

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

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM  
FUNÇÃO DE DOSES DE RESÍDUOS VEGETAIS E TRÁFEGO DE  
MÁQUINAS EM SEMEADURA DIRETA**

JÔNATAN MÜLLER  
Dissertação de Mestrado

Porto Alegre, 2011

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

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM  
FUNÇÃO DE DOSES DE RESÍDUOS VEGETAIS E TRÁFEGO DE  
MÁQUINAS EM SEMEADURA DIRETA**

JÔNATAN MÜLLER  
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

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

Porto Alegre (RS), Brasil  
Março de 2011

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO  
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

M958a

Müller, Jônatan

Atributos físicos do solo e produtividade da soja em função de doses de resíduos vegetais e tráfego de máquinas em semeadura direta / Jônatan Müller — Porto Alegre : J. Müller, 2011.

xii, 71 f.; il.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

1. Física do solo : atributos físicos do solo 2. Semeadura direta 3. Máquina agrícola 4. Soja I. Título

CDD: 631.43

JÔNATAN MÜLLER  
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

## DISSERTAÇÃO

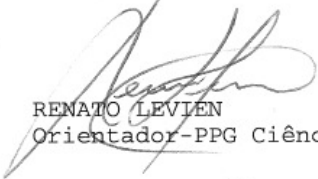
Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO**


Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 30.03.2011  
Pela Banca Examinadora


Homologado em: 16.05.2011  
Por




RENATO LEVIÉN  
Orientador-PPG Ciência do Solo



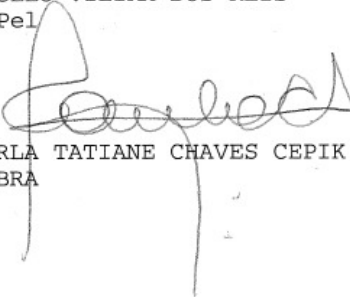
FLÁVIO A. O. CAMARGO  
Coordenador do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo




CARLOS ALBERTO BISSANI  
PPG Ciência do Solo/UFRGS



ÂNGELO VIEIRA DOS REIS  
UFPel



CARLA TATIANE CHAVES CEPIK  
ULBRA



PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

## AGRADECIMENTOS

À minha família pelos valores, incentivo, apoio e encorajamento. Pai (*in memorian*), tudo dará certo, basta acreditar e ser persistente; Mãe, obrigado pela força e dedicação; Aos meus irmãos, Cristiano e Isabel, agradeço por serem companheiros eternos; a minha querida namorada Patrícia (coruja), por estar sempre ao meu lado, tanto nos momentos felizes como nos difíceis.

Ao professor Renato Levien, pela orientação, ensinamentos e lição de vida que sempre passou.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, e ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia/UFRGS pela oportunidade de realizar esta pós-graduação.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A estação experimental agronômica (EEA) pela estrutura fundamental ao desenvolvimento das atividades de pesquisa.

Aos meus grandes colegas e amigos de Graduação e Pós-Graduação, Michael Mazurana, Osmar Conte, Tatiane Bagatini, Sidinei Leandro Klockner Stürmer, Marquel Jonas Holzschuh, Graziane Boakowicz, Ana Clara Vian, Diane Alba, Letícia Sequinatto, Jeane Cruz Portela, Henrique Debiasi, André Julio Amaral, Karina Marie Kamimura e Flávio Potência pelo companheirismo, difusão de conhecimento e momentos de diversão.

Ao professor Neroli Pedro Cogo e Carlos Ricardo Trein, pela grande amizade e ensinamentos não só profissionais, mas também de vida.

A todos os professores que contribuíram e ainda contribuem com o Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo.

Aos funcionários da EEA, “Bodão” e Celso, que ajudaram na manutenção da área experimental.

A todas as pessoas que influenciaram positivamente na minha trajetória até o momento. Sei que vocês estão felizes por saber que eu estou feliz, por mais esta etapa concluída. Mas não se preocupem, não será a última, ainda precisarei muito de vocês...

Muito obrigado!!!

# ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE DOSES DE RESÍDUOS VEGETAIS E TRÁFEGO DE MÁQUINAS EM SEMEADURA DIRETA<sup>1</sup>

Autor: Jônatan Müller  
Orientador: Prof. Renato Levien

## Resumo

A semeadura direta prima pelo mínimo revolvimento e manutenção da cobertura do solo com palha, a fim de diminuir a sua perda e degradação. Contudo, a ausência de mobilização em área total, associada ao acúmulo do tráfego de máquinas agrícolas em momento inadequado, pode ocasionar danos físicos à estruturação do solo que, porventura, prejudicam o desenvolvimento das plantas cultivadas. Desse modo, objetivou-se avaliar os efeitos detrimenais do tráfego dos rodados das máquinas agrícolas (trator e colhedora) nos atributos físicos do solo e produtividade da cultura da soja, e como o manejo com adição de diferentes doses de resíduo em cobertura pode auxiliar na manutenção e/ou melhoria da qualidade física do mesmo. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica-UFRGS, no município de Eldorado do Sul, RS, em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico. As doses de resíduo vegetal em cobertura que constituíram os tratamentos principais foram: 0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca de aveia preta (*Avena strigosa*). Estes foram subdivididos em função dos locais de tráfego dos rodados do trator, da colhedora e em ausência de tráfego. O delineamento foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com três repetições. Nas áreas trafegadas pelos rodados das máquinas agrícolas, a densidade, microporosidade e a resistência mecânica do solo à penetração foram maiores, e os de porosidade total e macroporosidade menores, em relação aos locais com ausência de tráfego. A força de tração na haste sulcadora de adubo foi maior no tratamento com aplicação de 8 Mg ha<sup>-1</sup>, em relação ao local sem aplicação de resíduo vegetal no inverno, considerando o local com tráfego do trator e sem tráfego. Os valores médios de área da seção transversal, profundidade máxima e volume de solo mobilizado na linha de semeadura não diferiram em função das doses de resíduo e locais com e sem tráfego de máquinas. Os teores de matéria orgânica particulada e de matéria orgânica total do solo aumentaram de acordo com o aumento das doses de resíduo em cobertura, porém somente foram significativos quando as menores doses (0 e 2 Mg ha<sup>-1</sup>) foram comparadas a maior dose (8 Mg ha<sup>-1</sup>). A população de plantas e a produtividade da soja não foram significativamente afetadas pelos tratamentos com aplicação diferenciada de resíduo em cobertura e nem pelo tráfego dos rodados das máquinas agrícolas.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (80p.) Março de 2011. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

# SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND SOYBEAN PRODUCTIVITY RELATED TO LEVELS OF PLANT RESIDUES AND MACHINERY TRAFFIC IN TILLAGE<sup>2</sup>

Author: Jônatan Müller  
Advisor: Prof. Renato Levien

## Abstract

The press for aim minimum tillage plowing and maintenance of soil cover with straw in order to reduce its loss and degradation. However, the lack of mobilization over the total area associated with the accumulation of agricultural machinery traffic in inappropriate time can cause physical damage to soil structure that may harm the development of cultivated plants. Thus, the objective was to evaluate the detrimental effects of traffic on wheeled agricultural machinery (tractor and combine) the physical attributes of soil and yield of soybeans, and how management with the addition of different amounts of waste in coverage can assist in maintenance and / or improve the physical quality. The experiment was conducted at the Experimental Station-UFRGS, in Eldorado do Sul, in a Red / Yellow Hapludox. Doses of mulch cover on which the main treatments were 0, 2, 4, 6 and 8 Mg ha<sup>-1</sup> dry weight of *Avena strigosa*. These were divided according to the local driving wheels of the tractor, harvester and no traffic. The design was a randomized block in split plot design with three replications. In areas trafficked by the treads of agricultural machinery density, microporosity and mechanical resistance to penetration were higher, and total porosity and macroporosity smaller, in relation to sites with no traffic. The tensile force on shank of fertilizer was higher in treatment with application of 8 Mg ha<sup>-1</sup> over the place without the application of mulch in winter, for tractor traffic and no traffic sites. The average values of transversal sectional area, maximum depth and volume of soil in the row did not differ depending on the residue dose and sites with no traffic and machinery. The contents of particulate organic matter and soil organic matter increased with increasing doses of residue in coverage, but were only significant when the lowest doses (0 and 2 Mg ha<sup>-1</sup>) were compared to the higher dose (8 Mg ha<sup>-1</sup>). Both number of plants ha<sup>-1</sup>, and soybean yield were not significantly influenced by treatments with different residue doses and by machinery traffic and no traffic treatments.

---

<sup>2</sup> M. Sc. Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre. (80p.) March, 2011. Financial support by CNPq.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Semeadura direta.....	3
2.1.1. Importância dos resíduos vegetais sobre o solo.....	4
2.1.2. Compactação do solo.....	6
2.1.3. Densidade e porosidade do solo.....	9
2.1.4. Resistência mecânica do solo à penetração.....	11
2.1.5. Exigência de tração e mobilização do solo nas hastes sulcadoras de adubo.....	12
2.1.6. Importância da matéria orgânica do solo.....	14
2.1.7. Influência da compactação do solo na produtividade da soja.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Localização da área experimental e caracterização climática.....	17
3.2. Classificação do solo e caracterização fisiográfica.....	17
3.3. Histórico de manejo cultural da área experimental.....	17
3.4. Amostragem, textura e fertilidade do solo da área experimental.....	18
3.5. Equipamentos utilizados na instalação e condução do experimento.....	19
3.6. Cultura de inverno e verão.....	21
3.7. Tratamentos.....	22
3.8. Avaliações e amostragens.....	24
3.8.1. Resistência mecânica a penetração e teor de umidade do solo.....	24
3.8.2. Textura, densidade, macro, micro e porosidade total do solo.....	25
3.8.3. Teor de matéria orgânica do solo e respectivas frações granulométricas.....	25
3.8.4. Área da seção transversal, profundidade máxima média, volume de solo mobilizado e força de tração da haste sulcadora por unidade de área mobilizada.....	26
3.8.5. Força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora- adubadora.....	28
3.8.6. População de plantas de soja.....	29
3.8.7. Produtividade de grãos da soja.....	29
3.9. Delineamento experimental e análise estatística dos dados.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Atributos físicos do solo.....	30
4.2. Resistência mecânica do solo à penetração.....	35
4.3. Força de tração da haste sulcadora de adubo.....	38
4.4. Matéria orgânica do solo e frações granulométricas.....	42
4.5. Textura do solo.....	44
4.6. Área da seção transversal do sulco de semeadura.....	45
4.7. Profundidade máxima do sulco de semeadura.....	46
4.8. Volume de solo mobilizado na linha de semeadura.....	47
4.9. Força de tração da haste sulcadora de adubo por unidade de área.....	48
4.10. População de plantas.....	49
4.11. Produtividade de grãos de soja.....	50



5. CONCLUSÕES.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
7. APÊNDICES .....	70

## RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Sucessão e rotação das plantas cultivadas na área experimental.....	18
2. Análise química de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico, na profundidade de 0,0 a 0,12 m, nos tratamentos com diferentes doses de resíduos vegetais em cobertura .....	19
3. Valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em função das doses de resíduo vegetal, locais de tráfego dos rodados do trator (TT), colhedora (TC) e sem tráfego (ST) em duas profundidades.....	31
4. Teor médio de umidade do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) em função das doses de resíduo vegetal e locais com e sem tráfego, obtidos no dia da mensuração da resistência mecânica do solo à penetração .....	38
5. Esforço de tração (N) na haste sulcadora de adubo nos locais de tráfegados rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST) nos diferentes tratamentos de distribuição de doses de resíduo vegetal de aveia preta .....	40
6. Teores de matéria orgânica do solo (MOS), associada aos minerais (MOM) e particulada (MOP), obtidos nos diferentes tratamentos de doses de resíduo, em duas profundidades (0,0 - 0,1 e 0,1 - 0,2 m). .....	42
7. Distribuição granulométrica do solo em duas profundidades de amostragem (0,0 - 0,1 e 0,1 - 0,2 m), nos tratamentos doses de resíduo vegetal de aveia preta .....	45
8. Valores médios da área da seção transversal do sulco de semeadura ( $\text{cm}^2$ ) em função das doses de resíduo e locais com tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST) .....	45
9. Valores médios da profundidade máxima do sulco em função das doses de resíduo em cobertura e locais com tráfego dos rodados do Trator (TT), colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST) .....	47
10. Valores médios de volume de solo mobilizado na linha de semeadura ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) em função das doses de resíduo aplicadas em superfície e locais com tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST) .....	48
11. Valores médios de força de tração na haste sulcadora de adubo por unidade de área ( $\text{N cm}^{-2}$ ) em função das doses de resíduo em cobertura e locais com tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST) .....	49
12. Número de plantas por ( $\text{m}^2$ ) nos tratamentos principais de doses de resíduo vegetal e locais de tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST) .....	50
13. Produtividade da cultura da soja em relação às doses de resíduo vegetal nos locais de tráfego dos rodados da colhedora (TC), do trator (TT) e ausência de tráfego (ST), safra 2009/2010. ....	50

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Esquema do controle de tráfego do trator e colhedora nas parcelas (Xavier, 2005). .....	23
2. Penetrômetro utilizado para determinação da resistência do solo à penetração em janeiro de 2010. ....	24
3. Vista frontal do perfilômetro. ....	27
4. Extensômetros instalados no suporte da haste sulcadora (Cepik, 2006). ....	28
5. Delineamento experimental de blocos casualizados com cinco doses de resíduo vegetal, subdivididos em locais sem e com tráfego de rodado das máquinas. ....	29
6. Resistência mecânica do solo à penetração nos tratamentos com doses diferenciadas de resíduo vegetal (0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha <sup>-1</sup> ) e locais de tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST). ....	37
7. Relação entre a força de tração e as doses de resíduo vegetal em cobertura, no dia da semeadura, nas zonas de tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e sem tráfego (ST). ....	38
8. Relação entre os teores de umidade do solo em função das doses de resíduo vegetal, obtida no dia da semeadura da soja. ....	41

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Precipitação ocorrida no período de 11/11/2009 até 28/02/2010 na Estação Experimental Agronômica. Fonte: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS. ....	71

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução dos sistemas de preparo conservacionistas tem estimulado a utilização da técnica de semeadura direta, com o objetivo de minimizar os custos de produção e reduzir o impacto ambiental gerado pelas atividades agrícolas nos ambientes de cultivo. Atualmente, são freqüentes os questionamentos sobre a sustentabilidade da técnica de semeadura direta, principalmente em relação à influência negativa que o tráfego contínuo de máquinas, em momento inadequado, pode ocasionar na estrutura física do solo, gerando impedimento físico ao desenvolvimento radicular das culturas e conseqüente redução na produtividade de grãos.

A manutenção de resíduos sobre superfície do solo, condição intrínseca ao sistema de semeadura direta, forma uma barreira parcial ou total que se contrapõe às forças do impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, o que reduz significativamente o risco de perda de solo e nutrientes por erosão hídrica. Além disso, minimiza a amplitude térmica e a dissipação da umidade do solo, que é fundamental ao metabolismo das plantas. Contudo, dúvidas relacionadas à quantidade de massa seca adequada para uma efetiva cobertura do solo e que não interfira na implantação e desenvolvimento das culturas anuais existem, e resultados científicos são poucos em relação à grande variabilidade edafoclimática existente.

Portanto, é importante que o solo mantenha um aporte contínuo de resíduos vegetais, pois estes, quando presentes em suas diferentes fases de decomposição podem minimizar o efeito negativo e, muitas vezes duradouro, que o tráfego de máquinas gera nas propriedades físicas do solo.

Os objetivos da pesquisa foram: a) verificar o efeito de quantidades diferenciadas de resíduo vegetal em cobertura e do tráfego dos rodados do trator, da colhedora ou ausência destes sobre as propriedades físicas de um Argissolo; b) mensurar a exigência de tração na haste sulcadora de adubo

da semeadora-adubadora e grau de mobilização do solo, de acordo com as doses de resíduo na superfície do solo, em zonas sem ou com tráfego de rodados do trator e da colhedora; c) verificar a evolução da matéria orgânica do solo em função da aplicação de doses diferenciadas de resíduo; d) determinar o efeito das doses de resíduos vegetais e do tráfego dos rodados do trator e da colhedora na produtividade de grãos da cultura da soja.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Semeadura direta**

A semeadura direta, como técnica de manejo conservacionista do solo, está amplamente difundida em várias regiões do mundo e segundo (Castaldo et al., 1998), é considerada a forma menos agressiva de preparo do solo.

Hoje, 70% dos grãos produzidos no Brasil são frutos deste sistema conservacionista e estima-se que a semeadura direta esteja em mais de 90 milhões de hectares distribuídos pelo mundo (Antunes, 2009). Já no Rio Grande do Sul mais de 80% dos produtores de grãos adotam o sistema de semeadura direta (Farias & Ferreira, 2000).

Conceitualmente, é a técnica em que a semente é depositada no sulco de semeadura minimamente preparado e a matéria seca da cultura antecessora é mantida sobre a superfície do solo. Com isso, algumas plantas invasoras, ao longo do tempo, são controladas devido ao sombreamento gerado pelos resíduos vegetais, ocasionando uma substituição gradativa de controle dos processos mecânicos e químicos por biológicos e culturais de manejo do solo, além da maior eficiência econômica e diminuição dos riscos ambientais (Derpsch et al., 1991). De acordo com Séguy et al., 1996, este sistema é especialmente ajustado para regiões tropicais devido à necessidade de manter o solo protegido dos fatores abióticos, como precipitação pluviométrica e radiação solar. Cury (2000) afirma que a técnica de semeadura direta reduz os custos de produção, devido ao menor uso de insumos agrícolas e consumo de combustível, já que são excluídas as operações de preparo convencional do solo (Levien, 1999).

