

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MATÉRIA ORGÂNICA E PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR  
EROSÃO EM SISTEMAS DE PREPARO E DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E  
MINERAL EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO

Alexandra Minossi de Lemos

Dissertação de Mestrado

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

MATÉRIA ORGÂNICA E PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR  
EROSÃO EM SISTEMAS DE PREPARO E DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E  
MINERAL EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO

**Alexandra Minossi de Lemos**

Engenheira Agrônoma – (UFRGS)

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do grau de  
Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) BRASIL

Agosto de 2011

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe Débora, minha eterna inspiração de superação e por ter me dado toda a base da minha educação que foi fundamental para minha formação pessoal e profissional.

Aos meus irmãos Vander e Vitória, que são minha fortaleza, obrigada pelo carinho, pela compreensão da minha ausência, pelos sorrisos que em muitos momentos devolveram o meu sorriso.

A todos os meus amigos e as minhas irmãs de coração Rafaele Soares, Cristiane dos Anjos e Paula Rössler, que sempre estiveram ao meu lado, e que me ajudaram a superar os diversos obstáculos que foram surgindo durante esta caminhada.

Aos amigos e colegas Fernando Genesini, Leandro Rössler e Douglas Vicente Francesquett, pela ajuda nos trabalhos de campo e Laboratório e por todas as risadas que foram indispensáveis para o nosso bom convívio nos períodos estressantes.

Aos ex-colegas de pós-graduação e amigos Flávio Pereira de Oliveira e Michely Tomazi, por toda orientação e ajuda durante a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Estação Experimental e da Faculdade de Agronomia por toda ajuda nos trabalhos de campo.

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação, Jader Amaro, por todo auxílio, gentileza e disponibilidade de nos atender e aos professores do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia pelos esclarecimentos das dúvidas que foram surgindo durante o curso.

Ao professor Elemar Antonino Cassol, pela orientação, paciência, incentivo e confiança para realização deste trabalho.

**“Quem vai em busca de montes, não se detém a recolher as pedras do  
caminho”.**  
**Paulo Coelho**

# **MATÉRIA ORGÂNICA E PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES POR EROÇÃO EM SISTEMAS DE PREPARO E DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL EM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO <sup>(1)</sup>**

Autora: Alexandra Minossi de Lemos

Orientador: Elemar Antonino Cassol

## **RESUMO**

Sistemas de preparo do solo e fontes de adubação podem afetar a dinâmica da matéria orgânica, as perdas de solo, água e nutrientes no escoamento superficial. A redução do revolvimento do solo e o incremento de resíduos orgânicos pela adubação podem contribuir para aumentar os estoques de carbono do solo, melhorando as propriedades físicas e reduzindo as perdas por erosão hídrica. O objetivo do trabalho foi avaliar em experimento conduzido há cinco anos, a influência de diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação na proteção física da matéria orgânica (MO) e nas perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico. Em parcelas instaladas a campo em área com declividade média de  $0,081 \text{ m m}^{-1}$  mantidas sob os sistemas de manejo do solo em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), foram aplicadas quatro repetições dos tratamentos com adubação mineral (M), adubação orgânica com composto de lixo urbano (C), adubação orgânica com dejetos de suínos (D) e sem adubação (T). Quarenta e cinco dias após a semeadura da cultura do milho aplicou-se chuva simulada com intensidade de  $120 \text{ mm h}^{-1}$  durante noventa minutos. Durante a aplicação das chuvas simuladas, foram feitas amostragens de água do escoamento superficial para determinar as taxas de escoamento, bem como as perdas totais de água, solo e nutrientes. Após a colheita da cultura do milho, foram realizadas as coletas para o estudo da proteção física da matéria orgânica no solo e análises de agregados. Em ambos os sistemas de preparo do solo, pode-se verificar a tendência das adubações orgânicas proporcionarem maior incremento de carbono orgânico no solo e proteção física da M. O., acarretando em melhoria da estabilidade de agregados. O PD apresentou menores perdas de solo por erosão em todos os tratamentos com adubação quando comparado ao PC, porém apresentou as maiores perdas de água por escoamento o que acabou se refletindo em maiores perdas de nutrientes. O uso de adubos orgânicos, associado ao preparo do solo com mínimo revolvimento é uma alternativa de manejo do solo capaz de alterar a dinâmica da matéria orgânica no solo e de contribuir para a recuperação da qualidade do solo.

---

<sup>(1)</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 92p., Agosto de 2011.

# ORGANIC MATTER AND SOIL, WATER AND NUTRIENTS LOSSES BY EROSION IN TILLAGE SYSTEMS AND ORGANIC AND MINERAL FERTILIZATION ON ALFISSOL HAPLUDEX <sup>(1)</sup>

Author: Alexandra de Lemos Minossi

Adviser: Elemar Antonino Cassol

## ABSTRACT

Tillage systems and fertilizer sources can affect the dynamics of organic matter, and soil, water and nutrients losses in runoff. The reduction of soil disturbance and the application of organic residues as fertilizer may increase carbon stocks in soil, improving the physical properties and reducing water erosion losses. The objective of this study was to evaluate in five years experimental area the influence of different tillage systems and fertilizer sources in the physical protection of organic matter (OM) and soil, water and nutrients losses by water erosion in an Alfisol Red Yellow Latosol. In field plots with  $0.081 \text{ m m}^{-1}$  slope under management systems of in conventional tillage (CT) and no-tillage (NT). were applied four replications of the treatments with mineral fertilizer (M), organic fertilization with urban waste compost (C), organic fertilization with pig manure (D) and unfertilized (T). Forty-five days after sowing the maize crop simulated rainfall was applied with an intensity of  $120 \text{ mm h}^{-1}$  for ninety minutes. During the application of simulated rainfall, runoff samples were taken to determine flow rates, as well as the total water, soil and nutrients losses. After harvesting the maize, soil samples were taken to study the physical protection of organic matter in soil and aggregate analysis. Both tillage systems shows a trend of organic fertilizers provide greater increase in soil organic carbon and physical protection of O. M., resulting in improved aggregate stability. The NT had lower soil loss by erosion in all fertilization treatments when compared to the CT, but had the highest water loss by runoff which was reflected in greater nutrients losses. The use of organic fertilizers and minimum tillage are good alternatives to modify the dynamics of soil organic matter and may contribute to improve soil quality.

---

<sup>(1)</sup> Master of Science Dissertation in Soil Science. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 92p., August, 2011.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Adubação orgânica e seu efeito condicionador no solo.....	3
2.2. Proteção física da matéria orgânica e agregação do solo.....	6
2.2.1. Proteção física da matéria orgânica no solo.....	6
2.2.2. Agregação do solo.....	7
2.3. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....	8
2.3.1. Fracionamento físico granulométrico.....	8
2.3.2. Fracionamento físico densimétrico.....	9
2.4. Erosão hídrica e escoamento superficial de água no solo.....	10
2.5. Taxa de infiltração de água no solo e escoamento superficial.....	12
2.6. Perdas de nutrientes por escoamento superficial.....	14
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS GERAIS.....	16
3.1. Hipóteses.....	16
3.2. Objetivos.....	16
4. ESTUDO I: MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO DO SOLO EM DOIS SISTEMAS DE PREPARO SOB FONTES DE ADUBAÇÕES ORGÂNICAS E MINERAIS.....	18
4.1. Introdução.....	18
4.2. Materiais e métodos.....	19
4.2.1. Caracterização do experimento.....	19
4.2.2. Fracionamento físico da matéria orgânica.....	22
4.2.3. Determinação do estoque de carbono orgânico total do solo.....	23
4.2.4. Fracionamento físico granulométrico.....	23
4.2.5. Fracionamento físico densimétrico.....	24
4.2.6. Determinação da estabilidade de agregados do solo.....	26
4.2.6.1. Preparo das amostras.....	26
4.2.6.2. Determinação dos agregados estáveis em água.....	26
4.2.6.3. Determinação dos agregados estáveis a seco.....	27
4.2.6.4. Determinação do índice de estabilidade dos agregados.....	27
4.2.7. Análises estatísticas.....	28
4.3. Resultados e discussão.....	29

4.3.1. Estoque de carbono orgânico total no solo (COT) .....	29
4.3.2. Agregação do solo .....	31
4.3.3. Fracionamento físico da matéria orgânica .....	38
4.3.3.1. Fracionamento granulométrico .....	38
4.3.3.2. Fracionamento densimétrico .....	41
4.4. CONCLUSÕES .....	45
5. ESTUDO II: PERDAS POR EROÇÃO HIDRÍCA EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E FONTES DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL SOB CHUVA SIMULADA .....	46
5.1. Introdução .....	46
5.2. Materiais e métodos .....	48
5.2.1. Caracterização do experimento .....	48
5.2.2. Determinação da umidade gravimétrica no solo .....	50
5.2.3. Determinação das taxas de escoamento superficial e infiltração de água no solo e das perdas de solo e água .....	50
5.2.4. Determinação do coeficiente de enxurrada .....	51
5.2.5. Determinação das perdas de nutrientes por escoamento superficial .....	51
5.2.6. Determinação do pH e da condutividade elétrica no escoamento superficial .....	52
5.2.7. Análises estatísticas .....	52
5.3. Resultados e discussão .....	53
5.3.1. Umidade gravimétrica antecedente ao início da chuva simulada .....	53
5.3.2. Escoamento superficial .....	55
5.3.2.1. Tempo de início do escoamento superficial .....	55
5.3.2.2. Taxas de escoamento superficial e de infiltração de água no solo .....	57
5.3.2.3. Coeficientes de enxurrada e perdas totais de água por erosão hídrica .....	64
5.3.3. Perda total de solo por erosão hídrica .....	66
5.3.4. Características químicas do escoamento superficial .....	68
5.3.4. 1. pH e condutividade elétrica do escoamento superficial .....	68
5.3.4.2. Concentração e perdas totais de nutrientes por escoamento superficial .....	71
5. 4. CONCLUSÕES .....	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
7. ANEXOS .....	85



## RELAÇÃO DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1: Composição e teor de matéria seca dos adubos orgânicos aplicados na semeadura da cultura do milho em dois sistemas de preparo do solo. ....	21
Tabela 2. Quantidade de nutrientes aplicados via adubação mineral e orgânica na semeadura da cultura do milho em dois sistemas de preparo do solo. ....	21
Tabela 3: Estoque de carbono orgânico total (COT) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 0-10 cm em diferentes sistemas de preparo do solo e de adubação. ....	29
Tabela 4: Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) e diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e índice de estabilidade de agregados (IEA) sob diferentes sistemas de preparo do solo e de adubação na profundidade de 0-5 cm. ....	34
Tabela 5: Estoque de carbono orgânico particulado (COP) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 0-10 cm em diferentes sistemas de preparo do solo e adubação. ....	39
Tabela 6: Estoque de carbono orgânico associado aos minerais (CAM) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 0-10 cm em diferentes sistemas de preparo do solo e adubação. ....	41
Tabela 7: Características químicas da camada superficial (0-5 cm), após cinco anos de experimento com sucessivas aplicações de fertilizantes orgânicos e minerais em dois sistemas de preparo do solo. ....	49
Tabela 8: Umidade gravimétrica do solo antecedente ao início da chuva simulada nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. ....	54
Tabela 9: Coeficiente de enxurrada (Ce) em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. ....	64
Tabela 10: Perda total de água em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação, de um total de 180 mm aplicados. ....	65
Tabela 11: Perda total de solo em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. ....	67
Tabela 12: Valores médios de pH observados no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. ....	68
Tabela 13: Condutividade elétrica do escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. ....	70

Tabela 14: Concentrações de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo .....	71
Tabela 15: Concentrações de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes tratamentos com adubação orgânica e mineral .....	72
Tabela 16: Perdas totais de água e de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo .....	73
Tabela 17: Perdas totais de água e de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes tratamentos com adubação orgânica e mineral .....	74
Tabela 18: Concentrações de amônio e nitrato no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral .....	75
Tabela 19: Perdas totais de amônio e nitrato no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. ....	76

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema do fracionamento físico densimétrico, adaptado de Conceição, (2006). .....	24
Figura 2: Valores médios da distribuição de porcentagem da massa de agregados do solo estáveis em água por classe de diâmetro nos diferentes tratamentos de preparo do solo e na profundidade de 0-5 cm. ....	31
Figura 3: Valores médios da distribuição de porcentagem da massa de agregados do solo estáveis em água por classe de diâmetro nos diferentes tratamentos de adubação orgânica e mineral na profundidade de 0-5 cm .....	32
Figura 4: Valores médios da distribuição da porcentagem da massa de agregados de solo estáveis em água nas classes > 0, 250 e <0, 250 mm nos diferentes tratamentos de preparo do solo e de adubação na profundidade de 0-5 cm.....	33
Figura 5: Valores médios do diâmetro médio ponderado seco (DMPs) nos diferentes tratamentos de adubação na profundidade de 0-5 cm..	35
Figura 6: Valores médios do diâmetro médio ponderado seco (DMPs) nos diferentes sistemas de preparo do solo na profundidade de 0-5 cm .....	36
Figura 7: Índice de estabilidade de agregados (IEA) nos diferentes tratamentos de adubação na profundidade de 0-5 cm .....	37
Figura 8: Índice de estabilidade de agregados (IEA) nos diferentes tratamentos de sistemas de preparo do solo na profundidade de 0-5 cm .....	37
Figura 9: Estoques de C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nas frações densimétricas nos diferentes sistemas de preparo do solo e adubações na camada de 0-5 cm de profundidade .....	42
Figura 10: Tempo de início do escoamento superficial nos diferentes tratamentos de adubação orgânica e mineral .....	55
Figura 11: Desenvolvimento da cultura do milho aos quarenta e cinco dias após a semeadura nos diferentes tratamentos de adubações e sistemas de preparo do solo .....	56
Figura 12: Tempo de início do escoamento superficial nos diferentes tratamentos de sistemas de preparo do solo.....	56
Figura 13: Taxa de escoamento superficial de água no solo ( $\text{mm h}^{-1}$ ) nos tratamentos de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos .....	57

Figura 14: Taxa de infiltração de água no solo ( $\text{mm h}^{-1}$ ) nos tratamentos de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minuto.....	58
Figura 15: Taxa de escoamento superficial no tratamento testemunha (sem adubação) nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos..	59
Figura 16: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento testemunha (sem adubação) nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos..	60
Figura 17: Taxa de escoamento superficial no tratamento com adubação mineral no sistema de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos. ....	60
Figura 18: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento com adubação mineral nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos. ....	61
Figura 19: Taxa de escoamento superficial no tratamento de adubação orgânica com composto de lixo urbano nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos.....	62
Figura 20: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento de adubação orgânica com composto de lixo urbano no sistema de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos.....	62
Figura 21: Taxa de escoamento superficial no tratamento de adubação orgânica com dejetos de suínos nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos.....	63
Figura 22: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento de adubação orgânica com dejetos de suínos nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de $120 \text{ mm h}^{-1}$ e tempo de duração de noventa minutos.....	63

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A degradação dos solos agrícolas tem como uma das principais causas o processo de erosão hídrica do solo.

O processo de erosão hídrica é resultante da desagregação, do transporte e da deposição das partículas de solo. A fase de desagregação e do transporte das partículas ocorre tanto pela energia cinética do impacto das gotas de chuva na superfície do solo descoberto como pelo escoamento superficial.

Perdas de solo por erosão hídrica provocam a diminuição da fertilidade dos solos, acarretando em redução da produtividade agrícola. Também causam assoreamento e contaminação dos recursos hídricos pelo transporte de sedimentos e de nutrientes, sejam eles adsorvidos às partículas de solo ou dissolvidos no escoamento superficial.

Sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o sistema de plantio direto, estão entre as alternativas encontradas e implementadas nas áreas de produção agrícola, para tentar reduzir e controlar o processo de erosão hídrica. Contudo, com o acelerado crescimento da agricultura, além de manejos conservacionistas, outras práticas conservacionistas complementares tornam-se cada vez mais necessárias para se ter uma produção sustentável e com o mínimo de danos ao meio ambiente.

Resíduos orgânicos estão sendo utilizados com vistas a melhoria da qualidade química e física do solo. Estudos referentes ao uso de resíduos orgânicos, especialmente oriundos da suinocultura e da compostagem de lixo urbano, como fertilizantes orgânicos na agricultura, tornam-se de extrema importância, para que se possa verificar o seu verdadeiro potencial de recuperar e melhorar a qualidade do solo em áreas degradadas, sem que estes causem danos ao meio ambiente.

O uso de fertilizantes orgânicos pode beneficiar o incremento de matéria orgânica, a qual é indispensável para manter a qualidade dos solos. Isto pode resultar em melhoria das características físico-químicas e redução do impacto no ambiente pelas perdas de solo, água e nutrientes decorrentes do processo de erosão em áreas agrícolas.

Ainda são poucos os estudos sobre o uso e o efeito dos fertilizantes orgânicos, como também dos fertilizantes minerais na influência da melhoria da qualidade do solo, assim como o impacto destes no ambiente.

O trabalho tem como objetivo verificar o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo e de diferentes fontes de adubação na manutenção e no incremento de matéria orgânica no solo e nas perdas por erosão hídrica. Com vistas a atingir os objetivos propostos, foram realizados dois estudos. No primeiro estudo, avaliou-se a influência dos sistemas de preparo do solo e de adubações orgânicas e mineral na proteção física da matéria orgânica e na agregação do solo. No segundo estudo, verificou-se o comportamento de diferentes sistemas de preparo do solo e adubações nas perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O processo de erosão hídrica do solo é uma das principais causas de degradação dos solos agrícolas.

Sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o sistema de plantio direto, são utilizados como práticas agrícolas para tentar reduzir e controlar o processo de erosão.

O uso agrícola de fertilizantes orgânicos como o dejetos de suínos e o composto de lixo urbano, como prática de manejo alternativo, em conjunto com os sistemas conservacionistas, podem favorecer o incremento de nutrientes e de matéria orgânica no solo. Com isto, podendo resultar em melhoria das características físico-químicas do solo, reduzindo o impacto no ambiente pelas perdas de solo, água e nutrientes decorrentes do processo de erosão hídrica em áreas agrícolas.

### **2.1. Adubação orgânica e seu efeito condicionador no solo**

O manejo adequado da matéria orgânica dos solos das regiões tropicais e subtropicais é de fundamental importância para manter a produtividade dos solos agrícolas.

Os resíduos vegetais deixados no solo pelo sistema de preparo em plantio direto e a adição de fertilizantes orgânicos provocam um efeito condicionador, favorecendo o aumento dos teores de matéria orgânica. Isso provoca uma melhoria na atividade biológica do solo, cujos compostos do metabolismo atuam na estabilização dos agregados, melhorando a estrutura e a resistência aos agentes erosivos (Costa et al., 2004).

A transformação de resíduos orgânicos, como composto de lixo urbano e dejetos de suínos, em fertilizantes para uso agrícola está fundamentada na quantidade de nutrientes, podendo suprir as necessidades nutricionais das

culturas e do material orgânico presente propiciando o incremento de matéria orgânica no solo (Junior et al., 2005).

Atualmente, no Brasil a produção de lixo nos grandes centros urbanos está estimada em aproximadamente 50.000 toneladas por dia. Desse total, somente 531 toneladas, ou seja, apenas 1%, são destinadas às unidades de compostagem de resíduos orgânicos e o restante é descartado em aterros sanitários (IBGE, 2008). Com o constante crescimento da produção de resíduos urbanos, torna-se cada vez mais difícil encontrar áreas que possam ser utilizadas para descarte destes materiais, sem que apresente algum risco de contaminação para o ambiente. Por isso, uma alternativa encontrada é a compostagem destes resíduos e sua utilização para fins agrícolas.

A utilização do composto em áreas agrícolas vem apresentando resultados satisfatórios em relação às melhorias das condições químicas e físicas do solo, conforme pode-se observar em dados encontrados na literatura.

Almeida (2003) observou melhoria das características químicas do solo com a aplicação do composto de lixo urbano como substrato para produção de mudas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). Ocorreu aumento nos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e nos valores de pH e da capacidade de troca de cátions (CTC).

Oliveira et al. (2002) aplicaram durante dois anos agrícolas doses crescentes de composto de lixo urbano no cultivo de cana de açúcar (*Saccharum officinarum L.*) em um Latossolo Amarelo distrófico. Verificaram que ocorreu aumento no teor de carbono orgânico e no pH e na CTC. As diferenças no aumento destes atributos da primeira aplicação para a segunda foram significativas, mostrando que a alteração destas características varia e depende da dose aplicada. Segundo os mesmos autores, o aumento da CTC foi consequência direta dos incrementos de carbono orgânico no solo.

Bazzoffi et al. (1998) estudaram o efeito da aplicação de composto de lixo sobre as propriedades físicas do solo e sobre as perdas de solo e água por



erosão, em um Neossolo Litólico distrófico, durante três anos. Verificaram que nos dois primeiros anos ocorreu redução nas perdas de solo e água e melhoria da estabilidade de agregados quando comparado ao tratamento testemunha sem adubação. Justificaram que o aumento da estabilidade de agregados forneceu uma melhoria da porosidade resultando em maior infiltração de água no solo, com redução do escoamento superficial. Concluíram que a aplicação de composto de lixo urbano confere no geral uma melhoria nas propriedades físicas e redução das perdas por erosão.

