidade da chuva de 70 $\text{mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	3,19	0,13	12,00	0,77
<i>mulching</i>	1	2	3,52	0,04	9,00	0,11
vertical	1	3	5,61	0,09	21,00	1,98
<i>Mulching</i>	2	1	2,75	0,10	7,50	0,55
vertical a	2	2	1,54	0,01	6,00	0,29
cada 10 m	2	3	5,61	0,20	15,00	1,46
<i>Mulching</i>	3	1	6,27	0,26	22,50	1,13
vertical a	3	2	1,87	0,03	7,50	0,41
cada 5 m	3	3	4,51	0,12	22,50	1,25
-----Intensidade da chuva de 106 $\text{mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	3,74	0,23	13,50	0,50
<i>mulching</i>	1	2	3,19	0,16	6,00	0,45
vertical	1	3	3,85	0,26	15,00	0,63
<i>Mulching</i>	2	1	3,19	0,23	7,50	0,38
vertical a	2	2	1,21	0,01	9,00	0,23
cada 10 m	2	3	4,84	0,53	9,00	1,41
<i>Mulching</i>	3	1	2,20	0,05	7,50	0,20
vertical a	3	2	3,74	0,15	15,00	0,52
cada 5 m	3	3	3,41	0,50	14,00	1,07

**ANEXO F** – Quantidades de nutrientes, em  $\text{Kg ha}^{-1}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados na fase inicial da cultura do trigo, com diferentes intensidades, de acordo com o volume total escoado em cada parcela na primeira época.

Quantidades de nutrientes em $\text{Kg ha}^{-1}$						
Tratamento	Bloco	Potássio	Fósforo	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total	
-----Intensidade da chuva de $70 \text{ mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	0,74	0,03	3,86	0,90
<i>mulching</i>	1	2	0,41	0,03	1,95	0,27
vertical*	1	3	0,40	0,03	3,15	0,32
-----Intensidade da chuva de $106 \text{ mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	0,43	0,05	3,78	0,30
<i>mulching</i>	1	2	0,38	0,04	2,69	0,32
vertical	1	3	0,42	0,03	2,31	0,35
<i>Mulching</i>	2	1	0,20	0,02	1,39	0,16
vertical a	2	2	0,17	0,02	1,32	0,11
cada 10 m	2	3	0,17	0,02	1,57	0,23
<i>Mulching</i>	3	1	0,25	0,03	1,71	0,28
vertical a	3	2	0,17	0,02	1,22	0,16
cada 5 m	3	3	0,17	0,02	1,14	0,23

\* não se obteve valores de concentração para os tratamentos com *mulching* a cada 10 e 5 m, devido a não ter corrido escoamento superficial durante a realização dessa intensidade de chuva no período de 1h.

**ANEXO G** – Quantidades de nutrientes, em  $\text{Kg ha}^{-1}$ , determinados em cada parcela dos tratamentos avaliados no início do desenvolvimento da soja, com diferentes intensidades, de acordo com o volume total escoado em cada parcela na segunda época.

Quantidades de nutrientes em $\text{Kg ha}^{-1}$						
Tratamento	Bloco	Potássio	Fósforo	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total	
-----Intensidade da chuva de $70 \text{ mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	0,28	0,01	1,07	0,07
<i>mulching</i>	1	2	0,30	0,01	0,78	0,01
vertical	1	3	0,31	0,01	1,16	0,11
<i>Mulching</i>	2	1	0,10	0,01	0,28	0,02
vertical a	2	2	0,06	0,01	0,23	0,01
cada 10 m	2	3	0,22	0,01	0,60	0,06
<i>Mulching</i>	3	1	0,25	0,01	0,90	0,05
vertical a	3	2	0,06	0,01	0,24	0,01
cada 5 m*	3	3	0,14	0,01	0,69	0,04
-----Intensidade da chuva de $106 \text{ mm h}^{-1}$ -----						
Sem	1	1	0,53	0,03	1,91	0,07
<i>mulching</i>	1	2	0,37	0,02	0,70	0,05
vertical	1	3	0,30	0,02	1,16	0,05
<i>Mulching</i>	2	1	0,13	0,01	0,32	0,02
vertical a	2	2	0,04	0,01	0,30	0,01
cada 10 m	2	3	0,17	0,02	0,32	0,05

\* as quantidades de nutrientes para a intensidade de  $106 \text{ mm h}^{-1}$  para esse tratamento não foram obtidas devido a dados perdidos do escoamento superficial.

**ANEXO H** – Médias das quantidades perdidas por tratamento de potássio, fósforo carbono orgânico e nitrogênio total, em Kg ha<sup>-1</sup>, obtidas na fase inicial da cultura do trigo com intensidade de chuva de 106 mm h<sup>1</sup>.

Quantidades de nutrientes perdidas (Kg ha <sup>-1</sup> )				
Tratamentos	Potássio	Fósforo	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total
Sem <i>mulching</i> vertical	0,41 a*	0,04 a	2,93 a	0,32 a
<i>Mulching</i> vertical a cada 10 m	0,18 b	0,02 b	1,43 b	0,17 b
<i>Mulching</i> vertical a cada 5 m*	0,20 b	0,023 b	1,36 b	0,22 b

\* Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.

**ANEXO I** – Médias das quantidades perdidas por tratamento de potássio, fósforo, carbono orgânico e nitrogênio total, em Kg ha<sup>-1</sup>, obtidas no início do desenvolvimento da soja com intensidade de chuva de 70 mm h<sup>-1</sup>.

Quantidades de nutrientes perdidas (Kg ha <sup>-1</sup> )				
Tratamentos	Potássio	Fósforo	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total
Sem <i>mulching</i> vertical	0,30	0,01	1,00 a*	0,063
<i>Mulching</i> vertical a cada 10 m	0,13	0,01	0,37 b	0,03
<i>Mulching</i> vertical a cada 5 m*	0,15	0,01	0,61 b	0,033

\* Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Duncan, em nível de 5% de probabilidade de erro.