A adesão a esta técnica de manejo conservacionista somente foi possível com o desenvolvimento de máquinas apropriadas, como as

semeadoras-adubadoras adaptadas ao trabalho em sistema de semeadura direta, capazes de alocar fertilizantes e sementes de modo a garantir uma eficiente germinação, emergência e desenvolvimento das culturas anuais nas diferentes classes de solos existentes. Entretanto, a adoção da semeadura direta associada ao aumento na intensidade de uso do solo têm resultado em significativas alterações nas suas propriedades físicas (Streck et al., 2004). Essas modificações referem-se principalmente ao aumento da compactação do solo em relação às condições originais (Tavares Filho et al., 2001).

### **2.1.1. Importância dos resíduos vegetais sobre o solo**

O Rio Grande do Sul situa-se numa região subtropical em que ocorre grande amplitude térmica entre as estações de inverno e verão. É comum ocorrer no verão períodos prolongados com altas temperaturas, gerando diminuição nos teores de umidade do solo.

Visando a sustentabilidade do sistema de semeadura direta, é fundamental que seja mantida sobre a superfície do solo uma quantidade adequada de resíduos culturais.

Schaefer et al. (2002), trabalhando com simulador de chuva sobre um Argissolo, constataram perdas de solo entre 11 e 13,2 Mg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos com baixa porcentagem de cobertura (0%, 20% e 40%). Já com 80% de cobertura, as quantidades perdidas chegaram a 5,2 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que com 100 % de cobertura não foram constatadas perdas de solo por erosão.

De acordo com Bayer (1996), o aporte anual de resíduos vegetais sobre a superfície do solo deve ficar entre 10 a 12 Mg ha<sup>-1</sup>. Porém, segundo o autor, isso somente é possível em semeadura direta, com adequado sistema de sucessão e rotação de culturas. Uma cultura de verão, como a soja, a qual produz em torno de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano de massa seca de resíduo devem ser precedidas de culturas de cobertura que produzam grande quantidade de palha e apresentem alta relação C/N, para que a palhada persista por mais tempo sobre a superfície do solo.

A cobertura vegetal, além de atuar como uma proteção física ao processo erosivo causado pelo impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, também tem a função de manter a umidade e diminuir a



amplitude térmica do solo. Mota (1979) afirma que este comportamento se deve à redução da capacidade calorífica e da condutividade térmica dos solos com o aporte de resíduos orgânicos, aumentando a capacidade de retenção de água.

O acúmulo de material orgânico na superfície do solo ameniza principalmente a temperatura máxima encontrada no solo nos períodos mais quentes do dia, proporcionando condições mais estáveis de temperatura para o crescimento vegetal. Neste sentido, o manejo conservacionista do solo com grande aporte de resíduos orgânicos assume importância para as regiões com déficit hídrico no período de cultivo das plantas anuais (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990).

Derpsch et al. (1985) mencionam que o efeito da cobertura sobre as flutuações de temperatura e umidade do solo dependem da quantidade, qualidade e distribuição dos resíduos sobre o solo.

Segundo Costa et al. (2003), existe diferença de 13% na temperatura máxima do solo às 15 h no sistema de preparo convencional em relação à semeadura direta, sendo de 27,9°C e 24,7°C, respectivamente. Além disso, afirmam que no período de verão o armazenamento de água na camada de 0 - 0,1 m foi 26% superior na semeadura direta quando comparada ao preparo convencional.

A distribuição desuniforme de resíduos de plantas e o revolvimento do solo ocasionam reduções na cobertura do mesmo e favorecem a emergência de plantas daninhas (Blanco & Blanco, 1991). Segundo Almeida (1985), a ação conjunta do não-revolvimento do solo e manutenção da cobertura morta pode favorecer uma menor densidade de infestação de plantas invasoras nas lavouras submetidas ao sistema de semeadura direta, quando comparadas ao convencional.

O acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo pode, eventualmente, atenuar as cargas aplicadas pelos rodados das máquinas agrícolas, devido à sua estrutura elástica e por aumentar a área de contato entre o solo e os rodados (Soane, 1990). Entretanto, utilizando cobertura morta proveniente de culturas anuais, a atenuação das cargas geradas pelos rodados de máquinas agrícolas não foi confirmada por Ess et al., (1998) e Cepik,

(2006), o que pode estar vinculado à remoção dos resíduos pela patinagem dos rodados do trator (Xavier, 2005; Cepik, 2006).

De acordo com Derpsch et al. (1986), um dos problemas enfrentados na adoção de preparos conservacionistas utilizando semeadoras-adubadoras dotadas de hastes para a abertura de sulcos era o acúmulo de resíduos à frente da ferramenta. Este problema foi parcialmente resolvido pela adoção de discos de corte de resíduos, posicionados a frente das hastes sulcadoras. Segundo Araújo et al. (2001) comentam que em solos argilosos a alta resistência à penetração dos componentes rompedores, associada à elevada retenção de umidade desses solos geram o corte irregular da vegetação em cobertura e conseqüentemente, proporcionam frequentes problemas de embuchamento dos órgãos ativos das semeadoras no momento da semeadura das culturas.

### **2.1.2. Compactação do solo**

A compactação é uma modificação da estrutura natural do solo em que ocorre a reorganização das partículas e de seus agregados, resultando na diminuição da macroporosidade, porosidade total e aumento da microporosidade e densidade do solo (Stone et al., 2002). A compactação do solo pode limitar a infiltração e a redistribuição de água no solo, como também restringir as trocas gasosas e a absorção de nutrientes, podendo prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das culturas (Ghohmann & Queiroz Neto, 1996), resultando em diminuição da produtividade, aumento da erosão por escoamento superficial e da energia requerida para o manejo mecânico do solo (Soane & Ouwerkerk, 1994). Sob condições em que a compactação do solo é intensa e os processos naturais de descompactação não são significativos, existe uma grande probabilidade de que os efeitos negativos da compactação do solo sejam acumulados durante anos (Heinonen, 1986).

A persistência dos efeitos negativo gerada pelo tráfego de máquinas em semeadura direta sobre as propriedades físicas do solo foi constatada por Radford & Yule (2003) que, após cessarem o tráfego em experimento de longa duração, constataram que os efeitos negativos da compactação do solo perduraram por aproximadamente 5 anos na camada de 0 - 0,1 m.

Isto se traduz em efeitos detrimenais no solo, ocasionando impreterivelmente problemas de desenvolvimento das plantas cultivadas. Para superar os problemas provenientes da compactação do solo é comum a prática de aumentar o suprimento de água por meio de irrigação e nutrientes por aplicação de maiores doses de adubo, o que resulta num aumento do custo de produção, além de causar possíveis danos ao ambiente (Hakansson & Voorhees, 1998; Vanden Akker et al., 2003).

Verificou-se, nas últimas décadas, o aumento da utilização de máquinas agrícolas, assim como da carga aplicada por unidade de área, o que tem colaborado para a degradação física do solo, principalmente em subsuperfície (Horn et al., 2000).

De acordo com Flowers & Lal (1998), a principal causa da compactação em solos agrícolas é o tráfego de máquinas em operações de preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita. Horn & Lebert (1994) acrescentam que não somente a pressão estática causa compactação, mas também forças dinâmicas provocadas pela trepidação das máquinas agrícolas rebocando os implementos e pela patinagem dos rodados.

Solos mais compactados tendem a aumentar o desempenho dos pneus agrícolas ao efetuarem trabalho, porém necessitam de maior energia para serem mobilizados, ocasionando, conseqüentemente, o desgaste de máquinas e equipamentos, como também podem limitar ou até impedir o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Reinert et al., 1998).

Principalmente para tração, os pneus agrícolas necessitam de superfícies relativamente firmes e com baixa umidade para desenvolver os trabalhos agrícolas de forma eficiente. Por outro lado, as plantas, para seu desenvolvimento necessitam de condições opostas, requerem solo não compactado, friável e úmido (Terminello & Palancar, 2005)

Segundo Hakansson & Voorhees (1998) a compactação no perfil do solo se forma de modo diferenciado, em que a pressão de contato entre o solo e as rodas gera compactação na camada superficial do solo (0 – 0,2 m), enquanto que em subsuperfície a carga por eixo é o fator preponderante. Entretanto, a compactação do solo é dependente das suas características intrínsecas, destacando-se a textura (Imhoff et al., 2004), o teor de carbono orgânico (Stone & Ekwue, 1995), a umidade gravimétrica no momento do

manejo mecânico do solo (Horn et al., 1995), além da frequência e intensidade com que as cargas são aplicadas no solo pelos rodados das máquinas agrícolas (Chamen et al., 2003). Estes fatores são os principais responsáveis pelos diferentes níveis de compactação dos solos, sendo que a influência destes é de fundamental importância para o desenvolvimento de estratégias visando o controle da compactação em camadas superficiais e subsuperficiais.

Atualmente, o Brasil se destaca com uma das maiores áreas agrícolas conduzidas sob sistema de semeadura direta, na qual em 2006 este sistema era utilizado em aproximadamente 25,5 milhões de hectares (Febrapdp, 2010).

Entretanto, o tráfego cumulativo de máquinas e o mínimo revolvimento do solo têm permitido a compactação do solo. Isso foi verificado em inúmeros trabalhos realizados em locais com diferentes características edafoclimáticas (Unger, 1996; Tebrügge & Düring, 1999; Fabrizzi et al., 2005; Xavier, 2005; Kamimura, 2008; Sequinato, 2010).

Opostamente, outras pesquisas têm mostrado que a semeadura direta auxilia de forma significativa na retenção de água no solo, na estabilidade de agregados e no controle da temperatura, em comparação ao sistema convencional de preparo do solo (Kemper & Derpsch, 1981; Sidiras & Pavan, 1986; Rhoton, 2000).

De acordo com Cardoso et al. (2006), mesmo com o aumento da densidade do solo gerado pelo tráfego de máquinas em semeadura direta, isso não significa necessariamente que haverá redução na produtividade das culturas. Estes autores afirmaram que camadas compactadas de solo não afetaram de forma significativa o rendimento final de grãos e massa seca da cultura da soja.

Os estresses decorrentes da carga aplicada e a compactabilidade do solo, traduzida pela capacidade de deformar ou rearranjar suas partículas quando uma carga é aplicada em sua superfície, determinam o tipo e a magnitude da deformação do solo (Soane, 1981; Horn et al., 1995).

As cargas aplicadas ao solo, por meio dos rodados das máquinas agrícolas, influencia diretamente na estrutura do solo que, além da sua estruturação natural, adiciona os efeitos negativos decorrentes do aumento da densidade do solo com diminuição da porosidade total, modificação no

diâmetro e possível aumento no número de poros descontínuos. No entanto, em função das oscilações do tempo que determinam a disponibilidade temporal de água, nutrientes e multiplicação de seres vivos do solo, nem sempre se verifica efeitos detrimenais da compactação na produtividade das culturas. Entretanto, Arvidsson & Hakansson (1996) encontraram uma correlação linear positiva entre a produtividade e a intensidade de tráfego. Os autores afirmam que em geral foi complicado explicar consistentemente a resposta das culturas em função do tráfego de máquinas.

A distribuição espacial e em profundidade da pressão exercida pelas máquinas é complexa (Alakukku et al., 2003). Entretanto, é importante saber se estas pressões podem ou não acarretar alterações deletérias na estrutura do solo nas diferentes camadas, especialmente no perfil em que as raízes irão se desenvolver. Segundo Keller et al. (2002), os efeitos detrimenais na camada superficial do solo podem ser considerados de menor importância, uma vez que esta compactação pode ser removida por ocasião do preparo do solo e/ou semeadura. A maior preocupação deve estar focada na compactação subsuperficial, uma vez que a remoção da compactação no subsolo demanda altos custos, bem como pode implicar em reduções na produtividade das culturas (Alakukku et al., 2003; Chamen et al., 2003).

A análise das modificações na estrutura do solo decorrentes da compactação pode ser monitorada avaliando as propriedades físicas do solo que traduzem as modificações na distribuição do tamanho de poros resultante do rearranjo das partículas e/ou agregados em função da pressão aplicada ao solo (Soane et al., 1981). As propriedades físicas do solo mais frequentemente utilizadas nestes estudos são a densidade do solo, a porosidade do solo e a resistência mecânica do solo à penetração, entre outras (Schäfer-landefeld et al., 2004; Yavuscan et al., 2005; Sweeney et al., 2006; Xavier, 2005; Conte, 2007; Kamimura, 2008; Debiasi, 2008; Sequinato, 2010).

### **2.1.3. Densidade e porosidade do solo**

A densidade do solo é a relação entre a massa de solo seco e o seu volume total, incluindo o espaço poroso (Kiehl, 1979; Hillel, 1982). A massa de solo é composta quase que exclusivamente de partículas minerais, a não ser em casos específicos em que o conteúdo de matéria orgânica é

suficientemente significativo para alterar esta constante. Desse modo, um solo terá sua densidade modificada quando houver alteração do seu espaço poroso.

O manejo conservacionista do solo, com cultivo de plantas em cobertura, é uma forma de melhorar as características físicas do solo em médio e longo prazo, a fim de atingir níveis de densidade adequados ao desenvolvimento das culturas anuais. Esse comportamento foi verificado por vários autores que propõem que a matéria orgânica atua como agente cimentante na formação e estabilização de agregados (Bayer & Mielniczuk, 1999; Silva et al., 2002)

Desse modo, a densidade do solo tem sido utilizada como indicador importante para avaliar as modificações geradas pelo manejo e também pelo tráfego de máquinas sobre a qualidade física do solo (Imhoff, 2002).

A determinação dos valores críticos de densidade do solo não é simples, pois, segundo Hakansson & Lipiec (2000), as culturas respondem de forma diferenciada a este atributo de acordo com os diferentes tipos de solo.

Reichert et al. (2003), trabalhando com intervalo hídrico ótimo (IHO), sugeriu, de acordo com a classe textural do solo, níveis críticos de densidade do solo, sendo 1,75; 1,45 e 1,30 Mg m<sup>-3</sup> para solos de textura arenosa, média e muito argilosa, respectivamente.

Segundo Kiehl (1979), um solo ideal deve possuir espaço poroso total de 50%, sendo que aproximadamente 33% devem ser relativos aos macroporos e o restante ocupado por microporos.

De acordo com Letey (1985), a disponibilidade de O<sub>2</sub> é um fator fundamental ao desenvolvimento do sistema radicular e considera a taxa de difusão de oxigênio no solo mais importante do que a quantidade volumétrica.

A macroporosidade de 0,1 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> é considerada como volume limiar para que a taxa de difusão de gases seja suficiente para suprir a demanda de oxigênio exigida pelo sistema radicular das plantas. Inúmeros trabalhos elucidaram que a macroporosidade está diretamente relacionada com a difusão de gases no solo e que esta determina a capacidade de aeração do solo (Grable & Siemer, 1968; Dexter, 1988; Xu et al., 1992).

Valores de macroporosidade menores que 0,1 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> são, comumente, considerados como restritivos para que as plantas consigam expressar seu potencial genético. Thomasson (1978) menciona que o volume

adequado de aeração está diretamente ligado às condições climáticas e, em períodos mais úmidos, os valores críticos de porosidade de aeração devem ser ampliados.

Já Da Ros et al. (1997) afirmam que os valores ideais de macroporosidade ficam no intervalo entre 0,09 a 0,12 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Entretanto, esses valores são uma referência, pois a taxa de difusão gasosa no solo depende de inúmeros fatores, como profundidade e densidade do sistema radicular, temperatura do solo, tortuosidade e continuidade do espaço poroso (Jong Van Lier, 2001).

A diminuição da porosidade de aeração do solo abaixo do limite crítico está diretamente associada à compactação do solo gerada pelo tráfego de máquinas. Dias Junior & Pierce (1996) mencionam que a compactação aumenta a densidade do solo e, conseqüentemente, diminui a porosidade total em função da redução macroporosidade.

#### **2.1.4. Resistência mecânica do solo à penetração**

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) é uma das formas práticas para mensuração do estado de compactação dos solos. Essa força de reação da estrutura do solo em relação a uma haste penetrante padronizada é obtida por meio do equipamento denominado penetrômetro (Chancellor, 1994).

De acordo com Klein et al. (1998), Cavalieri et al. (2006) e Genro Junior et al. (2009), a RP aumenta com a diminuição do teor de água e ampliação da densidade do solo. Portanto, para a detecção de camadas compactadas é necessário que a umidade do solo esteja em um teor adequado, pois, segundo Camara & Klein (2005) e Cavalieri et al. (2006), o aumento da RP em função da densidade do solo torna-se menos evidente com o aumento do teor de umidade. Desse modo, é fundamental que a umidade do solo no momento da aquisição dos dados de RP seja determinada.

Os equipamentos de medição da RP não visam imitar a resistência que as raízes das plantas enfrentam no momento do seu desenvolvimento. Leão (2002) afirma que os mecanismos de atuação são distintos, apesar da alta correlação existente entre a diminuição do crescimento radicular e aumento da RP.

Vários autores determinaram, por meio de experimentos a campo, que a RP limitante ao desenvolvimento do sistema radicular de várias plantas anuais situa-se entre 1 MPa e 3,5 MPa (Nesmith, 1987; Canarache et al., 1984; Merotto & Mundstock, 1999). Essa variação limitante da RP está intimamente ligada com a espécie de planta cultivada, a composição textural e o sistema de manejo do solo. Entretanto, atualmente tem sido adotado como padrão de RP limitante ao desenvolvimento das plantas o valor de 2 MPa na unidade de friabilidade do solo (Imhoff, 2002).

Silva et al. (2000) afirmam que no sistema de semeadura direta, o tráfego de máquinas tem provocado compactação superficial do solo. Já Beutler & Centurion (2004) determinaram que essa compactação superficial tem gerado diminuição da produtividade das culturas anuais.