No Estado do Rio Grande do Sul, estima-se um rebanho de suínos superior a seis milhões de cabeças (ACSURS, 2011), o que confere um alto volume de dejetos gerado por ano. Sabidamente, esses dejetos são possuidores de alta carga poluidora para o solo, ar e água quando não tratados adequadamente. Por isso, o manejo e o uso correto com vistas à disposição dos resíduos gerados ao solo são fundamentais para causar o mínimo impacto possível sobre o ambiente e promover efeito condicionador nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Arruda et al. (2010) avaliaram o efeito de doses crescentes de aplicação de dejetos de suínos sobre algumas características físicas e químicas do solo, em experimento conduzido com milho (*Zea mays sp.*) no verão e aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno, em um Latossolo Vermelho distroférico sob semeadura direta. Determinaram o teor de carbono orgânico no solo e a estabilidade de agregados nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade. O teor de carbono orgânico no solo não foi significativamente modificado pelos tratamentos. Em relação à estabilidade de agregados, foi observado que com o aumento da dose aplicada de dejetos de suínos ocorreu redução na estabilidade dos agregados quando comparado ao tratamento testemunha sem adubação. Essa alteração observada em relação à estabilidade dos agregados foi considerada de pequena magnitude, devido aos altos teores de argila e óxidos de ferro presentes nestes solos, o que

juntamente com o teor de carbono orgânico, confere naturalmente uma alta agregação.

Apesar dos benefícios do uso de dejetos de suínos e do composto de lixo urbano como condicionares do solo, a dose aplicada deve ser controlada, pois os mesmos, quando aplicados em doses muito altas e por longos períodos, podem acarretar em acúmulo de nutrientes no solo. Os mesmos poderão vir a ser transportados tanto por escoamento superficial, contaminando as águas superficiais, quanto por lixiviação, contaminando as águas subterrâneas.

Scherer et al. (2010) observaram que em áreas adubadas com fertilizantes orgânicos em plantio direto ocorreu aumento de nutrientes também em profundidade, redobrando os cuidados com o uso excessivo desses compostos.

## **2.2. Proteção física da matéria orgânica e agregação do solo**

### **2.2.1. Proteção física da matéria orgânica no solo**

O carbono orgânico pode acumular no solo em frações mais lábeis ou estáveis da matéria orgânica, alterando a sua taxa de decomposição e mineralização e o tempo de permanência no solo. O acúmulo das frações lábeis da matéria orgânica no solo tem sido relacionado com o mecanismo de proteção física no interior dos agregados (Bayer et al., 2004).

A matéria orgânica do solo pode estar livre ou fracamente associada às partículas primárias do solo, compondo a matéria orgânica não complexada ou livre ou pode estar fortemente associada às partículas do solo constituindo os complexos organominerais (Roscoe & Machado, 2002). A associação direta das partículas minerais do solo com os compostos orgânicos, juntamente com a matéria orgânica livre, formam as estruturas básicas de organização das partículas do solo.

Com a união das unidades básicas de organização das partículas minerais formam-se os agregados do solo. Neste processo, parte da matéria

orgânica não complexada ou livre pode ficar protegida no interior dos agregados. Constituem-se nas frações leve-livre na superfície dos agregados ou entre agregados, e a fração leve-oclusa, dentro dos agregados em locais pouco acessíveis à ação da microbiota do solo (Roscoe & Machado, 2002).

Além do mecanismo de proteção física da matéria orgânica por oclusão dentro dos agregados, também pode ocorrer o acúmulo devido aos mecanismos de recalcitrância das moléculas orgânicas e por interação com as partículas minerais do solo (Roscoe & Machado, 2002).

### **2.2.2. Agregação do solo**

Os compostos orgânicos funcionam como agentes ligantes de partículas, sendo classificados como transitórios (principalmente polissacarídeos), temporários (raízes e hifas) e persistentes (polímeros orgânicos fortemente adsorvidos) (Roscoe & Machado, 2002).

Os agregados formados no solo podem ser classificados em macro e microagregados. Os microagregados são formados pela união de complexos organo-minerais muito estáveis estabilizados por agentes persistentes e unidos por materiais orgânicos humificados ou aglutinados em torno de materiais vegetais em avançado grau de decomposição. Os macroagregados são formados pela união de microagregados e estabilizados por forças mecânicas e pela produção de mucilagens durante o crescimento de raízes e hifas de fungos (agentes temporários).

A principal característica física do solo alterada com a redução do teor de matéria orgânica no solo é a agregação. Indiretamente, isso contribui para a alteração das demais características, como a taxa de infiltração e a capacidade de retenção de água no solo, a densidade e a porosidade, entre outras (Bayer & Mielniczuk, 2008).

Em solos de textura arenosa, a matéria orgânica do solo é o principal agente estabilizante dos agregados do solo. O acúmulo de carbono orgânico

nestes solos pode ser devido a sua proteção física por oclusão no interior dos agregados, dificultando a ação dos microorganismos e de suas enzimas, reduzindo os processos oxidativos de decomposição da matéria orgânica (Conceição, 2006).

A matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados (Roscoe & Machado, 2002; Bayer et al., 2004; Conceição, 2006).

Os métodos de fracionamento físico da matéria orgânica, que visam quantificar os compartimentos da matéria orgânica, utilizados juntamente com a estabilidade de agregados, auxiliam no entendimento da dinâmica da matéria orgânica conforme os diferentes tipos de manejo do solo.

### **2.3. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo**

O fracionamento físico é uma ferramenta importante para o estudo da dinâmica da matéria orgânica nos solos. Permite separar frações orgânicas cuja composição e localização física no solo é diferenciada, sendo sensíveis, portanto, às diferentes alterações promovidas por práticas de manejo do solo.

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo pode ser realizado pelos métodos granulométrico, densimétrico ou pela associação dos dois (Conceição, 2006).

#### **2.3.1. Fracionamento físico granulométrico**

No fracionamento físico granulométrico, as frações da matéria orgânica são separadas em carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (CAM).

Neste procedimento, as frações orgânicas são separadas por dispersão e peneiramento. Após a dispersão total dos agregados, o material é passado em peneira de malha de 0,053 mm, onde é recuperado o COP associado à fração

areia. Esta fração é constituída principalmente por resíduos de plantas e hifas em estágios iniciais de decomposição, similar às frações leves obtidas pelo fracionamento densimétrico. A mesma corresponde ao compartimento lábil da matéria orgânica, cuja permanência no solo está associada à proteção física desempenhada pelos agregados do solo (Roscoe & Machado, 2002; Salton, 2005; Conceição, 2006; Loss et al., 2009).

O CAM é a fração da matéria orgânica associado às frações silte e argila do solo. É definida como a fração que interage com a superfície dos minerais, formando os complexos organominerais, o que lhe confere maior estabilidade no solo (Roscoe & Machado, 2002; Conceição, 2006).

### **2.3.2. Fracionamento físico densimétrico**

O método densimétrico baseia-se na diferença de densidade entre a fração orgânica e a mineral. A densidade das partículas minerais do solo geralmente excede  $2 \text{ g cm}^{-3}$ , enquanto que a de compostos orgânicos é inferior a  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ . Por diferença de densidade, em solução com densidade maior que dos compostos orgânicos, ocorre a separação das frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) (Roscoe & Machado, 2002).

A fração leve livre é composta por materiais orgânicos, principalmente de restos vegetais, em fase inicial de decomposição. Nesta fração, o único mecanismo de proteção é a recalitrância do material orgânico. Também é denominada fração inter agregados, por estar depositada na superfície dos agregados, e corresponde à fração mais sensível às alterações de manejo, por estar mais exposta à ação da microbiota do solo (Roscoe & Machado, 2002).

A fração leve oclusa é composta por material orgânico em grau de decomposição mais avançado em comparação à fração leve livre. Encontra-se protegida no interior dos agregados, sendo esta também denominada fração intra agregados. Além da proteção no interior dos agregados, também atua o mecanismo de recalitrância do material orgânico constituinte desta fração (Roscoe & Machado, 2002).

A fração pesada é constituída por material orgânico em avançado grau de decomposição. Encontra-se fortemente associada à fração mineral do solo. Esta fração é composta por material orgânico de elevada recalcitrância. A maior parte do carbono orgânico do solo é constituído desta fração. Isto deve-se aos três mecanismos de estabilização (recalcitrância, proteção física e interação com minerais do solo) presentes nesta fração, tornando esta a fração densimétrica mais estável da matéria orgânica no solo (Roscoe & Machado, 2002).

#### **2.4. Erosão hídrica e escoamento superficial de água no solo**

A erosão hídrica é uma das principais causas da degradação dos solos. É resultante da interação de diversos fatores como: erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, grau e comprimento do declive, manejo do solo e de culturas e práticas conservacionistas complementares. A energia cinética do impacto das gotas de chuva na superfície do solo e a energia cinética cisalhante do escoamento superficial são os principais agentes causadores da erosão hídrica (Denardin et al., 2005) .

Para Denardin et al. (2005), o princípio fundamental para o controle da erosão hídrica do solo está associado com a redução do efeito da energia cinética do impacto das gotas de chuva na superfície do solo e com a redução do volume e velocidade do escoamento superficial.

Os diferentes sistemas de preparo do solo podem alterar a estrutura do solo, provocando alterações nas propriedades físicas e químicas, como também nas condições de superfície, influenciando diretamente no processo de erosão.

No preparo convencional, ocorre intensa mobilização com incorporação dos resíduos vegetais no solo, expondo diretamente a superfície aos agentes erosivos. Desta maneira, com o decorrer da chuva, pelo impacto direto das gotas na superfície descoberta, as partículas de solo são desagregadas. Com isto, pode ocorrer a obstrução dos poros e a formação de selamento na

superfície, afetando a infiltração de água no solo. Como consequência, pode ocorrer o aumento do escoamento superficial e o transporte das partículas desagregadas, acarretando em perdas de solo, água e nutrientes por erosão (Alves & Cabeda, 1999; Barcellos et al., 1999).

No preparo do solo em plantio direto, ocorre o mínimo revolvimento e os restos culturais não são incorporados, permanecendo na superfície do solo. O efeito protetor dos restos culturais é de extrema importância para o controle das perdas de solo por erosão, pois atua na dissipação da energia cinética das gotas de chuva e da energia cisalhante da enxurrada. Assim, pode-se evitar a desagregação das partículas e o selamento superficial, favorecendo a infiltração de água no solo.

Porém, em eventos de chuvas intensas tem se constatado que o sistema de plantio direto não tem apresentado a mesma eficiência no controle do escoamento superficial. Isto resulta em perdas significativas de água que sai da lavoura, podendo juntamente transportar nutrientes e sedimentos e ocasionar contaminação dos recursos hídricos (Denardin et al., 2005).

É inegável a redução das perdas de solo por erosão hídrica por efeito da cobertura do solo e do sistema de manejo em plantio direto. Além desses fatores, diversos autores vêm destacando a importância do uso de práticas conservacionistas complementares, quando necessárias, para que se possa reduzir o volume e a velocidade do escoamento e se obter o efetivo controle do processo de perdas de solo e água por erosão hídrica (Cogo et al., 2003; Denardin et al., 2005; Cassol et al., 2007).

O uso de compostos orgânicos como fertilizantes na agricultura pode favorecer a melhoria das propriedades físico-químicas do solo como o aumento de matéria orgânica, maior disponibilidade de nutrientes para as culturas e na agregação do solo (Junior et al., 2005). Com a melhoria da agregação, outras características secundárias oriundas da agregação são favorecidas, apresentando resultados positivos. Há efeitos na taxa de infiltração de água no solo, na capacidade de retenção de água no solo, entre outras, com isso,

diminuindo o escoamento superficial de água no solo e reduzindo as perdas por erosão hídrica (Bayer & Mielniczuck, 2008).

## **2.5. Taxa de infiltração de água no solo e escoamento superficial**

A taxa de infiltração de água no solo depende de diversos fatores. Dentre estes, pode-se destacar a umidade, a textura, a agregação, a cobertura vegetal e a compactação do solo (Dorfmann & Cauduro, 1988).

A taxa de infiltração de água no solo é máxima no início de uma chuva, pois a umidade do solo ainda é baixa. Com o decorrer da chuva, a água passa a preencher o espaço poroso do solo, diminuindo a infiltração até chegar à umidade de saturação e atingir a taxa constante de infiltração de água no solo.

A determinação e o conhecimento do processo de infiltração de água nos solos é fundamental para o controle do escoamento superficial. O volume do escoamento superficial, responsável pelo processo de erosão hídrica, é determinado pela taxa de infiltração (Reichardt, 1996).

Para Denardin et al. (2005), a taxa de infiltração de água no solo é o principal fator para que se possa planejar um sistema de terraceamento para atuar como uma prática conservacionista complementar, com o objetivo de reduzir e controlar a velocidade e o volume de escoamento.

Para Cabeda (1984), a taxa de infiltração de água no solo é talvez a propriedade do solo que melhor representa as condições físicas gerais do solo, refletindo na sua qualidade.

Para Alves & Cabeda (1999), os impactos das gotas de chuva na superfície do solo contribuem de duas maneiras na redução das taxas de infiltração de água no solo. De uma maneira, pela redução da rugosidade da camada superficial, o que diminui o tempo de retenção de água nas depressões formadas pela rugosidade, resultando em um maior volume total de água escoado. De outra maneira, pela formação do selamento superficial, o que diminui a condutividade hidráulica da camada superficial, podendo reduzir



em até 90% a permeabilidade do solo, conseqüentemente reduzindo as taxas de infiltração de água no solo.

Alves & Cabeda (1999) observaram em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico que, independente do sistema de preparo do solo, quando aumenta a intensidade da chuva, diminui o tempo de detenção de água na superfície do solo e do início do escoamento. No mesmo estudo, observaram ainda que no sistema de preparo convencional o tempo de detenção da água da enxurrada foi superior ao do sistema de preparo do solo em plantio direto. Atribuíram esse efeito à maior rugosidade da superfície, à maior porosidade total e maior diâmetro médio dos poros proporcionados pelo preparo convencional. No sistema de preparo em plantio direto, observaram menor tempo de detenção e início do escoamento, o que atribuíram à maior densidade da camada superficial e à menor rugosidade, em relação ao preparo convencional, o que resultaria em maiores perdas totais de água por escoamento.

Cassol et al. (1999) trabalharam com introdução de espécies melhoradoras da pastagem nativa em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico. Aos cinquenta e cinco dias após a semeadura das espécies melhoradoras, verificaram que as perdas de água no preparo convencional e no plantio direto foram semelhantes, não diferindo entre si. Porém, observaram uma tendência de maiores perdas de água no sistema em plantio direto. O contrário ocorreu em relação às perdas de solo, onde observaram que o plantio direto foi mais efetivo no controle quando comparado ao preparo convencional.

Gilles et al. (2009) observaram comportamento semelhante em experimento realizado em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico. Tanto na semeadura, quanto aos setenta e cinco dias após semeadura da cultura do milho, o sistema de plantio direto apresentou as maiores perdas de água em relação ao preparo com escarificação. Atribuíram que as menores perdas de água no preparo com escarificação estejam provavelmente relacionadas à

maior porosidade total e rugosidade da camada superficial proporcionada pela escarificação, em relação ao preparo convencional.

## **2.6. Perdas de nutrientes por escoamento superficial**

Perdas de nutrientes pelo processo de erosão podem ocorrer por dissolução no escoamento superficial ou adsorção às partículas de solo. Sistemas de preparo do solo que afetam o processo de erosão e de escoamento superficial também afetarão as perdas de nutrientes. Além do sistema de preparo do solo, as perdas de nutrientes também podem ser influenciadas pela concentração de nutrientes no solo, a qual é dependente do tipo de adubação realizada. Os adubos orgânicos utilizados na agricultura são fontes de nutrientes e de matéria orgânica no solo.

De acordo com Kleinman & Sharpley (2003), citados por Gilles et al. (2009), a médio e longo prazo, a aplicação de resíduos orgânicos no solo proporciona melhoria das propriedades físicas como porosidade, estabilidade de agregados e capacidade de infiltração de água no solo, reduzindo assim as perdas por erosão. Mas o uso excessivo destes materiais por longo período de tempo, principalmente em áreas sob plantio direto onde a aplicação é realizada em superfície, pode ocasionar o acúmulo de nutrientes no solo, podendo assim favorecer as perdas e representar uma fonte de poluição do solo e da água (Bertol et al., 2010).

Cassol et al. (2002), em experimento com introdução de espécies melhoradoras da pastagem nativa, sob chuva simulada, relataram que as perdas totais de nutrientes variaram com a época de aplicação da chuva, e com o volume total escoado em cada sistema de preparo do solo. No sistema de manejo em plantio direto, ocorreram as maiores perdas, sendo atribuídas ao maior volume escoado e à concentração de nutrientes presentes na camada superficial do solo.

Denardin et al. (2005) relatam que em estudos em Latossolos do Rio Grande do Sul, quando comparados os sistemas de plantio direto e preparo

convencional submetidos a chuvas de alta intensidade e longa duração, as taxas constantes de enxurrada não diferem entre si. Ainda no mesmo estudo, verificaram que em áreas manejadas sob plantio direto a concentração de nutrientes no escoamento foi maior do que nos sedimentos. Constataram também que as perdas totais de nutrientes podem ser influenciadas pela quantidade e pelo modo de aplicação dos fertilizantes, pela concentração de nutrientes no solo, sendo proporcionais ao volume de escoamento e à quantidade de solo perdido.

Gilles et al. (2009), em estudo num Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico, com diferentes sistemas de preparo do solo sob adubação orgânica e mineral, verificaram que as perdas de nutrientes e água foram maiores logo após a semeadura da cultura do milho e diminuíram com o desenvolvimento da cultura. Porém, independente da época de aplicação da chuva simulada e independente do tipo de adubação, o sistema de preparo do solo em plantio direto apresentou as maiores perdas de água e nutrientes em relação ao preparo com escarificação. Os autores afirmam que isso confirma que as perdas totais estão mais relacionadas com o volume total escoado e com os teores de nutrientes presentes na camada superficial do que com as perdas de solo, o que justifica as maiores perdas em preparo do solo em plantio direto.

### **3. HIPÓTESES E OBJETIVOS GERAIS**

#### **3.1. Hipóteses**

- A aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais afeta o mecanismo de proteção física da matéria orgânica e aumenta os teores de carbono orgânico total no solo, sendo mais expressivo em solos com aplicação de adubos orgânicos do que em solos com aplicação de adubo mineral.

- A proteção física da matéria orgânica é um mecanismo fundamental no acúmulo de carbono, com maior expressividade em sistemas de preparo com mínimo revolvimento do solo.

- O escoamento superficial transporta mais nutriente em sistema de plantio direto devido à aplicação constante em superfície sem revolvimento e maior volume de escoamento superficial gerado.

- As perdas de solo, água e nutrientes por erosão e pelo escoamento superficial são afetadas pelos diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação, pelas diferentes condições de superfície e cobertura do solo e pelas alterações em características físicas do solo.

#### **3.2. Objetivos**

- Avaliar a influência da aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos sobre os teores de carbono nos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo, obtidos pelo uso das técnicas de fracionamento físico densimétrico e granulométrico.

- Avaliar a magnitude da proteção física da matéria orgânica em solos com aplicação de fertilizantes mineral e orgânico, sob sistema de preparo convencional e plantio direto.

- Avaliar a influência de sistemas de preparo do solo e da adubação orgânica e mineral nas perdas de solo e água por erosão.

- Quantificar as perdas de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e nitrogênio (nitrato e amônio) no escoamento superficial nos diferentes sistemas de manejo e fontes de adubação.

## **4. ESTUDO I: MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO DO SOLO EM DOIS SISTEMAS DE PREPARO SOB FONTES DE ADUBAÇÕES ORGÂNICAS E MINERAIS**

### **4.1. Introdução**

A dinâmica na matéria orgânica do solo pode ser influenciada por diferentes sistemas de preparo do solo. O intenso revolvimento do solo pelo preparo convencional provoca redução nos estoques de carbono do solo devido à rápida oxidação e mineralização da matéria orgânica como também pelas perdas por erosão hídrica (Bayer & Mielniczuck, 2008).

Por outro lado, o sistema de preparo do solo em plantio direto proporciona melhoria da qualidade dos solos. Isso se deve a manutenção constante de resíduos na superfície, favorecendo o aumento dos teores de matéria orgânica e a melhoria da atividade biológica do solo, cujos compostos do metabolismo atuam na estabilização dos agregados melhorando a estrutura e a resistência aos agentes erosivos (Costa et al., 2004).

A dinâmica da matéria orgânica no solo pode ser influenciada não somente pelas práticas de manejo e preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes minerais ou de origem orgânica, os quais podem atuar nos processos biológicos de decomposição e mineralização da matéria orgânica (Leite et al., 2003).

Segundo Bayer et al. (2004), o carbono pode acumular no solo em frações mais lábeis ou estáveis da matéria orgânica. Assim, pode alterar a taxa de decomposição e mineralização e o tempo de permanência no solo, afetando as alterações físicas, químicas e biológicas do solo.

Em solos de textura arenosa, onde a matéria orgânica é o principal agente estabilizante dos agregados do solo, Conceição (2006) verificou que o acúmulo de carbono orgânico no solo pode ser devido à proteção

física por oclusão no interior dos agregados. Isso dificulta a ação dos microorganismos e de suas enzimas, reduzindo os processos oxidativos de decomposição da matéria orgânica.

A matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados (Roscoe & Machado, 2002; Conceição, 2006).

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo pode ser realizado pelos métodos densimétrico, granulométrico ou pela associação dos dois (Conceição, 2006). A utilização de métodos de fracionamento físico da matéria orgânica que visam relacionar a matéria orgânica, com a agregação e a estabilidade de agregados ou para quantificar os compartimentos da matéria orgânica, objetiva estudar a sua dinâmica conforme os diferentes tipos de manejo do solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de dois sistemas de preparo do solo sob adubação orgânica e mineral na agregação do solo e nas frações da matéria orgânica do solo.

## **4. 2. Materiais e métodos**

### **4.2.1. Caracterização do experimento**

O estudo foi realizado em experimento localizado na Estação Experimental Agronômica (EEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), situada no município de Eldorado do Sul, RS com coordenadas geográficas de 30° 05' de latitude Sul e 51° 40' de longitude Oeste e altitude média de 42 m. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi instalado em 2004 em área que apresentava histórico de uso anterior com cinco anos em sistema de manejo sob plantio

direto (Fonseca, 2006). Os resultados do presente trabalho correspondem ao período experimental de 2009/2010 referente ao sexto ciclo de culturas.

As parcelas experimentais foram construídas no sentido do declive, com declividade média de 0,081 m m<sup>-1</sup> e área útil de 8 m<sup>2</sup> (0,8 m de largura x 10 m de comprimento). De 2004 a 2010, conduziu-se o experimento utilizando-se o sistema de sucessão de culturas: aveia preta (*Avena strigosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*) durante o inverno e milho (*Zea mays sp.*) no verão. As culturas de inverno foram sempre implantadas sem preparo do solo, enquanto que a cultura do milho era estabelecida em diferentes sistemas de preparo do solo e com distintas adubações.

O experimento consistiu em dois sistemas de preparo do solo para a cultura do milho, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). Em cada sistema de preparo foram utilizadas quatro formas de adubação:

T = Sem adubação (tratamento testemunha);

M = Adubação mineral;

C = Adubação orgânica com composto de lixo urbano;

D = Adubação orgânica com dejetos de suínos.

As adubações foram realizadas conforme à necessidade de nitrogênio para a cultura do milho atingir o rendimento de grãos de 8.000 kg ha<sup>-1</sup>. Para os adubos orgânicos, considerou-se o teor de nitrogênio de cada resíduo para determinar a quantidade a ser aplicada na forma de adubo mineral. As doses adicionadas de cada adubo foram calculadas conforme as recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQF-RS/SC, 2004)

Para adubação mineral utilizou-se uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio.

A composição dos adubos orgânicos e as quantidades adicionadas correspondente a cada adubação estão descritos, respectivamente, nas tabelas 1 e 2.



Tabela 1: Composição e teor de matéria seca dos adubos orgânicos aplicados na semeadura da cultura do milho em dois sistemas de preparo do solo.

Nutrientes	Composto de lixo urbano	Dejetos de suínos
	----- Concentração % -----	
N	1,2	2,0
C	12,0	44,0
P total	0,8	2,3
Ca total	2,4	2,3
K total	0,3	3,3
Mg total	0,6	1,1
Matéria seca (%)	70,0	14,0

Tabela 2. Quantidade de nutrientes aplicados via adubação mineral e orgânica na semeadura da cultura do milho em dois sistemas de preparo do solo, no sexto ano de cultivo.

Nutrientes	Adubação Mineral	Composto de Lixo Urbano	Dejeto de Suínos
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
Adubos	682 <sup>(1)</sup>	10.000 <sup>(2)</sup>	11.160 <sup>(2)</sup>
N	120	120	120
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	125	192	316
K <sub>2</sub> O	70	40	239
P total	55	50	230
Ca Total	0	240	138
K Total	58	20	198
Mg Total	0	56	66

<sup>(1)</sup> Corresponde ao total aplicado de 267 kg/ha de uréia, mais 117 kg/ha de superfosfato triplo, mais 117 kg/ha de Cloreto de Potássio, para suprir as exigências de adubo mineral conforme recomendações da CQFS-NRS-SBCS (2004).

<sup>(2)</sup> Quantidades calculadas com base no teor de nitrogênio presente nos resíduos orgânicos para suprir a necessidade de N de 120 kg ha<sup>-1</sup>.

O adubo orgânico composto de lixo urbano foi adquirido na unidade de triagem e compostagem (UTC) do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre (DMLU), localizada no bairro Lomba do Pinheiro, em Porto Alegre, RS. O adubo orgânico dejetos de suínos foi cedido pelo Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O preparo do solo e a aplicação dos adubos foram realizados no mesmo dia e antecedendo a semeadura da cultura do milho. O preparo convencional consistiu da realização de escarificação a 20 cm de profundidade e seguido de revolvimento manual do solo, para incorporação dos fertilizantes.

A semeadura do milho foi realizada manualmente com saraquá regulado para se obter de duas a três sementes por cova e espaçamento de 20 cm entre plantas na linha e apenas uma linha de semeadura em cada parcela.

Após a colheita da cultura do milho, foram realizadas as coletas de solo para a realização das análises de agregados e fracionamento físico da matéria orgânica.

#### **4.2.2. Fracionamento físico da matéria orgânica**

Para o fracionamento físico da matéria orgânica, abriram-se em cada parcela duas trincheiras de 0,30 m de profundidade por 1,00 m de comprimento e 0,30 m de largura. Com auxílio de pá de corte e uma espátula foram coletadas amostras de solo indeformadas das paredes da trincheira, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. A amostra final apresentava aproximadamente 500 cm<sup>3</sup> de volume para as camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade e aproximadamente 1000 cm<sup>3</sup> na profundidade de 10-20cm. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas devidamente identificadas e transportadas para o laboratório.

Em laboratório, as amostras foram cuidadosamente fragmentadas cuidando para não romper os agregados nos planos de fraquezas. Após, foram passadas em peneira de malha de 9,51 mm e secas ao ar.

Das amostras passadas na peneira de 9,51 mm, separou-se aproximadamente 100 gramas de solo de cada amostra, as quais foram passadas em peneiras de 2 mm e obtidas duas frações de agregados

(maior e menor que 2 mm). Estas frações foram pesadas para determinar a proporção de cada uma na amostra. Esse procedimento foi realizado para fim de se obter uma subamostra homogênea e representativa no fracionamento da matéria orgânica. As amostras foram armazenadas e devidamente identificadas.

#### **4.2.3. Determinação do estoque de carbono orgânico total do solo**

A determinação do estoque de carbono orgânico total do solo foi realizado em amostras das camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade.

Foram pesadas e moídas em gral de ágata dez gramas de agregados obtidos proporcionalmente das frações maior e menor que 2 mm que foram separadas de cada amostra. O teor de carbono orgânico total (COT) foi determinado em analisador de combustão seca (Shimadzu-TOC-V CSH). Os estoques de carbono do solo foram calculados pelo método de massa equivalente de solo como descrita por Conceição (2006) para cada camada amostrada, tendo como referência o tratamento testemunha.

#### **4.2.4. Fracionamento físico granulométrico**

O fracionamento físico granulométrico foi realizado em amostras das camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade, seguindo a metodologia descrita em Conceição (2006).

Para o fracionamento granulométrico, colocou-se vinte gramas de agregados obtidos proporcionalmente das frações maior e menor que 2 mm de cada amostra em frascos “snap cap” com capacidade de 100 mL, onde adicionou-se 60 ml de hexametáfosfato de sódio ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ). As amostras foram agitadas por 15 horas em agitador horizontal. Após a retirada foram passadas em peneira com malha de 0,053 mm de diâmetro onde se recuperou a fração correspondente ao carbono orgânico particulado (COP).

As amostras foram secas em estufa a 50°C, moídas e determinado o teor de carbono em analisador de combustão seca (Shimadzu-TOC-V CSH). A fração do carbono associada aos minerais foi obtida pela diferença entre o COT do solo e o COP.

#### 4.2.5. Fracionamento físico densimétrico

O esquema seguido para o fracionamento físico densimétrico do carbono está apresentado na Figura 1, segundo Conceição (2006).

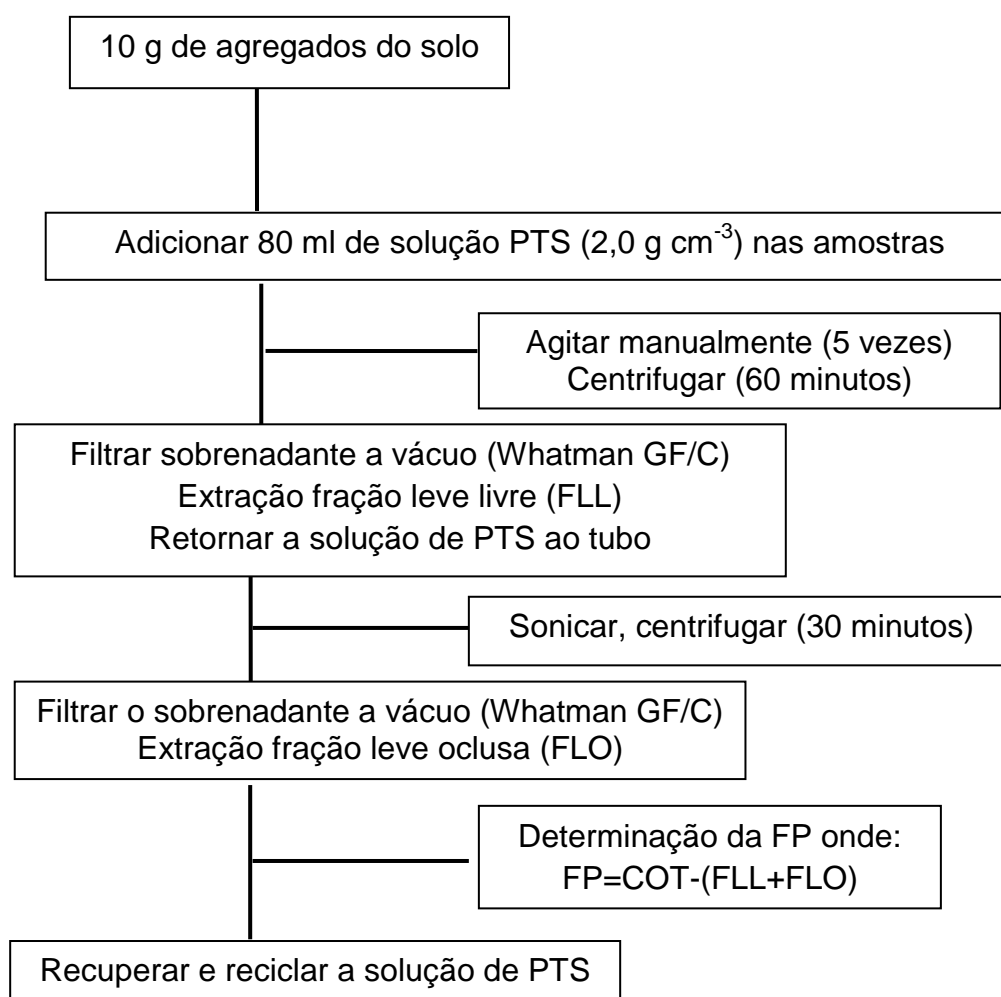


Figura 1. Esquema do fracionamento físico densimétrico, adaptado de Conceição, (2006).

Para o fracionamento físico densimétrico, utilizou-se dez gramas de agregados obtidos proporcionalmente das frações maior e menor que 2 mm apenas da camada de 0-5 cm de profundidade seguindo a metodologia descrita em Conceição (2006), com duas adaptações. As alterações realizadas foram referentes ao tempo de centrifugação das amostras. Na primeira centrifugação, o tempo foi modificado de uma hora e meia para uma hora e na segunda centrifugação, de uma hora para trinta minutos.

As amostras foram colocadas em tubos de centrífuga e adicionados 80 mL de polintugstato de sódio, com densidade de  $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ , e agitadas manualmente por cinco vezes. Após a preparação das amostras, estas foram colocadas para centrifugar durante uma hora. Em seguida, foram filtrados os sobrenadantes e separou-se o material orgânico correspondente à fração leve livre (FLL).

Separada a FLL, o material que passou pelo filtro retornou ao tubo de centrífuga e foram colocados para dispersão total dos agregados em ultrassom com energia de  $250 \text{ J ml}^{-1}$ . Após a dispersão total, as amostras foram colocadas novamente para centrifugar por 30 minutos. Em seguida o material foi filtrado novamente e separou-se o material orgânico correspondente a fração leve oclusa (FLO). As frações retidas nos filtros foram lavadas com água destilada para retirada total do politungstato de sódio, o qual é posteriormente reciclado.

As frações foram secas em estufa a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  e moídas em gral de ágata e então determinado o teor de carbono nas frações em analisador de combustão seca (Shimadzu-TOC-V CSH). O carbono da fração pesada foi determinado pela diferença entre o COT e a soma do carbono das FLL e FLO.

#### **4.2.6. Determinação da estabilidade de agregados do solo**

##### **4.2.6.1. Preparo das amostras**

Para avaliação da estabilidade de agregados, foram utilizadas amostras de solo da camada de 0-5 cm de profundidade

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras de malha de 9,51 mm de diâmetro. Sub-amostras foram utilizadas para determinar a umidade gravimétrica do solo seco ao ar. Amostras de solo seco ao ar foram colocadas em latas de alumínio com peso conhecido, pesadas antes e depois de serem secas em estufa a 105°-110°C durante 24 horas. A umidade gravimétrica dessas amostras foi então determinada conforme EMBRAPA (1997).

A umidade gravimétrica foi utilizada para conhecimento da massa de agregados seco em estufa e retida em cada peneira. Também foi retirado e descontado o material inerte retido em cada peneira.

##### **4.2.6.2. Determinação dos agregados estáveis em água**

Para a determinação dos agregados estáveis em água, pesou-se amostras de 50 gramas de solo, em duplicata. As amostras foram pré-umedecidas por 15 minutos.

Posteriormente, foram transferidas, com auxílio de jatos de água, para um conjunto de peneiras de 4,76, 2,00, 1,00, 0,50 e 0,25 mm e agitadas em água em um agitador de oscilação vertical, com 42 oscilações por minuto, durante 15 minutos. O material menor que 0,25 mm foi recolhido e passado manualmente em conjunto de peneiras de 0,105 e 0,053 mm. O material retido em cada peneira foi transferido para latas de alumínio previamente pesadas e seco em estufa a 100°C por 24 horas. Após a secagem, o material foi pesado e quantificado.

Determinou-se então a porcentagem de agregados (AGR) para cada classe e o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme as expressões (1) e (2) respectivamente:

$$AGR = (m \text{ AGR}_i / \sum m \text{ AGR}_i) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

AGR= agregados por classe de peneira (%)

$m \text{ AGR}_i$  = massa de agregados da classe x (menos material inerte)

$\sum m \text{ AGR}_i$  = massa total de agregados das n-classes (menos material inerte)

$$DMP = (\sum m \text{ AGR}_i \times x_i) / \sum m \text{ AGR}_i \quad (2)$$

Onde:

DMP= diâmetro médio ponderado (mm)

$x_i$ = valor médio da classe de agregados obtido por (diâmetro da malha superior + diâmetro da malha inferior) /2

#### **4.2.6.3. Determinação dos agregados estáveis a seco**

Para a determinação da estabilidade a seco, utilizou-se conjunto de peneiras de malhas iguais as utilizadas para a determinação da estabilidade a úmido. Amostras de 50 gramas de solo foram pesadas e utilizadas em duplicatas. As amostras foram agitadas durante 1 minuto em agitador a seco. O conteúdo retido em cada peneira foi transferido para latas de alumínio e seguiu-se o mesmo procedimento da determinação a úmido.

O cálculo para a quantificação da porcentagem dos agregados e do DMP, foi efetuado conforme as equações (1) e (2).

#### **4.2.6.4 Determinação do índice de estabilidade dos agregados**

O índice de estabilidade de agregados foi calculado segundo a expressão (3):

$$IEA = DMP_u / DMP_s \quad (3)$$

Onde:

IEA = índice de estabilidade de agregados

DMPu = diâmetro médio ponderado úmido (mm)

DMPs = diâmetro médio ponderado seco (mm)

#### **4.2.7. Análises estatísticas.**

As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR, desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), MG. Foi aplicada a análises para delineamento de parcelas subdivididas, com quatro repetições, considerando o sistema de preparo do solo como fator principal e as fontes de adubações como fator das sub parcelas. A comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5%.



### 4.3. Resultados e discussão

#### 4.3.1. Estoque de carbono orgânico total no solo (COT)

O estoque de carbono orgânico total (COT) no solo, nas profundidades amostradas nos sistemas de preparo do solo e tratamentos de adubação está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Estoque de carbono orgânico total (COT) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 0-10 cm em diferentes sistemas de preparo do solo e de adubação. Cada valor é uma média de três repetições

Adubação	Carbono Orgânico Total		
	0-5 cm	5-10 cm	Total 0-10 cm
	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----		
	----- Preparo Convencional- -----		
T	6,43 a <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	6,36 a A a	12,79 a A
M	6,83 a A a	8,11 a A a	14,94 a A
C	9,66 a B a	11,00 a A a	20,66 a A
D	7,40 a B a	7,21 a A a	14,61 a A
Média	7,58	8,17	15,75
CV(%)	34,79	24,37	21,64
	----- Plantio Direto -----		
T	8,76 b <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	5,23 a A a	13,99 a A
M	9,93 b A a	6,31 a A a	16,24 a A
C	17,23 a A a	8,83 a A b	26,06 a A
D	12,00 b A a	5,67 a A b	17,67 a A
Média	11,98	6,51	18,49
CV (%)	21,54	31,57	27,45

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e profundidade, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna comparam os tratamentos de preparo do solo na mesma profundidade e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(3)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha comparam as profundidades dentro do mesmo sistema de preparo do solo e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= Coeficiente de variação; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

No sistema convencional de preparo do solo, não houve diferença significativa no estoque de COT nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm entre os tratamentos de adubação avaliados (Tabela 3). Este fato deve-se

ao revolvimento do solo e à incorporação dos restos vegetais o que favorece a uniformização da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo tanto em superfície quanto nas camadas inferiores.

No sistema de preparo do solo em plantio direto, os tratamentos de adubação com composto de lixo urbano e dejetos suínos apresentaram teor de COT na camada de 0-5 cm significativamente maior que na camada de 5-10 cm de profundidade. Isso pode ter ocorrido devido à adição constante de resíduos e fertilizantes na superfície do solo, provocando a redução da taxa de decomposição da matéria orgânica e resultando em maior incremento de carbono em superfície. Comportamento semelhante foi encontrado por Conceição (2006) para o mesmo Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico, em estudo com diferentes sistemas de culturas e preparos do solo, e por Loss et al. (2009), em Argissolo Vermelho Amarelo, em estudo com diferentes sistemas de produção orgânica.

Entre os tratamentos de adubação, apenas no sistema de preparo do solo em plantio direto e na camada de 0-5 cm de profundidade o COT foi significativamente maior no composto de lixo urbano que nos demais tratamentos (Tabela 3). No entanto, houve uma tendência de teores de COT mais elevados nos tratamentos com adubação orgânica em ambos os sistemas de preparo do solo, em relação à adubação mineral e à testemunha. Este fato deve-se aos teores de carbono presente nestes resíduos (Tabela 1), o que proporciona melhor incremento no estoque de COT no solo.

Verifica-se, portanto, que o teor de COT no solo pode ser alterado por efeito do sistema de preparo do solo e pelo tipo de adubação realizada, variando em relação à profundidade do solo. A adição de resíduos orgânicos ao solo via adubação orgânica promove, em conjunto com o sistema de preparo do solo, efeito condicionador e pode ser utilizada como uma alternativa de manejo para melhorar a qualidade do solo.

### 4.3.2. Agregação do solo

Os agregados nas classes de diâmetros superior a 2 mm foram significativamente maiores no sistema de preparo do solo em plantio direto quando comparado ao sistema de preparo convencional (Figura 2). O não revolvimento do solo favorece a presença de agregados de maior diâmetro.

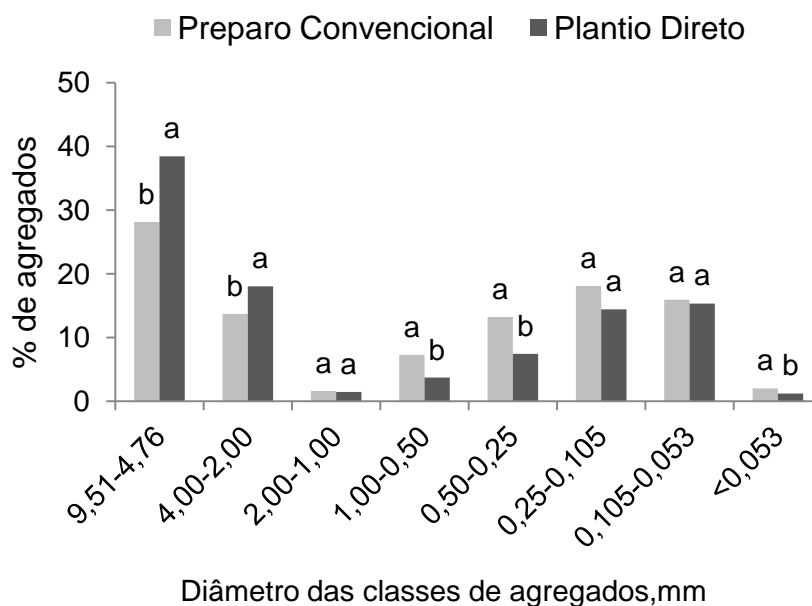


Figura 2: Valores médios da distribuição de porcentagem da massa de agregados do solo estáveis em água por classe de diâmetro nos diferentes tratamentos de preparo do solo e na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas por mesma letra minúscula comparam a distribuição da massa de agregados dentro da mesma classe de diâmetro entre os diferentes tratamentos de preparo do solo, não diferindo significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de três repetições

Nos tratamentos de adubação, a distribuição de massa de agregados por classe de diâmetro de agregados apresentou diferenças apenas na classe de 9,51-4,76 mm (Figura 3). Nessa classe, a adubação com composto de lixo urbano apresentou massa de agregados significativamente maior que no tratamento testemunha, não diferindo das demais adubações.