Entretanto, Klein & Camara (2007), cultivando soja em um Latossolo argiloso, conduzido sob sistema de semeadura direta, não encontraram limitações ao desenvolvimento e produtividade final da cultura.

Já Pikul et al. (1993), comparando diferentes formas de preparo do solo encontraram como resultado uma RP de 1MPa superior em semeadura direta em relação ao preparo convencional. Entretanto não foi verificada diferença significativa na produtividade da cultura do milho.

Raper (2005) afirma que existe uma grande dificuldade de comparar os resultados referentes a RP do solo obtidas em outros locais e períodos, pois esta diretamente interligada com o teor de umidade no momento da aquisição dos dados.

#### **2.1.5. Exigência de tração e mobilização do solo nas hastes sulcadoras de adubo**

As hastes sulcadoras de adubo, em substituição aos discos duplos, surgiram como uma forma de ampliar a mobilização do solo e minimizar os efeitos negativos da compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas em semeadurara direta. Segundo Abreu et al. (2004) e Genro Junior et al. (2004) as hastes sulcadoras de adubo são mais efetivas na descompactação na camada que atuam.



Reis et al. (2006), obtiveram que a densidade do solo foi menor nos locais de atuação das hastes sulcadoras em relação aos discos duplos e isso resultou em uma maior emergência de plântulas de milho.

Entretanto, segundo Silva (2003), a substituição dos discos duplos por hastes sulcadoras gera diminuição do rendimento operacional de trabalho ocasionado pelo aumento na demanda de tração.

De acordo com Sánchez-Girón et al. (2005), a demanda de força nas hastes está associada ao formato dessa peça. Desse modo, o ângulo de ataque, largura e formato da ponteira tem grande influência.

Outros fatores que também têm grande significância no esforço de tração das hastes são os relativos às características do solo, tais como estrutura, textura, densidade do solo, teor de matéria orgânica e água (Zhang, 1994; Silva et al., 2003).

Levien (1999), observou que a profundidade de atuação das hastes é o fator que apresenta maior influência no aumento da demanda de tração.

Atualmente, com o avanço da técnica de semeadura conservacionista houve, um aumento na utilização de hastes sulcadoras de adubo, que apresentam a característica de possibilitar o rompimento de camadas compactadas até aproximadamente 0,2 m, que são frequentemente encontradas em solos cultivados sob semeadura direta (Abreu et al., 2004; Genro Junior et al., 2004).

Mion et al. (2002), trabalhando com haste sulcadora de adubo tipo faca em quatro profundidades (0,12, 0,16, 0,24 e 0,30 m), constatou que o uso destas pode diminuir a compactação do solo, visto que houve uma grande diferença de mobilização do solo entre a menor profundidade de atuação da haste (194 cm<sup>2</sup>) em relação a maior profundidade de atuação da haste (346 cm<sup>2</sup>).

Herzog (2003), analisando a produtividade de soja em relação a profundidade de atuação das hastes (0,06 e 0,12 m) em área com e sem irrigação, não constatou diferença significativa entre os dados obtidos e atribuiu esta não significância à pluviosidade adequada ocorrida durante o desenvolvimento da cultura. Já Xavier (2005), reproduzindo o mesmo experimento, constatou uma produção 10% superior da cultura da soja nos

locais em que a haste sulcadora atuou a 0,12 m. Porém, nos tratamentos com irrigação suplementar essa diferença não foi verificada.

### **2.1.6. Importância da matéria orgânica do solo**

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) está diretamente ligado ao sistema de manejo adotado. É considerado um indicador de qualidade por vários autores (Gomar et al., 2002; Brancalião & Moraes, 2008), pois é capaz de modificar significativamente as características físicas, químicas e biológicas do solo que são essenciais à obtenção de um sistema produtivo sustentável (Rasmussen & Collins, 1991; Franzluebbbers, 2002; Shukla et al., 2006).

Uma das formas de manejo que podem aumentar o teor de matéria orgânica do solo é a utilização de um sistema eficiente de rotação e sucessão de culturas com aumento do aporte de resíduos vegetais (Lal, 2004). Isso é confirmado por Costa et al. (2008), que, trabalhando em experimento de longa duração, com grande aporte de resíduos em sistema de semeadura direta, encontrou incremento significativo no teor de matéria orgânica do solo.

Bayer & Mielniczuk (2008) afirmam que a MOS, além de influenciar positivamente em vários atributos físicos, tem grande importância na agregação do solo e, conforme Merten & Mielniczuk, (1991) e Amado et al. (2001), o incremento da MOS em semeadura direta também proporciona maior resistência do solo à compactação gerada pelo tráfego de máquinas agrícolas. Em concordância, Brandt (2005) menciona que a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo auxilia na distribuição das pressões exercidas pelos rodados das máquinas.

O carbono é o principal constituinte da MOS. Segundo Bayer & Mielniczuk (2008), a quantidade de carbono resiliente no solo é calculada relacionando as quantidades adicionadas e perdidas no sistema, pois a proporção desse componente no solo é muito variável, em função do clima, manejo e tipo de solo.

Com o fracionamento físico-granulométrico da matéria orgânica do solo (Cambardella & Elliot, 1992), é possível obter as frações lábeis, compostas pela matéria orgânica particulada (MOP), e também as frações consideradas estáveis, que são os componentes da MOS associada aos minerais.

A MOP apresenta baixo grau de humificação (Goldchin et al., 1997) correspondendo ao material retido na peneira de 53  $\mu\text{m}$ , juntamente com a areia, sendo possível identificar fragmentos de material vegetal e hifas fúngicas (Roscoe & Machado, 2002) e, portanto, sendo considerada como a fração mais sensível às alterações no manejo do solo (Janzen et al., 1992).

Já a matéria orgânica associada aos minerais (MOM) é composta pelas frações mais humificadas e que transpassam a peneira de 53  $\mu\text{m}$  juntamente com o silte e a argila, correspondendo à fração pesada da MOS (Roscoe & Machado, 2002).

Desse modo, os autores Bayer et al. (2004) e Souza et al., (2006) consideram a MOP como sendo a fração da MOS mais sensível às modificações das práticas de manejo do solo.

### **2.1.7. Influência da compactação do solo na produtividade da soja**

Atualmente, a área cultivada com soja no Brasil é de aproximadamente 23,36 milhões de hectares. Já a produção atingiu desta leguminosa atingiu 68,71 milhões de toneladas na safra 2009/2010 (Conab, 2010). Esses valores representam a grande importância desta cultura para a economia brasileira. Entretanto, um dos fatores que pode diminuir o rendimento desta e de outras culturas produtoras de grãos é a compactação do solo.

Porém, a relação da compactação do solo com a produtividade de grãos tem se mostrado contraditória. Bicki & Siemens (1991) encontraram que a produtividade da soja e do milho respondeu positivamente ao tráfego, quando a precipitação pluvial foi limitante, e negativamente, quando a precipitação foi adequada. Lindemann et al. (1982) verificaram que a produtividade de soja aumentou, quando o solo foi trafegado com um trator com massa de 3,6 t em ano com menor precipitação pluvial, e decresceu quando ocorreram maiores precipitações, porém não significativamente.

Já Centurion et al. (2006), avaliando a produtividade de duas cultivares de soja em vasos, com quatro níveis de compactação do solo (0,93; 1,25; 1,37 e 1,60  $\text{Mg m}^{-3}$ ) não obtiveram diferença significativa.

Entretanto, Beutler et al. (2006), analisando a produtividade de quatro cultivares de soja em experimento com seis níveis de compactação do Latossolo Vermelho de textura média, encontraram que a produtividade

decreceu a partir de valores de resistência mecânica do solo à penetração de 2,24 a 2,97 MPa e que variou de acordo com as diferentes cultivares.

Lal (1996) e Flowers & Lal (1998) obtiveram decréscimo de 9 % na produtividade de soja no solo trafegado por uma máquina com 10 t por eixo, comparado ao não trafegado.

Essa variação na produtividade das culturas em função da compactação do solo promovida pelo tráfego de máquinas, segundo Hakansson & Medvedev (1995), está ligada à complexidade de relações entre as características físicas, químicas e biológicas que atuam no desenvolvimento das plantas.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização da área experimental e caracterização climática**

O experimento foi instalado e conduzido no ano agrícola de 2009/2010 na Estação Experimental Agronômica (EEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a qual está localizada no município de Eldorado do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, Região Fisiográfica da Depressão Central.

A precipitação média anual da região é de 1.440 mm, com clima do tipo subtropical de verão úmido quente (Cfa) e temperatura média anual de 18°C (Bergamaschi & Guadagnin, 1990), segundo classificação de Köeppen.

#### **3.2. Classificação do solo e caracterização fisiográfica**

Inicialmente, sem utilização agrícola ou experimental por um período mínimo de dez anos, o solo da área onde foi instalado o experimento apresentava vegetação predominante composta por plantas típicas da região, sendo considerada, na época, como campo natural. O relevo da região é classificado como suave a ondulado e o experimento está localizado na porção superior da coxilha com declividade média de 0,02 m m<sup>-1</sup>. O tipo de solo, segundo EMBRAPA (2006), é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico – PVAd, sendo profundo e possuindo presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil, sendo referenciado na literatura como horizonte Bt.

#### **3.3. Histórico de manejo cultural da área experimental**

Na Tabela 1 é possível verificar que nos anos agrícolas de 2001, 2002, 2003 e 2009 a aveia preta antecedeu às culturas de verão. Nos anos agrícolas de 2004 e 2007, as culturas de verão foram precedidas por aveia preta e nabo forrageiro. Já em 2008, o nabo forrageiro foi consorciado com

azevém em ressemeadura, sendo que no ano de 2005, 2006 o consórcio aveia preta com ervilhaca antecedeu as culturas de verão. As culturas de inverno tiveram a função de manter a cobertura do solo, reciclar nutrientes e fornecer matéria seca a fim de diferenciar os tratamentos principais em doses de resíduos vegetais sobre o solo, sobre os quais foram semeadas as culturas de verão.

TABELA 1. Sucessão e rotação das plantas cultivadas na área experimental

Ano	Inverno	Verão
2000	-----Campo natural-----	
2001	Aveia preta	Soja
2002	Aveia preta	Milho
2003	Aveia preta	Soja
2004	Aveia preta + Nabo forrageiro	Feijão
2005	Aveia preta + Ervilhaca	Milho
2006	Aveia preta + Ervilhaca	Milho safrinha
2007	Aveia preta + Nabo forrageiro	Milho
2008	Azevém + Nabo forrageiro	Feijão
2009	Aveia preta	Soja

### 3.4. Amostragem, textura e atributos químicos do solo

Antes da instalação do experimento, no ano agrícola 2009, foram realizadas amostragens, por meio de trado calador, para caracterização físico-química do solo, na profundidade de 0,0 a 0,12 m, atentando para a possibilidade de haver heterogeneidade nas características químicas do solo, objetivando avaliar e corrigir possíveis carências de macronutrientes para as culturas de inverno e verão.

As amostras foram coletadas aleatoriamente nos tratamentos principais, com a homogeneização de três subamostras de solo por parcela, as quais foram extraídas com auxílio de um trado calador. Posteriormente, foram remetidas ao Laboratório de Análises da UFRGS e processadas conforme metodologia descrita por Tedesco et al., (1995). Os resultados médios encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2. Análise química de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico, na profundidade de 0,0 a 0,12 m, nos tratamentos com diferentes doses de resíduos vegetais em cobertura

Tratamento Mg ha <sup>-1</sup>	pH água	Índice SMP	Argila ----g kg <sup>-1</sup> ----	MO	P -mg dm <sup>-3</sup> -	K	Al ----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----	Ca	Mg
0	5,9	6,4	217,0	26,0	20,7	232	0	3,8	1,9
2	6,0	6,5	223,0	31,0	32,7	272	0	4,7	2,2
4	6,1	6,5	267,0	30,0	30,3	265	0	5,1	2,2
6	6,0	6,4	213,0	35,0	32,7	290	0	4,3	2,1
8	6,0	6,3	237,0	33,0	23,3	266	0	4,8	2,3

\*MO – Matéria orgânica

Por meio do laudo de análise do solo verificou-se que os teores dos principais macronutrientes estavam em níveis adequados em todos os tratamentos com aplicação diferenciada de resíduos vegetais em cobertura. Desse modo, a adubação de reposição foi realizada conforme Comissão... (2004).

### 3.5. Equipamentos utilizados na instalação e condução do experimento

Para a instalação e condução da pesquisa no campo, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Trator com tração dianteira auxiliar (TDA); potência máxima do motor de 53 kW (75 cv), e massa em ordem de marcha de 3.520 kg; lastros de 200 kg no eixo dianteiro e de 115 kg em cada roda traseira; pneus traseiros 18.4-30 R1, pneus dianteiros 12.4-24 R1, com pressão de inflação de 95 e 110 kPa, respectivamente; bitola de 1,65 m nos eixos dianteiro e traseiro;

- Pulverizador tratorizado, montado, de barras, tanque com capacidade para 400 litros de calda e barras providas de 19 bicos tipo jato em leque 110-02, espaçados em 0,5 m; pressão de trabalho de 40 psi (275 kPa); largura útil de 9,5 m;

- Pulverizador costal, com acionamento manual, tanque com capacidade para 20 litros de calda; equipado com bico tipo jato em leque 110-03;

- Semeadora-adubadora de precisão e de fluxo contínuo, montada.

Para a semeadura da aveia preta, a semeadora-adubadora foi equipada com 11 linhas espaçadas a 0,17 m; sulcadores para adubo e semente tipo discos duplos com 0,330 m (13"); correntes para cobrir o sulco em

cada linha de semeadura; rodas para acionamento dos dosadores de adubo e sementes com 1,20 m de diâmetro, dotadas de pneus 5.00/16-12 R1, com pressão de inflação de 18 kPa; dosadores de adubo e de sementes tipo rotor dentado horizontal e rotor acanalado, respectivamente; condutores de adubos e sementes de borracha corrugada e flexíveis; depósitos de adubo e de sementes com capacidade para 162 kg (202 litros) e 136 kg (182 litros), respectivamente; e massa de 810 kg.

Para a semeadura da soja, a semeadora-adubadora foi equipada com 5 linhas espaçadas de 0,45 m, com discos de corte de resteva liso de 0,356 m (14") de diâmetro, colocados à frente de cada linha de semeadura; sulcadores de adubo do tipo facão, com hastes instrumentadas com "strain gages" (extensômetros), com ponteiros de 0,025 m de largura e ângulo de ataque de 20º; sulcadores para semente tipo discos duplos, com 0,330 m (13"); rodas compactadoras dispostas em "V", com 0,305 m (12") de diâmetro; dosadores de adubo e de sementes tipo rotor dentado horizontal, acionados por rosca sem fim e discos horizontais perfurados, respectivamente; condutores de adubo de borracha corrugada e flexíveis, e de sementes, de plástico e rígidos ;

- Unidade armazenadora de dados (Datalogger) desenvolvida conjuntamente com o setor de instrumentação eletrônica da Escola de Engenharia Elétrica da UFRGS, para armazenamento dos dados de força de tração das hastes instrumentadas da semeadora-adubadora de precisão;

- Trilhadora estacionária, marca Lindner, com cilindro e côncavo de dentes, acionada por motor à gasolina com 8,83 kW de potência;

- Colhedora autopropelida de grãos, marca SLC-John Deere, modelo 1165, dotada de plataforma convencional com 14 pés (4,62 m) de largura, com picador de palhas; pneus dianteiros 18.4-30 R1, e traseiros 10.5/80-18; massa aproximada de 7.200 kg, sendo 2.250 kg no eixo traseiro e 4.950 kg no eixo dianteiro; bitola de 2,34 m no eixo dianteiro, e de 2,18 m no eixo traseiro;

- Trado calador utilizado para amostragem de umidade, com diâmetro de 0,042 m, com sistema de êmbolo, o qual permite retirar o solo do seu interior de maneira rápida e fácil;

- Perfilômetro, com hastes espaçadas de 0,01 m, largura total de 0,35 m e com regulação variável de até 0,35 m no sentido vertical, utilizado



para avaliação da área e volume de solo mobilizado pelos sulcadores da semeadora-adubadora de precisão;

- Penetrômetro digital da marca PenetroLOG PLG1020 produzido pela empresa Falker Automação Agrícola. O equipamento é dotado de sistema eletrônico de medição e aquisição dos dados de força aplicada e a respectiva profundidade no solo. As características construtivas do equipamento estão de acordo com a Norma ASAE S313.3 (ASAE, 2004).

### 3.6. Cultura de inverno e verão

No dia da implantação do experimento, havia sobre a superfície do solo resíduo da parte aérea da cultura do feijão, o qual foi colhido com colhedora provida de unidade picadora de palha, cuja distribuição não foi padronizada, sendo geralmente bastante desuniforme.

Sobre a palha da cultura anterior (feijão) foi semeada aveia preta, no dia 30 de maio de 2009, com a semeadora-adubadora de fluxo contínuo descrita no item 3.5, com espaçamento entrelinhas de 0,17 m, e profundidade média de deposição das sementes de 0,03 m. Para anteceder a cultura da soja optou-se por aveia preta (*Avena strigosa*, Schreb), por ser uma gramínea anual que apresenta desenvolvimento inicial rápido, eficiência na reciclagem de nutrientes, produção de massa verde entre 30 e 60 Mg ha<sup>-1</sup>, e de matéria seca entre 2 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>, além de pouca exigência em fertilidade, grande capacidade de perfilhamento, rusticidade, e tolerância à seca.

Nos tratamentos de 0 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca de aveia preta, as plantas que emergiram foram dessecadas com herbicida de ação total Roundup Original (glifosato, 480 g L<sup>-1</sup>), na dosagem de 1,5 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial. Semeada na densidade de 90 kg ha<sup>-1</sup>, a semente de aveia preta apresentava poder germinativo de 75 % e pureza mínima de 90 %. Na cultura de inverno, devido à alta fertilidade da área experimental, somente foi realizada adubação de cobertura com 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de uréia (fórmula 45-00-00), no estágio de desenvolvimento v4. Após a aveia preta senescer, foi efetuada a colheita mecânica da mesma, com auxílio da colhedora de grãos citada em 3.5.

A palha proveniente dos saca-palhas e das peneiras da colhedora foi coletada em lona plástica, pesada, e a quantidade relativa à dose de resíduo

necessária em cada parcela foi uniformemente distribuída sobre a superfície do solo.

A opção pela cultura da soja, como cultura de verão, deveu-se ao fato de dar continuidade ao experimento em questão, considerando a necessidade da sucessão de culturas.

No dia 10 de outubro de 2009, foram aplicados  $3,0 \text{ L ha}^{-1}$  do herbicida Roundup Original (glifosato,  $480 \text{ g L}^{-1}$ ), para manejo químico (dessecação) da vegetação presente antes da semeadura da soja. Os tratamentos fitossanitários posteriores consistiram de uma aplicação pós emergente de herbicida Fusiflex (fluazifop + fomesafen), em 10 de dezembro de 2009, na dosagem de  $2,0 \text{ L ha}^{-1}$  de produto comercial, para controle de corda-de-viola (*Ipomea* spp), papuã (*Brachiaria plantaginea*), e guaxuma (*Sida rhombifolia*); e Endosulfan Agripec (endosulfan), nos dias 01 e 20 de fevereiro de 2010, na dosagem de  $1,5 \text{ L ha}^{-1}$  de produto comercial, para controle de percevejo verde (*Nezara viridula*) e de lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*).

As aplicações de herbicidas foram realizadas com pulverizador de barras e trator, que trafegaram nas bordaduras da área experimental, enquanto que as aplicações de inseticida foram efetuadas com a utilização de pulverizador costal, todos descritos em 3.5.

A semeadura da cultura em questão foi realizada no dia 21 de novembro de 2009, com o conjunto trator + semeadora/adubadora descritos no item 3.5, sem uso da tração dianteira auxiliar. Foi utilizada a variedade transgênica RR, recomendada para a região (Bonato et al., 2001), com poder germinativo de 90%, e pureza mínima de 90%. Foram utilizadas aproximadamente  $35 \text{ sementes m}^{-2}$ , espaçadas na linha a  $0,45\text{m}$ , as quais foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*.

A velocidade da operação de semeadura do conjunto trator + semeadora/adubadora foi de  $5,6 \text{ km h}^{-1}$ . Na adubação, realizada conforme Comissão... (2004), foram aplicados  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  do adubo formulado 02-24-12 (N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ).

### 3.7. Tratamentos

Os tratamentos principais foram definidos por cinco diferentes doses de massa seca de resíduo de aveia preta sobre a superfície do solo: 0, 2, 4, 6 e

8 Mg ha<sup>-1</sup>.

A semeadura da soja foi realizada a 0,05 m de profundidade, enquanto o fertilizante mineral foi planejado para ser disposto pelo sulcador de adubo a profundidade de 0,12 m, perfazendo uma distância de 0,07 m entre a semente e o adubo mineral, a fim de evitar um possível efeito salino. O tratamento secundário foi definido de acordo com a ausência de tráfego, tráfego dos rodados da colhedora e do trator.

Desta forma, avaliou-se o efeito das doses de resíduo vegetal de aveia preta e do tráfego dos rodados do trator e da colhedora na produtividade da soja, em área de semeadura direta consolidada.

Para possibilitar o controle do tráfego dentro do experimento, as larguras das parcelas foram definidas de maneira que o tráfego das máquinas e equipamentos, durante as operações de semeadura direta e de colheita, ocorresse sempre em locais determinados. Na Figura 1, consta um croqui do tráfego controlado nas parcelas do experimento que possuem 5 m de largura e 7 m de comprimento.

Considerando o período de dez anos de duração do experimento até o início da presente pesquisa, ocorreram no total 20 passagens dos rodados da colhedora e 20 passagens dos rodados do trator, sempre nos locais definidos para o tráfego.

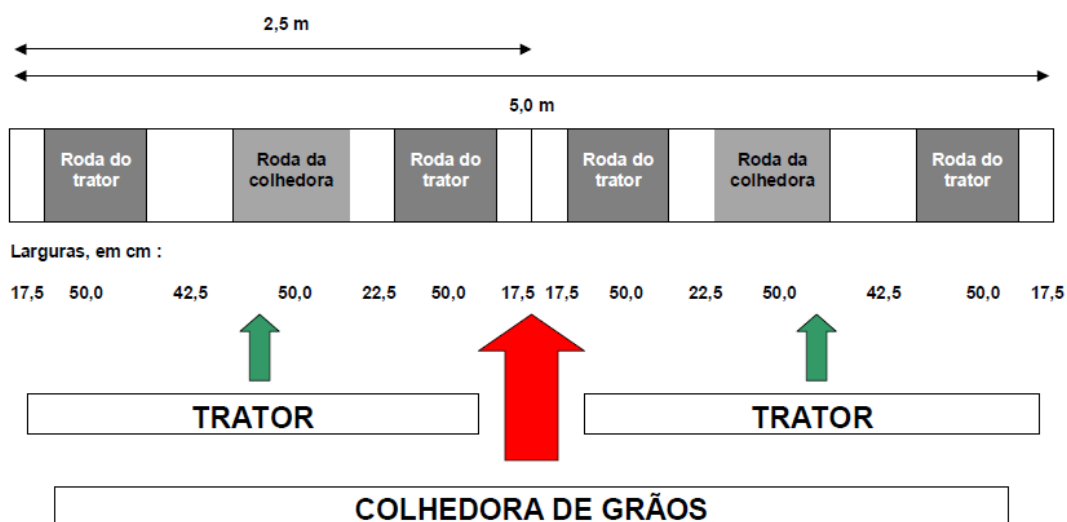


FIGURA 1. Esquema do controle de tráfego do trator e colhedora nas parcelas (Xavier, 2005).

### 3.8 Avaliações e amostragens

Foram realizadas diversas amostragens e avaliações em diferentes fases do experimento, descritas a seguir.

#### 3.8.1. Resistência mecânica à penetração e teor de umidade do solo

A compactação do solo foi mensurada nas parcelas com diferentes doses de resíduos vegetais nos locais de tráfego e ausência de tráfego até 0,4m de profundidade, com o uso do penetrômetro digital descrito no item 3.3 e ilustrado na Figura 2. As leituras de resistência foram realizadas no sentido do tráfego de máquinas, sendo adquiridos 10 pontos por subtratamento nas parcelas principais e respectivas repetições. Desta forma, obtiveram-se as médias de resistência do solo nas regiões com tráfego do rodado do trator, da colhedora e locais sem tráfego.



FIGURA 2. Penetrômetro utilizado para determinação da resistência do solo à penetração em janeiro de 2010.

No momento em que foi realizada a obtenção dos valores correspondentes à resistência mecânica do solo à penetração, foram coletadas aleatoriamente, nas parcelas dos tratamentos principais e locais com e sem tráfego dos rodados das máquinas agrícolas, amostras de solo para análise do teor de água na profundidade de 0,00 a 0,30 m. A umidade do solo dessas amostras foi determinada segundo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

### **3.8.2. Textura, densidade, macro, micro e porosidade total do solo**

A análise granulométrica do solo, nos tratamentos principais, foi realizada segundo o método da pipeta, descrito pela EMBRAPA (1997), em amostras das camadas de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m.

As amostras indeformadas de solo para determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade de solo, foram coletadas após a operação de semeadura da cultura de verão, em novembro de 2009.

Coletaram-se amostras nos locais sem tráfego, com tráfego do rodado do trator e da colhedora contidos nos tratamentos principais de 0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo vegetal. Essas amostras foram retiradas em duas camadas: 0,02 a 0,07 m e 0,10 a 0,15 m.

Abriu-se uma trincheira para a coleta das amostras indeformadas em anéis volumétricos com dimensões de 0,08 m de diâmetro e 0,05 m de altura e usou-se um batedor para introduzir os anéis sem causar desestruturação da amostra.

As amostras foram cuidadosamente envolvidas em filme plástico e acondicionadas em latas de alumínio. No laboratório, os anéis foram saturados em água por 48 horas, pesados e colocados em mesa de tensão até que atingissem o estado de umidade do solo conhecido como capacidade de campo (CC), em que a água contida nos macroporos é drenada quase que totalmente. Posteriormente as amostras foram novamente pesadas e levadas à estufa a 105° C, onde foram mantidos até atingirem peso constante (72 horas). A partir do peso do solo saturado, a CC e seco a 105° C, calculou-se a densidade, macro, micro e porosidade total do solo, conforme descrito em EMBRAPA (1997).

### **3.8.3. Teor de matéria orgânica do solo e respectivas frações granulométricas**

A coleta do solo para a determinação do teor de matéria orgânica do solo (MOS) e respectivas frações granulométricas foi realizada em junho de 2010. Foram coletadas três subamostras aleatoriamente em cada parcela que compuseram a amostra principal, nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, desconsiderando os locais de tráfego.

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA), conforme procedimento descrito em EMBRAPA (1997). Uma parte da TFSA foi reservada para a análise do teor de MOS; a outra foi utilizada para o fracionamento granulométrico, executado conforme a metodologia de Cambardella & Elliot (1992). Essa metodologia prevê a dispersão de 20 gramas de solo, através do uso de 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , juntamente com agitação mecânica horizontal, durante 16 horas. Posteriormente, as amostras são lavadas através de uma peneira de 0,053 mm, de forma a ficarem retidas na mesma, apenas a fração areia e a MOS particulada (MOP). A fração areia + MOP foi então seca em estufa a  $60^\circ \text{ C}$  por 72 h e pesada. A análise do teor de MOS (na amostra não fracionada) e de MOP (na fração areia + MOP) foi realizada segundo o método de Walkley-Black modificado, descrito em Tedesco et al. (1995). Esses métodos baseiam-se na redução do dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) por compostos de C-orgânico e subsequente determinação do ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) não reduzido, por meio de titulação com  $\text{Fe}^{2+}$  ou por técnicas colorimétricas (Nelson & Sommers, 1996). O teor de MOP e de MOS associada aos minerais (MOM) foi calculado através das Equações 1 e 2, respectivamente:

$$\text{MOP} = \text{MOS}_a \times P_a / 20 \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{MOM} = \text{MOS} - \text{MOP} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

MOP = teor de matéria orgânica particulada do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ )

$\text{MOS}_a$  = teor de matéria orgânica na fração areia + MOP ( $\text{g kg}^{-1}$ )

$P_a / 20$  = peso da fração areia + MOP (g) obtida a partir das 20 gramas de solo

MOM = teor de matéria orgânica associada aos minerais ( $\text{g kg}^{-1}$ )

#### **3.8.4. Área da seção transversal, profundidade máxima média, volume de solo mobilizado e força de tração da haste sulcadora por unidade de área mobilizada**

Foram obtidas leituras, com três repetições, do formato do sulco produzido pelo sulcador, nos tratamentos principais de distribuição das doses de resíduos e locais com e sem tráfego dos rodados das máquinas utilizando o

perfilômetro descrito em 3.5 e apresentado na Figura 3. Para isto, retirou-se o solo que foi mobilizado pela haste sulcadora de adubo. Após a retirada do solo solto, liberaram-se as varetas do perfilômetro, as quais apresentam o mesmo comprimento e espaçamento, e ao atingirem o solo, reproduziram o formato do sulco nas suas extremidades superiores, permitindo copiar, em uma folha de papel colocada à frente do painel do aparelho, o desenho formado pelas pontas das extremidades superiores das varetas do aparelho. As leituras foram realizadas após a passagem do conjunto trator/semeadora-adubadora em todos os blocos com suas respectivas parcelas. A profundidade média máxima de atuação do sulcador foi obtida utilizando-se a máxima profundidade atingida, nas repetições pertinentes a cada tratamento, pelas hastes do perfilômetro. A área da seção transversal foi mensurada por meio do cálculo integral, a partir das leituras de profundidade e de largura do sulco resultante da mobilização do solo pela haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora, a qual é utilizada como base para o cálculo do volume de solo mobilizado. O cálculo do volume de solo mobilizado foi obtido convertendo a área média da seção transversal do sulco formado pela haste sulcadora de  $\text{cm}^2$  em  $\text{m}^2$ , a qual foi posteriormente multiplicada pelos  $10.000 \text{ m}^2$  de um hectare, e dividido pelo espaçamento entre linhas ( $0,45 \text{ m}$ ), obtendo-se tal volume em  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .



FIGURA 3. Vista frontal do perfilômetro.

### 3.8.5. Força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora

A força de tração exigida nas hastes sulcadoras de adubo, no momento da semeadura da soja, foi avaliada por meio de “strain gages”, também conhecido como extensômetros, ilustrados na figura 4, que são sensores eletrônicos instalados nos suportes das mesmas, avaliando-se com diferentes hastes e no mesmo momento, a resistência que o solo trafegado pelo rodado da colhedora, trator e ausência de tráfego oferece.

Foram registradas as diferenças de potencial causadas pela deformação das hastes em função da resistência que o solo oferece por ocasião da abertura dos sulcos de semeadura (Machado, 2001). Os dados (diferença de potencial) foram armazenados em uma unidade armazenadora de dados (Datalogger) desenvolvida no Laboratório de Instrumentação Eletrônica da Escola de Engenharia da UFRGS. A partir destes dados calculou-se a demanda de tração (N), em função de uma curva de calibração pertinente a cada haste instrumentada, para cada profundidade do sulcador de adubo.

Já a força de tração da haste sulcadora de adubo por unidade de área foi calculada dividindo-se a força de tração das hastes sulcadoras pela área do sulco de solo mobilizado.

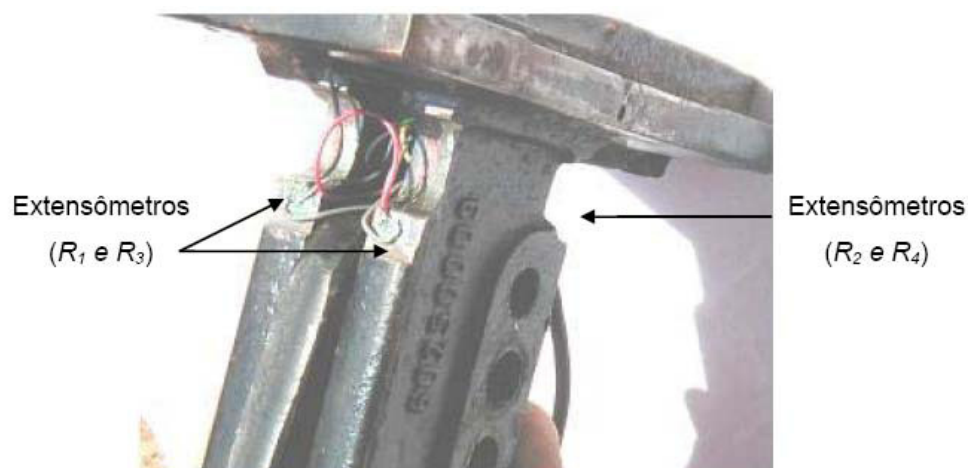


FIGURA 4. Extensômetros instalados no suporte da haste sulcadora (Cepik, 2006).



### 3.8.6. População de plantas de soja

A população de plantas de soja emergidas foi obtida através da contagem das mesmas em 5 metros por repetição, avaliada aos 70 dias após a semeadura.

### 3.8.7. Produtividade de grãos da soja

No dia 20 de março de 2010 foi realizada a colheita manual de todas as plantas de soja, totalizando uma área de 6,3 m<sup>2</sup> por repetição. A parte aérea foi trilhada na trilhadora estacionária de grãos descrita em 3.5. A produtividade foi calculada pesando-se as amostras, retirando-se as impurezas, corrigindo a umidade de grãos para 13% e extrapolando o resultado para a área referente a um hectare. O resíduo da trilha foi devolvido às respectivas parcelas.

## 3.9 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em parcelas com três repetições e subdivididos de acordo com o tráfego e ausência deste. Os tratamentos principais foram às doses de resíduo cultural de aveia preta dispostas sobre o solo, e os secundários, foram tráfego do rodado da colhedora, do trator e ausência de tráfego.



FIGURA 5. Delineamento experimental de blocos casualizados com cinco doses de resíduo vegetal, subdivididos em locais sem e com tráfego de rodado das máquinas.

Para análise estatística, utilizou-se o programa computacional SASM-Agri desenvolvido pela UFPR. Os dados obtidos a campo e/ou em laboratório foram tabulados e submetidos à análise de variância. Quando o valor de F foi significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si, utilizando-se o teste de análise de médias de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos do solo

Os resultados obtidos em relação à densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, nos locais de tráfego dos rodados da colhedora, trator e ausência de tráfego em função da profundidade de amostragem e tratamentos com doses diferenciadas de resíduos vegetais estão representados na Tabela 3.

Comparando a densidade do solo de acordo com as diferentes doses de resíduo em cobertura, não houve diferença significativa. Entretanto, quando a densidade foi comparada em relação aos locais com e sem tráfego, verifica-se que as zonas de tráfego do trator (TT) e tráfego da colhedora (TC) atingiram valores significativamente superiores em relação aos locais com ausência de tráfego (ST), nas duas camadas (0,02 - 0,07 m e 0,10 - 0,15 m). Da mesma forma, Unger (1996) obteve valores mais elevados de densidade do solo nas zonas trafegadas pelos rodados de máquinas agrícolas, em comparação aos locais não trafegados.

Nesta mesma área, Kamimura (2008), verificou nas duas camadas (0,03 - 0,06 e 0,12 - 0,15 m) valores superiores de densidade do solo nos locais trafegados pelos rodados do trator e colhedora em relação às zonas não trafegadas.