Para facilitar a discussão e a visualização do efeito das diferentes adubações e preparos do solo, separou-se os agregados em duas classes, uma de microagregados (<0,250 mm) e outra de macroagregados (>0,250 mm).

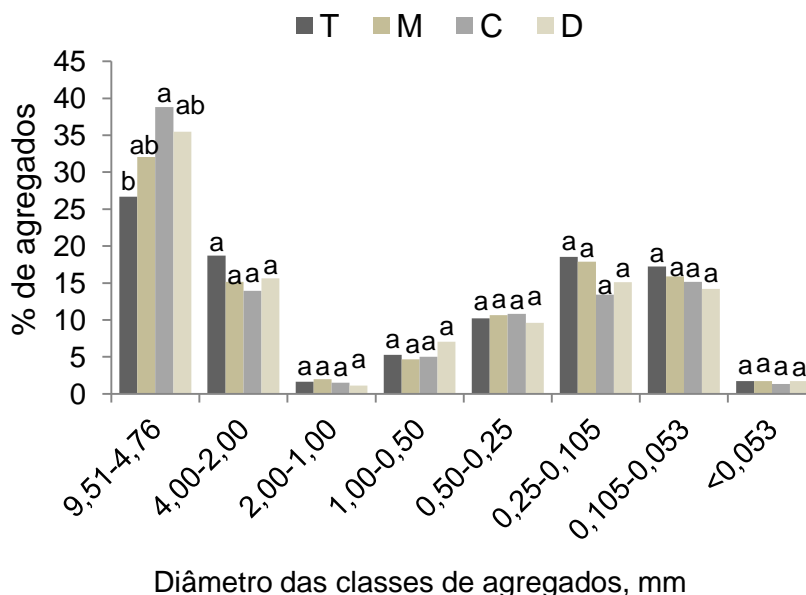


Figura 3: Valores médios da distribuição de porcentagem da massa de agregados do solo estáveis em água por classe de diâmetro nos diferentes tratamentos de adubação orgânica e mineral na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas por mesma letra minúscula comparam a distribuição da massa de agregados dentro da mesma classe de diâmetro entre os diferentes tratamentos de adubações, não diferindo significativamente pelo teste de Tukey a 5%. T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos. Cada valor é uma média de três repetições

Na distribuição da porcentagem de macroagregados e microagregados não ocorreram diferenças estatisticamente significativas. No entanto, verificou-se a tendência de maior macroagregados nos tratamentos com adubação orgânica quando comparado ao tratamento testemunha e com adubação mineral, tanto no sistema no preparo convencional quanto no plantio direto (Figura 4).

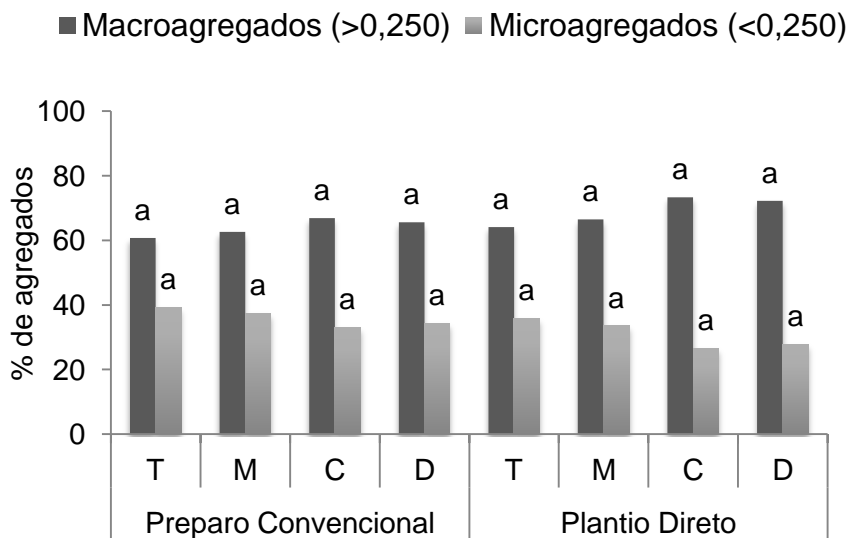


Figura 4: Valores médios da distribuição da porcentagem da massa de agregados de solo estáveis em água nas classes > 0, 250 e <0, 250 mm nos diferentes tratamentos de preparo do solo e de adubação na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas por mesma letra minúscula comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo tratamento de preparo do solo, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos. Cada valor é uma média de três repetições

No sistema de plantio direto, a adubação com composto de lixo urbano e dejetos de suínos apresentaram aproximadamente 70% de massa de agregados distribuídas nos diâmetros superiores a 0, 250 mm (Figura 4). Isso mostra que, além do sistema de preparo, também as adubações podem beneficiar a formação e a manutenção de macroagregados (> de 0,250 mm), resultado do incremento de carbono no solo (Tabela 3).

Com o incremento de matéria orgânica no solo via adição de resíduos vegetais ou orgânicos, ocorre o aumento no fluxo de energia e matéria do sistema. Assim, as estruturas menores presentes no solo (microagregados), organizam-se em estruturas maiores, complexas e organizadas, que são os macroagregados do solo, os quais contêm alta

quantidade de energia e matéria retidas na forma de compostos orgânicos do solo. A formação de macroagregados no solo é devida à ação de raízes e hifas de fungos que entrelaçam os microagregados formando estruturas maiores. Estes agentes são caracterizados como temporários, por isso os macroagregados do solo são mais suscetíveis a ação dos sistemas de preparo do solo (Mieniczuck et al., 2003). A manutenção de macroagregados evidencia a melhoria da estrutura do solo resultante da estabilização do sistema, refletindo na qualidade e no aumento da proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados.

Nas adubações com composto de lixo urbano e dejetos de suínos, o sistema de preparo do solo em plantio direto apresentou diâmetro médio ponderado dos agregados a úmido superior ao preparo convencional. Quando comparadas as adubações dentro de cada sistema de preparo do solo, não ocorreram diferenças significativas entre elas (Tabela 4).

Tabela 4: Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) e diâmetro médio ponderado seco (DMPs) e índice de estabilidade de agregados (IEA) sob diferentes sistemas de preparo do solo e de adubação na profundidade de 0-5 cm. Cada valor é uma média de três repetições

Adubação	Preparo Convencional			Plantio Direto		
	DMPu	DMPs	IEA	DMPu	DMPs	IEA
	-----mm-----			-----mm-----		
T	2,48 a A	3,88 a A	0,64 a A	2,89 a A	3,78 a A	0,77 a A
M	2,48 a A	3,93 a A	0,66 a A	3,34 a A	4,19 a A	0,80 a A
C	2,87 a B	3,96 a A	0,73 a A	3,89 a A	4,42 a A	0,88 a A
D	2,67 a B	3,83 a A	0,71 a A	3,74 a A	4,42 a A	0,84 a A
CV(%)	13,27	11,58	21,36	18,04	12,85	11,25

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro no mesmo tratamento de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha comparam os tratamentos de preparo do solo dentro do mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

O índice de estabilidade de agregados (IEA) indica a relação existente entre a agregação quando o solo úmido e a resistência destes quando submetidos ao peneiramento a seco. Este índice, quando obtidos valores próximos a 1 (um), é indicativo de solos bem agregados e que estes possuem alta estabilidade quando úmidos (Conceição, 2006).

O diâmetro médio ponderado dos agregados a seco não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos de preparo do solo e entre os tratamentos de adubação (Tabela 4). Na média geral dos tratamentos de adubação e dos sistemas de preparo do solo, também não ocorreram diferenças significativas (Figuras 5 e 6).

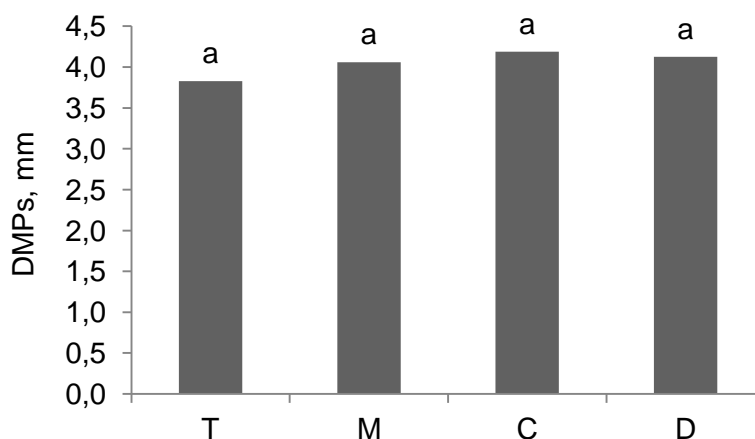


Figura 5: Valores médios do diâmetro médio ponderado seco (DMPs) nos diferentes tratamentos de adubação na profundidade de 0-5 cm. T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de seis repetições.

O mesmo comportamento ocorreu quando comparado os tratamentos de adubação independente do sistema de preparo do solo, onde os tratamentos com adubação orgânica apresentaram a tendência de obter melhor índice de estabilização dos agregados quando comparados ao tratamento de adubação mineral e ao tratamento testemunha.

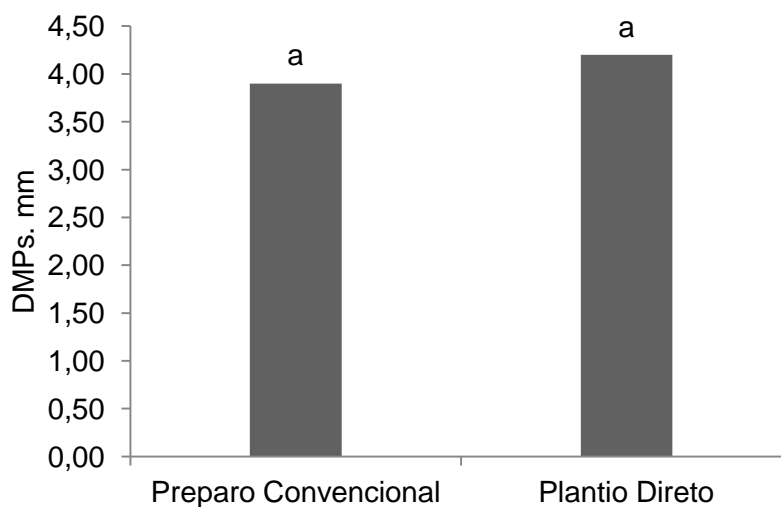


Figura 6: Valores médios do diâmetro médio ponderado seco (DMPs) nos diferentes sistemas de preparo do solo na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de doze repetições.

Tanto nos diferentes tratamentos de preparo do solo, como nos tratamentos de adubação e nas médias gerais, os valores do índice de estabilidade de agregados não diferiram significativamente entre si como pode ser observado na Tabela 4 e nas Figuras 7 e 8. Contudo, observou-se que ocorre a tendência do IEA ser superior no sistema de preparo do solo em plantio direto, quando comparado ao sistema de preparo convencional.

Estes resultados refletem a importância tanto dos sistemas de preparo do solo quanto da adição constante de resíduos vegetais e orgânicos no solo, para a manutenção dos teores de carbono orgânico no solo. Indicam a importância da matéria orgânica em solos onde esta é o principal agente estabilizante dos agregados do solo melhorando a estrutura e propiciando uma melhor agregação do solo.



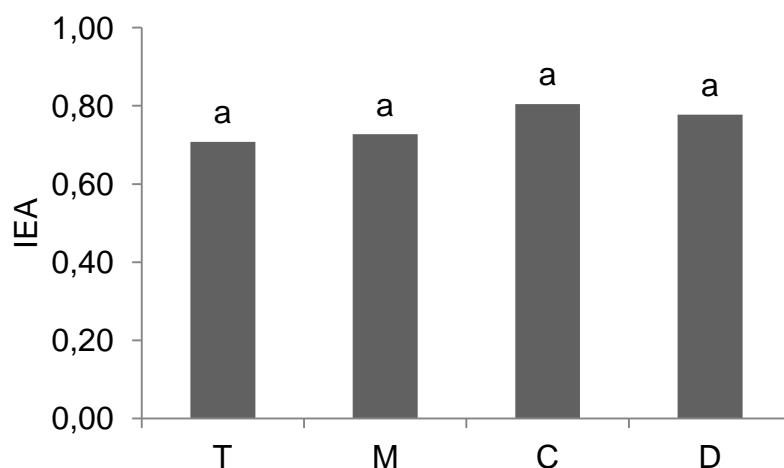


Figura 7: Índice de estabilidade de agregados (IEA) nos diferentes tratamentos de adubação na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos. Cada valor é uma média de seis repetições

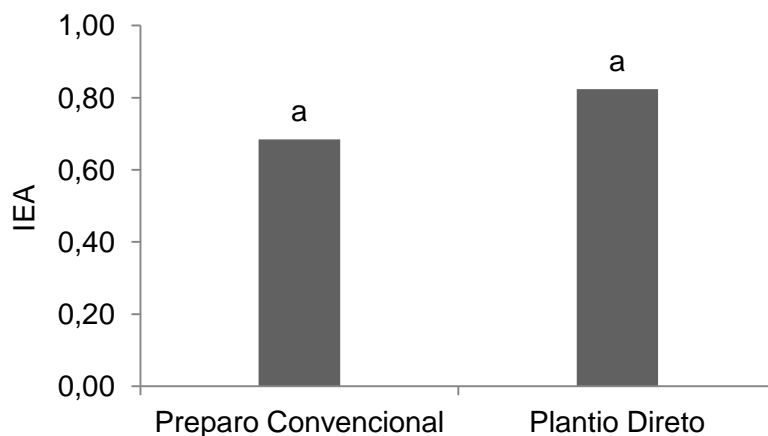


Figura 8: Índice de estabilidade de agregados (IEA) nos diferentes tratamentos de sistemas de preparo do solo na profundidade de 0-5 cm. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de doze repetições

### **4.3.3. Fracionamento físico da matéria orgânica**

#### **4.3.3.1. Fracionamento granulométrico**

O estoque de carbono orgânico particulado (COP) é superior no solo em plantio direto na camada de 0-5 cm de profundidade quando comparado ao preparo convencional. Comportamento contrário é observado na camada de 5-10 cm, onde no preparo convencional houve maior acúmulo de COP quando comparado ao plantio direto (tabela 5). No entanto, diferença significativa ocorreu apenas com o composto de lixo urbano na camada de 0-5 cm, cujo COP foi maior no plantio direto do que no preparo convencional (Tabela 5).

Este comportamento é consequência do acúmulo de resíduos em superfície no sistema de plantio direto, aumentando os teores de COP na camada superficial. No sistema de preparo convencional, com o revolvimento e incorporação dos resíduos vegetais, ocorre maior taxa de decomposição da matéria orgânica na camada superficial, com o possível incremento de carbono orgânico particulado em profundidade.

Quando comparado os tratamentos dentro do mesmo sistema de preparo do solo, observou-se que apenas o composto de lixo urbano diferiu das demais adubações, proporcionando maior estoque de COP no sistema de preparo convencional na camada de 5-10 cm e no sistema de plantio direto na camada de 0-5 cm de profundidade.

Os resultados encontrados neste estudo demonstram que a variação da fração COP entre os diferentes sistemas de preparo é dependente da manutenção constante de resíduos vegetais e do efeito condicionador dos tratamentos aplicados. Resultados semelhantes também foram obtidos por Loss et al. (2009), em estudo com diferentes sistemas de manejo em sistemas de produção orgânica.

Tabela 5: Estoque de carbono orgânico particulado (COP) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 0-10 cm em diferentes sistemas de preparo do solo e adubação. Cada valor é uma média de três repetições

Adubação	Carbono orgânico particulado		
	0-5 cm	5-10 cm	Total 0-10 cm
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
-----Preparo Convencional-----			
T	0,51 a <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	0,84 b A a	1,35 b A
M	0,69 a A a	1,35 b A a	2,04 ab A
C	1,72 a B a	3,68 a A a	5,40 a B
D	0,88 a A a	1,51 b A a	2,39 ab A
Média	0,95	1,85	2,80
CV(%)	55,06	70,00	16,11
-----Plantio Direto-----			
T	1,06 b <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	0,57 a A a	1,63 b A
M	1,39 b A a	1,09 a A a	2,48 b A
C	6,77 a A a	1,47 a A b	8,24 a A
D	1,54 b A a	0,80 a A a	2,34 b A
Média	2,69	0,98	3,67
CV(%)	86,08	57,11	78,93

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e profundidade, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna comparam os tratamentos de preparo do solo na mesma profundidade e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(3)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha comparam as profundidades dentro do mesmo sistema de preparo do solo e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

A utilização de práticas alternativas, como o uso de adubos orgânicos, pode acarretar em favorecimento de maior incremento de carbono nos sistemas, influenciando na manutenção da fração COP. O aumento desta fração no solo pela adição de fertilizantes orgânicos possivelmente pode ter contribuído para o aumento da atividade biológica do solo. A liberação de seus compostos metabólicos, principalmente polissacarídeos, favorece o aumento da estabilização dos agregados no solo, influenciando na melhoria do desenvolvimento radicular da cultura do milho, beneficiando a

formação de macroagregados (figura 4), o que conseqüentemente contribui para a melhoria da qualidade do solo.

Devido à maior sensibilidade do COP às práticas de preparo e manejo do solo, esta fração pode funcionar como indicadora da qualidade do solo. Assim, quanto maior a fração COP mais estável estará o sistema, refletindo na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Conceição, 2006).

Na tabela 6, observa-se maior estoque de carbono associado aos minerais (CAM) em relação ao carbono orgânico particulado (COP) (tabela 5) em todos os tratamentos nas profundidades avaliadas.

O carbono orgânico associado aos minerais (CAM), geralmente, é a fração menos afetada pelas alterações de preparo e manejo, devido à forte interação com os minerais do solo e sua proteção física no interior dos agregados, dificultando a ação decompositora da fauna microbiana do solo.

De maneira geral, observa-se nas Tabelas 5 e 6, que tanto a redução da mobilização do solo pelos preparos quanto a utilização de adubos orgânicos, propiciaram o incremento dos teores de C na fração particulada e na fração associada aos minerais.

Em relação ao CAM observou-se diferença significativa apenas entre os preparos do solo no tratamento com adubação de dejetos de suínos na camada de 0-5 cm onde foi maior no preparo do solo em plantio direto do que no preparo convencional (Tabela 6). Nos demais tratamentos de adubação, constatou-se a mesma tendência, porém sem diferenças significativas. Possivelmente essa tendência se deva à aplicação dos adubos em superfície no plantio direto.

Tabela 6: Estoque de carbono orgânico associado aos minerais (CAM) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 0-10 cm em diferentes sistemas de preparo do solo e adubação. Cada valor é uma média de três repetições

Adubação	Carbono orgânico associado aos minerais		
	0-5 cm	5-10 cm	Total 0-10 cm
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
----- Preparo Convencional -----			
T	5,92 a <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	5,52 a A a	11,44 a A
M	6,14 a A a	6,76 a A a	12,90 a A
C	7,94 a A a	7,32 a A a	15,26 a A
D	6,52 a B a	5,70 a A a	12,22 a A
Média	6,63	6,33	12,96
CV(%)	18,73	17,43	17,56
----- Plantio Direto -----			
T	7,70 a <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	4,66 a A a	12,36 b A
M	8,54 a A a	5,22 a A a	13,76 ab A
C	10,46 a A a	7,36 a A a	21,82 a A
D	9,46 a A a	4,87 a A b	14,33 ab A
Média	9,04	5,53	14,57
CV(%)	30,67	29,13	19,05

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e profundidade, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna comparam os tratamentos de preparo do solo na mesma profundidade e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(3)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha comparam as profundidades dentro do mesmo sistema de preparo do solo e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação ; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

#### 4.3.3.2. Fracionamento densimétrico

Apenas na adubação com composto de lixo urbano os estoques de carbono nas frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) foram maiores em relação ao preparo convencional. A fração pesada (FP) foi maior no preparo do solo em plantio direto do que no preparo convencional apenas na adubação com dejetos de suínos (Figura 9). Estes resultados são coerentes, pois no plantio direto há uma maior manutenção de resíduos no solo conduzindo ao maior acúmulo de carbono.