Esse aumento na densidade do solo nos locais de TT e TC em comparação com ST é gerado pela transferência de pressão exercida na interface pneu/solo, a qual nos pneus dianteiros e traseiros do trator e da colhedora é de aproximadamente 115 e 120 kPa, e de 170 e 260 kPa respectivamente, ocasionando simultaneamente a aproximação das partículas e diminuição da porosidade total do solo.

TABELA 3. Valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em função das doses de resíduo vegetal, locais de tráfego dos rodados do trator (TT), colhedora (TC) e sem tráfego (ST) em duas profundidades

Camada ---m---	Tráfego	-----Doses de resíduo (Mg ha <sup>-1</sup> )-----				
		0	2	4	6	8
-----Densidade (Mg m <sup>-3</sup> )-----						
0,02-0,07	ST	1,15Aa	1,13Aa	1,12 Aa	1,17 Aa	1,20 Aa
	TT	1,48Ba	1,45Ca	1,41 Ba	1,42 Ca	1,43 Ba
	TC	1,37Ba	1,36Ba	1,36 Ba	1,30 Ba	1,36ABa
0,10-0,15	ST	1,56Aa	1,53Aa	1,54Aa	1,55Aa	1,55Aa
	TT	1,60Ba	1,64Ba	1,63Ba	1,62Ba	1,63Ba
	TC	1,63Ba	1,67Ba	1,67Ba	1,68Ba	1,70Ba
-----Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----						
0,02-0,07	ST	0,5Aab	0,5Aab	0,53Aa	0,50Aab	0,48Aab
	TT	0,41Bab	0,44Bab	0,46Ba	0,45Ba	0,42Bab
	TC	0,45ABa	0,43Ba	0,45Ba	0,45Ba	0,44Ba
0,10-0,15	ST	0,38ABa	0,36Aa	0,39Aa	0,38Aa	0,36Aa
	TT	0,40Aa	0,38Aab	0,36ABab	0,34Bab	0,34Bab
	TC	0,35Ba	0,34Ba	0,34Ba	0,34Ba	0,35Ba
-----Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----						
0,02-0,07	ST	0,26Aa	0,19Aab	0,18Ab	0,15Ab	0,14Ab
	TT	0,10Ba	0,11Ba	0,12ABa	0,11Ba	0,10Ba
	TC	0,13Ba	0,11Ba	0,10Ba	0,11Ba	0,10Ba
0,10-0,15	ST	0,12Aa	0,10Aa	0,09Aa	0,09Aa	0,08Aa
	TT	0,07Ba	0,07Ba	0,08Aa	0,05Ba	0,06Aa
	TC	0,07Bab	0,04Cb	0,05Bb	0,04Bb	0,05Ab
-----Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----						
0,02-0,07	ST	0,23Bc	0,31Bb	0,34Aab	0,35Aa	0,34ABab
	TT	0,31Aa	0,33Aa	0,33Aa	0,33Aa	0,32Ba
	TC	0,32Aa	0,31Ba	0,34Aa	0,34Aa	0,35Aa
0,10-0,15	ST	0,26Aa	0,26Aa	0,29Aa	0,29Aa	0,28Aa
	TT	0,33Aa	0,31Aa	0,30Aa	0,28Aa	0,28Aa
	TC	0,28Aa	0,30Aa	0,29Aa	0,29Aa	0,30Aa

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Apesar dos rodados da colhedora exercerem maior pressão sobre o solo em relação aos rodados do trator, verificou-se nos tratamentos com 2 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, na camada superficial (0,02-0,07 m), que a densidade do solo foi estatisticamente maior no TT em comparação com TC. Esse resultado provavelmente está vinculado ao período de amostragem, visto que o tráfego da colhedora foi efetuado 21 dias antes da coleta das amostras de densidade, que ocorreu um dia após a semeadura da soja e tráfego do trator, ou seja, esse intervalo, aparentemente, foi suficiente para ocorrer uma leve descompactação do solo em função das variações de umidade, temperatura e atividade da biota do solo a que esse solo ficou exposto no intervalo do tráfego dos pneus da colhedora até a coleta das amostras.

Amaro Filho (2008) menciona que o molhamento e a desidratação da massa de solo não são iguais no perfil, desse modo, produzem-se forças desiguais a tensões diferentes que tendem a produzir sua fratura e a subsequente formação de torrões.

Segundo Reinert & Reichert (1999), o limite crítico de densidade do solo em análise é de 1,55 Mg m<sup>-3</sup> para textura média (20 a 55% de argila). Na Tabela 3 constata-se que na camada de (0,02-0,07 m) essa densidade não foi atingida, pois além do solo ter percentagem relativamente baixa de argila (menor que 20%) (Tabela 7), também apresenta teor médio de matéria orgânica do solo (MOS) (Tabela 6). Essa manutenção da densidade do solo abaixo do limite crítico, mesmo em locais que receberam energia de compactação, tem sido relacionada ao aumento do teor de MOS (Braidá, 2004; Jarecki et al., 2005; Debiasi, 2008), pois além de proporcionar uma maior agregação do solo, à menor densidade das partículas e o baixo grau de empacotamento dos materiais orgânicos dificultam o aumento da densidade do solo (Soane, 1990). Já avaliando a densidade do solo na camada mais profunda, verifica-se que somente no local sem tráfego a densidade se encontra abaixo do limite crítico e nos locais trafegados são evidenciados valores bem superiores a este limite, e aparentemente estão ligados ao maior teor de argila que facilita a formação de camada compactada e também ao menor teor de MOS em relação à camada superior.

Da mesma forma que a densidade, a porosidade total do solo não variou de acordo com os tratamentos de distribuição de resíduo em cobertura,

considerando a mesma camada e local de tráfego. Entretanto observou-se na Tabela 3 que a porosidade total do solo foi inferior nos locais trafegados em relação aos locais não trafegados, o que é resultado das cargas aplicadas ao solo pelos rodados das máquinas. Deste modo, o espaço poroso de um determinado volume de solo é ocupado pelas partículas de solo que se organizam e modificam o diâmetro e a conformação da rede de poros.

Kamimura (2008), na mesma área experimental, encontrou que a porosidade total média do solo, nos locais de tráfego dos rodados da colhedora, foi maior em relação às zonas não trafegadas.

Quanto à microporosidade verificou-se diferença significativa em relação aos tratamentos com doses de resíduo em cobertura, somente no local sem tráfego e na camada 0,02 a 0,07 m. A hipótese é que, em parte, o incremento significativo de MOS, promova um volume maior de microporos nos tratamento com maior teor de MOS em relação aos tratamentos com menor aplicação de resíduo em cobertura, pois a MOS apresenta alta capacidade de retenção de água devido a sua grande área superficial específica, podendo chegar a  $800-900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  (Meurer, 2004). Conseqüentemente, a macroporosidade mostrou resultado inverso da microporosidade, pois apresentou diminuição do volume de macroporos de acordo com o incremento das doses de resíduo em cobertura. Comparando a macroporosidade em relação aos locais de tráfego, verificou-se que as zonas sem tráfego apresentaram volumes superiores de porosidade de aeração em relação aos locais trafegados. Isso provavelmente ocorreu devido à pressão excessiva exercida pelo tráfego dos rodados das máquinas agrícolas ocasiona a modificação da conformação dos macroporos. Dias Junior & Pierce (1996) afirmam que a compactação do solo causa a diminuição da porosidade total em função da redução da macroporosidade. Já Da Ros et al. (1997) mencionam que os valores ideais de macroporosidade ficam no intervalo entre 0,09 a 0,12  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Esse volume de espaço de aeração não foi atingido na camada de 0,10 - 0,15 m nas áreas trafegadas, o que pode indicar uma possível deficiência de  $\text{O}_2$  para o sistema radicular das culturas.

Analisando a Tabela 3, verifica-se que a microporosidade do solo foi estatisticamente menor no local sem tráfego em relação às zonas trafegadas,

considerando-se o tratamento de 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em cobertura, na camada de (0,02 - 0,07 m).

Já o local de tráfego da (TC) apresentou valores superiores de microporosidade em relação às áreas com (TT) no tratamento com 8 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em cobertura .

Tormena et al. (1998) e Schäffer et al. (2007) afirmam que em áreas trafegadas existe a tendência da microporosidade permanecer inalterada ou mesmo aumentar em detrimento da diminuição da macroporosidade.

Kamimura (2008) trabalhando na mesma área, não encontrou, na média, com base na literatura, valores limitantes de densidade e macroporosidade, analisados nas profundidades de 0,03 - 0,06 e 0,12 - 0,15 m nos locais com e sem tráfego de máquinas.

Avaliando os atributos físicos e os enquadrando aos limites considerados na literatura com críticos ao desenvolvimento das culturas, é possível afirmar que, o solo em questão, apresentou apenas valores restritivos nos locais trafegados, na camada abaixo de 0,1 m.

Analisando a Figura 6, verifica-se que a resistência mecânica do solo à penetração (RP) apresentou, em praticamente todos os tratamentos de doses de resíduo em cobertura, maiores valores nos locais trafegados em relação às zonas sem tráfego, seguindo a mesma tendência verificada quanto à densidade do solo. Kamimura (2008) verificou que o índice de cone aumentou linearmente com o incremento da densidade do solo. Do mesmo modo, Debiasi (2008), trabalhando com plantas de cobertura, observou que a relação do índice de cone com a densidade do solo para a aveia preta+ervilhaca foi significativa ( $R^2=0,68$ ). Entretanto, no tratamento com 8 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo verificou-se ao longo do perfil, valores semelhantes, o que provavelmente esta vinculado ao teor de umidade gravimétrica encontrada neste tratamento, no dia da determinação (Tabela 4). Bauder et al. (1981), Mata (1988) e Henderson (1989) recomendam que a RP seja medida em umidades próximas à capacidade de campo. Já Klein et al. (1998), trabalhando em um Latossolo Vermelho, determinaram que a RP foi altamente influenciada pela condição de umidade do solo. Ainda afirmam que a determinação desse parâmetro unicamente quando o solo se encontra próximo à capacidade de

campo não é recomendável, pois grandes variações poderão não ser detectadas.

Xavier (2005), na mesma área experimental, verificou que no tratamento com irrigação suplementar, a RP, na camada de (0,0 - 0,12 m), nos locais com tráfego de trator e sem tráfego atingiram valores de 1.748 e 1.469 kPa, respectivamente. Já na profundidade de (0,12 - 0,21 m), esses valores foram de 2.202 kPa nas áreas trafegadas e de 2.039 kPa nos locais sem tráfego. Esses maiores valores mensurados por Xavier (2005), em comparação com os dados apresentados na Figura 6, estão ligados ao teor de umidade, pois no presente trabalho os valores de RP foram determinados com a umidade gravimétrica representada na Tabela 4, enquanto o autor referido anteriormente obteve os dados de RP em solo com umidade gravimétrica de  $0,139 \text{ kg kg}^{-1}$ .

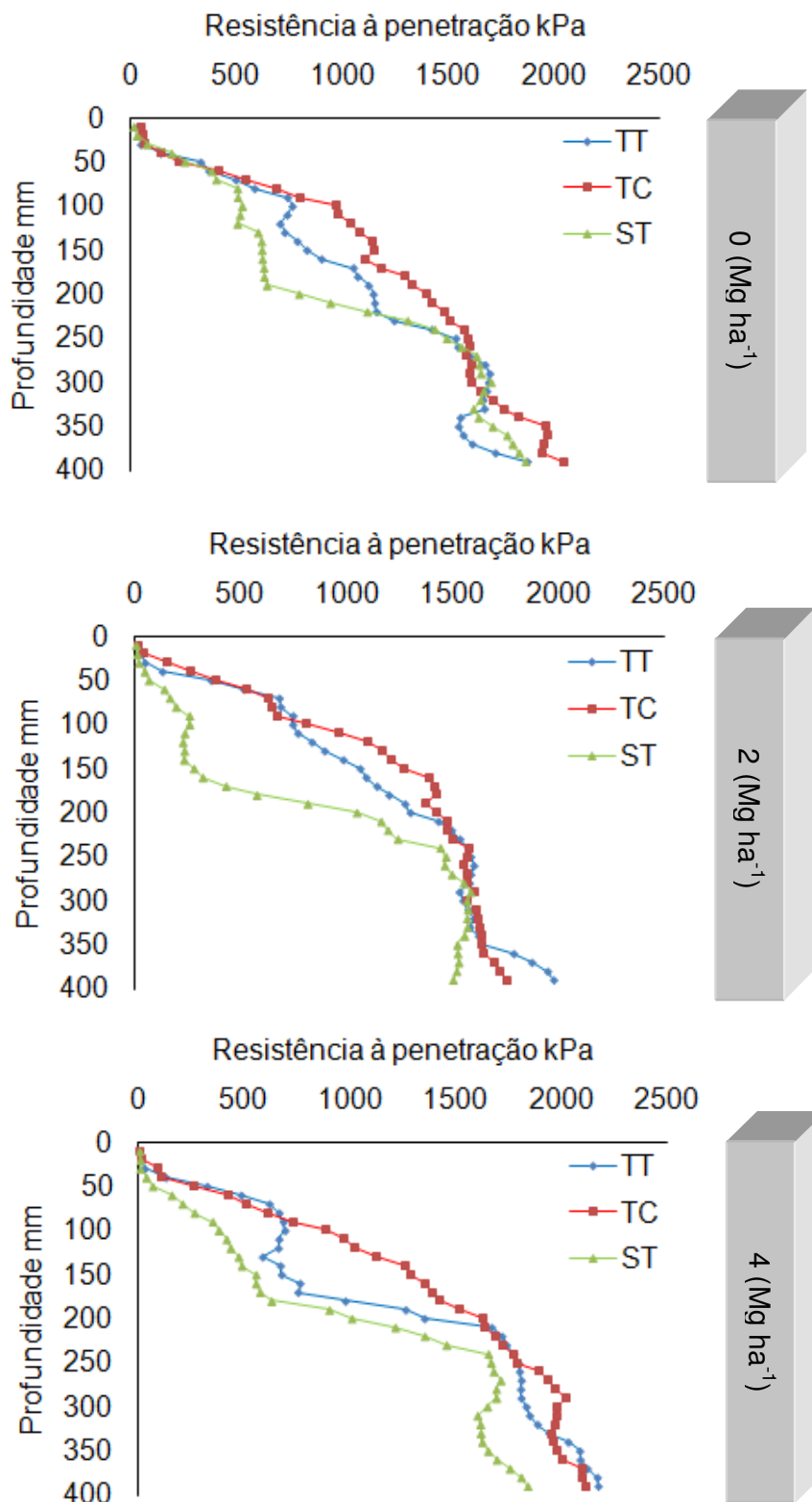
Comparando os locais com e sem tráfego, verifica-se uma similaridade da RP na profundidade de 0,25 a 0,30 m. Essa tendência deve estar ligada ao fato de que abaixo de 0,30 m a pressão exercida pelos rodados das máquinas agrícolas utilizadas no experimento não foi suficiente para causar compactação significativa do solo, pois ao longo do perfil do solo ocorre dissipação da pressão exercida pelo rodado das máquinas.

Reforçando esta hipótese, estão os resultados de RP obtidos por Kamimura (2008), que nessa mesma área, não encontrou diferença significativa quando comparou as médias do índice de cone entre as camadas de (0,18 - 0,24 e 0,24 - 0,30 m).

Nesmith (1987) adotou o valor de RP de 2 MPa como crítico ao crescimento do sistema radicular. Esse decréscimo do crescimento radicular decorre da incapacidade das raízes manterem a pressão de turgor suficiente para mover as partículas de solo na zona de elongação radicular (Atwell, 1990).

Avaliando os dados da Figura 6, verifica-se que na maioria dos tratamentos de doses de resíduo em cobertura e locais com e sem tráfego o valor crítico de RP somente foi atingido próximo a profundidade de 0,4 m, na qual praticamente não há raízes da cultura da soja. Gregory (1992), afirma que 70 a 80% da massa de raízes da cultura da soja se concentram nos primeiros 0,15 m a partir da superfície do solo.

## 4.2 Resistência mecânica do solo à penetração





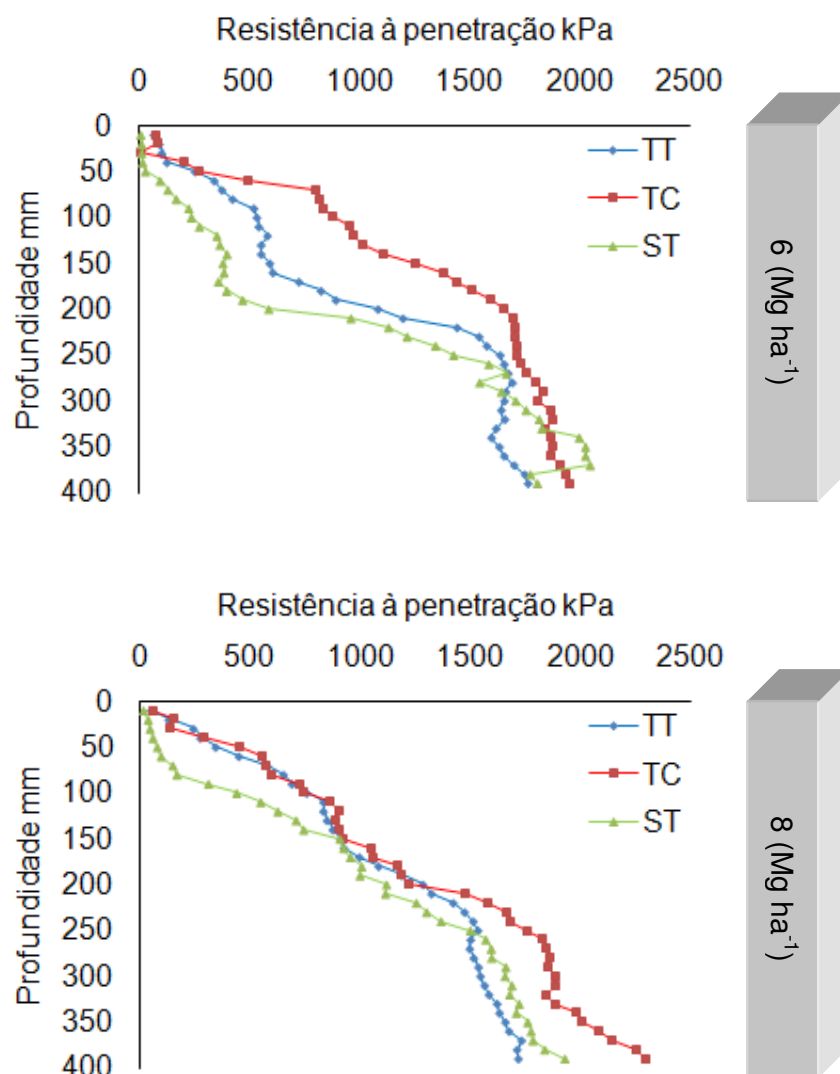


FIGURA 6. Resistência mecânica do solo à penetração nos tratamentos com doses diferenciadas de resíduo vegetal (0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha<sup>-1</sup>) e locais de tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST).