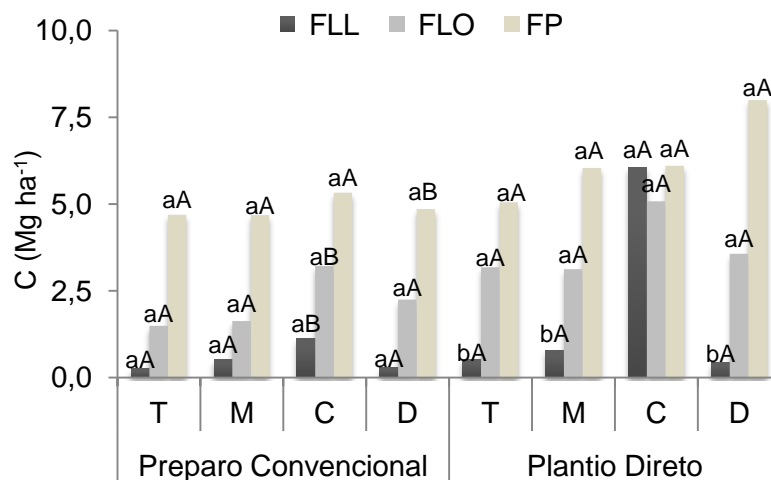


Figura 9: Estoques de C (Mg ha<sup>-1</sup>) nas frações densimétricas nos diferentes sistemas de preparo do solo e adubações na camada de 0-5 cm de profundidade. Médias seguidas pela mesma letra minúscula comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula comparam tratamentos de sistemas de preparo do solo no mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos; FLL= fração leve livre; FLO= fração leve oclusa; FP= fração pesada. Cada valor é uma média de três repetições

Em relação aos tratamentos de adubação, comparando-os dentro do mesmo sistema de preparo do solo, apenas na FLL no sistema de preparo do solo em plantio direto pode-se observar diferenças significativas entre as adubações. O tratamento com composto de lixo foi o que apresentou melhor resposta quanto ao acúmulo na fração leve livre (FLL) (Figura 9).

Referente à fração leve oclusa (FLO) e à fração pesada (FP), não ocorreram diferenças significativas entre as adubações. No entanto, observou-se que tanto no sistema de preparo convencional quanto no plantio direto os tratamentos com adubação orgânica favoreceram o maior acúmulo de carbono em todas as frações densimétricas (Figura 9).

Entretanto, as diferenças observadas na FLO e na FP não foram estatisticamente significativas.

No geral, pode-se verificar que os estoques de carbono na FLL foram influenciados tanto pelo sistema de preparo do solo quanto pelas adubações. E nas frações FLO e FP apenas o sistema de preparo influenciou no acúmulo de carbono nestas frações

Os valores obtidos são coerentes com outros estudos realizados em sistemas com uso de adubação orgânica. Leite et al.(2003), em experimento realizado sob floresta e com cultivo de milho em um Argissolo Vermelho Amarelo, comparando o uso de adubação mineral e orgânica, relatou valores semelhantes ao obtido neste estudo, referentes aos teores de COT e de C na fração leve livre.

A FP é a fração mais estável no solo e representou o maior valor absoluto nos estoques de carbono acumulado no solo. Este fato deve-se à forte interação desta fração com as partículas minerais do solo e sua dinâmica é influenciada pela estabilidade dos complexos organominerais formados (Tomazi, 2008).

As frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO) são as frações mais lábeis da matéria orgânica e suscetíveis às alterações pelos sistemas de manejo. Dessas, a FLL, também conhecida como fração inter agregados, é a mais suscetível aos processos de decomposição devido a sua exposição na superfície dos agregados. Por isso, o acúmulo de carbono nesta fração é menor que nas FLO e FP.

A FLO, também conhecida como a fração intra agregados, é a mais protegida devido o seu armazenamento ocorrer no interior dos agregados. Por isso, a FLO é a que permanece por mais tempo no solo.

Devido à relação entre a matéria orgânica e a agregação do solo, o incremento de C no solo pela redução na intensidade de preparo e pela adição de resíduos orgânicos, favorece uma melhor agregação do solo

com a formação de macroagregados aumentando o acúmulo de C nas frações FLL e FLO e, por consequência, melhorando a estabilidade dos agregados e assim beneficiando as propriedades secundárias à agregação, como porosidade, e infiltração de água no solo, e maior resistência à erosão.



#### 4.4. CONCLUSÕES

- Tanto os sistemas de preparo do solo quanto às adubações e as profundidades avaliadas influenciaram no acúmulo de carbono orgânico total (COT) no solo. No sistema de preparo do solo em plantio direto, os tratamentos de adubação orgânica com composto de lixo urbano e dejetos de suínos favoreceram o maior acúmulo de COT no solo na camada de 0 – 5 cm de profundidade.

- O preparo do solo em plantio direto e a adubação orgânica com composto de lixo e dejetos de suínos proporcionaram maior estabilidade dos agregados estáveis em água.

- Tanto os sistemas de preparo do solo quanto as adubações e as profundidades avaliadas influenciaram no fracionamento granulométrico da matéria orgânica. A adubação com composto de lixo urbano favoreceu o maior acúmulo de carbono orgânico total (COT) e a adubação com dejetos de suínos, de carbono associado a minerais (CAM), na camada de 0-5 cm de profundidade, no sistema de preparo do solo em plantio direto.

- O acúmulo de carbono nas frações leve e livre (FLL) é influenciado tanto pelo sistema de preparo do solo quanto pela adubação. O sistema de plantio direto e a adubação com composto de lixo urbano foram os tratamentos que favoreceram o maior incremento de carbono no solo na FLL.

- As frações FLO e FP não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, mas pode-se observar a tendência do sistema de preparo do solo em plantio direto e das adubações orgânicas propiciarem maior incremento de carbono no solo nestas frações.

## **5. ESTUDO II: PERDAS POR EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E FONTES DE ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL SOB CHUVA SIMULADA**

### **5.1. Introdução**

O processo de erosão hídrica do solo é uma das principais formas de degradação dos solos agrícolas, ocorrendo com maior expressividade em regiões de altos índices pluviométricos, quando associado a áreas de declividade acentuada e solos de baixa resistência e sem cobertura vegetal.

Os principais agentes do processo de erosão hídrica são a energia cinética do impacto das gotas de chuva na superfície do solo e a energia cinética cisalhante do escoamento superficial (Denardin et al., 2005).

Sistemas de manejo conservacionistas são utilizados para reduzir a acelerada degradação dos solos agrícolas pelo processo de erosão do solo. O mínimo revolvimento do solo e o efeito protetor dos restos culturais na superfície do solo presentes no sistema de preparo em plantio direto são de extrema importância para o controle das perdas de solo por erosão. Os resíduos culturais atuam na dissipação da energia cinética das gotas de chuva na superfície, evitando a desagregação das partículas de solo e o selamento da superfície, reduzindo as perdas de solo, favorecendo a infiltração de água no solo e, em consequência, diminuindo o escoamento superficial.

Porém, em eventos de chuvas intensas tem se constatado que a eficiência do sistema de plantio direto no controle das perdas de solo por erosão não tem sido a mesma no controle do escoamento superficial, podendo apresentar perdas semelhantes às obtidas no sistema de preparo convencional (Fonseca & Cassol, 2002). Isso pode resultar em perdas significativas de água que sai da lavoura, transportando nutrientes e

sedimentos e ocasionando contaminação dos recursos hídricos (Denardin et al., 2005).

O uso de adubos orgânicos ou minerais quando associados a sistemas conservacionistas de preparo do solo, pode potencializar o aumento dos teores de matéria orgânica no solo. Isso pode ocasionar maior estabilização dos agregados, melhorando a estrutura e a resistência do solo aos agentes erosivos (Costa et al.,2004).

Apesar dos efeitos benéficos da aplicação de resíduos orgânicos ao solo, nas áreas sob plantio direto, onde a aplicação é realizada em superfície, a médio e longo prazo, pode haver o acúmulo de nutrientes na camada superficial. Isso pode acarretar em perdas por escoamento superficial, podendo o uso destes representar uma fonte potencial de poluição do solo e da água (Bertol et al.,2010).

Este estudo teve por objetivo verificar a influência dos diferentes sistemas de preparo do solo do solo e de adubação mineral e orgânica nas perdas totais de solo, água e nutrientes por escoamento superficial e erosão hídrica do solo.

## 5.2. Materiais e métodos

### 5.2.1. Caracterização do experimento

O estudo foi realizado em experimento na Estação Experimental Agronômica (EEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), situada no município de Eldorado do Sul – RS. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi instalado em 2004 em área que apresentava histórico de uso anterior com cinco anos em sistema de manejo sob plantio direto (Fonseca, 2006).

Os resultados do presente trabalho correspondem ao período experimental de 2009/2010 referente ao sexto ciclo de culturas.

As parcelas experimentais foram construídas no sentido do declive com declividade média de 0,081 m m<sup>-1</sup>, e área útil de 8 m<sup>2</sup> (0,8 m de largura x 10 m de comprimento). De 2004 a 2010 conduziu-se o experimento utilizando-se o sistema de sucessão de culturas: aveia preta (*Avena strigosa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*) durante o inverno e milho (*Zea mays sp.*) no verão. As culturas de inverno foram sempre implantadas sem preparo do solo, enquanto que a cultura do milho era estabelecida em diferentes sistemas de preparo do solo e com distintas adubações.

O experimento consistiu em dois sistemas de preparo do solo: preparo convencional (PC) e Plantio direto (PD).

Em cada sistema de preparo do solo foram aplicadas quatro formas de adubação: T = Sem adubação (tratamento testemunha); M= Adubação mineral; C= Adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= Adubação orgânica com dejetos de suínos.

A área experimental foi conduzida durante cinco anos com os mesmos sistemas de manejo e adubação.

Ao implantar a cultura do milho no sexto ano do experimento, o solo apresentava as características químicas, na camada de 0-5 cm, apresentadas na tabela 7.

Tabela 7: Características químicas da camada superficial (0-5 cm), após cinco anos de experimento com sucessivas aplicações de fertilizantes orgânicos e minerais em dois sistemas de preparo do solo

Adubações	Características químicas avaliadas					
	M.O (%)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg	pH (H <sub>2</sub> O)
----- Preparo convencional -----						
T	2,1	5,2	268,0	2,8	1,8	5,8
M	1,9	30,3	304,0	3,0	1,3	5,5
C	3,4	64,3	292,3	5,9	2,2	6,5
D	2,9	90,7	358,3	3,1	2,4	6,0
----- Plantio Direto -----						
T	2,4	6,9	230,7	2,9	1,7	5,7
M	2,6	24,0	277,5	2,6	1,5	5,5
C	3,3	93,0	254,3	7,4	2,4	6,6
D	2,5	92,0	243,0	3,7	2,5	5,8

T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos; M.O = Matéria orgânica; P= Fósforo; K= Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio.

Na semeadura da cultura do milho, realizou-se o preparo das parcelas experimentais e a aplicação dos adubos. No sistema em plantio direto, os adubos foram aplicados a lanço na superfície do solo. No sistema em preparo convencional, os adubos foram incorporados ao solo com auxílio de um escarificador de hastes, seguido de revolvimento manual do solo.

As doses adicionadas de cada adubo foram calculadas conforme as recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQF-RS/SC, 2004) para o rendimento de oito toneladas por hectare para a cultura do milho. As doses dos adubos orgânicos foram calculadas para atingir o nível de nitrogênio de acordo com as exigências da cultura do milho.

Quarenta e cinco dias após a aplicação dos adubos e semeadura da cultura do milho aplicou-se chuva simulada utilizando-se simulador de chuvas de braços rotativos, descrito e calibrado por Cassol & Guerra (1978). A chuva simulada foi aplicada com tempo de duração de 90 minutos e intensidade programada de  $120 \text{ mm h}^{-1}$ . Da semeadura da cultura do milho até a realização da chuva simulada ocorreu chuva natural totalizando um volume de 351 mm. A distribuição das chuvas naturais ocorridas e os demais dados meteorológicos correspondentes ao período podem ser observados no anexo cinco.

### **5.2.2. Determinação da umidade gravimétrica no solo**

Imediatamente antes do início da aplicação da chuva simulada, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm com auxílio de trado calador, para determinação da umidade gravimétrica do solo. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio com peso conhecido, lacradas, identificadas e levadas para laboratório, onde foram pesadas antes e depois de secas em estufa a  $105^{\circ}$ - $110^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas conforme EMBRAPA (1997).

### **5.2.3. Determinação das taxas de escoamento superficial e infiltração de água no solo e das perdas de solo e água**

Após o início do escoamento, coletou-se amostras a cada três minutos até o final da chuva, para a determinação das taxas de escoamento superficial e as perdas totais de água e solo. As amostras foram coletadas em potes plásticos identificados, com capacidade de um litro, durante um período de tempo cronometrado, variando conforme o volume escoado.

As amostras foram levadas para laboratório onde procedeu-se a pesagem antes e depois de secas em estufa a  $50^{\circ}\text{C}$ , determinado-se a concentração de sedimentos no escoamento e o volume de água escoado por unidade de tempo.

Com a obtenção dos dados de laboratório, procederam-se os cálculos para determinação das taxas de enxurrada e as perdas totais de solo e água por erosão hídrica. Utilizou-se o programa computacional PDEROSÃO, desenvolvido pelo professor Elemar Antonino Cassol, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia-UFRGS.

Os valores obtidos de taxa de enxurrada e perdas de solo e água foram ajustados devido à variação existente de declividade das parcelas experimentais e a variação observada na taxa de chuva aplicada. Os dados foram ajustados para declividade média de  $0,081 \text{ m m}^{-1}$  e intensidade de chuva de  $120 \text{ mm h}^{-1}$ , de acordo com Cassol et al.(1999).

As taxas de infiltração de água no solo foram determinadas por diferença entre a taxa de chuva aplicada e a taxa de escoamento superficial. Para tanto se admitiu como desprezível as taxas de evaporação e de interceptação da água aplicada pela chuva simulada.

#### **5.2.4. Determinação do coeficiente de enxurrada**

Os coeficientes de enxurrada foram determinados considerando a média dos últimos cinco valores observados das taxas de escoamento superficial, obtidos nas curvas de escoamento. Após este procedimento dividiu-se a média pelo valor da taxa de chuva aplicada de  $120 \text{ mm h}^{-1}$ .

#### **5.2.5. Determinação das perdas de nutrientes por escoamento superficial**

Para a determinação das concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio disponíveis no escoamento superficial, amostras foram coletadas de três em três minutos e acumuladas por períodos de quinze minutos em recipientes plásticos, de onde se retirou uma amostra composta e armazenadas em frascos de vidro com capacidade para 200 mL.

Para as análises de nitrogênio, retirou-se uma alíquota de 50 mL da amostra composta coletada de escoamento superficial. Esta foi colocada

em frasco contendo 3,7 g de reagente cloreto de potássio em pó. Este procedimento foi realizado com a finalidade de se obter na solução da amostra coletada uma concentração correspondente a  $1 \text{ mol L}^{-1}$  de KCl. As amostras foram armazenadas em caixas de isopor com gelo e em seguida transportadas para o laboratório. Todas as determinações de nutrientes no escoamento foram realizadas conforme a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

As perdas totais de nutrientes no escoamento foram calculadas multiplicando a concentração média de cada nutriente obtida, pelo volume total de escoamento gerado em cada tratamento de preparo do solo e adubação.

#### **5.2.6. Determinação do pH e da condutividade elétrica no escoamento superficial**

As análises de pH e condutividade elétrica foram realizadas nas mesmas amostras coletadas para a determinação de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no escoamento superficial e no mesmo dia de realização das coletas. As leituras de pH foram realizadas com potenciômetro com eletrodo de vidro. A condutividade elétrica foi determinada com condutivímetro, expressando-se os resultados em  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Ambos os aparelhos foram devidamente calibrados.

#### **5.2.7. Análises estatísticas**

As análises foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR, desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), MG. Foi aplicada a análise para delineamento de parcelas subdivididas, com quatro repetições, considerando o sistema de preparo do solo como parcela principal e as fontes de adubação como sub parcelas.

A comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5%.



### **5.3. Resultados e discussão**

#### **5.3.1. Umidade gravimétrica antecedente ao início da chuva simulada**

A umidade gravimétrica do solo imediatamente antes da aplicação da chuva simulada aos quarenta e cinco dias após a semeadura do milho, na camada de 0-10 cm de profundidade, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos de adubação no sistema convencional de preparo do solo. Já em plantio direto, a umidade gravimétrica foi significativamente maior com aplicação de composto de lixo urbano em relação às demais adubações (Tabela 8).

Quando comparado os tratamentos de adubação entre os sistemas de preparo do solo pode-se observar que na camada de 0-10 cm de profundidade, o sistema de preparo do solo em plantio direto apresentou valores superiores de umidade em relação ao preparo convencional no tratamento com composto de lixo urbano. Na profundidade de 0-20 cm, o mesmo preparo apresentou valores inferiores ao sistema de preparo convencional apenas no tratamento com dejetos de suínos (Tabela 8).

Em profundidade o sistema de preparo do solo em plantio direto apresentou teores de umidade gravimétrica superiores na camada de 0-10 cm quando comparado a camada de 10-20 cm em todos os tratamentos de adubação analisados. No preparo convencional, não ocorreram diferenças da umidade do solo em profundidade.

A maior umidade encontrada no sistema de preparo do solo em plantio direto pode estar relacionada com o efeito do aporte de resíduos em superfície, que permanecem após a colheita das culturas. Além dos restos vegetais, à própria cultura em desenvolvimento pode ter sido um fator de atenuação da amplitude térmica, evitando o aumentando da temperatura na superfície.

Tabela 8: Umidade gravimétrica do solo antecedente ao início da chuva simulada nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, nos diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. Cada valor é uma média de quatro repetições

Adubação	Umidade gravimétrica do solo		
	Preparo Convencional	Plantio Direto	Média
----- kg kg <sup>-1</sup> -----			
-----0-10 cm-----			
T	0,17 a <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	0,18 b A a	0,17
M	0,15 a B a	0,18 b A a	0,17
C	0,19 a B a	0,23 a A a	0,21
D	0,16 a A a	0,18 b A a	0,17
Média	0,17	0,19	0,18
CV(%)	11,64	16,75	15,94
-----10-20 cm-----			
T	0,17 a <sup>(1)</sup> A <sup>(2)</sup> a <sup>(3)</sup>	0,14 a B b	0,15
M	0,16 a A a	0,14 a B b	0,15
C	0,17 a A a	0,14 a B b	0,16
D	0,16 a A a	0,13 a B b	0,15
Média	0,17	0,14	0,15
CV(%)	7,06	7,27	12,24

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e profundidade, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna comparam os tratamentos de preparo do solo na mesma profundidade e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(3)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha comparam as profundidades dentro do mesmo sistema de preparo do solo e tratamento de adubação, não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Os resíduos vegetais além de atuarem como uma proteção física contra o processo erosivo ocasionado pelo impacto das gotas de chuva ao solo também possuem um importante papel para a manutenção da umidade do solo e redução da temperatura, evitando que ocorra perda de água do solo por evaporação, nos meses mais quentes do ano (Furlani et al., 2008), ocasião na qual realizou-se a chuva simulada.

### 5.3.2. escoamento superficial

#### 5.3.2.1. Tempo de início do escoamento superficial

Na média geral dos tempos de início do escoamento superficial, observou-se que não houve interação entre os sistemas de preparo do solo e as adubações avaliadas (Anexo 6). Apenas os tratamentos de adubação apresentaram influência no tempo de início do escoamento superficial. Nos tratamentos com adubações orgânicas, independente do sistema de preparo do solo, o tempo para o início do escoamento superficial foi maior que nos tratamentos sem adubação e com adubação mineral (Figura 10).

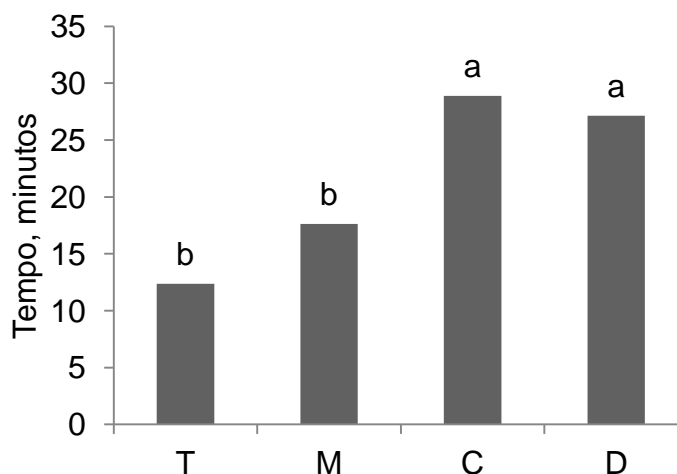


Figura 10: Tempo de início do escoamento superficial nos diferentes tratamentos de adubação orgânica e mineral. T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos. Médias seguidas por mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de oito repetições

Além do efeito das adubações em si, possivelmente um dos motivos para o retardamento do início do escoamento superficial pode estar associado a influência da cobertura da cultura devido ao estágio de desenvolvimento vegetativo da cultura (Figura 11). Aos 45 dias após a

semeadura, a cobertura do solo pelo dossel da cultura do milho, pode ter exercido influência maior que o próprio sistema de preparo do solo.

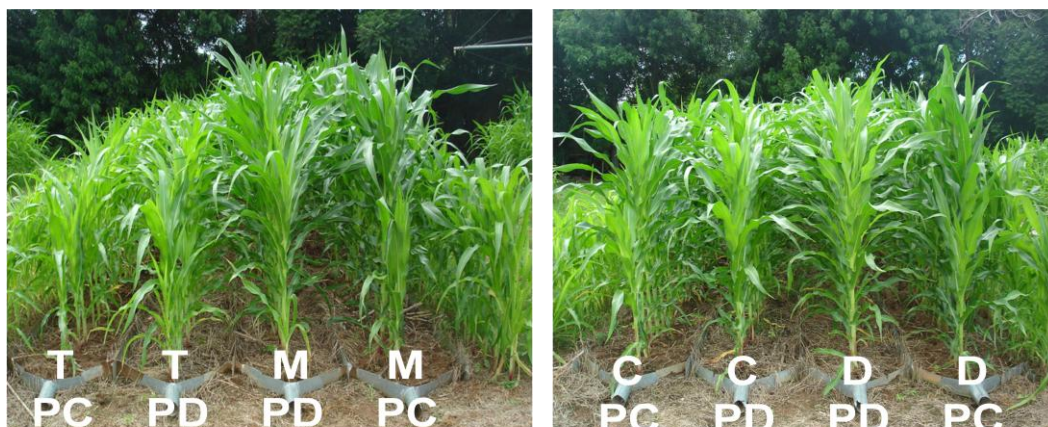


Figura 11: Desenvolvimento da cultura do milho aos quarenta e cinco dias após a semeadura nos diferentes tratamentos de adubações e sistemas de preparo do solo. T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos; PC= preparo convencional; PD= plantio direto.

Entre os sistemas de preparo do solo convencional e em plantio direto, na média geral, não ocorreram diferenças significativas no tempo de início do escoamento superficial (Figura 12).

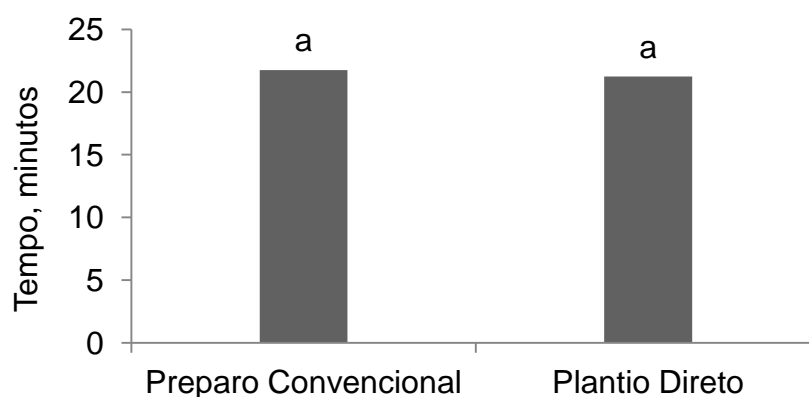


Figura 12: Tempo de início do escoamento superficial nos diferentes tratamentos de sistemas de preparo do solo. Médias seguidas por mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de dezesseis repetições

Isso pressupõe que, independentemente do preparo do solo e das condições de superfície, quando há ocorrência de eventos de precipitações de alta intensidade os sistemas de preparo do solo apresentam tempos semelhantes de início do escoamento superficial, não diferindo entre si.

### 5.3.2.2. Taxas de escoamento superficial e de infiltração de água no solo

A taxa de escoamento superficial observada é superior no sistema de preparo do solo em plantio direto quando comparada ao sistema de preparo do solo convencional (Figura 13). A maior taxa de escoamento observado neste experimento no sistema de preparo em plantio direto pode ser atribuída ao menor tempo de início do escoamento superficial, da maior umidade e do adensamento da camada superficial (Anexo 7).

Assim, a taxa de infiltração de água no solo foi menor no sistema de preparo em plantio direto, quando comparado ao preparo convencional (Figura 14), o que pode resultar em maior perda de água por escoamento superficial.

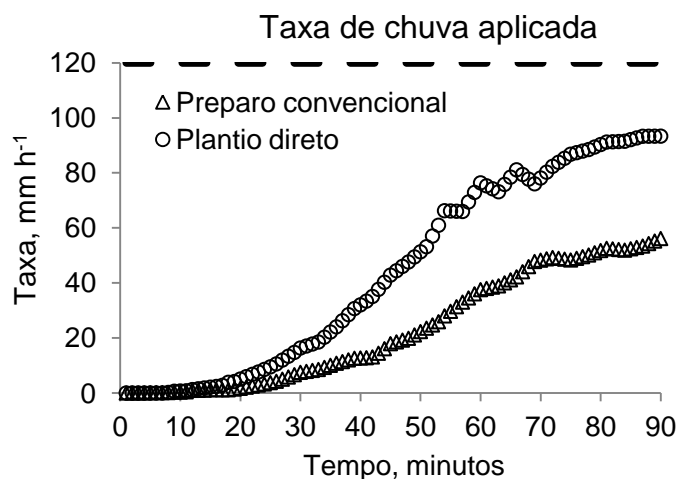


Figura 13: Taxa de escoamento superficial de água no solo nos tratamentos de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de 120 mm h<sup>-1</sup> e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de dezesseis repetições

Comportamento semelhante aos resultados obtidos neste estudo também foi observado por Cassol et al. (1999), em experimento com introdução de espécies melhoradoras da pastagem nativa em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico. Aos cinquenta e cinco dias após a semeadura das espécies melhoradoras, verificaram que as perdas de água no preparo convencional e no plantio direto foram semelhantes, não diferindo entre si. Porém, observaram uma tendência de maiores perdas de água no sistema de plantio direto. Fonseca (2001) determinou as taxas de infiltração e de escoamento superficial sob chuva simulada com intensidade de  $120 \text{ mm h}^{-1}$  e duração de 60 minutos em sistemas de preparo convencional e em plantio direto do solo, com diferentes rotações de culturas em um Latossolo Vermelho distrófico típico. Observou que em ambos os sistemas de preparo do solo não houve diferença entre as taxas de escoamento superficial e de infiltração de água no solo, podendo ambas ser semelhantes em condições de chuvas intensas, fortalecendo os resultados obtidos por Cassol et al. (1999) e os resultados do presente estudo.

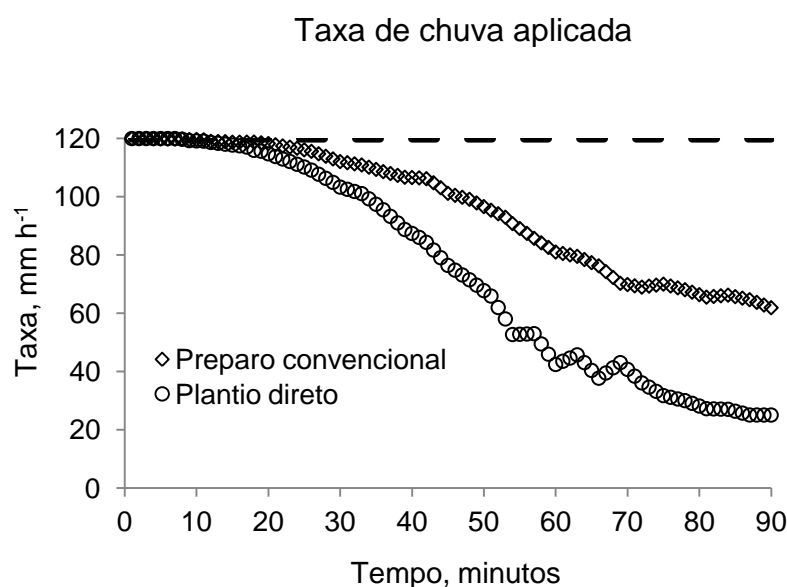


Figura 14: Taxa de infiltração de água no solo nos tratamentos de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de  $120 \text{ mm h}^{-1}$  e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de dezesseis repetições.

A menor taxa de escoamento superficial observada no preparo convencional pode estar relacionada ao efeito da maior rugosidade na superfície, detendo por mais tempo a água e favorecendo a infiltração de água no solo, assim como pela maior porosidade total proporcionada pelo preparo (Alves & Cabeda, 1999; Gilles et al., 2009).

Analisando separadamente cada um dos tratamentos de adubação, verificou-se que todas as taxas de escoamento superficial foram superiores no tratamento de preparo do solo em plantio direto quando comparados ao sistema de preparo convencional. O tratamento testemunha apresentou na média as maiores taxas de escoamento superficial (Figura 15) e as menores taxas de infiltração de água no solo (Figura 16). O tratamento com adubação mineral apresentou valores intermediários nas taxas de escoamento superficial (Figura 18) e de infiltração de água no solo (Figura 17), onde no plantio direto a taxa de escoamento superficial foi maior quando comparado ao preparo convencional.

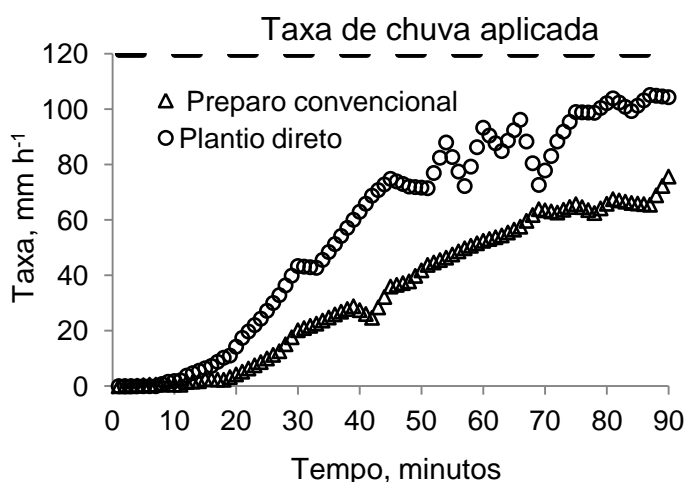


Figura 15: Taxa de escoamento superficial no tratamento testemunha (sem adubação) nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de 120 mm h<sup>-1</sup> e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições.

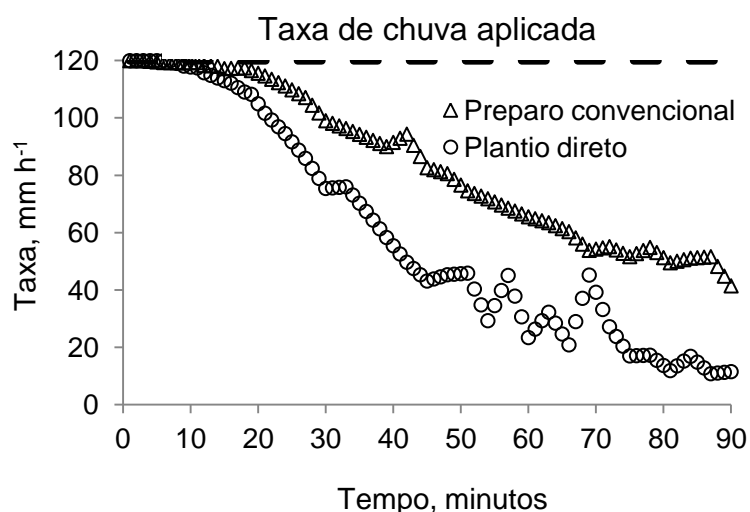


Figura 16: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento testemunha (sem adubação) nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de  $120 \text{ mm h}^{-1}$  e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições.

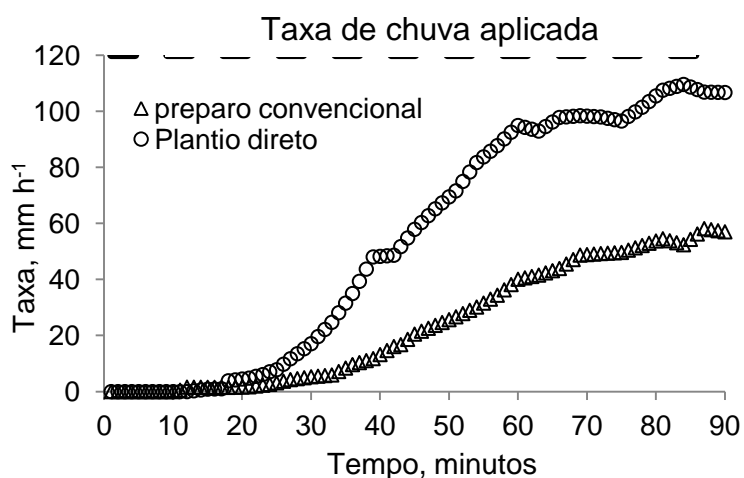


Figura 17: Taxa de escoamento superficial no tratamento com adubação mineral no sistema de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de  $120 \text{ mm h}^{-1}$  e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições



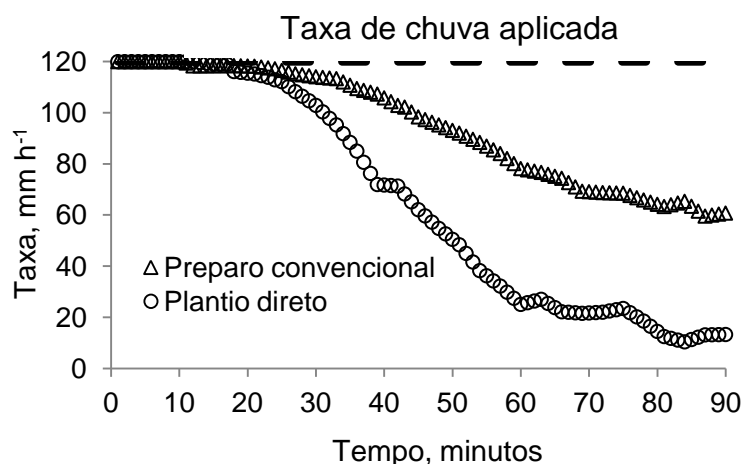


Figura 18: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento com adubação mineral nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de  $120 \text{ mm h}^{-1}$  e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições

As menores taxas de escoamento superficial foram observadas nos tratamentos com adubação orgânica (Figuras 19 e 21), tanto em preparo convencional quanto em plantio direto. Conseqüentemente, esses tratamentos apresentaram as maiores taxas de infiltração (Figuras 20 e 22). Tanto em relação ao escoamento superficial quanto em relação a infiltração de água no solo, as diferenças são mais acentuadas no tratamento de adubação com composto de lixo urbano (Figuras 19 e 20), quando comparado aos demais tratamentos. Este fato pode estar relacionado à melhoria da agregação e da estrutura do solo resultante do incremento de carbono orgânico, proporcionado pelas adubações orgânicas, devido ao alto teor de carbono presente nestes resíduos como se observou no estudo I. Isto, proporciona maiores taxas de infiltração de água no solo (Figuras 20 e 22), resultando em redução do escoamento superficial (Figuras 19 e 21).

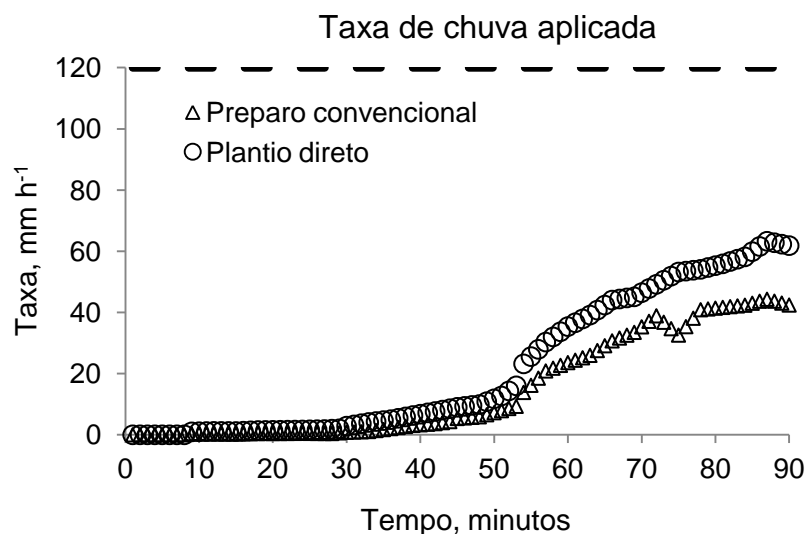


Figura 19: Taxa de escoamento superficial no tratamento de adubação orgânica com composto de lixo urbano nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de 120 mm h<sup>-1</sup> e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições

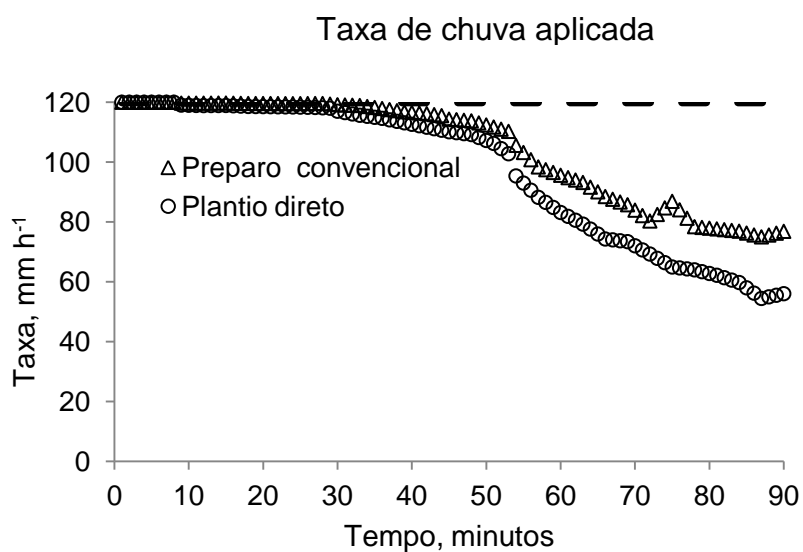


Figura 20: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento de adubação orgânica com composto de lixo urbano no sistema de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de 120 mm h<sup>-1</sup> e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições

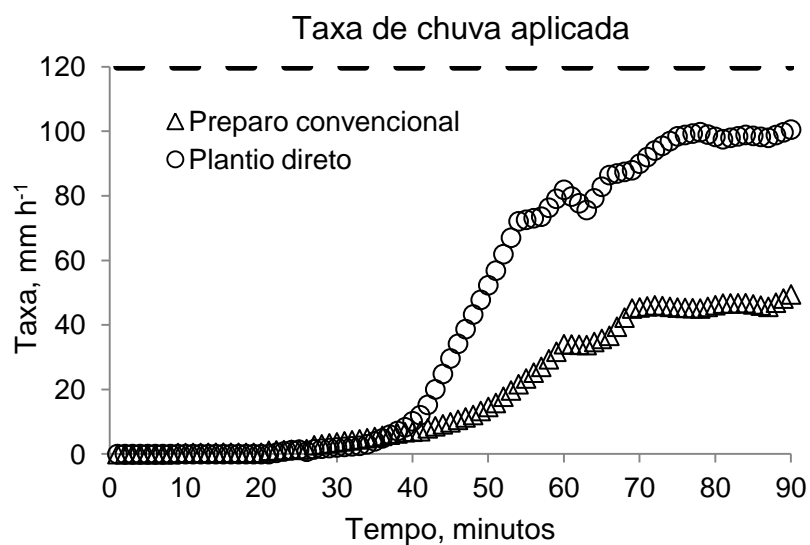


Figura 21: Taxa de escoamento superficial no tratamento de adubação orgânica com dejetos de suínos nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de 120 mm h<sup>-1</sup> e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições.

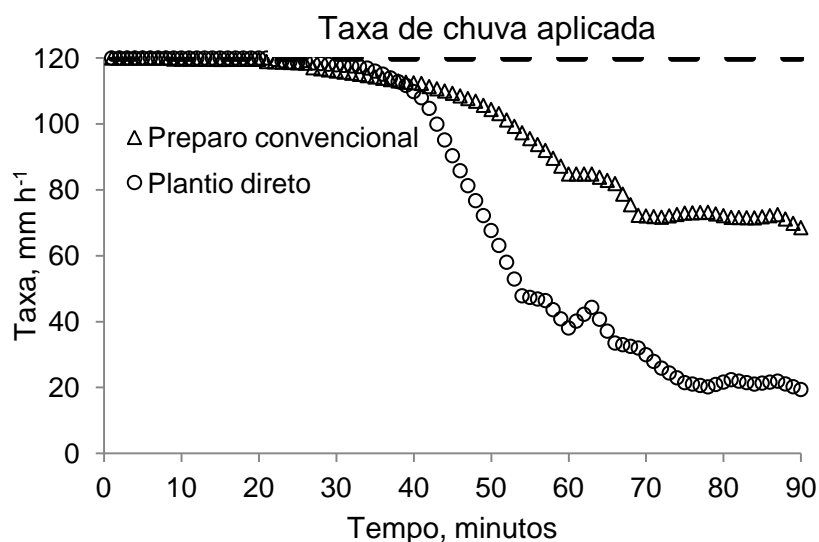


Figura 22: Taxa de infiltração de água no solo no tratamento de adubação orgânica com dejetos de suínos nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, sob chuva simulada com intensidade de 120 mm h<sup>-1</sup> e tempo de duração de noventa minutos. Cada valor é uma média de quatro repetições.

### 5.3.2.3. Coeficientes de enxurrada e perdas totais de água por erosão hídrica

O coeficiente de enxurrada expressa, no pico do escoamento, a relação entre a taxa de escoamento e a taxa de chuva. Os valores da tabela 9 foram extraídos das figuras 15, 17,19 e 20. Observa-se na Tabela 9 que o coeficiente de enxurrada foi influenciado tanto pelo sistema de preparo do solo quanto pelas adubações.