Verifica-se na Tabela 4 que a diferença no teor de umidade do solo no dia da determinação da RP foi significativo quando comparado os tratamentos com doses diferenciadas de resíduo vegetal de aveia preta, o que aparentemente está ligado ao maior teor de MOS observado na Tabela 6, além da maior cobertura do solo ter a capacidade de modificar o regime térmico diário do solo, principalmente pela capacidade de refletir a radiação solar (Streck et al., 1994).

Tabela 4. Teor médio de umidade do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) em função das doses de resíduo vegetal e locais com e sem tráfego, obtidos no dia da mensuração da resistência mecânica do solo à penetração

Doses de resíduo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	-----Umidade do solo -----			
	ST	TT	TC	Média
0	0,16	0,17	0,17	0,17 B
2	0,17	0,16	0,17	0,17 B
4	0,16	0,17	0,18	0,17 AB
6	0,18	0,17	0,18	0,18 AB
8	0,19	0,18	0,19	0,19 A
Média	0,17a	0,17a	0,18a	

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 4.3 Força de tração da haste sulcadora de adubo

Na figura 7 estão representados os dados relativos à força de tração das hastes sulcadoras de adubo em função das doses diferenciadas de resíduo em cobertura e locais com e sem tráfego. Verifica-se a tendência do aumento do esforço de tração (ET) em virtude das maiores doses de resíduo em cobertura. Nos tratamentos ST, TT e TC, a variação no esforço de tração entre as áreas com maior e menor dose de resíduos em cobertura foi de 28, 18 e 13%, respectivamente.

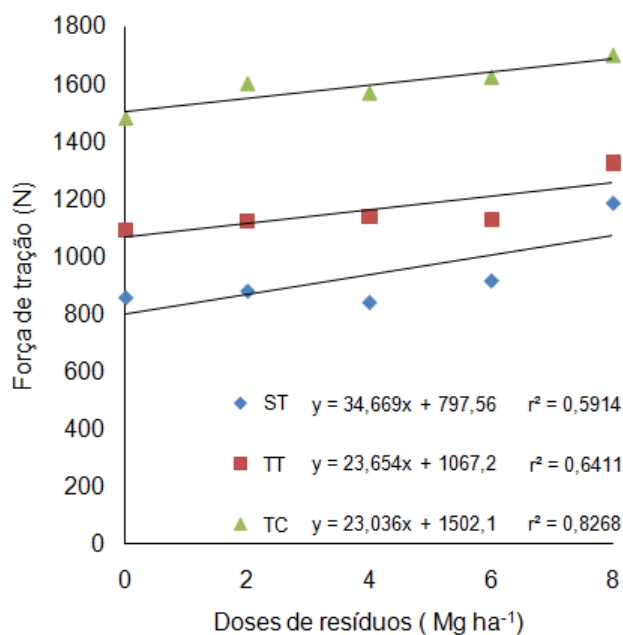


FIGURA 7. Relação entre a força de tração e a dose de resíduo vegetal em cobertura, no dia da semeadura, nas zonas de tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e sem tráfego (ST).

Esses resultados estão aparentemente ligados as variações no teor de umidade (Figura 8), o qual tem grande influência no esforço de ferramentas de preparo do solo, em virtude das modificações nas forças de coesão e adesão do solo.

Cepik (2005) determinou no solo da mesma área experimental os limites de plasticidade e de liquidez, os quais foram de 0,14 e 0,23 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Desse modo, os dados do teor de umidade em função das doses de resíduos em cobertura, representados na Figura 8, levam a inferir que o solo, no dia da aquisição dos dados, estava no estado de consistência plástica no tratamento sem cobertura. Já no tratamento com 8 Mg ha<sup>-1</sup>, o solo apresentava consistência pegajosa, na qual as forças de adesão são máximas (Amaro Filho, 2008). Desta forma, a diferença entre o esforço de tração da haste sulcadora está, provavelmente, mais ligada à variação da consistência do solo do que, em função do aumento no teor de MOS nos diferentes tratamentos de distribuição resíduos em cobertura.

Os valores de ET somente foram significativos em ST e TT (Tabela 5) quando comparados os locais com 0 e 8 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo em cobertura. Desse modo, depreende-se que a compactação gerada pelo tráfego do rodado da colhedora não permitiu que fossem observadas modificações significativas no ET, em função do incremento da MOS associada à variação da umidade do solo.

Já Cepik et al. (2002), Cepik et al. (2003), Xavier (2005) e Kamimura (2008), no mesmo tipo de solo e manejado de forma semelhante, não constataram significância quando compararam o ET nos locais com aplicação diferenciada de resíduos em cobertura. Entretanto, Pinheiro Neto et al. (2004), trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico sob sistema de semeadura direta há 8 anos, verificou que tanto a velocidade, como o tipo de cobertura influenciaram significativamente no ET médio e máximo de hastes sulcadoras.

TABELA 5. Esforço de tração (N) na haste sulcadora de adubo nos locais de tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST) nos diferentes tratamentos de distribuição de doses de resíduo vegetal de aveia preta.

Doses de resíduo Mg ha <sup>-1</sup>	-----Tráfego-----						CV%
	ST		TT		TC		
0	856	Bb	1.090	Bb	1.480	Aa	8,3
2	880	ABb	1.210	ABab	1.603	Aa	11,5
4	870	ABc	1.143	ABb	1.566	Aa	6,9
6	916	ABb	1.130	ABb	1.623	Aa	10,8
8	1.186	Ab	1.326	Aab	1.700	Aa	9,5
Média	936	c	1.162	b	1.594	a	----

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Verifica-se na Tabela 5 que os valores médios de ET foram 24 e 70% maiores no TT e TC quando comparados ao ST. Já comparando TC com TT essa diferença foi de 37%.

Cepik et al. (2002), Cepik et al. (2003), Silva et al. (2004), Beutler (2005), Xavier (2005) e Kamimura (2008), avaliando o esforço da tração de acordo com a profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, encontraram valores significativamente superiores de ET, área e volume de solo mobilizado, nos locais em que a haste atuou em maior profundidade. Entretanto, no presente trabalho, as diferenças verificadas não foram ocasionadas pelos mesmos fatores indicados por aqueles autores, pois as Tabelas 9, 8 e 10 (apresentadas e discutidas adiante), indicam que não houve diferença entre as médias de profundidade de atuação da haste, área e volume de solo mobilizado nos tratamentos TC, TT e ST.

Xavier (2005) observou uma diferença de 87% na força de tração medida no sulcador de adubo da semeadora entre os locais com tráfego e sem tráfego, quando o sulcador atuou a 0,064 m de profundidade. Já com o sulcador operando a 0,100 m de profundidade, a força de tração na haste sulcadora de adubo da semeadora dobrou nos locais de tráfego dos rodados do trator, em relação aos locais sem tráfego.

Do mesmo modo, Tullberg (2000) verificou que nos locais de passagem dos rodados do trator, a demanda na força de tração aumentou em 100%, quando comparado aos locais não trafegados.

Desse modo, infere-se que a maior energia exigida para mobilização do solo é devida aos maiores valores de densidade verificados nos locais trafegados, em relação às zonas sem tráfego.

Observa-se, na Figura 8, a relação entre os teores de umidade do solo e as doses de aplicação do resíduo, com bom ajuste da linha de tendência logarítmica, em função dos dados de umidade ter sido determinado no dia da semeadura da soja, passados 21 dias da distribuição do resíduo de aveia preta em cobertura sobre o solo, período em que ocorreu precipitação pluviométrica. Desse modo, depreende-se que as doses com maior cobertura do solo, associada ao maior teor de MOS (Tabela 6) mantiveram uma quantidade superior de água no solo em relação aos tratamentos com menores doses de resíduo em cobertura.

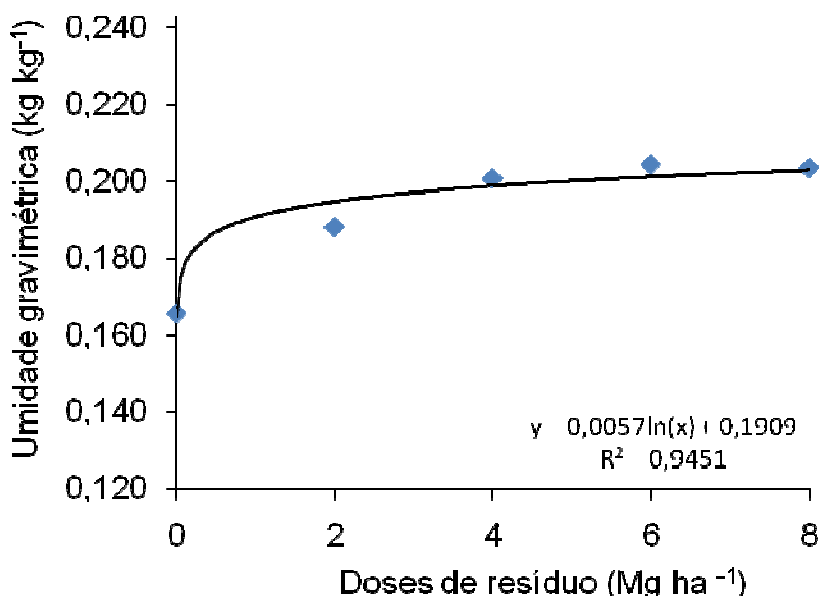


FIGURA 8. Relação entre o teor de umidade do solo e a dose de resíduo vegetal, obtida no dia da semeadura da soja.

Derpsch et al. (1985) mencionam que os efeitos das coberturas sobre as flutuações de temperatura e umidade do solo dependem da quantidade, qualidade e distribuição dos resíduos sobre o solo.

Kamimura (2008) verificou que a aplicação de 2 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em cobertura foram suficientes para cobrir aproximadamente 70 e 90% da superfície do solo, respectivamente. Ainda afirma que essa cobertura

pode estar associada à distribuição realizada manualmente e que em condições de campo nem sempre se consegue uma boa distribuição de palha em função da plataforma das colhedoras terem uma largura útil de colheita superior em relação à capacidade de distribuição do picador-distribuidor de palha.

Weber et al. (2004), comparando a variação da temperatura e umidade do solo em função dos tipos (aveia preta, ervilhaca e nabo) e quantidades ( $< 3$ ,  $3$  a  $7 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $> 7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) de resíduos orgânicos em cobertura, constataram que a aveia preta proporciona o melhor recobrimento do solo em relação as outras cultura avaliadas. Ainda afirma que o maior aporte de resíduos ao solo ocasiona melhores condições para a manutenção de umidade após uma chuva, além de diminuir a temperatura do solo, em média, cerca de  $0,6^\circ \text{ C}$  a cada  $\text{Mg ha}^{-1}$  de resíduo aportado ao solo.

#### 4.4 Matéria orgânica do solo e frações granulométricas

A MOS e as frações granulométricas foram comparadas em função das diferentes doses de resíduo e em duas profundidades de amostragem (Tabela 6).

TABELA 6. Teores de matéria orgânica do solo (MOS), associada aos minerais (MOM) e particulada (MOP), obtidos nos diferentes tratamentos de doses de resíduo, em duas profundidades (0,0 - 0,1 e 0,1 - 0,2 m).

Doses de resíduo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	MOP		MOM		MOS	
	----- g $\text{kg}^{-1}$ -----					
	0,0-0,1m	0,1-0,2m	0,0-0,1m	0,1-0,2m	0,0-0,1m	0,1-0,2m
0	3,5 Ba	0,3 Bb	21,4 Aa	14,7 Ab	24,9 Ba	15,1 Aa
2	4,1 BCa	0,4Bb	21,0 Aa	14,4 Ab	25,1 Ba	14,8 Aa
4	5,3 ABCa	0,7 ABb	21,5 Aa	15,5 Ab	26,8 ABa	16,2 Aa
6	6,8 ABa	1,0 ABb	23,6 Aa	15,0 Ab	30,4 ABa	15,1 Ab
8	8,0 Aa	1,8 Ab	24,8 Aa	14,1 Ab	32,8 Aa	15,9Ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Constata-se que a matéria orgânica particulada (MOP) aumentou, nas duas profundidades (0,0 - 0,1 m e 0,1 - 0,2 m), de acordo com o incremento da dose de resíduo em cobertura, e o aumento foi significativo quando os tratamentos sem e com aplicação de  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  foram comparados a área com  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo em cobertura. Esses resultados estão

diretamente relacionados às quantidades variadas de aplicação de palhada, pois existe a tendência de aumentar o teor de MOP em função do manejo com aplicação de maiores doses de resíduo em cobertura.

Sequinatto (2010), trabalhando em sistema de manejo com plantas de cobertura de inverno, verificou a tendência de aumento dos teores de MOP quando as áreas manejadas com nabo e aveia + ervilhaca foram comparadas com o local mantido em pousio.

Já os maiores teores de MOP na camada superior (0,0 - 0,1 m) em relação à camada (0,1 - 0,2m), constatada em todas as doses de distribuição de resíduo (Tabela 6), podem ser explicados pelo fato das plantas anuais manterem grande parte do sistema radicular na camada de (0,0 - 0,1 m) e também pelos resíduos remanescentes da parte aérea ficarem depositados na superfície do solo.

A matéria orgânica associada aos minerais (MOM) não mostrou o mesmo comportamento da MOP, pois não houve diferença significativa nos locais com aplicação de diferentes doses de resíduo, o que somente foi verificado comparando as profundidades avaliadas (Tabela 6). Porém verifica-se que a composição da MOS deve-se predominantemente a MOM, pois a MOP contribuiu com percentuais variando de 14 a 24%. Esses dados estão de acordo com Salton et al. (2005), os quais determinaram que entre 7 e 25% do carbono orgânico total era composto pela fração particulada e entre 77% e 93% estava ligada a fração associada aos minerais do solo.

Sollins et al. (1996) afirmam que a proteção química da MOS é dependente da textura e mineralogia e que resulta das interações químicas ou físico-químicas entre componentes orgânicos e minerais do solo. Entretanto, segundo os dados visualizados na Tabela 6 e Tabela 7, não se verifica uma relação positiva entre os teores de MOM e argila, quando são comparadas as profundidades de amostragem, pois os maiores teores de MOM são justamente encontrados na profundidade de 0,0 - 0,1m em que os teores de argila (Tabela 7) são significativamente inferiores aos percentuais encontrados na camada mais profunda.

Esses resultados aparentemente estão ligados ao tipo de metodologia utilizada para determinação das frações granulométricas. Como a separação é realizada por tamisação, provavelmente algum percentual de

matéria orgânica (MO) não associada aos mineirais e prontamente disponível para ser decomposta e/ou transformada em outros compostos pela biota do solo, entre na composição final da MOM.

Quanto à MOS depende-se que o manejo com aplicação de doses de resíduo vegetal, ao longo de 10 anos, foi responsável pela tendência de aumento da MOS na camada de 0,0 - 0,1m, e somente foi significativo quando o tratamento com 8 Mg ha<sup>-1</sup> foi comparado com os locais sem e com aplicação de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em cobertura. Já na camada de 0,1 - 0,2m, a MOS é quase exclusivamente composta pela MOM, pois os resíduos das culturas de inverno manejadas anualmente são dispostos em superfície e, associados à maior concentração de raízes na camada superficial, geram este resultado.

Debiasi (2008), trabalhando com a recuperação física de um Argissolo Vermelho, verificou, em duas profundidades de avaliação (0,03 - 0,06 e 0,12 - 0,15m), que os teores de MOS foram de aproximadamente 36 e 17 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e não encontrou diferença significativa em relação às diferentes plantas de cobertura utilizadas. Já Sequinatto (2010), conduzindo o mesmo experimento em ano subsequente, constatou incremento significativo destes teores, sendo de aproximadamente 44 e 21 g kg<sup>-1</sup>, assemelhando-se aos valores encontrados em área de campo nativo adjacente à área experimental.

Desse modo, é possível inferir que o solo do experimento em questão ainda pode ter seus valores de MOS aumentados com o passar dos anos, pois Bayer et al. (2000), inserindo em programa computacional dados obtidos em experimento de longa duração com condições edafo-climáticas e de manejo semelhantes ao presente experimento, encontraram que os teores de MOS poderão chegar, na camada de 0,0 a 0,175 m, a 42 g kg<sup>-1</sup>.

#### **4.5 Textura do solo**

Analisando os dados relativos à distribuição granulométrica do Argissolo, verifica-se que tanto os percentuais de silte, como de areia, foram maiores na camada superficial (0,0 - 0,1m) em relação à camada subsuperficial (0,1 - 0,2m). Já a fração argila apresentou maiores teores na camada (0,1 - 0,2m) quando comparada à camada superficial. A variação das frações



granulométricas em função da profundidade é devido aos Argissolos apresentarem gradiente textural ao longo do perfil.