Tabela 9: Coeficiente de enxurrada (Ce) em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. Cada valor é uma média de quatro repetições

Adubação	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo Convencional	Plantio Direto	Média
	-----Ce -----		
T	0,58 a B	0,87 a A	0,72
M	0,47 a B	0,92 a A	0,69
C	0,36 a A	0,51 b A	0,44
D	0,39 a B	0,77 a A	0,58
Média	0,45	0,77	0,61
CV(%)	38,91	29,20	42,11

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de preparos do solo no mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.

No sistema convencional de preparo do solo, não houve diferenças significativas do coeficiente de enxurrada entre os tratamentos de adubação. Já em plantio direto, o tratamento com composto de lixo urbano apresentou o menor coeficiente de enxurrada em relação aos demais tratamentos (tabela 9).

Quando comparados os sistemas de preparo do solo dentro dos tratamentos de adubação pode-se observar que o sistema de preparo do solo em plantio direto apresentou os maiores coeficientes de enxurrada em

relação ao preparo convencional, com exceção do tratamento de adubação com composto de lixo urbano que não apresentou diferença significativa.

A determinação e o conhecimento dos coeficientes de enxurrada tornam-se importantes para o dimensionamento adequado de obras hidráulicas, como o terraceamento em áreas agrícolas, para que se possa controlar o volume e a velocidade do escoamento superficial, reduzindo, com isto, as perdas por erosão.

A área sob as curvas das figuras 15, 17, 19 e 21 representa o total de água escoada em mm, em cada tratamento de adubação nos tratamentos de preparo do solo em plantio direto e preparo convencional. Os valores de perda total de água estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Perda total de água em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação, de um total de 180 mm aplicados. Cada valor é uma média de quatro repetições

Adubação	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo Convencional	Plantio Direto	Média
	----- mm -----		
T	58,75 a B	96,60 a A	77,68
M	42,30 ab B	93,75 a A	68,03
C	25,53 b A	36,55 b A	31,04
D	32,05 ab B	69,63 a A	50,84
Média	39,66	74,13	56,89
CV(%)	42,39	43,89	54,34

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de preparos do solo no mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.

Quando comparados os tratamentos de adubação dentro de cada sistema de preparo do solo, observa-se que no preparo convencional o tratamento testemunha apresentou as maiores perdas de água diferindo significativamente apenas da adubação com composto de lixo urbano. No sistema de plantio direto, a adubação com composto de lixo urbano

apresentou as menores perdas de água diferindo significativamente das demais adubações.

Avaliando os tratamentos de adubação entre os sistemas de preparo do solo, verificou-se que as maiores perdas de água foram no sistema de preparo do solo em plantio direto com exceção apenas do composto de lixo urbano (Tabela 10). As maiores perdas totais de água refletem as maiores taxas de escoamento superficial e, conseqüentemente, as menores taxas de infiltração de água no solo.

Neste estudo, pode-se constatar que, apesar de todos os benefícios proporcionados pelo plantio direto e mesmo com a cultura em pleno desenvolvimento, quando há ocorrência de chuvas de altas intensidades o sistema de preparo em plantio direto não possui a mesma eficiência no controle das perdas de água por escoamento superficial como possui no controle nas perdas de solo por erosão. Isto também foi relatado por Cogo et al. (2003), Denardin et al. (2005) e Cassol et al. (2007), salientando a importância do uso de práticas conservacionistas complementares para reduzir o volume e a velocidade do escoamento e se obter o efetivo controle do processo de erosão.

### **5.3.3. Perda total de solo por erosão hídrica**

A perda de solo por erosão hídrica foi pequena em todos os tratamentos (Tabela 11). Além do efeito dos tratamentos, possivelmente a baixa perda de solo observada é também devida ao estágio de desenvolvimento da cultura do milho, como se pode observar na Figura 11.

Observa-se na Tabela 11 que somente no sistema de preparo convencional ocorreram diferenças entre os tratamentos de adubação. As duas adubações orgânicas no preparo convencional diferiram do tratamento testemunha, apresentando em média redução de 50% na perda de solo.

Tabela 11: Perda total de solo em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. Cada valor é uma média de quatro repetições

Adubação	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo Convencional	Plantio Direto	Média
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
T	1035 a A	370 a B	703
M	837 ab A	440 a A	639
C	415 b A	266 a A	341
D	467 b A	405 a A	436
Média	689	370	530
CV(%)	58	57	67

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de preparos do solo no mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.

Quando comparados os sistemas de preparo do solo, entre os tratamentos de adubação, apenas no tratamento testemunha houve diferença significativa entre os preparos do solo, onde no sistema de preparo em plantio direto as perdas foram menores quando comparado ao sistema de preparo convencional no mesmo tratamento de adubação (Tabela 11).

Tem sido extensivamente observado na literatura que as perdas de solo por erosão em sistema de preparo do solo em plantio direto atingem níveis bem inferiores aos observados em sistema de preparo convencional do solo (Fonseca, 2001; Beutler et al., 2003; Gilles, 2008). As menores perdas no sistema de preparo do solo em plantio direto comprovam a importância do efeito da cobertura vegetal em superfície na dissipação da energia cinética das gotas de chuva, protegendo o solo contra a desagregação das partículas e minimizando as perdas de solo por erosão.

Além do efeito da cobertura, a redução nas perdas de solo pode ser atribuídas ao efeito dos tratamentos no aumento de carbono no solo. Esse efeito se reflete na melhoria da estabilidade de agregados proporcionada

pelas adubações, tendo efeito mais expressivo nos tratamentos com adubação orgânica em sistema de plantio direto, principalmente na camada superficial do solo, como pode ser observado no estudo I. Conseqüentemente, ocorre melhoria na estrutura e na resistência do solo ao processo de desagregação das partículas pela energia cinética do impacto das gotas de chuva na superfície do solo.

### 5.3.4. Características químicas do escoamento superficial

#### 5.3.4. 1. pH e condutividade elétrica do escoamento superficial

Os valores de pH observados no escoamento superficial na média dos tratamentos de preparo do solo convencional e em plantio direto (tabela 12) não diferiram entre si. Os tratamentos de adubação também não apresentaram diferenças significativas dentro de cada sistema de preparo do solo.

Tabela 12: Valores médios de pH observados no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. Cada valor é uma média de quatro repetições.

Adubação	Sistemas de preparo do solo			Média <sup>(1)</sup>
	Preparo Convencional	Plantio Direto		
	----- pH -----			
T	6,65 a A	6,67 a A		6,66 a
M	6,41 a A	6,50 a A		6,46 b
C	6,68 a A	6,83 a A		6,75 a
D	6,49 a A	6,63 a A		6,56 ab
Média <sup>(2)</sup>	6,56 a	6,66		6,61
CV(%)	3,58	3,70		3,66

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de preparos do solo no mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna comparam os tratamentos de adubações entre si não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de oito repetições.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúsculas na linha comparam os tratamentos de preparo do solo não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de dezesseis repetições. CV= coeficiente de variação; T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.



Observa-se na tabela 12 que as adubações orgânicas, na média geral, apresentaram maiores valores de pH do escoamento superficial em relação ao tratamento com adubação mineral. No entanto, apenas no escoamento superficial do tratamento com adubação com composto de lixo apresentou diferenças significativas em relação ao tratamento com adubação mineral não diferindo das demais. Este comportamento pode estar associado com o aumento do pH do solo pela adição destes resíduos ao solo (Tabela 7) os quais apresentam na sua composição materiais que podem favorecer o aumento do pH no solo (Tabela 1). Observações semelhantes também foram efetuadas por Fonseca (2006) e Gilles (2008).

Apesar das alterações observadas no pH do escoamento superficial estarem enquadradas nos padrões de qualidade para descarte de efluentes (CONAMA, 2005), atenta-se para o fato da importância do pH no desenvolvimento das espécies aquáticas e em relação à manutenção da qualidade das águas (Bertol et al., 2007). Pode se constatar neste estudo que áreas adubadas com fertilizantes orgânicos em longo prazo, independente do sistema de preparo do solo, podem apresentar maior potencial em aumentar o pH tanto do solo (Tabela 7) quanto do escoamento superficial (Tabela 12) comprometendo a qualidade das águas que saem das lavouras, tornando-se fontes potenciais de contaminação dos recursos hídricos.

Outro parâmetro avaliado importante em relação ao escoamento superficial é a condutividade elétrica. A condutividade elétrica está relacionada com a quantidade de íons dissolvidos na água, sendo o cálcio, o magnésio, o potássio e o sódio os principais íons responsáveis pelos valores de condutividade na água (Queiroz et al., 2010).

A condutividade elétrica observada no escoamento superficial não apresentou diferenças entre os tratamentos de adubação dentro de cada sistema de preparo do solo. Também não houve diferenças entre as médias gerais dos sistemas de preparo do solo (Tabela 13).

Tabela 13: Condutividade elétrica do escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação.

Adubação	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo convencional	Plantio Direto	Média <sup>(1)</sup>
	----- $\mu\text{S cm}^{-1}$ -----		
T	38,99 a A	39,48 a A	39,23 b
M	39,62 a A	37,97 a A	38,79 b
C	55,23 a A	58,03 a A	56,63 a
D	41,30 a A	42,56 a A	41,93 b
Média <sup>(2)</sup>	43,78 a	44,51 a	44,11
CV(%)	22,31	28,07	25,00

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de oito repetições

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha comparam os tratamentos de preparo do solo não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de dezesseis repetições. CV= coeficiente de variação; T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.

Na média geral das adubações, houve diferenças significativas entre os tratamentos de adubações avaliados. O tratamento com adubação de composto de lixo urbano apresentou valor de condutividade elétrica significativamente maior em relação aos demais tratamentos de adubações (Tabela 13).

Os valores referentes à condutividade elétrica do escoamento não determinam especificamente quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água. Porém, este, torna-se um parâmetro importante para avaliar a qualidade do escoamento. A condutividade elétrica na água pode ser alterada devido ao uso de fertilizantes minerais e orgânicos, que acabam aumentando as concentrações iônicas nos recursos hídricos (Queiroz et al.2010). Indiretamente, pode indicar se estão ocorrendo perdas de nutrientes por escoamento e assim auxiliar no monitoramento das áreas agrícolas, principalmente as adubadas com fertilizantes orgânicos.

### 5.3.4.2. Concentração e perdas totais de nutrientes por escoamento superficial

Nas concentrações de nutrientes observadas no escoamento superficial, não ocorreu interação entre os tratamentos de adubação e os tratamentos de preparo do solo avaliados (Anexo 8).

Em relação às concentrações de nutrientes no escoamento superficial apenas o potássio apresentou diferença significativa entre os preparos de solo, apresentando maior concentração no plantio direto (Tabela 14).

Tabela 14: Concentrações de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo. Cada valor é uma média de 16 repetições

Sistemas de Preparo do solo	Nutrientes			
	P	K	Ca	Mg
	-----mg L <sup>-1</sup> -----			
Preparo Convencional	1,73 a	9,13 b	2,06 a	1,92 a
CV(%)	78,39	19,45	37,89	15,35
Plantio Direto	1,21 a	15,61 a	2,23 a	2,24 a
CV(%)	36,45	60,66	57,07	38,25

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%. CV= coeficiente de variação

Em relação ao fósforo, cálcio e magnésio, não houve diferença significativa nas concentrações no escoamento entre plantio direto e preparo convencional. No entanto, observou-se que o plantio direto apresentou as maiores concentrações no escoamento, com exceção apenas do fósforo. Este comportamento pode estar relacionado com o maior teor de nutrientes presentes na camada superficial devido ao uso contínuo de fertilizantes e o não revolvimento do solo no plantio direto (Tabela 7), o que promove o maior acúmulo de nutrientes na superfície favorecendo as maiores perdas por escoamento.

Quando comparados os tratamentos de adubação, verificou-se que o dejetos de suínos proporcionou a maior concentração de fósforo e as

menores de potássio e cálcio no escoamento superficial sem diferenças no magnésio (Tabela 15).

Tabela 15: Concentrações de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes tratamentos com adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de oito repetições

Adubação	Nutrientes			
	P	K	Ca	Mg
	-----mg L <sup>-1</sup> -----			
T	1,06 b	14,79 a	1,58 b	1,84 a
M	1,16 b	12,79 a	1,74 b	1,92 a
C	1,19 b	12,51 a	3,53 a	2,50 a
D	2,48 a	9,38 b	1,74 b	2,08 a
CV(%)	76,56	61,27	48,74	31,03

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Adubos orgânicos, quando utilizados de forma adequada, proporciona melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Bertol et al. 2007). Porém, deve-se atentar para o fato que estes fertilizantes, quando não manejados adequadamente, aplicados em doses muito acima das recomendadas, sem seguir as recomendações técnicas e utilizados por longos períodos de tempo em uma mesma área, podem vir a acumular nutrientes no solo. Nesses casos, quando da ocorrência de chuvas intensas e prolongadas, os nutrientes acumulados no solo podem vir a ser transportados pelo escoamento superficial, especialmente quando as chuvas coincidirem com o período da semeadura das culturas e da aplicação dos fertilizantes. Isto tornará os fertilizantes orgânicos em fontes potenciais de contaminação do solo e da água.

As concentrações de nutrientes encontradas no escoamento superficial seguiram a tendência esperada (Tabela 15). Foram maiores nas adubações orgânicas do que no tratamento com adubação mineral, com exceção do potássio, que apresentou concentração menor. Resultados já obtidos na literatura (Fonseca, 2006; Gilles et al.2009; Bertol et al.2007), apresentam situações semelhante.

As perdas totais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram superiores no preparo do solo em plantio direto para todos os nutrientes (Tabela 16). Isso se deve especialmente as maiores perdas de água por escoamento superficial no plantio direto em relação ao preparo convencional.

Tabela 16: Perdas totais de água e de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo. Cada valor é uma média de 16 repetições

Sistemas de Preparo do solo	Perda total de água (mm)	Nutrientes			
		P	K	Ca	Mg
Preparo Convencional	39,66 b	0,69 b	3,62 b	0,82 b	0,76 b
CV(%)	42,39	84,56	41,31	45,55	33,51
Plantio Direto	74,13 a	0,90 a	11,57 a	1,65 a	1,66 a
CV(%)	43,89	46,87	88,94	63,04	63,02

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5%. CV= coeficiente de variação

Com relação aos tratamentos de adubação, verificou-se que para cada nutriente ocorreu comportamento diferenciado entre as perdas totais (Tabela 17).

As perdas de fósforo foram significativamente diferentes entre as duas adubações orgânicas. A adubação com dejetos de suínos apresentou maior influência nas perdas de fósforo quando comparada à adubação com composto de lixo.

Para o potássio, as perdas ocorridas foram significativas apenas no tratamento testemunha em relação aos demais que não apresentaram diferenças significativas (tabela 17). A perda de potássio maior no tratamento testemunha pode estar relacionada ao menor desenvolvimento da cultura do milho (Figura 11) e conseqüentemente menor extração deste nutriente do solo, favorecendo o maior acúmulo e as perdas por escoamento. Por isso, as perdas de potássio no tratamento testemunha podem ser semelhantes ou até mesmo superiores às concentrações e as

perdas totais quando comparado aos demais tratamentos com adubação, quando são altas as concentrações iniciais no solo (Apendice 1).

As perdas de cálcio e magnésio não diferiram entre os tratamentos de adubação (Tabela 17). Isto pode ter ocorrido devido à baixa concentração destes nutrientes no solo (Tabela 7) e por estes elementos serem adsorvidos pelos argilominerais no solo (Fonseca, 2006).

Tabela 17: Perdas totais de água e de nutrientes disponíveis no escoamento superficial em diferentes tratamentos com adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de oito repetições.

Adubações	Perda total de água (mm)	Nutrientes			
		P	K	Ca	Mg
		-----kg ha <sup>-1</sup> -----			
T	77,68 a	0,82 ab	11,49 a	1,23 a	1,43 a
M	68,03 ab	0,80 ab	8,10 b	1,18 a	1,30 a
C	31,04 c	0,37 b	3,88 b	1,09 a	0,78 a
D	50,84 bc	1,26 a	4,77 b	0,88 a	1,05 a
CV(%)	54,34	63,99	88,94	63,04	63,02

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

As concentrações de nitrogênio nas formas de amônio e nitrato não foram significativamente diferentes quando comparados os tratamentos de adubações dentro e entre cada sistema de preparo do solo (Tabela 18).

As perdas totais de amônio e nitrato por escoamento superficial foram afetadas tanto pelos sistemas de preparo do solo como pelos tratamentos de adubações (tabela 19).

Pode-se observar que a adubação com composto de lixo urbano apresentou as menores perdas de amônio no sistema de preparo convencional quando comparado aos demais tratamentos de adubação. Já no plantio direto, o tratamento testemunha foi o que apresentou as menores perdas totais de amônio.

Tabela 18: Concentrações de amônio e nitrato no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de quatro repetições

Adubação	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo convencional	Plantio direto	Média <sup>(1)</sup>
	-----Amônio (mg L <sup>-1</sup> )-----		
T	1,13 a A	0,93 a A	1,18 A
M	1,21 a A	1,15 a A	1,14 A
C	1,32 a A	1,14 a A	1,13 A
D	1,27 a A	1,14 a A	1,20 A
Média <sup>(2)</sup>	1,23 a	1,09 a	1,16
CV(%)	22,68	23,45	23,12
	-----Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )-----		
T	1,77 a A	1,44 a A	1,61 A
M	2,33 a A	1,54 a A	1,93 A
C	1,90 a A	1,45 a A	1,68 A
D	1,85 a A	2,28 a A	2,06 A
Média <sup>(2)</sup>	1,96 a	1,68 a	1,82
CV(%)	20,38	31,87	26,75

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de preparos do solo não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna comparam os tratamentos de adubações entre si não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de oito repetições.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúsculas na linha comparam os tratamentos de preparo do solo não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV=coeficiente de variação; T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.

O nitrato apresentou perdas menores no preparo convencional no tratamento de adubação com composto de lixo, diferenciando-se das demais adubações, com exceção do tratamento de adubação com dejetos de suínos (Tabela 19).

No sistema de plantio direto, a adubação com composto de lixo urbano apresentou as menores perdas de nitrato quando comparado aos demais tratamentos de adubações.

Quando comparados os tratamentos de adubação entre os sistemas de preparo do solo, observou-se que a adubação com composto de lixo

apresentou as maiores perdas de amônio no sistema de preparo do solo em plantio direto e o tratamento testemunha obteve as menores perdas (Tabela 19).

Tabela 19: Perdas totais de amônio e nitrato no escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. Médias de quatro repetições

Adubação	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo Convencional	Plantio direto	Média
	----- Amônio (kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
T	0,98 a A	0,39 b B	1,07
M	1,04 a A	1,03 a A	1,01
C	0,43 b B	1,09 a A	0,39
D	0,85 a A	0,80 a A	0,83
Média	0,83	0,82	0,82
CV(%)	41,03	46,64	42,22
	----- Nitrato (kg ha <sup>-1</sup> ) -----		
T	1,02 a A	1,35 a A	1,19
M	0,99 a A	1,45 a A	1,22
C	0,46 b A	0,58 b A	0,52
D	0,60 ab B	1,60 a A	1,10
Média	0,77	1,25	1,21
CV(%)	44,28	47,96	49,78

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de preparos do solo não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.

Em relação às perdas de nitrato, pode-se observar que não ocorreram diferenças significativas quando comparados os tratamentos de adubação entre os sistemas de preparo do solo. A exceção foi apenas do tratamento de adubação com dejetos de suíno, que apresentou as maiores perdas de nitrato no sistema de preparo do solo em plantio direto (tabela 19).

Constatou-se que as perdas totais de nutrientes disponíveis por escoamento estão relacionadas ao volume de escoamento superficial gerado pelos diferentes sistemas de preparo do solo e pela concentração



dos mesmos no escoamento e que o comportamento de cada nutriente está relacionado com o tipo de adubação utilizada e o teor dos mesmos no solo.

As perdas totais de nutrientes no escoamento foram relativamente pequenas para todos os nutrientes avaliados, mas de maneira especial com relação ao nitrogênio. Esse fato pode estar relacionado ao alto volume de chuva natural ocorrido no período entre a aplicação dos adubos até a realização da chuva simulada, como pode ser observado no anexo 5.

Porém, deve-se atentar para o fato que o uso de nitrogênio em excesso e o acúmulo deste no solo, pode acarretar em perdas de nitrogênio na forma de nitrato. O nitrato, assim como o fósforo, é um dos principais agentes de eutrofização dos recursos hídricos.

Enfatiza-se novamente o fato de que na adubação orgânica ocorreu um aumento considerável do teor de fósforo no solo principalmente no preparo do solo em plantio direto e adubação com dejetos de suínos. Ambientalmente este incremento é preocupante, devido ao risco de poder vir a causar eutrofização dos recursos hídricos pela perda deste nutriente por escoamento.

#### **5. 4. CONCLUSÕES**

- O sistema de preparo do solo em plantio direto apresentou a maior eficiência na redução das perdas de solo por erosão, comparado ao preparo convencional.

- As adubações orgânicas com composto de lixo urbano e dejetos de suínos apresentaram influencia positiva na redução das perdas de solo quando comparadas ao tratamento testemunha.

- As taxas de escoamento superficial no sistema de preparo do solo em plantio direto são maiores do que no preparo convencional, refletindo em altos coeficientes de enxurrada e nas maiores perdas totais de água no plantio direto.

- As adubações com composto de lixo urbano e dejetos de suínos apresentam maior eficiência em relação a adubação mineral em proporcionar melhoria nas taxas de infiltração de água no solo, reduzindo as perdas totais de água por escoamento superficial.

- As concentrações de nutrientes no escoamento superficial não apresentaram diferenças entre os preparos de solo e entre as adubações realizadas.

- No preparo convencional o tratamento com composto de lixo urbano apresentou as menores perdas totais de amônio por escoamento superficial, já no plantio direto o tratamento testemunha foi o que apresentou as menores perdas.

- Entre as adubações o tratamento com composto de lixo tanto no preparo convencional quanto no preparo do solo em plantio direto foi o que apresentou as menores perdas de nitrato por escoamento.

- Entre os preparos de solo o tratamento de preparo convencional do solo apresentou no tratamento de adubação com dejetos de suínos as menores perdas de nitrato por escoamento superficial.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSURS (Associação de criadores de suínos do Rio Grande do Sul). Disponível em: <<http://www.acsurs.com.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

ALMEIDA, A. de. Composto de lixo urbano na composição química do solo e seus efeitos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* L). **Revista Biociências**, Taubaté, v.9, n.2, p.7-15, abr/jun. 2003.

ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico vermelho escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.753-761, 1999.

ARRUDA, C. A. O. ; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.4, p.804-809, jul./ago., 2010.

BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.35-43, 1999.

BAYER, C.; NETO, L. M.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n7, p.677-683, jul.2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; L.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.

BAZZOFFI, P.; PELLEGRINI, S.; ROCCHINI, M.M.; GRASSELLI, O. The effect of urban refuse compost and different tractor tyres on soil physical properties, soil erosion and maize yield. **Soil & Tillage Research, Amsterdam**, v.48, p.275-286, 1998.

BERTOL, J. O.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I. ; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.781-792, 2007.

BERTOL. J. O; FEY. E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, J ; RIZZI, N. E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1841-1850, 2010.

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M. ; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.

CABEDA, M. S. V. Degradação física e erosão do solo. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL,1., SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO,3.,1984, Passo Fundo. **Anais**. Passo fundo: PIUCS/UPF/Faculdade de Agronomia, 1984. p.28-33.

CASSOL, E. A.; GUERRA, M. Calibração do primeiro aparelho simulador de chuvas de braços rotativos do estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2 , Passo Fundo, 1978. **Anais**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT/EMBRAPA-SNLCS, 1978. p.29-39.

CASSOL, E. A; LEVIEN, R.; VAN LIER, Q. J. , BADELUCCI, M. P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.923-931, 1999.

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

CASSOL, E. A.; DENARDIN, E. ; KOCHHANN, A. R. Sistema plantio direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. **Tópicos em ciência do solo**, v.5 p. 333-370, 2007.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.

CONAMA – Conselho nacional do meio ambiente. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <[http:// www.mma.gov.br/conama/](http://www.mma.gov.br/conama/)> Acesso em: 16 maio 2011.

CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do Sul do Brasil**. 2006. 138 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – NRS/SBCS. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 4ª ed. Porto Alegre, SBCS/NRS. 394 p., 2004.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA.; S. M. V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo bruno em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.587-589, mar/abr, 2004.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A. MONDARDO; A. SCHWARZ, R. A. **Manejo da enxurrada em sistema de plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88 p.

DORFMANN, R.; CAUDURO, F. A. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI: IPH-UFRGS, 1988. 216 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Embrapa: Rio de Janeiro, 1997.212p.

EMBRAPA – CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro, 2.ed. 2006. 306p.

FONSECA, E. O. **Taxas de enxurrada, infiltração de água e perdas de solo por erosão em um Latossolo Vermelho em sistemas de manejo do solo**. 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

FONSECA, E. O. **Dinâmica do transporte de nutrientes no escoamento superficial em sistemas de manejo do solo**. 2006. 154 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós–Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FONSECA, E. O.; CASSOL, E. A. Enxurrada, infiltração de água e perdas por erosão em um Latossolo Vermelho, em sistemas de manejo do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14.,2002, Cuiabá, MT. **Resumos**. Cuiabá: UFMT, 2002.p.3.

FURLANI, A. E. C.; GAMERO, A. C.; LEVIEN, R.; DA SILVA, P. R.; CORTEZ, W. J. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.375-380, 2008.

GILLES, L. **Perdas por erosão na cultura do milho implantada sobre campo nativo, relacionadas com métodos de preparo do solo e tipos de adubação**. 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós–Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GILLES. L.; COGO. N. P.; BISSANI. C. A.; BAGATINI, T .; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1427-1440, 2009.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan 2011.

JUNIOR, C. H. A.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA. T.; KIEHL, J. C. Uso Agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.4 p. 391-470, 2005

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A. GALVÃO, J. C. C. Estoques de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.821-832, 2003.

LOSS, A.; PEREIRA, G. M.; SCHULTZ, N.; DOS ANJOS, C. H. M.; DA SILVA, R. M. E. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1077-1082, jul, 2009.

QUEIROZ, M. M. F. LOST. C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde**, Mossoró - RN, v.5, n.4, p.200-210, out/dez, 2010.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa agropecuária oeste, 2002.86p.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1375-1383, 2010.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TOMAZI, M. **Estabilidade da matéria orgânica em Latossolos do Cerrado sob sistemas de uso e manejo do solo**. 2008. 106 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.



## 7. ANEXOS

Anexo 1. Caracterização química do solo ao final de cinco anos de experimento nas profundidades de 0-5,5-10 e 10 -20 cm nos diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral.

Adubação	Preparo Convencional							Plantio Direto						
	M.O	CTC	pH	P	K	Ca	Mg	M.O	CTC	pH	P	K	Ca	Mg
-----0-5-----														
T	2,1	8,0	5,8	5,2	268,0	2,8	1,8	2,4	7,9	5,8	6,9	230,8	2,9	1,7
M	1,9	8,1	5,5	30,3	304,0	2,0	1,3	2,6	8,7	5,5	24,8	277,5	2,6	1,5
C	3,4	11,0	6,5	64,3	292,3	6,0	2,2	3,4	12,2	6,6	93,3	254,3	7,4	2,4
D	2,9	9,3	6,0	90,8	358,3	3,1	2,4	2,5	9,8	5,8	92,0	243,0	3,7	2,5
-----5-10-----														
T	1,8	7,6	5,6	3,5	196,5	2,4	1,4	1,6	7,0	5,5	3,1	174,0	2,3	1,4
M	2,0	8,0	5,1	15,0	151,3	2,2	1,2	1,7	7,2	5,3	10,5	188,5	2,0	1,2
C	2,1	8,8	6,3	25,8	192,5	4,7	1,6	2,0	8,4	6,0	17,2	178,0	3,8	1,7
D	1,9	8,7	5,6	57,0	262,0	2,5	1,8	1,8	8,3	5,5	71,0	190,8	2,3	2,2
-----10-20-----														
T	1,6	7,9	5,3	3,8	125,8	2,6	1,6	1,3	8,5	5,3	3,3	150,8	2,8	1,7
M	1,6	8,6	5,1	7,5	103,8	2,7	1,5	1,4	7,7	5,3	4,7	139,8	2,2	1,3
C	1,6	8,5	5,6	7,5	117,8	3,3	1,6	1,6	8,5	5,6	6,9	147,5	3,2	1,6
D	1,8	8,9	5,5	43,3	191,3	2,6	2,0	1,5	8,5	5,3	47,0	161,5	2,2	2,1

M.O= Materia orgânica (%); CTC a pH 7,0 = capacidade de troca de cátions ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); pH em  $\text{H}_2\text{O}$ ; P= fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); K= potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Ca= cálcio ( $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Mg= magnésio ( $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ).

Anexo 2: Produção de massa seca da parte área da cultura do milho no ano agrícola 2008/2009, nos diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de quatro repetições.

Adubação	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo Convencional	Plantio Direto	Média
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		
T	9,13 a A	9,04 b A	9,09
M	15,31 a A	11,33 ab A	13,32
C	13,07 a A	17,19 a A	15,13
D	12,11 a A	14,32 ab A	13,22
Média	12,40	12,97	12,69
CV(%)	25,82	36,09	31,18

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha comparam tratamentos de preparo do solo dentro do mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Anexo 3: Produção de massa seca da parte área da cultura do milho no ano agrícola 2009/2010, nos diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de quatro repetições.

Adubações	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo Convencional	Plantio Direto	Média
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		
T	10,64 a A	13,38 a A	12,01
M	12,11 a A	10,50 a A	11,30
C	12,53 a A	12,52 a A	12,52
D	11,30 a A	12,75 a A	12,02
Média	11,64	12,29	11,97
CV(%)	25,47	24,47	24,70

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha comparam tratamentos de preparo do solo dentro do mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Anexo 4: Produção de massa seca de aveia + ervilhaca no ano agrícola 2008/2009, nos diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de quatro repetições.

Adubação	Sistemas de preparo do solo			
	Preparo Convencional		Plantio Direto	Média
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----			
T	1,04 b B		1,47 a A	1,26
M	1,28 ab A		1,44 a A	1,36
C	1,50 a A		1,62 a A	1,56
D	1,54 a A		1,50 a A	1,52
Média	1,34		1,51	1,42
CV(%)	21,12		13,60	18,10

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha comparam tratamentos de preparo do solo dentro do mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Anexo 5: Dados meteorológicos da Estação Experimental Agrônômica –UFRGS, correspondente ao período após a semeadura da cultura do milho no dia 8 de dezembro de 2009 e antecedente à chuva simulada realizada nos dia 21 e 22 de Janeiro de 2010.

### DEZEMBRO 2009

DIA	Rs calcm <sup>2</sup> /dia	TEMPERATURA DO AR (°C)			CHUVA mm	UR %	Eo mm	VENTO m/s	ETo mm
		MÉDIA	MAX	MIN					
1	656	22,2	26,9	17,2	0,0	84		2,4	5,8
2	157	21,8	26,4	19,1	31,5	91		1,4	1,3
3	610	21,6	29,2	16,0	0,0	80		2,2	5,5
4	739	17,4	23,1	12,7	0,0	77		1,8	6,1
5	719	20,5	28,8	9,8	10,3	80		1,8	6,2
6	332	21,7	26,9	18,9	0,3	88		1,5	2,8
7	230	20,3	23,3	18,4	0,0	87		2,4	2,1
8	334	20,2	22,6	18,7	0,0	83		3,4	3,3
9	598	21,9	26,8	18,0	0,0	86		3,3	5,4
10	566	24,1	29,7	19,8	33,4	85		1,5	5,0
11	98	21,8	23,2	21,0	66,1	100		1,6	0,6
12	321	20,2	22,9	15,4	0,0	90		2,5	2,7
13	686	18,8	25,8	13,0	0,0	76		1,2	5,7
14	740	19,9	27,8	11,2	0,0	78		1,6	6,3
15	678	22,7	29,6	15,7	0,0	81		1,3	5,9
16	566	23,1	28,7	18,6	0,0	85		2,8	5,2
17	665	22,7	26,5	20,0	0,0	82		3,7	6,3
18	716	23,9	29,7	19,1	0,0	82		2,8	6,6
19	736	25,3	33,0	17,7	0,0	71		1,3	6,9
20	516	25,2	34,0	19,1	13,5	82		1,0	4,6
21	327	23,9	28,9	21,7	7,4	93		1,1	2,7
22	392	25,0	30,1	20,5	0,0	90		1,9	3,5
23	564	26,3	32,1	22,2	3,5	85		1,8	5,2
24	303	24,4	28,7	21,9	22,1	93		0,9	2,5
25	492	25,7	31,0	21,4	0,0	90		0,9	4,3
26	529	26,0	32,0	21,1	4,8	86		1,0	4,7
27	542	26,2	31,6	21,7	0,0	88		0,8	4,8
28	710	26,0	33,6	20,8	0,0	77		0,9	6,5
29	617	26,7	34,5	20,6	0,3	77		0,6	5,6
30	452	25,5	31,4	20,3	60,4	86		1,6	4,1
31	619	21,7	27,0	16,4	6,2	81		2,5	5,6
Média/total	523	22,9	28,5	18,2	259,8	84		1,8	143,7

## Anexo 5 (Continuação)

## JANEIRO 2010

DIA	Rs calcm <sup>2</sup> /dia	TEMPERATURA DO AR (°C)			CHUVA mm	UR %	Eo mm	VENTO m/s	ETo mm
		MÉDIA	MAX	MIN					
1	690,9	23,9	29,6	18,4	0,0	85,6	2,0	2,4	6,1
2	0,0	24,7	31,3	19,2	0,0	89,0	1,4	1,4	0,1
3	699,0	25,6	31,3	20,7	5,5	91,7	2,2	2,2	6,2
4	115,1	23,4	24,5	22,6	21,5	100,0	0,6	1,8	0,7
5	369,1	25,7	30,9	21,9	3,2	98,0	0,9	1,8	3,0
6	234,3	24,1	28,1	20,7	11,2	99,0	1,6	1,5	1,8
7	314,1	21,4	24,3	19,0	0,0	87,5	2,6	2,4	2,8
8	521,8	23,8	29,3	19,0	0,0	88,0	2,6	3,4	4,7
9	370,9	25,0	28,9	21,1	0,0	95,6	1,0	3,3	3,1
10	357,5	25,1	30,0	21,9	14,4	96,4	0,7	1,5	2,9
11	575,9	25,3	30,2	21,3	0,0	92,7	1,9	1,6	5,0
12	494,9	25,5	32,0	21,4	2,9	94,5	1,2	2,5	4,2
13	369,5	21,9	24,9	16,6	0,0	84,5	2,1	1,2	3,3
14	672,3	22,0	29,5	15,0	0,0	84,6	1,3	1,6	5,7
15	736,5	23,0	28,9	15,1	0,0	76,7	2,6	1,3	6,9
16	312,1	22,6	27,3	17,9	26,6	91,5	1,9	2,8	2,6
17	596,1	24,5	31,5	19,5	0,3	94,0	0,9	3,7	5,0
18	662,9	25,9	32,5	19,2	14,1	88,9	1,4	2,8	5,9
19	85,1	22,9	24,5	22,0	33,4	99,9	0,7	1,3	0,5
20	521,4	23,7	28,2	18,2	0,0	86,6	1,3	1,0	4,5
21	532,6	21,4	27,8	15,5	1,0	91,2	1,4	1,1	4,4
22	563,0	22,8	28,1	18,6	0,0	88,9	1,9	1,9	4,8
23	548,1	23,5	28,4	17,9	0,0	90,1	2,5	1,8	4,8
24	635,4	25,1	29,9	20,8	0,0	90,3	2,5	0,9	5,7
25	614,5	25,3	30,7	20,4	0,0	91,2	2,0	0,9	5,4
26	671,7	25,6	30,6	21,6	0,0	88,9	1,8	1,0	6,0
27	483,0	23,8	28,4	21,2	0,0	96,2	1,1	0,8	4,0
28	413,6	23,8	29,1	19,8	0,0	95,3	0,7	0,9	3,4
29	504,6	24,2	31,1	18,6	0,0	93,6	0,5	0,6	3,4
30	619,5	26,0	34,5	19,7	0,0	89,5	0,8	1,6	4,2
31	625,8	26,8	33,8	20,1	0,0	88,7	1,0	2,5	5,4
DEC 1	367,2	24,3	28,8	20,4	55,9	93,1	1,6	2,2	31,5
DEC 2	502,7	23,7	28,9	18,6	77,4	89,4	1,5	2,0	43,7
DEC 3	564,7	24,4	30,2	19,5	1,0	91,3	1,5	1,3	51,4
Média/total	478,2	24,1	29,3	19,5	134,2	91,2	1,5	1,8	126,5

\*Dados observados na Estação Experimental Agronômica e oriundos da base física do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia-UFRGS.

RS - Radiação solar global (actinógrafo) (Cal/cm<sup>2</sup> dia); Temperatura do ar - média ponderada; UR - Umidade relativa (psicrômetro) - média ponderada; Eo - Evaporação do tanque "classe A"; Vento - velocidade média a 2 m acima do solo (anemômetro totalizador); ETo - Evapotranspiração calculada pelo método de Penman.

Anexo 6: Tempo de início do escoamento superficial em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. Cada valor é uma média de três repetições.

Adubações	Sistemas de preparo do solo		
	Preparo Convencional	Plantio Direto	Média <sup>(1)</sup>
	----- min -----		
T	12 b A	13 b A	12 B
M	18 b A	17 b A	18 B
C	33 a A	24 a A	29 A
D	23 a A	30 a A	27 A
Média <sup>(2)</sup>	22 A	21 A	21
CV(%)	72	62	66

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de preparos do solo no mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna comparam os tratamentos de adubações entre si não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de oito repetições.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas por mesma letra minúsculas na linha comparam os tratamentos de preparo do solo não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Cada valor é uma média de dezesseis repetições.

T=testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D=adubação orgânica com dejetos de suínos.

Anexo 7: Perda de água de um total de 180mm aplicados, em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação. Cada valor é uma média de quatro repetições.

Adubação	Perda de água		Perda de água	
	Preparo		Preparo	
	Convencional	Plantio Direto	Convencional	Plantio Direto
	----- % da chuva -----		----- mm -----	
T	32,64 a B	53,67 a A	58,75 a B	96,60 a A
M	23,50 ab B	52,08 a A	42,30 ab B	93,75 a A
C	14,18 b A	20,31 b A	25,53 b A	36,55 b A
D	17,81 ab B	38,68 a A	32,05 ab B	69,63 a A
CV(%)	42,40	43,89	42,39	43,89

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna comparam tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha comparam tratamentos de preparo do solo dentro do mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= testemunha (sem adubação); M=adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano, D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Anexo 8 :Densidade do solo (Ds) em três profundidades após seis anos de experimento em dois sistemas de preparo do solo e diferentes fontes de adubação orgânica e minerais. Cada valor é uma média de três repetições.

Adubação	Preparo convencional			Plantio direto		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
	----- Mg m <sup>-3</sup> -----					
T	1,36 a A	1,46 ab B	1,37 a B	1,35 a A	1,71 a A	1,68 a A
M	1,24 a A	1,50 a B	1,53 a A	1,38 a A	1,75 a A	1,62 a A
C	1,15 a A	1,22 b B	1,40 a B	1,03 b A	1,52 a A	1,62 a A
D	1,20 a A	1,48 ab A	1,55 a A	1,29 a A	1,58 a A	1,64 a A
CV(%)	10,33	10,51	10,23	12,15	10,05	4,51

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e profundidade e médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha comparam tratamentos de preparo do solo no mesmo tratamento de adubação e na mesma profundidade não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Anexo 9: Concentração de nutrientes disponíveis no escoamento superficial nos em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de três repetições

Adubação	Nutrientes			
	P	K	Ca	Mg
	----- mg L <sup>-1</sup> -----			
	----- Preparo Convencional -----			
T	0,81 a A	9,41 a A	1,66 a A	1,67 a A
M	1,25 a A	9,99 a A	1,50 a A	1,80 a A
C	1,52 a A	8,86 a A	3,46 a A	2,19 a A
D	3,34 a A	8,26 a A	1,64 a A	2,04 a A
CV(%)	78,39	19,45	37,89	15,35
	----- Plantio Direto -----			
T	1,30 a A	20,17 a A	1,50 a A	2,01 a A
M	1,06 a A	15,60 a A	1,97 a A	2,04 a A
C	0,87 a A	16,17 a A	3,60 a A	2,81 a A
D	1,61 a A	10,50 a A	1,84 a A	2,11 a A
CV(%)	36,45	60,66	57,07	38,25

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna comparam tratamentos de preparo do solo dentro do mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.

Anexo 10: Perda total de água e nutrientes disponíveis no escoamento superficial nos em diferentes sistemas de preparo do solo e fontes de adubação orgânica e mineral. Cada valor é uma média de três repetições

Adubação	Perda de água ----- mm -----	Nutrientes			
		P	K	Ca	Mg
		----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
----- Preparo Convencional -----					
T	58,75 a B	0,49 a A	5,64 a A	0,98 a A	0,96 a A
M	42,30 ab B	0,58 a A	4,06 a A	0,61 a A	0,74 a A
C	25,53 b A	0,30 a A	2,53 a A	0,92 a A	0,58 a A
D	32,05 ab B	1,07 a A	2,67 a A	0,53 a A	0,66 a A
CV(%)	42,39	84,56	41,31	45,55	33,51
----- Plantio Direto -----					
T	96,60 a A	1,20 a A	20,99 a A	1,47 a A	1,96 a A
M	93,75 a A	1,03 a A	15,47 a A	1,83 a A	1,92 a A
C	36,55 b A	0,34 a A	6,67 a A	1,43 a A	1,11 a A
D	69,63 a A	1,26 a A	7,33 a A	1,22 a A	1,35 a A
CV(%)	43,89	46,87	68,77	47,15	46,10

Médias seguidas por mesma letra minúsculas na coluna comparam os tratamentos de adubação dentro do mesmo sistema de preparo do solo e médias seguidas por mesma letra maiúscula na coluna comparam tratamentos de preparo do solo dentro do mesmo tratamento de adubação não diferindo significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV= coeficiente de variação; T= Testemunha; M= adubação mineral; C= adubação orgânica com composto de lixo urbano; D= adubação orgânica com dejetos de suínos.