Quando as diferentes frações granulométricas foram comparadas em relação aos tratamentos doses de resíduo em cobertura, não se verificou diferença significativa, pois é uma característica intrínseca do solo.

TABELA 7. Distribuição granulométrica do solo em duas profundidades de amostragem (0,0 - 0,1 e 0,1 - 0,2 m), nos tratamentos com doses de resíduo vegetal de aveia preta

Doses de resíduo (Mg ha <sup>-1</sup> )	Distribuição granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )					
	-----Argila-----		-----Silte-----		-----Areia-----	
	0,0-0,1m	0,1-0,2m	0,0-0,1m	0,1-0,2m	0,0-0,1m	0,1-0,2m
0	178 Ab	244 Aa	315 Aa	292 Ab	507 Aa	464 Ab
2	179 Ab	250 Aa	293 Aa	255 Ab	528 Aa	495 Ab
4	159 Ab	232 Aa	320 Aa	261 Ab	520 Aa	507 Aa
6	167 Ab	220 Aa	287 Aa	290 Aa	546 Aa	490 Ab
8	167 Ab	221 Aa	297 Aa	263 Ab	535 Aa	516 Ab

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

#### 4.6 Área da seção transversal do sulco de semeadura

Na Tabela 8, são apresentados os dados obtidos para a área da seção transversal de solo mobilizada pela haste sulcadora de adubo, determinada um dia após a semeadura da cultura da soja.

TABELA 8. Valores médios da área da seção transversal do sulco de semeadura (cm<sup>2</sup>) em função das doses de resíduo e locais com tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST)

Doses de resíduo (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tráfego de rodados			
	ST	TT	TC	Média
0	134	130	140	134 A
2	129	135	119	127 A
4	112	118	124	115 A
6	127	122	130	126 A
8	122	119	120	122 A
Média	125 a	125 a	127 a	-----

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Verifica-se por meio dos resultados estatísticos que o manejo com aplicação de doses diferenciadas de resíduo de aveia preta não teve efeito significativo na área da seção do sulco gerada pela haste sulcadora de adubo. Resultados similares foram encontrados em trabalhos de Cepik et al. (2002), Cepik et al. (2003), Silva et al. (2004), Xavier (2005) e Kamimura (2008).

Xavier (2005) afirma que o fato da mobilização do solo gerada pelo sulcador de fertilizante da semeadora-adubadora não ser influenciada em função das diferentes doses de resíduo pode ser justificada, em parte, pela eficiência dos mecanismos de corte de palha e regulação de atuação do facão em mesma profundidade.

Também não foi constatado diferença quando a seção do sulco foi comparada nos locais de tráfego dos rodados do trator, da colhedora e área sem tráfego. Isso ocorreu, pois todas as hastes sulcadoras de adubo foram reguladas para atuar a mesma profundidade, e mesmo as variações de umidade e densidade verificadas nos diferentes tratamentos não foram suficientes para causar modificação nestes resultados. Já Kamimura (2008) verificou que o tráfego dos rodados do trator gerou um maior valor médio de área de seção transversal do sulco mobilizada pela haste sulcadora, quando comparado ao tráfego do rodado da colhedora. A autora afirma que tal fato ocorreu em virtude da utilização de uma haste 0,025 m mais comprida.

#### **4.7 Profundidade máxima do sulco de semeadura**

Verifica-se na Tabela 9 que, tanto nos tratamentos com doses diferenciadas de resíduo em cobertura, como nas áreas com e sem tráfego de rodados, não foram verificadas diferenças em relação à profundidade máxima de atuação das hastes sulcadoras de fertilizantes.

Esses resultados semelhantes provavelmente estão ligados ao formato e ângulo de ataque da ferramenta sulcadora. Segundo Sanchez-Girón et al. (2005) afirmam que este comportamento pode ser ocasionado pela maior força vertical de sucção imposta à haste sulcadora quando esta atua em solos com maior densidade, o que aparentemente pode ter compensado o maior grau de compactação observada na área trafegada pelos rodados de trator e colhedora em relação ao local não trafegado.

TABELA 9. Valores médios de profundidade máxima do sulco em função das doses de resíduo em cobertura e locais com tráfego dos rodados do Trator (TT), colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST)

Doses de resíduo (Mg ha <sup>-1</sup> )	Tráfego de rodados			Média
	ST	TT	TC	
0	14,3	13,5	14,2	14,0 A
2	13,2	12,9	12,6	12,9 A
4	12,6	12,3	14,3	13,1 A
6	12,7	13,0	13,1	12,9 A
8	13,4	14,0	12,8	12,9 A
Média	13,2 a	13,1 a	13,4 a	-----

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Constata-se que a profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo atingiu, em alguns tratamentos, uma profundidade 20% superior a regulagem descrita na seção material e métodos. Da mesma forma, Xavier (2005), trabalhando com regulagem de 6 e 12 cm de profundidades de atuação do facão sulcador de adubo, verificou que a profundidade de atuação no campo foi 17% superior e 7% inferior, respectivamente.

Os resultados encontrados estão de acordo com os mencionados por Casão Júnior et al. (2000), que constataram dificuldade geral de regulagem da profundidade do sulcador de adubo, quando compararam dez modelos de semeadoras-adubadoras munidas de facão sulcador de fertilizante.

#### 4.8 Volume de solo mobilizado na linha de semeadura

Na Tabela 10, estão dispostos os dados relativos ao volume médio de solo mobilizado de acordo com as doses de resíduo em cobertura e locais com e sem tráfego de rodados.

Verifica-se que não houve diferença significativa no volume médio de solo mobilizado em função do local ser ou não trafegado, nem em função das doses de resíduo de aveia preta em cobertura.

Kamimura (2008), trabalhando com duas profundidade de atuação das hastes sulcadoras de fertilizante (6 e 12 cm) e com aplicação de palhada em cobertura (0, 2, 4, 5, 6, 8 Mg ha<sup>-1</sup>), encontrou valores médios de mobilização do solo inferiores ao constatado no presente trabalho, pois a profundidade máxima de atuação da haste sulcadora e também a área da seção transversal do sulco de semeadura foram menores.

Xavier (2005), avaliando o volume de solo mobilizado em função das profundidades de atuação do facão sulcador, encontrou valores, em média, 58% maiores que aqueles obtidos por Herzog (2003) nesta mesma área experimental. A aparente explicação para este resultado ocorreu em função do experimento de Herzog (2003) ter sido implantado em área sob campo nativo e, portanto, com grande presença de raízes das plantas nativas que formam uma rede consistente, não permitindo uma grande mobilização do solo enquanto seu sistema radicular não é decomposto pela biota do solo.

TABELA 10. Valores médios de volume de solo mobilizado na linha de semeadura ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) em função das doses de resíduo aplicadas em superfície e locais com tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST)

Doses de resíduo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Tráfego de rodados			Média
	ST	TT	TC	
0	297	288	311	298 A
2	286	300	264	283 A
4	249	233	275	252 A
6	282	271	289	281 A
8	271	264	267	267 A
Média	277a	271a	281a	-----

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 4.9 Força de tração da haste sulcadora de adubo por unidade de área

Na Tabela 11, estão dispostos os dados referentes à força de tração do facão sulcador de adubo (FTA) em função da área de solo mobilizado, nos tratamentos com doses de resíduo vegetal e locais com e sem tráfego.

O parâmetro FTA pode ser utilizado como uma forma de medir a eficiência de utilização de energia requerida para executar a ação de semeadura, pois quanto menos energia se utiliza para mobilizar um mesmo volume de solo, mais eficiente o processo de semeadura se torna.

TABELA 11. Valores médios de força de tração na haste sulcadora de adubo por unidade de área ( $\text{N cm}^{-2}$ ) em função das doses de resíduo em cobertura e locais com tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST)

Doses de resíduo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Força por unidade de área ( $\text{N cm}^{-2}$ )			
	ST	TT	TC	Média
0	6,38	8,38	10,57	8,44 B
2	6,82	8,96	13,47	9,75 AB
4	7,76	9,68	12,62	10,0 AB
6	7,21	9,26	12,48	9,65 AB
8	9,72	11,14	14,17	11,7 A
Média	7,57c	9,48b	12,66a	-----

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Verifica-se que a FTA média foi maior no local com aplicação de  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo, em relação a área com manejo sem distribuição de palha em superfície no período de inverno. Esse fato está provavelmente ligado ao maior teor de umidade (Figura 8), verificado no tratamento com maior quantidade de resíduo em cobertura, em relação ao tratamento sem aplicação de palhada. Já comparando a FTA média nos locais com TC, TT e ST, constata-se que houve diferença, o que aparentemente está ligado ao maior grau de compactação em TC, comparado ao TT e ST e de TT em relação ao ST.

Kamimura (2008) também encontrou valores significativamente maiores nos locais em que houve tráfego dos rodados da colhedora em relação às áreas trafegadas pelo rodado do trator e associa o resultado ao mesmo fator citado acima.

#### 4.10 População de plantas

Comparando os dados relativos à população de plantas de soja em função das doses de resíduo de aveia preta em cobertura e local sem e com tráfego dos rodados das máquinas agrícolas, verifica-se que não houve diferença ( $P > 0,05$ ) (Tabela 12). Segundo EMBRAPA (2005), a população recomendada para a cultura da soja é de 320.000 plantas por hectare e indicam que variações de até 25% são aceitáveis. Analisando os dados de população de plantas de soja, de acordo com os parâmetros recomendados pela EMBRAPA, constata-se que estes ficaram dentro dos limites estipulados

por aquele órgão de pesquisa. Variações na população pouco afetam a produtividade da soja, pois a cultura é capaz de se adequar de modo eficiente aos espaços disponíveis (capacidade de compensação) por meio de modificações em sua morfologia e nos seus componentes de rendimento (Nakagawa et al., 1988 e Denardi et al., 2003).

Vasquez et al. (2008), avaliando os efeitos de reduções na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja, em duas cultivares, verificou que a cultura foi capaz de suportar reduções de até 45% na população em relação à população de 400.000 plantas por hectare, sem perdas significativas de produtividade.

TABELA 12. Número de plantas por m<sup>2</sup> nos tratamentos principais de doses de resíduo vegetal e locais de tráfego dos rodados do trator (TT), da colhedora (TC) e ausência de tráfego (ST)

Tráfego	-----Doses de resíduo (Mg ha <sup>-1</sup> )-----				
	0	2	4	6	8
	-----Nº plantas (m <sup>-2</sup> )-----				
ST	27	23	28	25	27
TT	26	26	25	29	24
TC	28	26	29	23	28

#### 4.11 Produtividade de grãos de soja

Analisando a produtividade de grãos de soja (Tabela 13), verifica-se que não houve diferença ( $P > 0,05$ ) quando foram comparados os tratamentos doses de resíduo de aveia preta aplicadas em cobertura ao solo e locais sem tráfego e trafegados pelos rodados das máquinas agrícolas (trator e colhedora).

TABELA 13. Produtividade da cultura da soja em relação às doses de resíduo vegetal nos locais de tráfego dos rodados da colhedora (TC), do trator (TT) e ausência de tráfego (ST), safra 2009/2010.

Tráfego	Doses de resíduo (Mg ha <sup>-1</sup> )					Média
	0	2	4	6	8	
	-----Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )-----					
ST	2,82	2,96	2,88	2,80	2,93	2,88
TT	2,93	2,75	2,68	2,93	2,82	2,82
TC	3,00	2,89	2,83	2,97	2,80	2,90
CV%	12,5	10,5	9,3	8,7	12,6	-----

A provável explicação para a produtividade de grãos não ter diferido entre os tratamentos está ligada, em parte, ao fato da precipitação pluviométrica (Apêndice 1) ter sido bem distribuída e suficiente em todos os estádios de desenvolvimento da cultura da soja, o que permitiu atingir produtividades consideradas altas em todos os tratamentos do presente experimento, quando comparadas à produtividade média de soja do Estado.

Segundo Matzenauer et al. (2002), na maior parte dos anos, a frequência e a intensidade das chuvas no período do desenvolvimento da soja, que no Rio Grande do Sul ocorre entre novembro e março, são insuficientes para que a cultura manifeste seu potencial produtivo. Desse modo, o clima é o principal fator responsável pelas oscilações de produtividade da cultura no Estado. Bonato (2000) afirma que a escassez de chuva durante o período vegetativo, bem como no reprodutivo, prejudica os processos de absorção de nutrientes, produção de área foliar e assimilação de dióxido de carbono, bem como promove o murchamento de folhas e o fechamento de estômatos, o que diminui a capacidade fotossintética da planta e, por consequência, a produção de matéria seca. Berlato & Fontana (1999) estimam que 93% das perdas na safra de soja ocorram em função da escassez de chuva.

Xavier (2005), na mesma área experimental, verificou que a produtividade de grãos de soja não foi influenciada pelos tratamentos doses de resíduos e profundidade de atuação do sulcador de adubo da semeadora-adubadora, quando foi aplicada irrigação suplementar. Já na área não irrigada, verificou diferença significativa em função do grau de mobilização do solo pelas diferentes profundidades de atuação do sulcador de adubo. O mesmo autor afirma que na média, houve um acréscimo de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos (10%) a mais na maior profundidade de atuação do sulcador de adubo.

Herzog (2003), trabalhando em experimento similar, verificou maiores produtividades de grãos no experimento irrigado, em relação ao não irrigado, sem diferença significativa nos tratamentos com doses de resíduos e profundidade de atuação do sulcador de adubo.

Além de ter ocorrido precipitação em volume suficiente para o desenvolvimento da cultura, também é possível verificar que a densidade do solo determinada na área aparentemente não é suficiente para gerar restrição significativa no desenvolvimento do sistema radicular da soja. Reinert et al.

(2008), trabalhando em área com adoção de sistema de semeadura direta sob um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico, verificaram que o desenvolvimento do sistema radicular de plantas de cobertura (*Avena strigosa*, *Vicia sativa*, *Raphanus sativus*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Stilozobium cinereum*, *Canavalia ensiformis*) em comparação ao pousio, é normal até o limite de densidade de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ . Entre a faixa de  $1,75$  e  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , constataram deformações na morfologia das raízes em grau médio, e, acima de  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ , essas deformações foram significativas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e concentração na camada mais superficial. O solo onde o presente experimento foi conduzido apresentou valores de densidade inferiores a  $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$ , ou seja, por analogia entre as plantas citadas acima e a soja é possível inferir que a densidade do solo ficou abaixo das faixas avaliadas por Reinert et al. (2008) como restritivas ao desenvolvimento radicular.



## 5. CONCLUSÕES

Após dez anos de cultivos com plantas anuais, adotando a semeadura direta como sistema conservacionista de manejo do solo, podemos concluir que:

- 1 nas áreas trafegadas pelos rodados das máquinas agrícolas (trator e colhedora), os dados de densidade, microporosidade e de resistência mecânica do solo à penetração foram maiores, e os de porosidade total e macroporosidade menores, em relação aos locais com ausência de tráfego;
- 2 a força de tração na haste sulcadora de adubo foi maior no tratamento com aplicação de 8 Mg ha<sup>-1</sup> em relação ao local sem aplicação de resíduo de aveia preta, nos locais com tráfego do trator e sem tráfego. Na área com tráfego dos rodados da colhedora não houve significância em função das doses de resíduo aplicado em cobertura ao solo;
- 3 a força de tração média foi maior nos locais com tráfego do rodado da colhedora em relação ao local trafegado pelo trator e área sem tráfego. Já a área com ausência de tráfego proporcionou um esforço de tração menor em comparação ao local trafegado pelo trator;
- 4 os teores de matéria orgânica particulada e matéria orgânica total do solo aumentaram com o aumento das doses de resíduo de aveia, porém somente foram significativos quando as menores doses (0 e 2 Mg ha<sup>-1</sup>) foram comparadas a maior dose (8 Mg ha<sup>-1</sup>);
- 5 os teores de matéria orgânica particulada e associada aos minerais foram maiores em todos os tratamentos de doses de resíduo em cobertura na camada de 0,0 a 0,1m, em relação à camada de 0,1 a 0,2m. Quanto ao teor de matéria orgânica total do solo, somente houve significância quando as camadas foram comparadas nas áreas em que foram aplicadas as maiores doses de resíduo de aveia preta (6 e 8 Mg ha<sup>-1</sup>);

- 6 os valores médios de área da seção transversal, profundidade máxima e volume de solo mobilizado na linha de semeadura não diferiram em função das doses de resíduo e locais com e sem tráfego de máquinas;
- 7 os locais com ausência de tráfego, trafegado pelo rodado do trator e colhedora apresentaram, respectivamente, valores crescentes de força média de tração na haste sulcadora de adubo por unidade de área. Da mesma forma, a força média de tração por unidade de área foi maior no tratamento com  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , em comparação ao tratamento sem aplicação de resíduo vegetal de aveia preta em superfície;
8. a população de plantas e a produtividade de soja não foram significativamente influenciadas pelos tratamentos doses de resíduo e nem pelo tráfego dos rodados das máquinas agrícolas;
9. as doses de resíduo em cobertura não foram suficientes para minimizar a compactação do solo.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

AMADO FILHO, J.; ASSIS. JUNIOR, R.N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa universitária, 2008. 290 p.

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; VAN DER LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMERF, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic- induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p. 145-160, 2003.

ALMEIDA, F. S. Influência da cobertura morta do plantio direto na biologia do solo. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 103-144.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.189-197, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Soil Cone Penetrometer – ASAE S 313.3**. Saint Joseph, 2004.

ANTUNES, J. M. **Jornal Agrosoft**. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/99939.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2009.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Mecanização do plantio direto: problemas e soluções**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná. 2001, 18p. Informe da Pesquisa, n.137.

ARVIDSSON, J.; HAKANSSON, I. Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 longterm field experiments in Sweden. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 39, p. 175-197, 1996.

ATWELL, B.J. The effect of soil compaction on wheat during early tillering: I. Growth, development and root structure. **New Phytologist**, Wembley, v. 115, p 29-35, 1990.

BAUDER, J. W.; RANDAL, G. W.; SWANN, J.B. Effect of four continuous system on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n. 45, p. 802-806, 1981.

BAUMER, K.; BAKERMANS, W. A. P. Zero Tillage. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 25, p. 77-123, 1973.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solo**. 1996. 240f. Tese(Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e funções da matéria orgânica. In: SANTOS, J. A.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999, p. 9-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica** e função da matéria orgânica do solo. IN: SANTOS G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p. 7–16.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da estação experimental agronômica da UFRGS**. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 96 p.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, p.119-125, 1999.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.

BEUTLER, J. F. **Parâmetros de solo e máquinas na semeadura direta de milho e soja em duas coberturas de solo sobre campo natural** 2005. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2005.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. DA C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p.787-794, 2006.

BICKI, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop response to wheel traffic soil compaction. **Transaction of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 34, p. 909-913, 1991.

BLANCO, H.G.; BLANCO, F.M.G. Efeito do manejo do solo na emergência de plantas daninhas anuais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 215-220, 1991.

BONATO, E. R. **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 254 p.

BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P.F.; LINHARES, A.G., COSTAMILAN, L.M.; KIIHL, R.A.S.; ALMEIDA, L. A. BRS 137: cultivar de soja para cultivo no sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 841-843, 2001.

BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. 2004.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 369-374, 1990.

BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 393-404, 2008.

BRANDT, A. A. **Propriedades mecânicas de solo franco arenoso sob distintos sistemas de preparo, tráfego mecanizado e resíduos vegetais**. 2005. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CANARACHE, A.; TRANDAFIRESCU, T.; COLIBAS, I. HOROBEANU, I.; PATRU, V.; SIMOTA, H.; TRANDAFIRESCU, T. Effect of induced compaction

by wheel traffic on soil physical properties and yield of maize in Romania. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 4, p. 199-213, 1984.

CANTERI, M. G., ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S. GIGLIOTI, E. A., GODOY, C. V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott - Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p.18-24. 2001.

CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISH, R. **Dinâmica desemeadoras-adubadoras diretas em Primeiro de Maio, PR**. Londrina: IAPAR, 2000. 14 p. (Boletim técnico).

CAVALIERI, K. M. V. et al. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.

CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. DA C.; BEUTLER, A. N.; ROSSINI, L. A.; FREDDI, O. DA S.; SOUZA NETO, E. L. DE. Soil compaction effects on growth and yield of soybean cultivars. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 203-209, 2006.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; BEUTLER, J. F. Relação entre força de tração na haste sulcadora de semeadora-adubadora e a área mobilizada em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

CEPIK, C. T. C.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Patinagem do trator e demanda de tração em função da profundidade de atuação das hastes sulcadoras de adubo e doses de resíduos sobre o solo, na semeadura direta do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. 1 CD-ROM.

CEPIK, C. T. C.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O. Estado de compactação do solo em área sob semeadura direta, mapeado por meio de dados de esforço de tração em haste sulcadora de semeadora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Anais...** Canoas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

CEPIK, C.T.C. **Parâmetros de solo e máquinas em semeadura direta com doses de cobertura e configurações de deposição de fertilizante**. 104 f. 2006. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CHAMEN, T.; ALAKUKKU, L.; PIRES, S.; SOMMERD, C.; SPOOR, G.; TIJINK, F.; WEISSKOPF, P. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 2. Equipment and field practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p. 161-174, 2003.

CHANCELLOR, W. J. Soil physical properties. In: CHANCELLOR, W. J. (coord.). **Advances in soil dynamics**. Saint Joseph: ASAE, 1994. p. 21-254.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasília, DF). **Safra 2009/2010**: nono levantamento junho de 2010. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> > Acesso em : 09 jan 2011.

CONTE, O. **Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2007.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

COSTA, F. S.; Bayer, C.; Zanatta, J. A.; Mielniczuk. Estoque de carbono orgânico e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.

CURY, B. Porque fazer plantio direto. In: **Guia para plantio direto**. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p. 9-15.

DA ROS C.O.; SECCO, D; FIORIN, J. E; PETRERE, C; CADORE, M. A; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, 1997.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo-máquina-planta**. 2008. 263 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2008.

DENARDI, T.; RAMOS, T.C.; TARTARO, D.E.; NUNES, E. de M.; ASSMANN, I.C.; CICMANEC, E.A. Resposta da cultivar de soja ICA 3 sob cinco densidades de semeadura. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL

DO BRASIL, 25., 2003, Londrina. **Resumos...** Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 2003. p. 241. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 209).

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 5, p. 761-773, 1985.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 253-263, 1986.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, V. **Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit; [Curitiba]: Instituto Agrônômico do Paraná, 1991. 272 p.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 1, p. 199-238, 1988.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 175-182, 1996.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro:, 1997. 247 f.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** - região central do Brasil 2006. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 220 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 9).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

ESS, D. R.; VAUGHAN, D. H.; PERUMPRAL, J. V. Crop residue and root effects on soil compaction. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 45, n. 5, p. 1271-1275, 1998.

FABRIZZI, K.P.; GARCIA, F.O.; COSTA, J.L.; PICONE, L.I. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, p. 57-69, 2005.

FARIAS, A.D.; FERREIRA, T.N. Sistema de plantio direto no Rio Grande do Sul. **Informativo da EMATER/RS**, Porto Alegre, v. 18, n. 7, 2000.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/historico.htm>. Acesso em: 01 dez. 2010.



FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a Mollic Ochraqualf in Northwest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, p. 21-35, 1998.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 95-106, 2002.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Semeadura direta**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 207 p.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GENRO Jr., S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; Albuquerque, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 65-73, 2009.

GHOHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 25, n. 39, p. 419-431, 1996.

GOLDCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. **Soil process and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 245-266.

GOMAR, E. P.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; GARCÍA, F. Atributos do solo e biomassa radicular após quatro anos e semeadura direta de forrageiras de estação fria em campo natural dessecado com herbicidas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 211-223, 2002.

GRABLE, A.R; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 32, p. 180-186, 1968.

GREGORY, P.J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. (Coord.). **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. p. 121-175.

HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 85-97, 1995.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 167-179. (Advances in Soil Science).

HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 71-85, 2000.

HEINONEN, R. Alleviation of soil compaction by natural forces and cultural practices. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMININGS, R.W. JR. **Land clearing and development in the tropics**. Rotterdam: Bolkema Publishers, 1986. p.324.

HENDERSON, C. W. L. Using penetrometer to predict the effects of soil compaction on the growth and yield of wheat on uniform, Sandy soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, n. 40, p. 497-508, 1989.

HERZOG, R. L. S. **Resposta da soja em semeadura direta após aveia preta implantada em campo nativo, influenciada por quantidade de resíduo, irrigação e profundidade de atuação do sulcador da semeadora adubadora**. 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B. D.; OUWERKERT, C. van. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, p. 45-69, 1994.

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 23-36, 1995.

HORN, R.; VAN DEN AKKER, J.J.H.; ARVIDSSON, J. **Subsoil compaction: distribution, processes and consequences**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2000. 462 p.

IMHOFF, S. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

IMHOFF, S.; DA SILVA, A.P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 17-24, 2004.

JANZEN, H.H., CAMPBELL, C.A., BRANDT, S.A., LAFOND, G.P., TOWNLEYSMITH, L., Light-fraction organic matter in soils from longterm crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 1799-1806. 1992.

JARECKI, M. K.; LAL, R.; JAMES, R. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmers' fields in ortheastern Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 2, p. 265-276, 2005.

JONG VAN LIER, Q. Oxigenação do sistema radicular: uma abordagem física. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, V. 25, p. 233-238, 2001.

KAMIMURA, C. M. **Parâmetros de solo, máquina e planta em função de doses de resíduos vegetais e profundidades de deposição de fertilizantes em semeadura direta**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2008.

KELLER, T.; TRAUTNER, A.; ARVIDSSON, J. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 68, p. 39-47, 2002.

KEMPER, B.; DERPSCH, R. Soil compaction and root growth in Paraná. In: RUSSEL, R.S. (Ed.). **The soil/root system in relation to brazilian agriculture**. Londrina: Fundação Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p. 81-101.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo : Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa ,v. 31, p. 221-227, 2007.

LAL, R. Axle load and tillage effects on crop yield on a Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 37, p. 143-160, 1996.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p.1-22, 2004.

LEÃO, T. P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advance Soil Science**, Newman ,v. 1, p. 227-294, 1985.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Botucatu: Unesp, 1999. 305 f. Tese (Doutorado - Energia na Agricultura) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1999.

LINDEMANN, W.C.; HAM, G.E.; RANDALL, G.W. Soil compaction effects on soybean nodulation, N<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) fixation and seed yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 307-311, 1982.

MACHADO, A.L.T.; **Esforço de tração para ferramentas de hastes com ponteiros estreitas em dois solos do Rio Grande do Sul**. 2001. 175f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MATA, J. D. V.; SOUZA, M. L. P.; FAURE, A. Relações entre as características físicas e a energia de compactação de alguns Latossolos do Estado do Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 7, 1988, João Pessoa. **Resumos...** João Pessoa: SUDENE, 1988. p. 86.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MALUF, J. R. T.; BARNI, N. A.; BUENO, A.C.; DIDONE, L. A.; ANJOS, C. S.; MACHADO, F. A.; SAMPAIO, M. R. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).

MEROTTO JR, A., MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 197-202, 1999.

MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 369-374, 1991.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2ª Ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290 p.

MION, R.L.; NERY, M.S. de; CARVALHO, W.P.A.; RUIZ, E.R; FAGGION, F.; GROSSI, C.H.; MARQUES, J.P.; MAHL, D.; SIILVA, A.R.B. da; BENEZ, S.H. Influência da profundidade de trabalho de uma haste de semeadora na força de tração e na área de solo mobilizada em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

MOTA, F: S: **Meteorologia agrícola**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1979. 375 p.

NAKAGAWA, J.; MACHADO, J.R.; ROSOLEM, C.A. Efeito da densidade de plantas no comportamento de cultivares de soja, em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n.9, p.1003-1014, 1988.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: **Methods of Soil Analysis** Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996. p.963-1010.

NESMITH, D. S. Soil compaction in Double cropped wheat and soybean on Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n. 51, p. 183-186, 1987.

PIKUL J.L.; RAMIG, R.E.; WILKINS, D.E. Soil properties and crop yield among 4 tillage systems in a wheat pea rotation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam v. 26, p. 151-162, 1993.

PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, V.C.; BORTOLOTTI, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora pneumática submetida a três velocidades e diferentes coberturas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

RADFORD, R.; YULE, D. Compaction persists for five years after cessation of wheel traffic on a Vertisol in Central Queensland. In: **Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial conference, Brisbane**. 2003. p. 949-954.

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, Amsterdam, v. 42, n. 3-4, p. 259-280, 2005.

RASMUSSEN, P. E.; COLLINS, H. P. Longterm impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 45, n. 1, p. 93-134, 1991.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...**Ribeirão Preto, SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M .C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1806-1816, 2008.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, S.V. Sistema radicular de milho e compactação do solo afetados pelo pastejo e preparo. In: BALBUENA, R.H.; BENEZ, S.H., JORAJURIA, D. (Org.). **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ambito latinoamericano**. La plata - Argentina: ed. Universidad Nacional de La Plata, 1998. p. 154-158.

REIS, E. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. M.; ARAÚJO, E. F. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 777-785, 2006.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuaria Oeste, 2002. 86 p.

RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 700-709, 2000.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; MACEDO, M. C. M.; FABRICIO, A. C.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; RAMÍREZ, J. J.; LITAGO, J. J.; HERNANZ, J. L. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed drill furrow openers. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n.1, p. 25-37, 2005.

SCHAEFER, C.E.R.; SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; ALBUQUERQUE, M.A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 669-678, 2002.

SCHÄFER-LANDEFELD, L.; BRANDHUBER, R.; FENNER, S.; KOCH, H-J.; STOCKFISCH, N. Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 75, p. 75-86, 2004.

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery—Soil physical and mechanical aspects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 28-43, 2007.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A. Construção de uma agricultura sustentável, lucrativa e adaptada aos entraves pedoclimáticos das regiões tropicais úmidas. **Informe Agrônomo**, Londrina, v. 74, p. 2-20, 1996.

SEQUINATTO, L. **Qualidade física do solo e rendimento de grãos num argissolo em processo de recuperação**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2010.

SHUKLA, M.K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, p. 194-204, 2006.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 181-184, 1986.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 191-199, 2000.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (Zea mays L.) no sistema de plantio direto**. 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2003.

SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H.; MAHL, D. ; GERMINO, R. Avaliação da potência e área mobilizada de hastes sulcadoras em semeadoras-adubadoras diretas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1 CD-ROM.

SOANE, B.D.; BLACKWELL, P.S.; DICKSON, J.W.; PAINTER, DJ. Compaction by agricultural vehicles: a review. II. Compaction under tyres and other running gear. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, p. 373-400, 1981.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1-2, p. 179-201, 1990.

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. 660p.

SOLLINS, P.; HOMMAN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, p. 65-105, 1996.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, p. 323-329, 2006.

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Compressibility of some Trinidadian soils as affected by the incorporation of peat. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v. 60, p. 15-24, 1995.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro – 1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207- 212, 2002.

STRECK, N.A.; SCHNEIDER, F.M. & BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

SWEENEY, D.W.; KIRKHAM, M.B.; SISSON, J.B. Crop and soil response to wheel-track compaction of a claypan soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 637-643, 2006.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F. FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 4, p. 725-730, 2001.

TEBRÜGGE, F.; DÜRING, R.A. Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 15-28, 1999.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p.

TERMINIELLO, A. M. & PALANCAR, T. Compactación por tránsito em sistema de producción hortícola. In: JORAJURÍA COLLAZO, D. (Org.) REOLOGIA DEL SUELO AGRÍCOLA BAJO TRÁFICO: **Modificaciones fisico-mecánicas del suelo vinculadas a la compactación debida al tráfico agrario**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2005, p. 57-72.

THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal of Soil Science**, London ,v. 29, p. 38-46, 1978.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

TULLBERG, J. N. Wheel traffic effects on tillage draught. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 75, n. 4, p. 375-382, 2000.

UNGER, P. W. Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 37, p. 67-75, 1996.



VASQUEZ, G. H.; CARVALHO, N. M.; BORBA, M. M. Z. Redução na população de plantas sobre a produtividade e a qualidade fisiológica da semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 01-011, 2008.

VAN DEN AKKER, J.J.H.; ARVIDSSON, J.; HORN, R. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p.1-8, 2003.

XAVIER, A. **Comportamento da cultura da soja em função de resíduos culturais, mobilização do solo e irrigação, em semeadura direta**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2005.

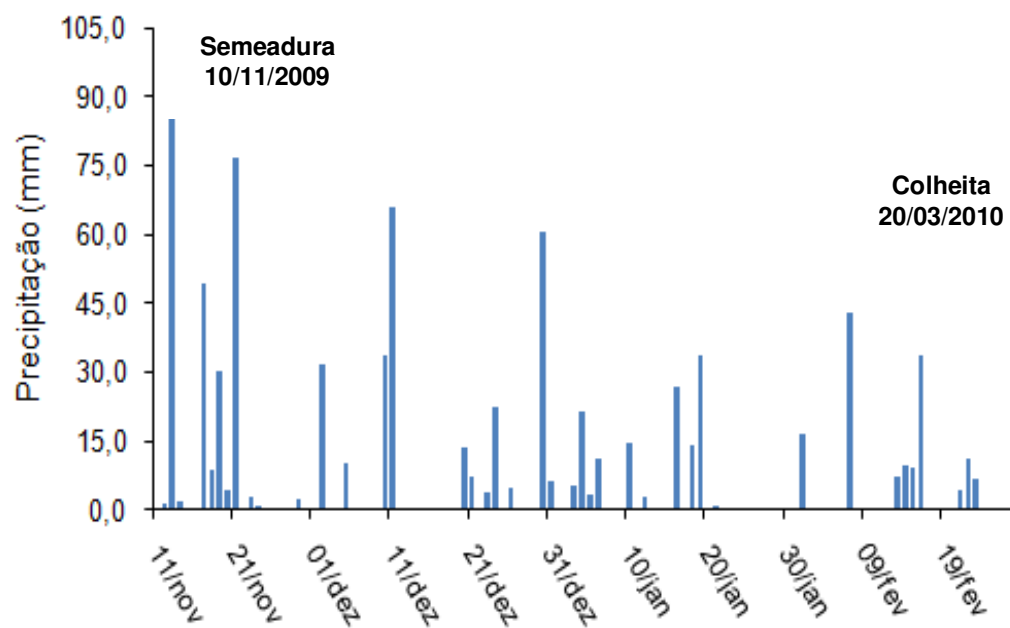
XU, X.; NIEBER, J.L., GUPTA, S.C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 56, n. 6, p.1743-1750, 1992.

WEBER, M. A.; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A.; ROSSATO, O. B.; GIRARDELLO, V. C.; SANTI, O. G. R. Efeito na temperatura e na umidade do solo pelo aporte de resíduos orgânicos de culturas de cobertura. In: V Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo " A Ciência do Solo e o Desafio do Desenvolvimento Sistemático", 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

YAVUZCAN, H.G.; MATTHIES, D.; AUERNHAMMER, H. Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, p. 200-215, 2005.

ZHANG, H.; HARTGE, K. H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 239-245, 1997.

## **7. APÊNDICES**



APÊNDICE 1. Precipitação ocorrida no período de 11/11/2009 até 28/02/2010 na Estação Experimental Agronômica. Fonte: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS.