

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

**PARÂMETROS DE SOLO E MÁQUINAS EM SEMEADURA DIRETA COM  
DOSES DE COBERTURA E CONFIGURAÇÕES DE DEPOSIÇÃO DE  
FERTILIZANTE**

**Tese de Doutorado**

**Carla Tatiana Chaves Cepik  
Porto Alegre, 2006.**

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

**PARÂMETROS DE SOLO E MÁQUINAS EM SEMEADURA DIRETA COM  
DOSES DE COBERTURA E CONFIGURAÇÕES DE DEPOSIÇÃO DE  
FERTILIZANTE**

**CARLA TATIANA CHAVES CEPIK**

Engenheira Agrícola (ULBRA)  
M.Sc. em Ciência do Solo (UFRGS)

Tese apresentada como um dos requisitos para a obtenção do Grau de  
Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil  
Agosto de 2006

CARLA TATIANA CHAVES CEPIK  
Engenheira Agrícola – ULBRA  
Mestre em Ciência do Solo - UFRGS

## TESE

Submetida como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de

### **DOCTOR 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.

Aprovada em:  
Pela Banca Examinadora

Homologado em:  
por

---

CARLOS RICARDO TREIN  
Orientador - PPG Ciência do Solo

---

CIMÉLIO BAYER  
Coordenador - PPG Ciência do Solo

---

RENATO LEVIEN  
Co-Orientador - PPG Ciência do Solo

---

GILMAR A. BETTIO MARODIN  
Diretor da Faculdade de Agronomia

---

JOÃO MIELNICZUK  
PPG Ciência do Solo – UFRGS

---

RUBENS SIQUEIRA  
IAPAR

---

LUIZ MALCON MANO DE MELLO  
UNESP

Foi o destino que me mostrou a palavra mais importante da vida:

*INTENSIDADE*

## **AGRADECIMENTOS**

**Aos** Professores Carlos Ricardo Trein e Renato Levien pela orientação, amizade e entusiasmo pelo estudo da mecanização agrícola. Exemplos de que a docência é uma profissão vocacional, que exige talento, paciência e dedicação.

**Ao** Professor Renato Brito (Engenharia Elétrica) pelo auxílio imensurável na parte de instrumentação eletrônica e ao Professor Adriano Bica (Engenharia Civil) nos estudos de mecânica dos solos.

**Ao** Professor Vilson Batista (PROMEC), pelo apoio e sugestões sempre bem-vindas no decorrer dos estudos.

**Aos** Professores Luiz Coelho de Souza, João Mielniczuk e Neroli Cogo, o meu profundo respeito.

**Ao** PPG Ciência do Solo - UFRGS e seus professores, pela formação acadêmica e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

**Aos** funcionários Jader Amaro, José da Silva (Zé), Paulo Ricardo, Denise, Jorge, Adão e Antônio pela vontade de auxiliar sempre.

**À** Estação Experimental Agrônômica da UFRGS por seus recursos físicos e funcionários.

**Às** amigas Juliana Gomes, Nilvânia Mello e Fabiane Vezzani que possibilitaram a formação de uma amizade concreta, crítica e duradoura.

**Aos** amigos e colegas Jankiel Bordignon, Alaerto Marcolan, Leandro Volk, Alexandre Xavier, Osmar Conte, Jeane Portela, Henrique Debiasi e Josué Beutler pela amizade e apoio.

**Aos** bolsistas Guilherme Menegati, Tobias Rossi e Bernardo Dalcin, pelo auxílio no campo e laboratório.

**À** família, que é o porto seguro de qualquer pessoa.

**À** Ana Paula e ao Marco, pelas situações insólitas que já passamos juntos.

**À** Simone, que mesmo lá em Recife, mantém essa amizade forte e vitalícia.

**Ao** Brune, pela dedicação e auxílio na automação da instrumentação eletrônica utilizada nesse trabalho.

**Aos** nossos filhos, Matheus e Thiago, pois viver para eles já me basta como incentivo para lutar sempre por uma vida melhor.

**A** Deus, obrigada.

# PARÂMETROS DE SOLO E MÁQUINAS EM SEMEADURA DIRETA COM DOSES DE COBERTURA E CONFIGURAÇÕES DE DEPOSIÇÃO DE FERTILIZANTE <sup>1</sup>

Autora: Carla Tatiana Chaves Cepik

Orientador: Professor Carlos Ricardo Trein

Co-Orientador: Professor Renato Levien

## RESUMO

As preocupações em relação à eficiência dos sistemas de preparo do solo são crescentes na agricultura. Para aumentar a eficiência do processo produtivo da agricultura, diferentes formas de manejo conservacionista vêm sendo propostas visando a sua sustentabilidade. Os estudos das relações solo-máquina são essenciais para o entendimento dos processos agrícolas, devendo-se considerar parâmetros do solo, das máquinas e das culturas. Com a expansão dos conhecimentos em eletrônica, o monitoramento dos testes de máquinas e implementos no campo tem evoluído tanto na área de pesquisa como na indústria. O objetivo geral deste trabalho foi quantificar as influências de máquinas agrícolas em sistema de semeadura direta sobre um Argissolo Vermelho distrófico típico, determinando a influência do tráfego de máquinas nas áreas agrícolas e avaliando a atuação e eficiência da operação de semeadura, tendo-se para isto, desenvolvido a instrumentação eletrônica para a aquisição de dados no campo. Os estudos foram realizados em uma área experimental na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Eldorado do Sul, RS) em 2002 e 2004, sendo que os tratamentos principais foram doses de resíduos culturais (0, 2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e os tratamentos secundários foram profundidades de atuação das hastes sulcadoras de distribuição de adubo (0,06 e 0,12 m). O tráfego aumentou os valores de pressão crítica do solo e não houve influência da quantidade de resíduos neste parâmetro. Como esperado, o aumento da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras aumentou a demanda de potência e a quantidade de resíduos foi determinante para a patinação do trator.

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (104 p.) Agosto, 2006.

# SOIL AND MACHINE PARAMETERS IN DIRECT DRILLING ON COVER CROP RESIDUES AND DIFFERENT FERTILIZER SHANK SETUP <sup>2</sup>

Author: Carla Tatiana Chaves Cepik  
Advisor: Professor Carlos Ricardo Trein  
Co-Advisor: Professor Renato Levien

## ABSTRACT

Concerns regarding the efficiency of soil tillage systems are growing in agriculture. To increase the efficiency of cropping systems, different conservation practices are being suggested intending to increase sustainability. Soil machine interactions are therefore essential to an understanding of agricultural processes being necessary to take in consideration parameters of soil, machine and crop. Due to an expansion in electronic knowledge, monitoring and testing agricultural machinery on fields is evolving not only in research field, but also at manufacturing research. The general objective of this study was to quantify agricultural machinery influences on a direct drilling system on an Acrisol looking at traffic on agricultural areas and evaluating seeders efficiency parameters. An electronic data acquisition system was developed to get data from field experiments. The tests were conducted at the Agricultural Research Station of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Eldorado do Sul, RS, Brazil) in 2002 and 2004. Using different amounts of covercrop residues (0, 2, 3, 4, 5, and 6 Mg ha<sup>-1</sup>) as main plots and two shank working depths (0,06 and 0,12 m) as secondary plots. Traffic by tractors increased soil critical pressure and there was no influence of cover crop residues on soil strength. As expected, increasing working depth of the seeder shanks increased power requirement and amounts of residues were critical in tractor's wheel slip.

---

<sup>2</sup> Thesis in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (104p.) August, 2006.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	Cobertura do solo em semeadura direta.....	4
2.2.	Compactação do solo e seus efeitos.....	8
2.3.	Compressibilidade do solo .....	12
2.4.	Elementos sulcadores de solo em semeadura direta.....	16
2.5.	Sistema de aquisição e armazenamento de dados.....	24
2.5.1.	Transdutor de força.....	25
2.5.2.	Elemento elástico .....	25
2.5.3.	Extensômetros de resistência elétrica ( <i>strain gauges</i> ).....	26
2.5.3.1.	Princípio básico do extensômetro de resistência elétrica ( <i>strain gauge</i> ).....	26
2.5.3.2.	Ponte de Wheatstone.....	28
3.	ESTUDO I: Desenvolvimento de sistema de aquisição e armazenamento de dados para avaliação da força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras.....	31
3.1.	Introdução .....	31
3.2.	Material e métodos.....	33
3.2.1.	Suporte e haste sulcadora de adubo.....	33
3.2.2.	Strain gauges .....	34
3.2.3.	Datalogger CR23X da Campbell Scientific INC (Armazenador de Dados).....	34
3.2.3.1.	Projeto de aplicação do Datalogger CR23X.....	35
3.2.3.2.	Caixa mecânica envolvente .....	36
3.2.3.3.	Interface de conexões de transdutores padronizada .....	38
3.2.3.4.	Programação do Datalogger .....	38
3.2.3.5.	O Programa DLOG.EXE .....	44
3.2.3.6.	Operação normal do Datalogger .....	47
3.2.3.7.	Tipos de arquivos CSV gerados pelo Programa DLOG.EXE .....	47
3.2.3.8.	Arquivo Gerais.CSV .....	48
3.2.3.9.	Arquivo SensorXX.CSV.....	49
3.2.4.	Instalação dos extensômetros na haste sulcadora .....	49
3.2.5.	Conexão entre o Datalogger e transdutor de força .....	50
3.2.6.	Aquisição de dados pelo Datalogger CR23X .....	51
3.2.7.	Diagrama de blocos de um Datalogger .....	52

3.2.8.	Procedimento de calibração da instrumentação instalada no suporte da haste sulcadora .....	53
3.3.	Resultados e discussão .....	57
3.3.1.	Calibração da instrumentação instalada nos suportes das hastes sulcadoras.....	57
3.3.2.	Valores de demanda de tração da haste sulcadora utilizando a instrumentação eletrônica .....	57
3.3.3.	Aplicação da aquisição de dados de esforço de tração no gerenciamento de tomada de decisões em áreas agrícolas .....	59
3.4.	Conclusões .....	61
4.	ESTUDO II: Força de tração e mobilização do solo em função de doses de resíduos e profundidade de atuação das hastes sulcadoras.....	62
4.1.	Introdução .....	62
4.2.	Material e métodos.....	64
4.2.1.	Localização e características da área experimental.....	64
4.2.2.	Histórico de uso da área experimental .....	64
4.2.3.	Máquinas e equipamentos para a condução dos ensaios no campo .....	65
4.2.4.	Atributos físicos da área experimental .....	67
4.2.5.	Manejo e sucessões de culturas.....	67
4.2.5.1.	Operação da semeadora-adubadora com três linhas de semeadura, cultura teste milho, ano agrícola de 2002.....	67
4.2.5.2.	Operação da semeadora-adubadora com cinco linhas de semeadura, cultura teste feijão, ano agrícola de 2004.....	68
4.2.6.	Tratamentos .....	70
4.2.7.	Delineamento experimental e análise estatística dos dados.....	70
4.2.8.	Avaliações e amostragens .....	70
4.2.8.1.	Teor de água no solo .....	70
4.2.8.2.	Força de tração na haste sulcadora de adubo .....	70
4.2.8.3.	Área da seção transversal do sulco e volume de solo mobilizado pela haste sulcadora .....	71
4.2.8.4.	Profundidade máxima efetiva provocada pelas hastes sulcadoras .....	72
4.2.8.5.	Força de tração específica na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora .....	72
4.2.8.6.	Patinagem das rodas tratórias .....	72
4.3.	Resultados e discussão .....	73
4.3.1.	Profundidade máxima efetiva provocada pelas hastes sulcadoras .....	73
4.3.2.	Área de solo mobilizada pela haste sulcadora de adubo .....	74
4.3.3.	Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora .....	75

4.3.4.	Força de tração na haste sulcadora .....	76
4.3.5.	Força de tração específica .....	78
4.3.6.	Patinagem das rodas tratórias nas operações de semeadura .....	79
4.4.	Conclusões .....	82
5.	ESTUDO III: Avaliação da compressibilidade do solo em função do tráfego de máquinas e doses de resíduos .....	83
5.1.	Introdução .....	83
5.2.	Material e métodos.....	85
5.2.1.	Localização e características da área experimental.....	85
5.2.2.	Histórico de uso da área experimental .....	85
5.2.3.	Máquinas e equipamentos para a condução dos ensaios no campo .....	85
5.2.4.	Manejo e sucessões de culturas, ano agrícola de 2004.....	85
5.2.5.	Tratamentos .....	86
5.2.6.	Delineamento experimental e análise estatística dos dados.....	87
5.2.7.	Avaliações e amostragens .....	88
5.2.7.1.	Ensaio oedométrico.....	88
5.3.	Resultados e discussão .....	89
5.4.	Conclusões .....	92
6.	CONCLUSÕES GERAIS.....	93
7.	RERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

## RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1.	Características das hastes sulcadoras para distribuição de adubo.....	33
Tabela 2.	Características dos extensômetros elétricos empregados nos suportes das hastes.....	34
Tabela 3.	Sucessões de culturas implantadas na área experimental.....	64
Tabela 4.	Equipamentos utilizados nos ensaios no campo.....	65
Tabela 5.	Atributos físicos iniciais da área experimental na profundidade de 0 a 0,14 m.....	67
Tabela 6.	Profundidade máxima efetiva dos sulcos (cm) provocada pela haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos e número de linhas da semeadora-adubadora.....	73
Tabela 7.	Área de solo mobilizado (cm <sup>2</sup> ) pela haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo.....	74
Tabela 8.	Volume de solo mobilizado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) pela haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo.....	75
Tabela 9.	Força de tração (N) na haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo.....	76
Tabela 10.	Força de tração específica (N cm <sup>-2</sup> ) em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo.....	78
Tabela 11.	Patinagem das rodas tratórias (m m <sup>-1</sup> ) em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo.....	79
Tabela 12.	Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade (Cc) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 0 Mg ha <sup>-1</sup> , em área com irrigação.....	89
Tabela 13.	Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade (Cc) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 5 Mg ha <sup>-1</sup> , em área com irrigação.....	90
Tabela 14.	Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade (Cc) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 0 Mg ha <sup>-1</sup> , em área sem irrigação.....	90
Tabela 15.	Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade (Cc) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 5 Mg ha <sup>-1</sup> , em área sem irrigação.....	91

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Curva característica de compressibilidade do solo .....	14
Figura 2. Parâmetros básicos de uma haste sulcadora: ângulo de ataque e espessura da ponteira.....	17
Figura 3. Diagrama simplificado de um transdutor de força (Borchardt & Zaro, 1982). .....	25
Figura 4. Representação do condutor de comprimento $l$ e área da seção transversal $A$ . .....	27
Figura 5. Extensômetro de resistência elétrica ( <i>strain gauge</i> ). .....	27
Figura 6. Diagrama esquemático da ponte de Wheatstone. ....	29
Figura 7. Extensômetros em Tensão ( $R_1$ e $R_3$ ) e Compressão ( $R_2$ e $R_4$ ) .....	30
Figura 8. Suporte da haste sulcadora da semeadora-adubadora. ....	33
Figura 9. Datalogger CR23X em sua configuração original .....	34
Figura 10. Esquema dos sistemas conectados ao Datalogger CR23X.....	35
Figura 11. Caixa mecânica envolvente .....	37
Figura 12. Exemplo de Programa para o Datalogger CR23X usando DLOG.EXE.....	42
Figura 13. Tela Principal de DLOG.EXE .....	45
Figura 14. Arquivo DLOG.INI .....	46
Figura 15. Arquivo para Localização do Programa Ativo .....	46
Figura 16. Estrutura de Armazenamento dos Arquivos CSV .....	48
Figura 17. Arquivo Gerais.CSV .....	48
Figura 18. Arquivo Sensor08.CSV .....	49
Figura 19. Strain gauges instalados no suporte da haste sulcadora.....	49
Figura 20. Conexão do datalogger ao transdutor de força.....	50
Figura 21. Diagrama de blocos típico de um Datalogger .....	53
Figura 22. Arranjo para determinação do fator linear.....	54
Figura 23. Planilha de calibração das hastes sulcadoras .....	55
Figura 24. Calibração prévia das hastes sulcadoras, nas posições superior e inferior (haste 1).....	57
Figura 25. Calibração prévia das hastes sulcadoras, nas posições superior e inferior (haste 2).....	57
Figura 26. Variação do esforço de tração de uma haste sulcadora em função da profundidade de atuação e tempo (s), Tupanciretã – RS.....	58
Figura 27. Variação do esforço de tração na análise comparativa de duas hastes com geometrias diferentes em função do tempo (s), EEA – UFRGS (Eldorado do Sul – RS).....	59
Figura 28. Mapa do estado de compactação do solo elaborado a partir de dados de esforço de tração (kgf) medidos em haste sulcadora da semeadora-adubadora.....	60

Figura 29. Vista frontal do perfilômetro em uso no campo.....	71
Figura 30. Regressão linear para os valores de patinação em função das doses de resíduos, nas duas profundidades efetivas da haste sulcadora de adubo, com 3 e 5 linhas de semeadura.....	81
Figura 31. Esquema do controle de tráfego do trator e colhedora nas parcelas e sub-parcelas.....	87
Figura 32. Prensa oedométrica e seus componentes.....	88

## RELAÇÃO DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	26
Equação 2.....	27
Equação 3.....	28
Equação 4.....	28
Equação 5.....	30
Equação 6.....	30
Equação 7.....	30
Equação 8.....	30
Equação 9.....	72

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

As preocupações em relação à eficiência dos sistemas de manejo do solo são crescentes na agricultura. Para aumentar a eficiência do processo produtivo da agricultura, diferentes formas de manejo conservacionista vêm sendo propostas visando uma maior eficiência e sustentabilidade de sistemas agrícolas. A sustentabilidade agrícola é a capacidade do sistema em produzir alimentos, fibras ou energia sem comprometer as condições que tornam possível a continuidade deste processo de produção, dependendo diretamente da manutenção da qualidade do solo ao longo do tempo. Dentre as alternativas que visam tornar os sistemas agrícolas mais sustentáveis, já utilizadas no Brasil desde a década de 70, destaca-se a semeadura direta, atualmente bastante utilizada.

Mesmo sendo um sistema conservacionista de preparo do solo, em áreas onde este sistema está consolidado ou onde existe a integração da lavoura com atividades de pecuária, ainda pode ocorrer redução da qualidade do solo pela sua compactação superficial ou subsuperficial. Essa compactação pode ocorrer devido ao tráfego de máquinas em condições impróprias de solo ou devido à utilização inadequada de técnicas de semeadura direta. Os efeitos negativos da compactação são o aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular e a redução da capacidade de infiltração da água e aeração do solo, podendo afetar a produtividade agrícola e até mesmo a sustentabilidade do sistema como um todo.

A semeadura é uma das operações mais importantes dentre as operações necessárias para a implantação e manutenção de uma cultura agrícola, e a mesma é avaliada pela emergência de plântulas. Os fatores que afetam a operação de semeadura estão relacionados com as sementes, o solo,

a máquina, o clima e a adequada operação dos equipamentos agrícolas, sendo que a manutenção de áreas mal semeadas é difícil e, por vezes, ineficaz.

O desempenho das semeadoras-adubadoras, suas regulagens e operação eficiente influenciam diretamente na germinação e emergência das plantas e, conseqüentemente, na produtividade das culturas. Muitas áreas afetadas por compactação superficial não necessitariam ser descompactadas ou revolvidas se as semeadoras-adubadoras fossem utilizadas com regulagens corretas, o que resultaria em um melhor posicionamento da semente e maior eficiência de germinação.

Os estudos das relações solo-máquina são essenciais para o entendimento dos processos agrícolas, devendo-se considerar parâmetros de solo, das máquinas e das culturas. No Brasil, existem pesquisas com resultados relevantes e indicativos de soluções tanto na área de engenharia como na área de manejo do solo. Resultados de estudos que definem parâmetros para a utilização de discos de corte de palha, geometria específica para hastes sulcadoras e tráfego controlado nas lavouras são alguns exemplos a serem citados como soluções tecnológicas.

A avaliação do desempenho de máquinas ou elementos de máquinas pode ser feita em laboratório, no campo ou pela utilização de programas computacionais de simulação de operações de equipamentos. A simulação, para ser eficiente, depende do uso de parâmetros previamente determinados e conhecidos. A avaliação do desempenho no campo demanda um rigoroso planejamento, pois seu objetivo é simular operações e ambientes comuns em lavouras. Esses testes são monitorados para a obtenção de dados que podem ser usados para a derivação de parâmetros necessários à simulação. Testes no campo são complexos, pois seu planejamento e execução dependem da disposição espacial, temporal, de pessoas e a variação climática para a realização dos testes.

Com a expansão dos conhecimentos em eletrônica, o monitoramento dos testes de máquinas e implementos no campo tem evoluído tanto na área de pesquisa como na indústria. A instrumentação eletrônica permite a aquisição de dados com rapidez e precisão, a definição prévia das condições operacionais a serem testadas e o controle das mesmas, além da geração de bancos de dados. Com a análise dos dados, é possível adequar

projetos de produtos e a utilização do mesmo no campo, de modo que as plantas possam ter condições para atingir a eficiência estimada.

Nesse contexto, as hipóteses gerais deste trabalho são:

- que o tráfego de máquinas afeta a estrutura do solo sob semeadura direta e que essa alteração pode ser mensurada utilizando-se como parâmetro controlador de compactação a pressão de pré-consolidação do solo ( $\sigma_p$ ) e o índice de compressibilidade (Cc).
- que as máquinas agrícolas têm seu desempenho operacional afetado pela variação de fatores de manejo do sistema ou pela variação das configurações operacionais dos equipamentos agrícolas, e que para a avaliação dos parâmetros de máquina é fundamental a utilização de ferramentas precisas.

O objetivo geral deste trabalho é quantificar as influências de máquinas agrícolas em sistema de semeadura direta sobre um Argissolo Vermelho distrófico típico, estabelecendo a influência do tráfego de máquinas nas áreas agrícolas e avaliando a atuação e eficiência da operação de semeadura.

A presente tese está estruturada em capítulos, constituindo-se de uma Introdução Geral (Capítulo 1), de uma Revisão Bibliográfica (Capítulo 2) e de três capítulos onde são reportados três casos de estudos, respectivamente tratando do desenvolvimento de instrumentação eletrônica para avaliação de máquinas agrícolas (Capítulo 3), avaliação da operação de semeadura sobre diferentes doses de resíduos e profundidades de atuação das hastas sulcadoras (Capítulo 4) e avaliação da compressibilidade do solo em diferentes tráfegos de máquinas (Capítulo 5). Cada um dos capítulos que tratam dos estudos é constituído de uma Introdução descrevendo as hipóteses e os objetivos específicos, Material e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusões. Já o Capítulo 6 apresenta as conclusões gerais desta tese.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Cobertura do solo em semeadura direta**

Os princípios básicos da técnica de semeadura direta são o revolvimento mínimo do solo, a rotação de culturas e a manutenção do solo coberto por plantas vivas e/ou seus resíduos (Johnson et al., 1984; Soane & van Ouwerkerk, 1994; Seganfredo et al., 1997; Barum, 1999; Tavares Filho et al., 2001). A escolha das espécies utilizadas nos sistemas de rotação de culturas, tanto no inverno como no verão, deve considerar a função das mesmas no sistema produtivo.

A manutenção da sustentabilidade agrícola é o fator prioritário de avaliação e tomada de decisões, sendo definida como a capacidade de um sistema agrícola em produzir alimentos e fibras sem comprometer as condições que tornam possível o processo de produção (Gliessman, 2000).

A semeadura direta é uma prática conservacionista especialmente adequada para as condições de ambiente de regiões tropicais, onde podem ocorrer chuvas de elevada erosividade e onde ocorrem períodos mais longos de incidência de raios solares, podendo ocasionar altas temperaturas do solo. Os resíduos culturais podem atuar na proteção física do solo, na ciclagem de nutrientes e na atividade da microbiota do solo, propiciando melhores condições para a germinação e desenvolvimento inicial de plantas (Séguy et al., 1996; Derpsch et al., 1986; Levien et al., 1990; Roth et al., 1991; Siqueira et al. 1997; Reeder, 1992; Bragagnolo & Mielniczuk, 1990).

Vezzani (2001) efetuou ampla revisão bibliográfica sobre a qualidade do solo e seus possíveis indicadores. Considerou o solo como um sistema aberto, composto por subsistemas denominados mineral, plantas e microorganismos, sendo a função das plantas nesse sistema a de fornecer energia e matéria para o sistema solo através da parte aérea e das raízes.

A ação antrópica sobre sistema solo poderá melhorá-lo, mantê-lo estável ou degradá-lo (Mielniczuk, 2003). Para melhorar suas propriedades físicas recomenda-se um menor revolvimento do mesmo na operação de semeadura associada a rotações de culturas que utilizem plantas com elevada produção de biomassa e sistema radicular profundo e agressivo, o que propicia formação de canais e macroporos. Estas práticas influenciam as propriedades químicas do solo através do aumento dos teores de C orgânico no solo (Unger e Kaspar, 1994).

A qualidade e a quantidade dos resíduos culturais produzidos depende de fatores bióticos como espécie vegetal, e fatores abióticos como tipo de solo, clima, adubação e manejo. Sistemas agrícolas adaptados à produção de grãos são constituídos por plantas que têm importância econômica e por plantas com função de produzir elevada cobertura da área de lavoura, estas ainda podem ser utilizadas como adubação verde ou como agentes da ciclagem de nutrientes (Monegat, 1991; Calegari et al., 1992).

Muitas vezes, a cobertura vegetal é utilizada para pastejo, integrando a produção de grãos à produção de carne. Nesse caso é importante estabelecer qual os limites de pastejo adequados para não comprometer o efeito da cobertura remanescente após a saída do gado. Cassol (2001) avaliou a cultura de soja seguindo pastejo de azevém e concluiu que a massa de forragem de 3 Mg de massa seca por hectare é suficiente para promover alto desempenho animal e rendimento de grãos de soja, constituindo-se um ponto de equilíbrio no sistema nas condições estudadas. Naquele estudo, a escolha técnica de manejar a pastagem entre 0,2 e 0,3 m de altura atendeu a produção dos animais e dos grãos, bem como manteve a sustentabilidade do sistema em questão.

Plantas que produzem elevadas quantidades de biomassa também colaboram para a melhoria das propriedades físicas do solo, aumentando a estabilidade da estrutura e a atividade da macrofauna e mesofauna, o que pode resultar na formação de novos agregados (Dexter, 1988). O sistema radicular das plantas estabiliza macroagregados, pela ação física unindo agregados menores, e microagregados, pela ação química dos exsudatos, que funcionam como agentes cimentantes (Dexter, 1991).

A contribuição do carbono derivado do tecido e dos exsudatos das raízes para a matéria orgânica no sistema solo pode exceder à contribuição da parte aérea (Balesdent e Balabane, 1996).

A quantidade de material vegetal adicionado na superfície e a quantidade de matéria orgânica acumulada são dependentes do sistema de culturas adotado (Amado et al., 2001; Ding et al., 2006). Os sistemas que incluem culturas com alta produção de matéria seca e com baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), em geral, resultam em maiores acúmulos de matéria orgânica no solo.

Santos et al. (1990) afirmam que para uma proteção física do solo mais duradoura utilizando a cobertura por resíduos vegetais, devem ser escolhidas espécies que tenham alta relação C/N. Os mesmos autores ainda afirmam que devido as suas características rústicas e elevada produção, a aveia preta tem sido amplamente utilizada para produção de biomassa na região sul do Brasil, tendo efeitos residuais positivos sobre a produção de soja e feijão.

Apesar da cultura do milho produzir uma grande quantidade de palha, o tamanho e a forma de distribuição desta palha sobre a superfície não proporcionam uma boa cobertura da área de lavoura após a colheita, o que pode ser causado pelas características do distribuidor de palha da colhedora (Ros et al., 1999).

O tipo de manejo dado à massa vegetal produzida pelas culturas de cobertura pode ser determinante de variações nas propriedades físicas do solo. Em estudo de Levien et al. (2001), plantas de aveia preta implantadas em sistema de semeadura direta e deixadas em pé mantiveram maior porosidade do solo quando manejadas somente com uso de dessecação, quando comparadas aos tratamentos em que foi manejada com o rolo faca ou triturada.

A cobertura vegetal também afeta o desempenho das máquinas. O contato dos elementos ativos das máquinas agrícolas, por exemplo: pneus, discos de corte ou hastes sulcadoras é diferenciado em função das características da cobertura vegetal, que pode variar em quantidade, tamanho de partículas e posicionamento das partículas sobre o solo.

Levien et al. (2004), avaliando esforço de tração demandado em hastes sulcadoras em semeadura direta sobre campo nativo (com raízes) e

campo nativo dessecado 90 dias antes da semeadura (sem raízes), concluíram que o campo nativo original demandou os maiores esforços de tração. Os valores de esforço de tração avaliados no campo nativo foram da ordem de 1597 N e no campo nativo dessecado foram de 1118 N. Os resultados podem ser atribuídos a maior quantidade de raízes em subsuperfície (especialmente de gramíneas) no campo nativo, oferecendo maior resistência ao rompimento do que no campo nativo previamente dessecado, no qual as raízes já se encontravam em adiantado estado de decomposição. Estas diferenças entre o campo nativo e o campo nativo dessecado ocorreram em todos os testes de mecanismos sulcadores utilizados.

Beutler (2005) também observou que o tratamento campo nativo exigiu um maior esforço (870 N) durante a semeadura do milho do que naquelas áreas em que foram semeadas culturas de inverno anteriormente (750 N em resteva de aveia preta e 770 N em resteva de aveia preta e ervilhaca). A operação de semeadura foi efetuada utilizando-se uma semeadora equipada com cinco linhas de semeadura e hastes sulcadoras para distribuição do fertilizante. Este efeito provavelmente é função da maior resistência e quantidade do sistema radicular das plantas componentes do campo nativo. O disco de corte de palha à frente do sulcador provocou uma redução de 50% dos esforços demandados, além de evitar o acúmulo de resíduos na linha de semeadura.

Em 1992, a obstrução dos órgãos ativos de semeadoras por palha e solo aderido era um dos problemas mais comuns enfrentados pelos agricultores na semeadura direta, afetando o rendimento operacional dos implementos (Casão Júnior et al., 1992). A utilização de discos de corte de palha posicionados à frente dos sulcadores e a semeadura em condições adequadas de umidade do solo auxiliaram, uma vez que as hastes e discos estavam livres para a operação correta, sem obstrução parcial ou total dos mesmos.

Mello (1996) recomendou utilizar semeadoras providas de sulcador de hastes fixas (facões) e disco de corte de palha para evitar a obstrução da linha de semeadura por resíduos.

Segundo Balbuena et al. (1998), com a utilização de discos de corte ou segas circulares colocados à frente das hastes de escarificadores, o

problema de obstrução da linha de semeadura pode ser eliminado, além de resultar na redução de 15% no esforço de tração e de 12% na resistência do solo ao cisalhamento. Terminiello et al. (1997) mediram redução de 32% no esforço de tração em experimento semelhante.

## **2.2. Compactação do solo e seus efeitos**

A compactação é um processo de redução de volume (compressão) de um solo não saturado por agentes de natureza antropogênica, ocasionando a expulsão do ar e/ou da solução contida no mesmo (Hillel, 1982).

Dexter (2004), avaliando índices de qualidade física do solo, afirmou que a compactação do mesmo somente ocorre quando a tensão externa aplicada excede a capacidade de suporte. Quando isso ocorre, há redução da porosidade total, que pode ser de dois tipos: porosidade textural, relacionada à mineralogia do solo, e porosidade estrutural, relacionada aos microagregados, agregados, bioporos e macroestruturas produzidas pelo manejo aplicado.

A compactação do solo é a diminuição da porosidade em função da redução no volume de macroporos, enquanto o de microporos permanece praticamente inalterado (Trein, 1995; Dias Júnior & Pierce, 1996). É um processo de aumento da densidade e da resistência do solo, redução da porosidade e da permeabilidade do solo, resultado de cargas aplicadas sobre o mesmo. Essas alterações afetam a condutividade hidráulica, a infiltração de água, fluxo e concentração de água, fluxo de gases, nutrientes e temperatura do solo. A compactação causa mudanças bruscas nas relações solo-ar-água, principalmente nos processos dinâmicos, tais como movimentação de água, ar e nutrientes (Pauletto et al. 1997). A limitação do crescimento e desenvolvimento das plantas é função dessas alterações, pois pode ocorrer o impedimento mecânico ao crescimento das raízes ou pode haver a restrição ao fluxo de água, de ar ou de nutrientes (Ashburner & Sims, 1984; Soane & van Ouwerkerk, 1994; Dexter, 1991; Dias Júnior e Pierce, 1996; Raper, 2005).

Gris et al. (2003) avaliaram os efeitos da compactação em um Latossolo Vermelho distroférico típico na cultura do milho e concluíram que nas diferentes intensidades de compactação testadas, houve redução na altura de plantas, tamanho de espigas, massa seca de raiz e parte aérea das plantas, em função da compactação ocorrida no mesmo.

Goedert et al. (2002), avaliando o estado de compactação do solo em áreas cultivadas sob semeadura direta por longo período, concluíram que a densidade, porosidade e resistência mecânica do solo à penetração não apresentaram valores restritivos às plantas, o que foi evidenciado também pelos dados de produtividade das culturas, que não apresentaram diferença significativa.

Braida (2004), aplicando o teste de Proctor para a avaliação do estado de compactação, utilizou amostras de experimentos de longa duração, ambos possibilitavam a variação nos teores de matéria orgânica devido a diferentes manejos, culturas de inverno e insumos orgânicos aplicados. As áreas experimentais foram em Argissolo Vermelho amarelo arênico com 0,155 kg kg<sup>-1</sup> de argila e carbono orgânico inicial de 1,13% e um Nitossolo Vermelho distrófico com 0,787 kg kg<sup>-1</sup> de argila e CO de 2,60%. Em todos os tratamentos avaliados o autor concluiu que o acúmulo de matéria orgânica proporcionado pelos diferentes sistemas de manejo do solo reduziu a densidade máxima e aumentou a umidade crítica para a compactação do solo, porém a magnitude dessa redução foi dependente da granulometria.

Ball et al. (2000) e Aragón et al. (2000), analisando fatores que influenciam a compactação do solo, utilizaram amostras retiradas em 156 locais com diferentes teores de matéria orgânica e aplicaram o teste de Proctor. Concluíram que a matéria orgânica exerce um efeito amortecedor, tem grande capacidade de retenção de água e capacidade de estabelecer ligações entre partículas. Com isso, ocorre a dissipação de parte das cargas aplicadas, redução na fricção e aumento da coesão entre partículas.

Paz González et al. (2003) estudaram a cinética da deformação do solo e o efeito da matéria orgânica sobre a compactação da estrutura do mesmo e concluíram que solos com maiores quantidades de matéria orgânica apresentam maior resistência à compactação, isto devido a maior agregação proporcionada pelos agentes cimentantes da matéria orgânica.

Além das características originais de cada solo, o estado de compactação do solo depende das práticas de manejo empregadas sobre o mesmo.

O trânsito de máquinas ou de animais sobre o solo quando esse se encontra em condições inadequadas de trafegabilidade é uma das principais

causas da compactação excessiva observada em muitas lavouras e que resulta em danos à produção das culturas vegetais, pois o teor de água no solo é um dos principais fatores que influenciam a compactação (Dias Júnior & Pierce, 1996; Silva et al., 2002).

A definição do teor de água ideal no solo para a execução das operações agrícolas e a estimativa da deformação que ocorrerá quando as pressões aplicadas excederem a capacidade de suporte de carga são determinantes para evitar a compactação deste solo (Silva, 1999; Dias Júnior e Pierce, 1996).

Raghavan et al. (1979), estudando tráfego de máquinas e produtividade de culturas, recomendaram que em anos secos com déficit hídrico, uma compactação moderada do solo pode trazer benefícios às culturas por melhorarem o contato solo-semente. Já em anos com boa distribuição de chuvas, os mesmos autores recomendaram o controle do tráfego sobre o solo para evitar compactação.

Diversos estudos indicam que em sistema de semeadura direta ocorre a compactação superficial do solo provocada pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas e a acomodação natural das partículas sólidas do solo (Hakansson & Medvedev, 1995; Klein & Boller, 1995; Hakansson et al., 1988; Reinert, 1990; Silva & Kay, 1997).

Essa compactação pode comprometer o solo, afetando suas propriedades físicas, químicas e biológicas, como conseqüência, ocorre o comprometimento da produtividade agrícola (Raper, 2005).

No atual modelo de produção agrícola, o processo produtivo depende do uso de máquinas agrícolas, entretanto o tráfego das mesmas sobre o solo pode provocar compactação. Tormena et al. (1998) concluíram que o tráfego foi o principal fator na alteração das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro e que o tráfego reduziu, em média 6% a porosidade total e 30% a macroporosidade, enquanto que a microporosidade não foi afetada.

A compactação do solo provocada pelo tráfego de máquinas pode ser superficial, que depende da pressão de contato entre o pneu e o solo e ocorre quando a pressão de contato é maior que a capacidade de carga do solo. Já a compactação subsuperficial, que ocorre em profundidades maiores

que 0,3 m, depende da distribuição da massa pelos eixos das máquinas agrícolas. (Sánchez Girón, 1996; Raper, 2005; Schuller & Wood, 1992; Hakansson & Voorhees, 1996).

A pressão de contato dos pneus com o solo e a carga total por eixo das máquinas são fatores importantes a serem considerados na análise do potencial de compactação das mesmas. A pressão de contato dos pneus com o solo influencia a compactação superficial do solo, enquanto a carga por eixo afeta mais profundamente, isto é, abaixo da profundidade de preparo do solo (Schuler & Wood, 1992).

Segundo Fernandes & Galloway (1987), a distribuição da pressão no solo é consequência de: *i*) compressão exercida pelos rodados das máquinas agrícolas e depende do peso exercido, que determina a pressão total; *ii*) da área de contato do pneu com o solo, que resulta na força aplicada por unidade de área; *iii*) da distribuição da pressão na área de contato; *iv*) e do teor de água no solo no momento da aplicação das cargas e da densidade do solo. A compactação é acentuada nas áreas de contato imediato do solo com os pneus. A profundidade de propagação do efeito de compactação depende da condição inicial da estrutura do solo e do teor de umidade do mesmo.

Estudando a interação entre pneu e solo, Perdok & Arts (1987) afirmam que a capacidade de carga do pneu é altamente dependente de suas dimensões, da pressão de inflação e do tipo de pneu (radial ou diagonal). O efeito do aumento da largura do pneu em reduzir a deformação do solo é obtido somente se a pressão de inflação do pneu é reduzida também, desde que respeitada a pressão mínima permitida pelo fabricante. Analisando dois pneus, ambos com 30 kN de carga aplicada, o de 0,54 m de largura e inflado a 100 kPa produziu menor deformação de solo do que o pneu com 0,44 m de largura e 200 kPa.

Minimizar a compactação do solo é possível, evitando-se trafegar em solos úmidos. Entretanto, adicionalmente outras práticas podem tornar o planejamento do trabalho mais flexível, tais como o uso de máquinas com alta capacidade operacional, adaptação da pressão de inflação dos pneus às diversas situações, combinação das operações de preparo e semeadura e o aumento do número de eixos em máquinas pesadas para reduzir a carga por eixo (Hakansson, 1990).

Raper (2005) afirma que o tráfego de máquinas nas lavouras nunca será eliminado, mas que seus efeitos devem ser controlados e minimizados. Dentre as alternativas para isso, o autor propõe a avaliação das áreas cultivadas quanto à possibilidade de tráfego, o controle de tráfego, a utilização correta de pressão de inflação e larguras maiores de pneus. Outras sugestões de procedimentos para evitar a compactação ocorrida pelo tráfego de máquinas incluem o respeito aos limites de friabilidade do solo e a adoção de sistemas de manejo conservacionistas, que provoquem o incremento do teor de matéria orgânica no solo.

### **2.3. Compressibilidade do solo**

A compressibilidade dos solos é definida como a variação do volume total do solo em função das pressões impostas ao mesmo. O volume total de um solo é ocupado pelas partículas sólidas e pelos espaços vazios. O mesmo é calculado pela relação entre o volume de vazios, que é preenchido por solução e ar, e o volume de sólidos (Larson et al. 1980). A compressão de um solo resulta no decréscimo do índice de vazios devido à aplicação de pressões externas, sendo tanto maior quanto maior for a pressão aplicada.

Segundo Hillel (1980), há vários mecanismos possíveis pelos quais pode ocorrer a compressão do solo: *i*) a compressão da fase sólida, que ocorre eventualmente sob altas tensões; e *ii*) a compressão da fase líquida e a compressão do ar confinado, sendo este o mecanismo de maior importância, pois o ar é muito mais compressível do que a solução do solo ou as partículas minerais. A resposta do solo à compressão é a redução da porosidade, com a expulsão parcial ou total da solução do solo e/ou ar. A expulsão do ar é um fenômeno rápido, quase instantâneo, enquanto que a expulsão da água é, geralmente, um processo mais lento.

Em ensaios de campo e laboratório, quando uma pressão é aplicada ao solo, a água existente no espaço poroso a suporta. Quando a água suporta uma pressão superior a que estabeleceria o equilíbrio com o meio externo, a mesma percola para áreas mais permeáveis. A saída da água indica a redução do índice de vazios e, conseqüentemente, a deformação da estrutura do solo (Pinto, 2002).

A maneira como ocorre a transferência das pressões para o solo, com conseqüente redução de volume, constitui a teoria de adensamento

unidimensional de Terzaghi, tendo sido adaptada aos solos não saturados por Bishop (1955), aput Caputo (1967).

Para a aplicação da teoria de adensamento, deve-se assumir algumas premissas, entre elas: *i)* que o solo é homogêneo, *ii)* que tanto a água como as partículas sólidas são praticamente não compressíveis, *iii)* que a compressão é unidimensional e *iv)* que o índice de vazios varia linearmente com o aumento da tensão efetiva durante o processo de adensamento, sendo essa linearidade definida para facilitar a solução matemática do problema (Ortigão, 1995).

O estudo da compressibilidade dos solos possibilita a identificação do máximo carregamento que o mesmo pode suportar sem apresentar deformações permanentes. Quando o solo é submetido à ação de tensões externas de máquinas e equipamentos agrícolas ocorrem deformações no mesmo. A intensidade dessa deformação está relacionada com a compressibilidade do solo, que se refere ao quociente entre redução do seu volume por unidade de energia compressiva. Com o conhecimento da compressibilidade dos solos, pode-se evitar deformações irreversíveis que causem problemas de compactação dos solos (Machado e Trein, 2000).

A compressão do solo durante um carregamento ocorre quando a pressão efetiva resultante da aplicação da carga normal sobre o mesmo supera a resistência ao cisalhamento nos pontos de contato entre as partículas, provocando sua ruptura (Caputo, 1967).

A curva de compressão do solo correlaciona o índice de vazios à pressão aplicada, permitindo a obtenção da pressão de pré-consolidação do solo ( $\sigma_p$ ) (Stone e Ekwue, 1996).

A determinação da pressão de pré-consolidação é empírica, utilizando métodos que permitem estimar o valor mais provável e a ordem de grandeza desta pressão. No Brasil, para determinação da pressão de pré-consolidação os processos mais utilizados são o de Casagrande e o de Pacheco Silva, descritos na MB 3336 (ABNT, 1990).

A pressão de pré-consolidação divide a curva em duas porções. A porção anterior à pressão de pré-consolidação é chamada de curva de compressão secundária e é caracterizada por deformações pequenas, elásticas e recuperáveis, representando os níveis de pressão anteriormente

experimentados pelo solo. Já a segunda porção, posterior à pressão de pré-consolidação, é denominada de reta virgem de compressão, e é caracterizado por deformações maiores, as quais são plásticas e não recuperáveis (Lebert e Horn, 1991).

A curva de compressão do solo (Figura 1) tem sido utilizada para simular as reduções de volume dos solos, representando graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e algum parâmetro relacionado com o arranjo das partículas e/ou agregados do solo, como o índice de vazios ou a densidade do solo (Dias Júnior e Pierce, 1995).

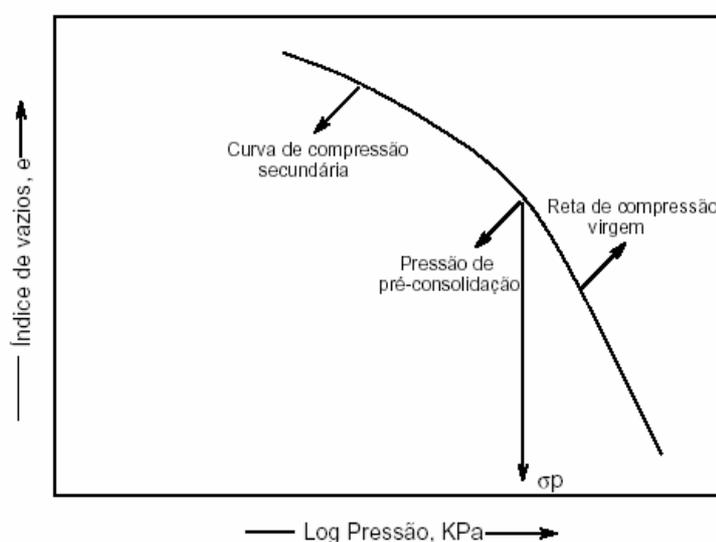


Figura 1. Curva característica de compressibilidade do solo.

O índice de compressão ( $C_c$ ) é a inclinação da reta virgem de compressão e é utilizado como um indicador da compressibilidade ou da suscetibilidade à compactação do solo. Indica o decréscimo de vazios ou o aumento não reversível da densidade por unidade de aumento no logaritmo da pressão aplicada. Quanto maior esse índice, mais compressível é o solo (Caputo, 1967).

O comportamento compressivo do solo é função de fatores externos e internos. Os fatores externos estão relacionados ao tipo, intensidade e frequência das cargas aplicadas. Estas podem ser devidas a diferentes manejos, tráfego e configuração de rodados de máquinas e regime hídrico da região. Já os fatores internos são influenciados pela história de tensões do solo, teor de água no solo, textura e estrutura do solo, matéria orgânica,

densidade do solo, potencial de água e ligações entre as partículas e qualidade dos agregados (Reinert, 1990).

Kondo & Dias Júnior (1999) estudaram os efeitos do manejo e da umidade na pressão de pré-consolidação do solo em três Latossolos (Latosolo Vermelho Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho Escuro) na região de Lavras, MG. O LR sob cultura anual apresentou maior capacidade de suporte de carga para níveis de umidade inferiores a  $0,27 \text{ kg kg}^{-1}$ . Na faixa de friabilidade, entre o limite de contração e o limite de plasticidade, o LR apresentou maior amplitude de umidade ( $0,15 \text{ kg kg}^{-1}$ ). Os autores concluíram que o LR foi mais resistente à compactação do que LV e LE em todos os tratamentos propostos.

Macedo (1993), estudando um solo Podzólico Vermelho Escuro fisicamente degradado e recuperado através de práticas de manejo, concluiu que o solo fisicamente recuperado mostrou-se altamente compressível, principalmente em umidades mais elevadas, pois as melhorias das condições físicas do solo o tornaram muito suscetível às intensas deformações quando submetido à compressão pelo tráfego de máquinas.

Carpenedo (1994), estudando diferentes sistemas de manejo de solo, tipos de solos com variações de densidade do solo, conteúdo de água, conteúdo de matéria orgânica e teor de argila, concluiu que as tensões de umidade afetaram a pressão de pré-consolidação em solo Podzólico Vermelho Escuro, Podzólico Vermelho Amarelo e Latossolo Roxo, sendo os valores de pressão de pré-consolidação mais elevados nas tensões mais baixas.

Conforme Lafond et al. (1992), a seqüência de culturas implantadas e a história de uso de um determinado solo influenciam nas características de compressibilidade do solo. O comportamento compressivo do solo é influenciado pelas plantas, através do seu sistema radicular e efeitos da matéria orgânica do solo, pelo teor de água no solo, pela estrutura do mesmo e pelo regime de tráfego de máquinas imposto.

Stone e Ekwue (1996), estudando a incorporação de matéria orgânica ao solo e seu efeito na compressibilidade do mesmo, observaram que adições de matéria orgânica a amostras de solo secas ao ar, na ordem de 4, 8 e 12%, proporcionaram aumento do índice de vazios, portanto, da porosidade.

Verificaram, também, que em função deste aumento de porosidade houve um acréscimo na compressibilidade devido à aplicação de cargas mecânicas.

Sánchez-Girón et al. (1998) também afirmam que a relativa importância do teor de umidade e tensões normais aplicadas no processo de compactação é afetada pela textura do solo, sendo que um maior teor de argila permite uma maior capacidade do solo em suportar tensões normais mais elevadas em teores de umidade maiores, protegendo o solo de um severo estado de compactação. Solos de textura argilosa e franca, suportando uma pressão normal de 200 kPa em 20 e 15% de umidade, respectivamente, tiveram a permeabilidade do ar acima do valor limitante de  $0,10 \text{ kg kg}^{-1}$ . Por outro lado, solos com alto conteúdo de matéria orgânica e textura franco-arenosa foram os mais sensíveis à compactação, pois mesmo com a menor pressão aplicada (50 kPa) e o menor teor de umidade (5%), a permeabilidade do ar foi inferior ao valor limitante.

Lebert & Horn (1991) mencionam a relação entre textura e resistência do solo, afirmando que, para solos com alto teor de argila, o volume de vazios do solo é alto sob pequenas tensões. No entanto, com o aumento das tensões aplicadas sobre o solo, o decréscimo no volume de vazios é mais pronunciado para solos com maiores teores de argila.

Os efeitos do estresse uniaxial sobre as propriedades físicas de um solo argiloso leve, um argiloso pesado e um argiloso pesado rico em húmus, e também, de um solo franco arenoso, foram estudados por Etana et al. (1997). Os estresses de 25, 50, 100, 200 e 400 kPa foram aplicados às amostras com diferentes conteúdos de água, verificando que o índice de compressão foi maior para o solo argiloso pesado e aproximadamente 30% menor para o solo argiloso pesado, porém rico em húmus, sendo que ambos tinham praticamente o mesmo teor de argila. A diferença na compressibilidade foi significativa e indica o efeito da matéria orgânica do solo. O estresse de 200 e 400 kPa causou redução na permeabilidade do ar para valores considerados limitantes ao crescimento das plantas.

#### **2.4. Elementos sulcadores de solo em semeadura direta**

O sistema de exploração cultural que utiliza a semeadura direta pressupõe o uso de rotação de culturas, desta forma incluindo no sistema plantas com sistemas radiculares diferenciados e que podem romper camadas

compactadas. Outra alternativa para o rompimento dessas camadas compactadas é a deposição de fertilizantes mais profundamente utilizando hastes sulcadoras. Esse aumento na profundidade de distribuição propicia o rompimento das mesmas (Tormena, 1998; Abreu et al., 2004; Genro Júnior et al. 2004, Unger & Kaspar, 1994).

Para o bom funcionamento dos elementos sulcadores, é necessário que os mesmos estejam em bom estado de conservação, tendo em vista que, quando desgastados, tendem a abrir sulcos com forma e profundidade irregulares (Machado et al., 1996).

Casão Júnior et al. (2000c) verificaram que as hastes sulcadoras para distribuição de adubo podem ter diferentes ângulos de ataque (Figura 2) que facilitam sua penetração no solo. Isto evita que as semeadoras equipadas com este mecanismo dependam somente do peso da máquina para a penetração dos órgãos ativos no solo. Estas mesmas hastes também promovem preparo do solo localizado na linha de semeadura, minimizando possíveis zonas de compactação.

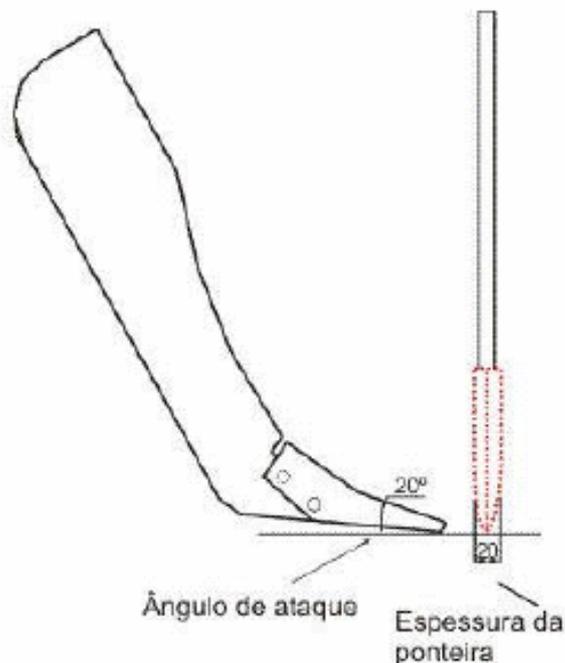


Figura 2. Parâmetros básicos de uma haste sulcadora: ângulo de ataque e espessura da ponta.

Os mesmos autores, avaliando semeadoras-adubadoras, constataram que hastes sulcadoras com ângulo de ataque com 20° e espessura da ponta de 0,02 m tiveram melhor desempenho operacional, pois

as hastes sulcadoras podem ter um esforço vertical, que reduz a necessidade de peso adicional à semeadora-adubadora.

Na concepção e fabricação dos mecanismos sulcadores, um dos principais objetivos é que a ferramenta tenha bom desempenho operacional e com baixo gasto de energia, o que pode ser previsto com modelos de predição de forças necessárias para a abertura do sulco. Kushwaha & Zhang (1998), analisando modelos de predição de forças para a abertura de sulcos, verificaram que os efeitos dinâmicos do solo sobre as forças e sobre a energia gasta pela ferramenta são distintos. Entre os modelos analisados, alguns consideram a demanda energética, bem como velocidade de operação, aceleração do solo em relação à ferramenta de abertura do sulco e forças envolvidas neste processo. A consideração do rendimento da cultura, bem como da dinâmica dos solos envolvidos no processo, são de grande valia para o projeto de sulcadores para condições específicas de solo.

Boller et al. (1992) demonstraram que o método utilizado no preparo do solo pode influenciar a força de tração e potência para operar uma semeadora-adubadora. O esforço de tração demandado pela máquina é influenciado pelo tipo de ferramenta usada, características do metal que está em contato com o solo, superfície de contato com o solo, curvatura, forma e condições de manutenção da ferramenta onde a força é aplicada. Adicionalmente, o esforço de tração demandado é afetado pelas regulagens, ângulo de tração e manutenção da máquina.

Um dos problemas inicialmente enfrentados na adoção de preparos conservacionistas e semeadoras-adubadoras que empregavam hastes para a abertura de sulcos era o acúmulo de resíduos à frente da ferramenta (Derpsch et al., 1986). Este problema foi resolvido pelo emprego de discos de corte de resíduos, posicionados na frente da linha de semeadura.

Mello et al. (2000) compararam dois elementos sulcadores (discos duplos desencontrados e haste sulcadora) e dois tipos de rodas compactadoras (em "V" e côncava) na operação de semeadura direta de milho. Os autores concluíram que o mecanismo sulcador tipo haste foi mais eficiente no rompimento da camada superficial do solo nas linhas de semeadura, causando redução na densidade do solo e na resistência à penetração do solo, atenuando o problema de compactação superficial em Argissolo Vermelho

distrófico típico. Essas alterações na estrutura do solo significaram aumento na produtividade de grãos nos tratamentos utilizando hastes sulcadoras.

Takahashi et al. (2001) analisaram a distribuição espacial de sementes de milho em semeadura direta com dois tipos de sulcadores (hastes e discos duplos) e com dois tipos de rodas compactadoras (em “V” e côncava). Concluíram que o mecanismo rompedor de hastes abriu sulcos mais profundos, depositando o adubo e as sementes a profundidades maiores que o mecanismo rompedor de discos. A combinação haste e roda compactadora côncava apresentou valores médios de profundidade de 0,14 m, contra 0,07 m na configuração com discos duplos e roda compactadora côncava.

Oliveira et al. (2000a), comparando duas hastes sulcadoras com diferentes geometrias, constataram que mais do que o tipo de haste é importante a correta regulagem de profundidade e a escolha do teor de água no solo apropriado à operação de semeadura. A menor profundidade de trabalho (0,075 m) apresentou menores larguras de sulco e menor área de solo mobilizado.

Oliveira et al. (2000b), analisando o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora para semeadura direta com haste sulcadora de adubo, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal e em duas velocidades (5 e 7 km h<sup>-1</sup>), concluíram que a profundidade média de semeadura observada ficou próxima dos valores previstos na regulagem (0,06 m).

Mahl et al. (2001) avaliaram a distribuição longitudinal e a profundidade de deposição de sementes de milho utilizando uma semeadora-adubadora em semeadura direta, variando a velocidade de operação de 4,4 a 9,9 km h<sup>-1</sup> e o tipo de mecanismo sulcador (hastes e discos duplos). Concluíram que o aumento da velocidade operacional afetou significativamente a distribuição longitudinal das sementes, embora não tenha afetado a profundidade de deposição das mesmas. Já, os mecanismos sulcadores influenciaram significativamente a profundidade de deposição de sementes. A haste sulcadora de adubo apresentou as maiores profundidades em relação ao disco duplo, mas não houve efeito significativo quanto à distribuição das sementes na linha de semeadura.

Silva et al. (2001) verificaram que o aumento da velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora acarretou uma diminuição significativa da cobertura do solo devido ao acúmulo de palha nos mecanismos sulcadores e que não houve influência significativa da velocidade sobre a área de solo mobilizado. O mecanismo sulcador tipo haste resultou em área mobilizada 27% superior à área de solo mobilizada pelos discos duplos, além de maior profundidade de deposição de sementes e menor número de sementes expostas. Os autores observaram que a cobertura do solo não foi influenciada pelo mecanismo sulcador.

Siqueira et al. (2000), comparando hastes do tipo facão de diferentes dimensões fixadas em um suporte acoplado ao engate de três pontos de um carro dinamométrico, verificaram que a maior profundidade de trabalho (0,125 m) resultou em maiores valores de momento, força vertical e força horizontal medidos na haste e potência demandada na barra de tração, nas duas configurações de hastes. Segundo os mesmos autores, a geometria das hastes afetou as forças verticais e horizontais, sendo possível utilizar essas variações para alterações em projetos de hastes sulcadoras de adubo.

Siqueira et al. (2001a) verificaram o comportamento energético de 13 tipos de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras utilizadas em semeadura direta. Os resultados indicaram variações de 714% (64 a 524 N) na força vertical e de 60% (1376 a 2201 N) na demanda de esforço horizontal. A força horizontal específica variou 59% (111 a 177 N cm<sup>-1</sup>), enquanto que o momento medido na haste variou 67% (956 a 1595 N m). Os resultados demonstraram que é possível alterar estes esforços com mudanças na geometria do mecanismo rompedor do solo, uma vez que a geometria da haste influi diretamente nas forças e no momento.

Segundo Payne & Tanner (1959), o esforço de tração e área de solo mobilizado por hastes inclinadas estão relacionados, principalmente, com o ângulo de ataque da ferramenta. Verificou-se que para ângulos de ataque mais agudos ocorre um aumento da distância de ruptura do solo à frente da ferramenta, da largura de solo mobilizado, da força vertical que auxilia na penetração da ferramenta no solo e uma diminuição do esforço de tração, concluindo que o ideal é que este ângulo seja menor do que 45°.

Em solos não compactados o esforço de tração de uma ferramenta vertical cresce linearmente com a profundidade de trabalho, sendo insensível à velocidade de operação. Em solos compactados, o esforço de tração mostrou-se maior com o aumento da profundidade de trabalho e velocidade de operação. Concluiu-se que a compactação do solo influencia a magnitude do esforço de tração nas maiores velocidades de operação do conjunto trator/semeadora. O ângulo de ataque da ferramenta influenciou o esforço de tração. Para um ângulo de ataque de 45°, ocorreram valores de esforço de tração da ordem de um terço do valor obtido com 90° de ângulo de ataque na ferramenta (Dransfield et al., 1964). Para ângulos de ataque menores, em hastes estreitas, o esforço de tração diminuiu, pois as componentes das forças que atuam perpendicularmente às superfícies de ruptura foram menores (Plasse et al., 1985).

Siqueira et al. (2001b) também avaliaram o desempenho energético de quatro semeadoras-adubadoras diferenciadas quanto aos discos de corte de resíduos, hastes sulcadoras de adubo e discos duplos para a deposição de sementes, em duas velocidades (4,7 e 8,3 km h<sup>-1</sup>). Na avaliação geral do grupo de semeadoras, a menor velocidade de operação resultou em menores força de tração, potência e consumo de energia. As semeadoras-adubadoras apresentaram desempenhos diferenciados quanto ao esforço de tração (5,7 a 13,1 kN), potência na barra de tração (10,5 a 24,2 kW) e consumo de energia por área (6,4 a 12,2 kW h ha<sup>-1</sup>), indicando que é possível selecionar semeadoras-adubadoras para a semeadura direta com menores exigências energéticas.

Fey et al. (2001) avaliaram a produtividade do milho utilizando diferentes configurações de discos lisos de corte de resíduos, com diâmetros de 0,38 m (15") e 0,43 m (17") e mecanismos sulcadores dos tipos discos duplos, guilhotina e facão para deposição de adubo em um Latossolo Vermelho Eutroférico com teor de água no solo variando entre 0,22 e 0,24 kg kg<sup>-1</sup> na camada superficial do solo no momento da semeadura. Concluíram que o mecanismo sulcador do tipo facão apresentou a maior profundidade de sulco para a deposição de adubo (0,115 m) e o de discos duplos menor profundidade de deposição de adubo (0,08 m). Com o maior teor de água no solo testado,

todos mecanismos sulcadores apresentaram redução na profundidade em relação à regulagem pretendida.

Casão Júnior et al. (1998), estudando o efeito do teor de água no solo, verificaram que a força de tração exigida pela semeadora-adubadora testada aumentou em função da velocidade de deslocamento, profundidade de atuação do sulcador do tipo facão e o teor de água no solo, quando esse passou da condição friável à plástica.

Casão Júnior et al. (2000a), analisando o desempenho energético e operacional de uma semeadora-adubadora em plantio direto, em solos tipo Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, verificaram que o uso de haste sulcadora foi importante para a manutenção da profundidade desejada em semeadura direta. Com o aumento da velocidade de trabalho houve redução na profundidade do sulco, bem como a ocorrência de áreas com muito solo descoberto na linha de semeadura.

Casão Júnior et al. (2000b), analisando esforço de tração de uma semeadora-adubadora equipada com hastes sulcadoras com ângulo de ataque de  $21^\circ$ , verificaram que a componente vertical do esforço na haste foi de 1481 N, o que dispensou o uso de lastros para a penetração dos órgãos sulcadores no solo. A força horizontal foi responsável por 98% do esforço de tração exigido pelas semeadoras.

Leite et al. (2001) avaliaram a demanda de força de tração na semeadura do milho em diferentes métodos de preparo do solo (convencional, reduzido e semeadura direta) e dois espaçamentos entre linhas. Os resultados mostraram que a exigência de força de tração foi 24,3% maior nos tratamentos com escarificação em relação à semeadura direta.

Collins & Fowler (1996), trabalhando com diferentes hastes sulcadoras e tipos de solos, verificaram que a geometria da haste influenciou diretamente no esforço de tração e que a largura da haste e seu ângulo de ataque foram os elementos mais importantes. Este estudo também mostrou que o tipo de solo teve grande influência no esforço de tração, pois nos solos argilosos a exigência de tração foi, em média, 24% maior do que em solos arenosos. Observaram que, em velocidades de deslocamento de 6 a 10 km h<sup>-1</sup>, a força de tração aumentou em 4% para cada incremento de 1 km h<sup>-1</sup> e, em

20% para cada aumento de 0,01 m de profundidade de trabalho do sulcador de adubo (de 0,01 a 0,05 m).

Conforme American Society of Agricultural Engineers (2003), a força de tração necessária para a operação de semeadoras de grãos graúdos em linha (semeadoras de precisão) na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao deslocamento da máquina, é de 3400 N na barra de tração, com variação de 35%. Estes dados estão disponíveis como referência para dimensionamento de tratores que operam com semeadoras-adubadoras.

Chaudhuri (2001) concluiu que o ângulo de ataque das hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras influenciou diretamente as forças verticais e horizontais, sendo os menores esforços de tração obtidos com ângulos de ataque entre 25 e 30°. Também verificou que o aumento na largura das hastes aumentou o esforço de tração e mobilizou excessivamente o leito de semeadura.

Gebresenbet & Johnson (1992), avaliando diferentes tipos de sulcadores, em relação às suas características dimensionais e construtivas e performance na operação, evidenciaram que o ângulo de ataque da ponteira e a velocidade de operação do conjunto influenciaram significativamente o desempenho operacional em solos argilosos, não tendo influência em solos arenosos.

Glancey et al. (1989) relatam que a falta de homogeneidade do solo, associada à maneira complexa que se rompe, dificulta a medição da interação entre forças que atuam no mesmo e sua interação com as ferramentas de preparo. O conhecimento da distribuição das forças que atuam sobre as ferramentas de preparo e sua movimentação através do solo tem duas aplicações. Uma primeira aplicação é auxiliar no projeto avaliando as condições e carregamentos a que uma ferramenta encontra-se submetida durante operação. Outra aplicação é proporcionar um modo capaz de quantificar as propriedades dinâmicas do solo.

McKyes (1978) relata que para projetar ferramentas de preparo de solo, teoricamente são necessárias técnicas mecânicas para determinar a melhor geometria e desempenho da ferramenta. Dentre os critérios para obtenção destas condições pode-se incluir a identificação do esforço de tração necessário e as forças que atuam sobre a ferramenta. Quando a predição do

desempenho no projeto pode ser feita, o tempo consumido e os custos dos procedimentos de testes de modelos ou protótipos podem ser reduzidos.

Casão Júnior & Chang (1993) afirmam que o estudo dos esforços que atuam em máquinas e implementos agrícolas vem a ser uma das maiores contribuições para a solução dos problemas com mecanização no meio rural. A elaboração de projetos mais apropriados, a eliminação do desperdício de materiais e o uso adequado de máquinas e implementos dependem destas informações.

O conhecimento dos esforços de tração proporcionados por ferramentas de preparo de solo são importantes na seleção dos sistemas de preparo. O trator a ser utilizado vem a ser mais bem especificado quando existem boas informações a respeito da necessidade de potência e esforço de tração exigidos em diferentes tipos de solos (Summers et al., 1986).

Mielke et al (1994) relatam que o esforço de tração e o tempo disponível para a realização das tarefas agrícolas normalmente ditam a potência necessária de um trator numa propriedade agrícola. O conhecimento do correto esforço de tração se faz necessário na tomada de decisão relativa ao maquinário agrícola. Além disso, a otimização do uso de energia é um importante critério no projeto de máquinas agrícolas.

## **2.5. Sistema de aquisição e armazenamento de dados**

O estabelecimento de modelos preditivos empíricos pode ser feito a partir da análise de séries de dados adquiridos em testes em que as condições de operação podem ser controladas. Quanto maior o número de testes feitos, maiores são as probabilidades de derivação de modelos acurados. A aquisição de dados e armazenamento eletrônico elimina erros de transcrição e possibilita um controle sobre o teste feito.

A aquisição de dados refere-se à obtenção de informações referentes a um processo, sendo que estes podem ser químicos, biofísicos, industriais, elétricos ou mecânicos.

A necessidade de aquisição de um determinado dado gera a demanda por equipamentos para ambientes internos ou ambientes externos. Fatores relacionados ao ambiente de coleta de dados, tais como poeira, umidade, variações de temperatura e vibrações são alguns dos aspectos a serem considerados na instrumentalização para coleta de dados.

Os extensômetros geram um sinal analógico e, utilizando um equipamento de armazenagem de dados (ex: datalogger) com uma programação específica convertem o sinal analógico em uma informação digital, que pode ser armazenada.

As informações referentes a um determinado processo são fundamentais para os profissionais envolvidos no seu estudo, projeto, melhoria ou manutenção.

### 2.5.1. Transdutor de força

Um transdutor de força é definido como qualquer dispositivo que, excitado por força, gera uma resposta (saída) proporcional à excitação (entrada), conforme o diagrama da Figura 3.

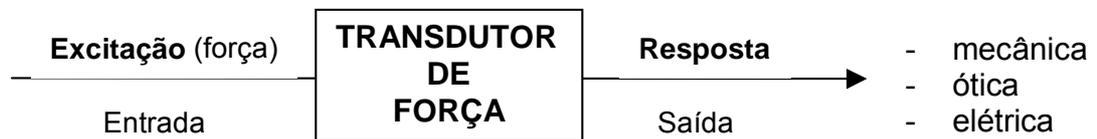


Figura 3. Diagrama simplificado de um transdutor de força (Borchardt & Zaro, 1982).

A força, grandeza a ser medida, é processada pelo transdutor que a transforma em uma grandeza de outra natureza. No caso dos transdutores elétricos, uma grandeza de força na entrada do transdutor se transforma em um sinal elétrico na saída do mesmo. Os transdutores são caracterizados por um parâmetro denominado sensibilidade ( $S$ ), que é definido pela variação da resposta dividida pela variação da excitação.

### 2.5.2. Elemento elástico

O elemento elástico é a peça sobre a qual atua a força, construída geralmente em material metálico. O elemento estático deve ter capacidade de reação à grandeza mecânica aplicada e conduzir o efeito desta grandeza para um campo de deformações relativas onde os extensômetros são instalados para a medição. Esse campo de deformações relativas deve ter as propriedades de isolamento e uniformidade suficientes para garantir a precisão e exatidão das medições a serem efetuadas (Cauduro, 1992). Na instrumentação eletrônica desenvolvida para utilização nessa tese, trata-se do suporte da haste sulcadora.

Os níveis de deformação do elemento elástico não devem exceder o limite elástico do material de que é construído, isto é, a tensão em qualquer ponto do elemento elástico não deve exceder o limite de escoamento do material.

### 2.5.3. Extensômetros de resistência elétrica (*strain gauges*)

A designação “extensômetro de resistência elétrica” (*electrical resistance strain gauge*) significa medidor de deformação mecânica relativa, através da determinação da resistência elétrica (Borchardt & Zaro, 1982).

São duas as principais aplicações dos extensômetros: *a)* determinação de deformações num ponto de um componente mecânico e, conseqüentemente, das tensões deste ponto; *b)* elemento sensor de deformação, funcionando como transdutor calibrado em termos de deslocamento, força, pressão ou aceleração, entre outros.

Historicamente, o desenvolvimento de extensômetros tem seguido diferentes abordagens, tendo sido desenvolvidos baseados em princípios mecânicos, ópticos, elétricos, acústicos e até com princípio pneumáticos (Dally et al., 1993).

Nos extensômetros elétricos, além do princípio de resistência elétrica, também podem ser utilizados outros princípios, como indutivos, capacitivos e piezoelétricos (Thomas, 2003).

#### 2.5.3.1. Princípio básico do extensômetro de resistência elétrica (*strain gauge*)

Em 1856, foram realizados experimentos utilizando fios de cobre e ferro e observou-se que a resistência elétrica mudava quando os materiais sofriam deformação na região elástica. Verificou-se que a variação relativa da resistência elétrica dividida pela variação relativa da deformação é uma constante, chamada atualmente de “*fator gauge*” (Borchardt & Zaro, 1982).

Considerando um condutor de comprimento  $l$  e área da seção transversal circular  $A$  (Figura 4), sabe-se que a resistência elétrica  $R$  de um condutor é função dos aspectos geométricos ( $l / A$ ) e da característica do material referente a sua resistividade  $\rho$  (*Equação 1*), conforme Equação 1.

$$R = \rho (l / A)$$

*Equação 1.*

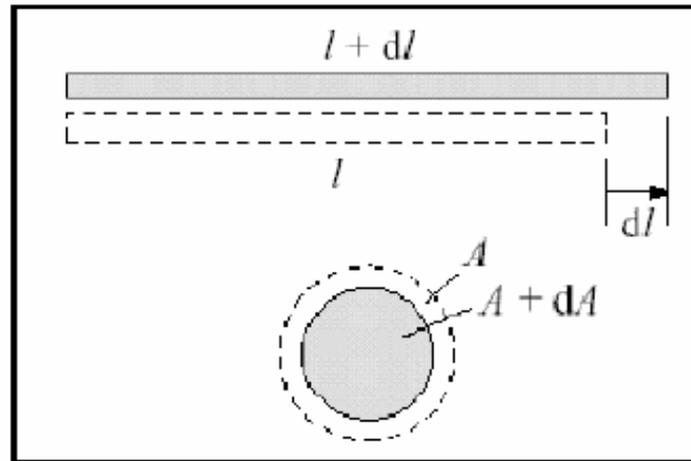


Figura 4. Representação do condutor de comprimento  $l$  e área da seção transversal  $A$ .

O extensômetro de resistência elétrica é um sensor de deformação relativa, cuja resistência elétrica  $R$  varia  $\Delta R$  quando sob a ação de uma deformação relativa  $\varepsilon$ , devida ao efeito da deformação mecânica do elemento elástico onde está colado.

$$\varepsilon = (\Delta L / L) = (1 / FG) (\Delta R / R) \quad \text{Equação 2.}$$

Na Equação 2,  $FG$  é o “fator gauge” e representa a sensibilidade do “strain gauge”. O valor de  $FG$  depende do material que compõe o condutor do extensômetro. Comercialmente, o mesmo não apresenta um aspecto de fio, mas de uma grade formada por um “vai e vem” de um condutor, formado por dois elementos: a base e a grade, conforme a Figura 5.

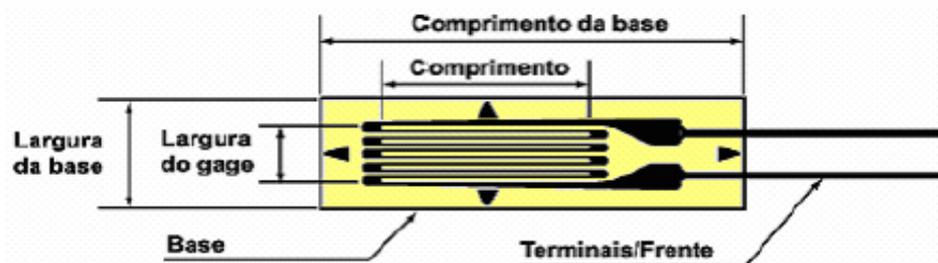


Figura 5. Extensômetro de resistência elétrica (*strain gauge*).

A base é uma lâmina de epóxi ou poliamida de grande elasticidade que tem três funções básicas: servir de base para a grade, permitir a cimentação do sensor na superfície elástica e isolar eletricamente a grade da superfície onde será fixado. A grade geralmente é formada por silício ou por

uma liga metálica de níquel-cromo ou cobre-níquel que serve como elemento resistivo (Kyowa - Fabricante).

A utilização dos *strain gauges* é simples: eles devem ser colados na superfície do objeto no qual se pretende medir as deformações (elemento elástico). Quando houver uma deformação no objeto que está sendo avaliado, haverá uma deformação no extensômetro, o que implica numa variação de comprimento e conseqüentemente numa variação da resistência elétrica.

Os *strain gauges* são utilizados em várias aplicações como, por exemplo, nas balanças eletrônicas. O sinal elétrico pode ser facilmente processado e analisado por computadores ou outros equipamentos eletrônicos e, portanto, pode ser utilizado em medições dinâmicas. Estas medições dinâmicas são consideradas fatores limitantes em sistemas mecânicos convencionais (Borchardt & Zaro, 1982).

### 2.5.3.2. Ponte de Wheatstone

A Ponte de Wheatstone é um circuito elétrico no qual é possível comparar resistores, além de medir variações relativas de resistência elétrica. As variações de resistência observadas sobre os extensômetros de resistência elétrica são muito pequenas. Medi-las diretamente seria muito complexo tecnicamente e exigiria equipamentos de alta precisão e, portanto, custo elevado. Por esta razão, os extensômetros de resistência elétrica são ligados de modo que constituam um circuito tipo ponte de Wheatstone.

A ponte de Wheatstone é basicamente composta por quatro resistores ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ ) e é alimentada por um sinal de tensão externo  $V_{exc}$ , e produz um sinal de tensão de saída  $V_{out}$ , conforme a Figura 6.

A *Equação 3* define o cálculo da saída  $V_{out}$ :

$$V_{out} = V_{exc} (R_3 / (R_3 + R_4) - (R_2 / (R_1 + R_2))) \quad \text{Equação 3.}$$

Quando a saída  $V_{out}$  é nula em condição normal (sem esforço aplicado nos extensômetros), diz-se que a ponte de Wheatstone é balanceada. Isto acontece somente quando as resistências respeitam a seguinte relação:

$$R_2 / R_1 = R_3 / R_4 \quad \text{Equação 4.}$$

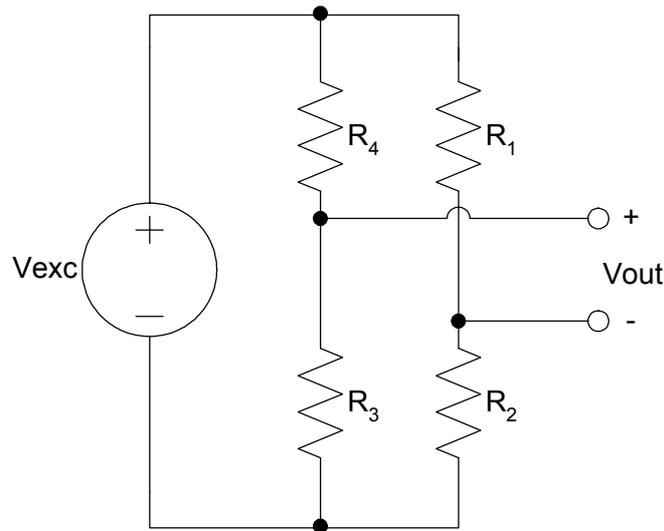


Figura 6. Diagrama esquemático da ponte de Wheatstone.

Normalmente procura-se manter a ponte tão balanceada quanto possível, quando sem carga ( $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_{sc}$ ). Define-se  $R_{sc}$  como sendo o valor dos quatro resistores quando sem carga ou sem deformação nos extensômetros correspondentes.

A partir dos quatro resistores da ponte de Wheatstone, pode-se obter diferentes configurações de montagens, onde o extensômetro de deformação pode assumir o papel de qualquer um dos resistores da ponte, ou mesmo mais de um, conforme o nível de sensibilidade e outras características requeridas.

As possíveis montagens da Ponte de Wheatstone são:

- **Ponte Completa:** Utilizam-se quatro extensômetros ativos no lugar dos resistores  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ , obtendo-se a máxima sensibilidade possível, além de outras vantagens, como compensação térmica inerente;
- **Meia Ponte:** Utilizam-se dois extensômetros ativos, ou seja, apenas metade da ponte, resultando na metade da sensibilidade da ponte completa;
- **Um Quarto de Ponte:** Utiliza-se apenas um extensômetro ativo.

Para que ocorra o ganho de sensibilidade na ponte completa, a instalação mecânica dos extensômetros deve ser feita de forma que dois extensômetros sofram esforços opostos aos outros dois, como mostra a Figura 7.

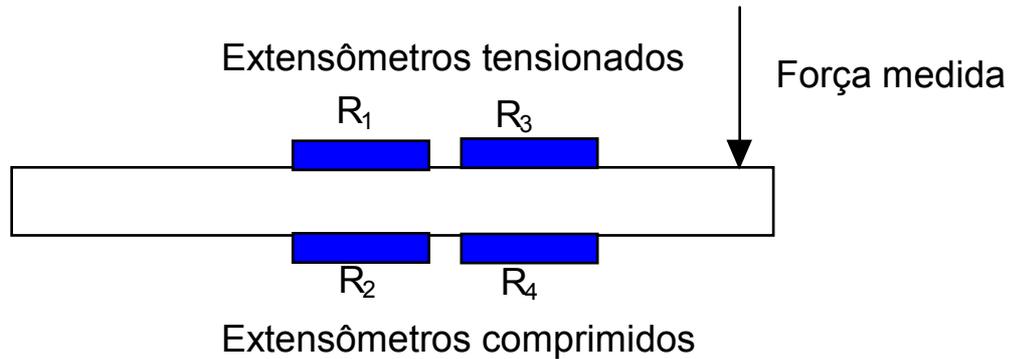


Figura 7. Extensômetros em Tensão ( $R_1$  e  $R_3$ ) e Compressão ( $R_2$  e  $R_4$ ).

Considerando-se a montagem mostrada na figura anterior em uma ponte balanceada quando sem carga ( $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_{sc}$ ) e supondo a existência de uma força externa, os quatro extensômetros sofrem uma deformação relativa de tensão  $\varepsilon$ . Neste caso, baseando-se na *Equação 2*, cada um dos resistores apresenta uma variação de resistência de acordo com

$$\Delta R = \varepsilon FG R_{sc} \quad \text{Equação 5.}$$

Para os resistores tensionados ( $R_1$  e  $R_3$ ) esta variação é positiva, e para os resistores comprimidos ( $R_2$  e  $R_4$ ) esta variação é negativa. Portanto, os valores alterados dos resistores serão:

$$R_1 = R_3 = R_{sc} + \varepsilon FG R_{sc} \quad \text{Equação 6.}$$

$$R_2 = R_4 = R_{sc} - \varepsilon FG R_{sc} \quad \text{Equação 7.}$$

Substituindo-se as *Equações 6 e 7* na *Equação 3*, obtém-se:

$$V_{out} = V_{exc} \varepsilon FG \quad \text{Equação 8.}$$

Desta forma, a tensão de saída é diretamente proporcional à deformação  $\varepsilon$ , ocorrida nos extensômetros.

### 3. ESTUDO I: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DA FORÇA DE TRAÇÃO EM HASTES SULCADORAS DE SEMEADORAS-ADUBADORAS

#### 3.1. Introdução

Quando da concepção e elaboração de projetos de equipamentos para o rompimento do solo, tem-se como meta a construção de equipamentos com eficiente desempenho operacional e baixa demanda energética. A avaliação de desempenho e parâmetros de projeto desses equipamentos pode ser efetuada utilizando-se testes de laboratório, testes no campo ou modelos de predição de esforços.

A previsão da demanda de tração em semeadoras-adubadoras é de grande importância tanto no projeto das mesmas quanto na sua utilização nas propriedades agrícolas. No projeto destes equipamentos são necessárias definições adequadas de funções, esforços atuantes, materiais, geometria e regulagens, num curto espaço de tempo e com custos reduzidos. Na propriedade agrícola, o conhecimento da demanda de tração permite o correto dimensionamento do conjunto trator/semeadora-adubadora, em especial quando utilizados em solos não revolvidos, como na semeadura direta.

A avaliação conjunta destes fatores é determinante na eficiência da abertura do sulco e, conseqüentemente, da própria operação de semeadura. Nos estudos de mecanismos rompedores de solo devem ser considerados fatores de máquina, de solo e a interface solo-ferramenta, entre as características mais relevantes cita-se:

- **Hastes sulcadoras:** largura, inclinação, ângulo de ataque da ferramenta, profundidade de atuação e vida útil do mecanismo rompedor;
- **Conjunto trator/semeadora-adubadora:** velocidade de deslocamento, patinagem e demanda de tração;

- **Solo:** classificação taxonômica, textura, estrutura, atributos físicos, teor de água no solo e sistema de manejo;
- **Cobertura vegetal:** percentual de cobertura, massa de resíduos por área, tamanho, posicionamento e distribuição das partículas sobre o solo;
- **Produção vegetal:** emergência de plântulas, crescimento e produtividade.

A avaliação do desempenho de máquinas e implementos agrícolas deve contemplar condições operacionais de trabalho no campo. Para tanto, um dos recursos utilizados é a instrumentação eletrônica, que permite a aquisição e armazenamento de dados de forma sistemática, rápida e precisa. As informações obtidas auxiliam no projeto de desenvolvimento de novos produtos ou na modificação e melhoramento de produtos já existentes.

Este estudo baseia-se na hipótese de que a instrumentação eletrônica utilizando-se *strain gauges* é adequada para a medição de demanda de tração em hastes sulcadoras de distribuição de adubo em testes experimentais avaliados no campo.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e implementar um sistema de aquisição e armazenamento de dados para a avaliação de esforços em hastes sulcadoras de adubo e de parâmetros do conjunto trator/semeadora-adubadora e avaliar a sua adequação.

## 3.2. Material e métodos

### 3.2.1. Suporte e haste sulcadora de adubo

Foram utilizados modelos comerciais de hastes sulcadoras para distribuição de adubo da semeadora-adubadora configurada para semeadura direta. As hastes sulcadoras utilizadas neste estudo, construídas em ferro fundido nodular GGG 40, e as ponteiros, em aço SAE 1045 têm suas características técnicas descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características das hastes sulcadoras para distribuição de adubo

Estruturais (kgf mm <sup>-2</sup> ):	Resistência à tração	40
	Limite de escoamento	25
	Resistência à compressão	80
	Resistência à flexão	80
	Dureza Brinell	135 a 185
Dimensionais:	Comprimento da haste	0,415 m
	Espessura da haste	0,0127 m
	Largura máxima da ponteira	0,0257 m
	Ângulo de ataque	18°

Fonte: VENCE TUDO Implementos Agrícolas Ltda.

Os suportes das hastes possibilitam ajustes no ângulo de inclinação e na profundidade de atuação (Figura 8).



Figura 8. Suporte da haste sulcadora da semeadora-adubadora.

### 3.2.2. Strain gauges

Os suportes das hastes sulcadoras foram instrumentados com extensômetros de resistência elétrica marca Kyowa (Figura 8), cujas características estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Características dos extensômetros elétricos empregados nos suportes das hastes

Tipo	KGF-5-350-C1-11
Comprimento da grade	5 mm
Resistência da grade	349,4 ± 0,6 Ω
Fator gauge (K)	2,12 ± 1,0%

Fonte: Kyowa electronic Instruments Co., Ltd. Japão.

### 3.2.3. Datalogger CR23X da Campbell Scientific INC (Armazenador de Dados)

A programação e os ajustes necessários para a aplicação proposta ao Datalogger estão descritos neste capítulo. Esta descrição tem como objetivo o entendimento do sistema, bem como possíveis alterações e manutenções no mesmo. A Figura 9 mostra o datalogger CR23X conforme recebido do fabricante (Campbell Scientific INC).

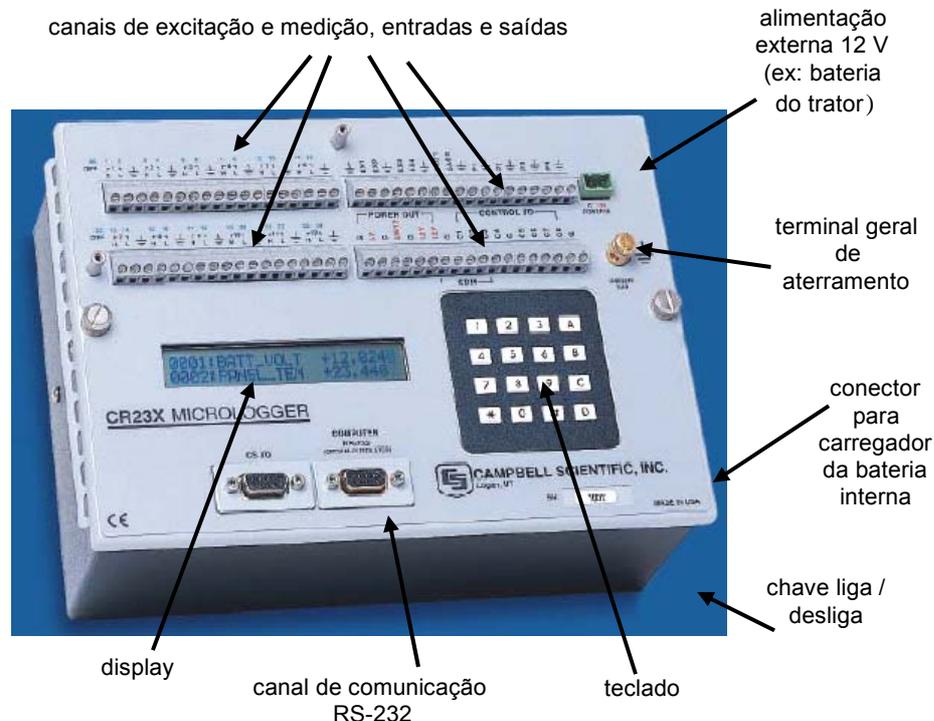


Figura 9. Datalogger CR23X em sua configuração original.

### 3.2.3.1. Projeto de aplicação do Datalogger CR23X

O sistema de instrumentação foi construído sobre o datalogger CR23X. A partir do mesmo, foram necessários projeto eletro-mecânico, bem como desenvolvimento de software específico para a aplicação requerida, qual seja a aquisição de esforços horizontais em hastes sulcadoras de distribuição de adubo em semeadoras-adubadoras. Para tanto, foi estabelecida parceria com o Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS.

Verificando o esquema da Figura 10, a bateria de 12 V do trator alimenta o datalogger, transdutores, botões e lâmpadas durante a coleta de dados.

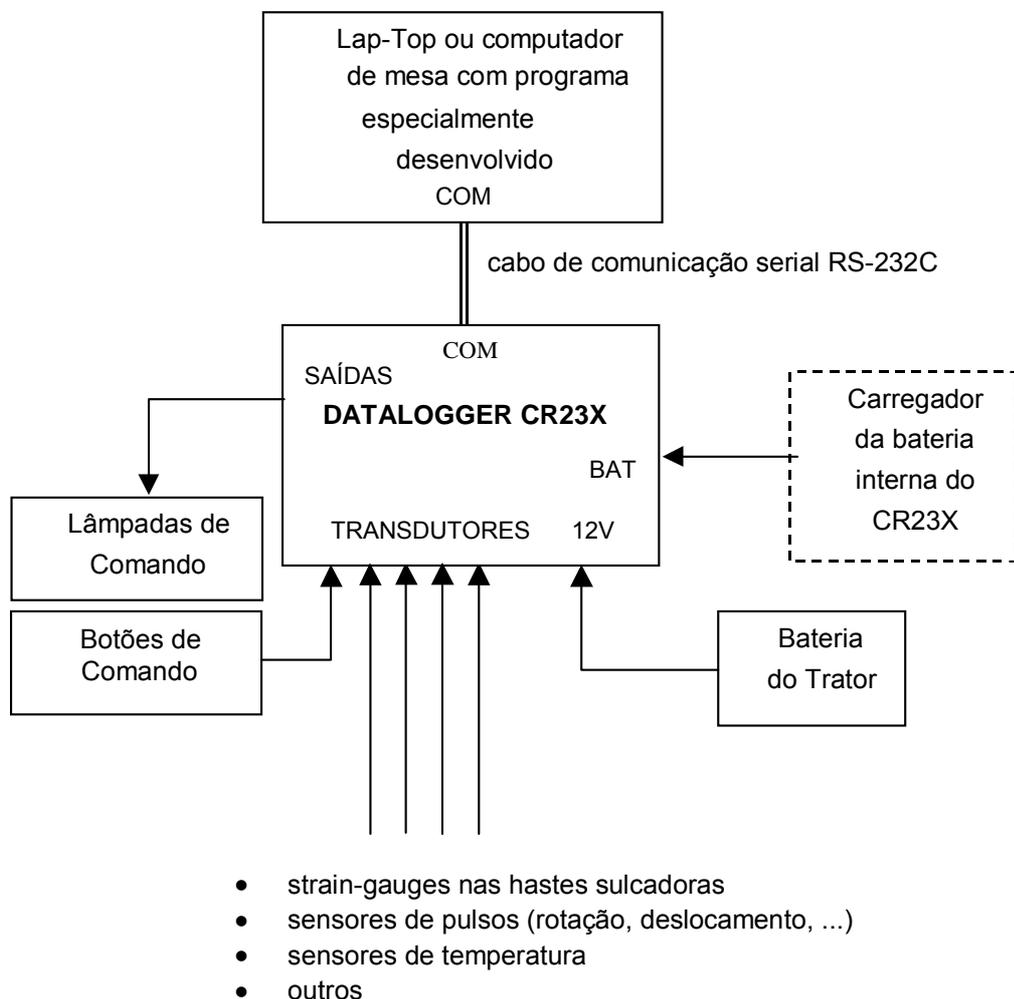


Figura 10. Esquema dos sistemas conectados ao Datalogger CR23X.

O datalogger também possui uma bateria interna de 12 V que permite sua utilização em operações de laboratório, tais como programação e recuperação de dados. Um carregador embutido permite a recarga desta bateria interna, quando necessário. O datalogger possui outra bateria interna

de lítio e 3 Vdc, não recarregável, mas de longa vida útil (tipicamente 2 a 3 anos). Esta garante a retentividade dos programas e dos dados coletados dos transdutores. Existem diagnósticos do datalogger que informam o nível de tensão desta bateria, sendo necessário substituí-la quando sua tensão cair abaixo de 2,4 V.

Um computador ou laptop é conectado na porta serial COM do datalogger por meio de um cabo de comunicação. Um programa especialmente desenvolvido, denominado DLOG.EXE é utilizado para funções como carga de programas e recuperação de dados coletados no datalogger CR23X. O programa também permite executar outras funções secundárias, como ajuste do relógio do datalogger e verificação de diagnósticos (exemplo: bateria interna requer uma recarga ou a bateria de lítio de 3 Vdc precisa ser substituída).

A utilização do datalogger envolve diversas etapas:

- elaboração do programa a ser carregado no datalogger;
- conexão aos transdutores no campo;
- operação do datalogger através de teclado e display;
- detecção de falhas operacionais do datalogger (leitura de diagnósticos fornecidos pelo equipamento).

Nos próximos itens, são descritos detalhes do projeto de aplicação que facilita estas etapas, tornando a utilização do datalogger acessível aos usuários.

### **3.2.3.2. Caixa mecânica envolvente**

Como o datalogger utilizado nesse trabalho foi utilizado no campo, para aumentar a sua robustez e evitar possíveis danos devido a manipulação inadequada, foi construída uma caixa envolvente (Figura 11). A proteção do equipamento de poeira e chuvas moderadas foi obtida pela construção dessa caixa envolvente com tampa de acrílico para vedação completa do equipamento.

A facilidade das conexões do datalogger foi obtida pelo estabelecimento de uma interface de conexões fáceis para cabos externos, tais como cabos ligados a transdutores externos, cabo de alimentação externa (12 Vdc da bateria do trator) e cabo do carregador da bateria interna de 12 Vdc do datalogger.

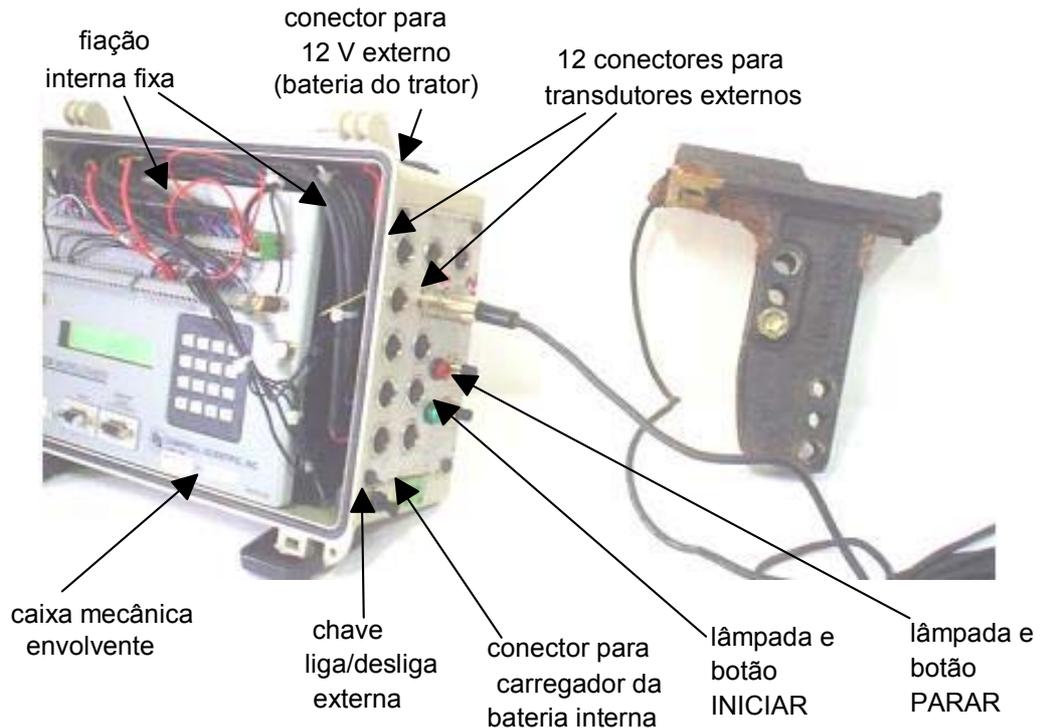


Figura 11. Caixa mecânica envolvente.

Estes cabos possuem conectores de fácil engate (por pressão) e polarizados (à prova de inversões de polaridade), que podem ser facilmente obtidos e substituídos em caso de falha. Desta forma os conectores originais embutidos no datalogger CR23X foram preservados. Todos os doze conectores de transdutores, o conector de alimentação externa, o conector do carregador da bateria interna de 12 Vdc, e os respectivos cabos, são identificados, para facilitar uma conexão correta no momento da operação no campo.

A operação do datalogger foi facilitada pela inclusão na caixa envolvente de um conjunto de lâmpadas indicadoras, botões e chave de acionamento. Um dos botões foi utilizado para iniciar a coleta de dados, e o outro para terminar a coleta de dados. Ao pressionar o botão INICIAR, a lâmpada correspondente (verde) acende para informar que a coleta está sendo executada. Ao pressionar o botão PARAR, a lâmpada correspondente (vermelha) acende para indicar que a coleta foi terminada. Também para facilitar a operação, existe uma chave liga/desliga externa de fácil acesso, que foi ligada em série com a chave liga/desliga interna do datalogger CR23X.

### 3.2.3.3. Interface de conexões de transdutores padronizada

Em relação aos 12 conectores para os transdutores, executou-se uma padronização, considerando as utilizações mais comuns do datalogger. Os conectores foram nomeados e distribuídos da seguinte maneira:

**PH1...PH4:** 4 contadores de pulsos de alta frequência (sensores de números 01 a 04)

**PL1...PL2:** 2 contadores de pulsos de baixa frequência (sensores de números 05 a 06)

**SG1...SG4:** 4 *strain gauges* em ponte completa de 4 fios (sensores de números 07 a 10)

**PT1...PT2:** 2 potenciômetros de 1 k $\Omega$  (sensores de números 11 a 12)

Esta padronização teve por objetivo facilitar as conexões e a programação, restringindo, portanto os tipos e quantidades de transdutores nos seguintes limites:

- até 4 contadores de pulsos de alta frequência;
- até 2 contadores de pulsos de baixa frequência;
- até 4 *strain gauges* em ponte completa de 4 fios;
- até 2 potenciômetros de 1 k $\Omega$ .

### 3.2.3.4. Programação do Datalogger

Optou-se por programar o datalogger através de arquivos texto, que podem ser editados por um editor de textos ASCII como o Notepad do Windows<sup>®</sup>. Estes arquivos textos são interpretados pelo programa DLOG.EXE, que a partir dos mesmos gera programas no formato do datalogger CR23X, e os carrega no datalogger.

Foi criado um arquivo texto modelo que deve ser alterado pelo usuário somente nos pontos onde for necessário. Num exemplo deste arquivo (Figura 12), foram utilizados apenas os sensores SG1 (sensor 07) e SG2 (sensor 08), que são *strain gauges* utilizados nas avaliações da demanda de tração em hastes sulcadoras. Os outros 10 sensores, embora apareçam no arquivo, estão desabilitados.

[Gerais]

DiretorioArquivosColetados = C:\CR23X\DadosColetados\TRATOR

PeriodoExec = 0.20 ; período básico de execução

NumSensores = 12 ; configuração máxima, pode-se desabilitar alguns abaixo

;Sensor 01: conector PH1 em P1 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor01]

NomeSensor = Pulso PH1

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 2 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 3 ; 3 = contagem de pulsos

NumPar = 6 ; 6 = número de parâmetros da instrução 3

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 1 ; P2 = canal = 1 para P1 = PH1

Par03 = 0 ; P3 = código de config = 0

Par04 = 1 ; P4 = local memória = número sensor = 1

Par05 = 1.0 ; P5 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par06 = 0.0 ; P6 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 02: conector PH2 em P2 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor02]

NomeSensor = Pulso PH2

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 2 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 3 ; 3 = contagem de pulsos

NumPar = 6 ; 6 = número de parâmetros da instrução 3

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 2 ; P2 = canal = 2 para P2 = PH2

Par03 = 0 ; P3 = código de config = 0

Par04 = 2 ; P4 = local memória = número sensor = 2

Par05 = 1.0 ; P5 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par06 = 0.0 ; P6 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 03: conector PH3 em P3 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor03]

NomeSensor = Pulso PH3

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 2 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 3 ; 3 = contagem de pulsos

NumPar = 6 ; 6 = número de parâmetros da instrução 3

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 3 ; P2 = canal = 1 para P3 = PH3

Par03 = 0 ; P3 = código de config = 0

Par04 = 3 ; P4 = local memória = número sensor = 3

Par05 = 1.0 ; P5 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par06 = 0.0 ; P6 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 04: conector PH4 em P4 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor04]

NomeSensor = Pulso PH4

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 2 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 3 ; 3 = contagem de pulsos

NumPar = 6 ; 6 = número de parâmetros da instrução 3

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 4 ; P2 = canal = 1 para P4 = PH4

Par03 = 0 ; P3 = código de config = 0

Par04 = 4 ; P4 = local memória = número sensor = 4

Par05 = 1.0 ; P5 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

---

Par06 = 0.0 ; P6 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 05: conector PL5 em C5 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor05]

NomeSensor = Pulso PL5

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 2 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 3 ; 3 = contagem de pulsos

NumPar = 6 ; 6 = número de parâmetros da instrução 3

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 5 ; P2 = canal = 1 para C5 = PL5

Par03 = 0 ; P3 = código de config = 0

Par04 = 5 ; P4 = local memória = número sensor = 5

Par05 = 1.0 ; P5 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par06 = 0.0 ; P6 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 06: conector PL6 em C6 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor06]

NomeSensor = Pulso PL6

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 2 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 2 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 3 ; 3 = contagem de pulsos

NumPar = 6 ; 6 = número de parâmetros da instrução 3

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 6 ; P2 = canal = 1 para C6 = PL6

Par03 = 0 ; P3 = código de config = 0

Par04 = 6 ; P4 = local memória = número sensor = 6

Par05 = 1.0 ; P5 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par06 = 0.0 ; P6 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 07: conector SG1 em 1DIFF/EX1 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor07]

NomeSensor = Strain Gauge 1

HabilitaSensor = S

MultiploPeriodoLeitura = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 4 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 6 ; 6 = strain gauge full-bridge 4 fios

NumPar = 8 ; 8 = número de parâmetros da instrução 6

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 21 ; P2 = range code = 21 = 10 mV rej. 60 Hz

Par03 = 1 ; P3 = canal diferencial = 1DIFF

Par04 = 1 ; P4 = canal excitação = EX1

Par05 = 5000 ; P5 = tensão excitação = 5000 mV

Par06 = 7 ; P6 = local memória = número sensor = 7

Par07 = -726.24 ; P7 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par08 = -256.255 ; P8 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 08: conector SG2 em 2DIFF/EX2 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor08]

NomeSensor = Strain Gauge 2

HabilitaSensor = S

MultiploPeriodoLeitura = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 4 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 6 ; 6 = strain gauge full-bridge 4 fios

NumPar = 8 ; 8 = número de parâmetros da instrução 6

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 21 ; P2 = range code = 21 = 10 mV rej. 60 Hz

Par03 = 2 ; P3 = canal diferencial = 2DIFF

Par04 = 2 ; P4 = canal excitação = EX2

Par05 = 5000 ; P5 = tensão excitação = 5000 mV

Par06 = 8 ; P6 = local memória = número sensor = 8

Par07 = 93.146 ; P7 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

---

Par08 = 624.256 ; P8 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 09: conector SG3 em 3DIFF/EX3 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor09]

NomeSensor = Strain Gauge 3

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 4 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 6 ; 6 = strain gauge full-bridge 4 fios

NumPar = 8 ; 8 = número de parâmetros da instrução 6

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 21 ; P2 = range code = 21 = 10 mV rej. 60 Hz

Par03 = 3 ; P3 = canal diferencial = 3DIFF

Par04 = 3 ; P4 = canal excitação = EX3

Par05 = 5000 ; P5 = tensão excitação = 5000 mV

Par06 = 9 ; P6 = local memória = número sensor = 9

Par07 = 1.0 ; P7 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par08 = 0.0 ; P8 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 10: conector SG4 em 4DIFF/EX4 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor10]

NomeSensor = Strain Gauge 4

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 4 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 6 ; 6 = strain gauge full-bridge 4 fios

NumPar = 8 ; 8 = número de parâmetros da instrução 6

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 21 ; P2 = range code = 21 = 10 mV rej. 60 Hz

Par03 = 4 ; P3 = canal diferencial = 4DIFF

Par04 = 4 ; P4 = canal excitação = EX4

Par05 = 5000 ; P5 = tensão excitação = 5000 mV

Par06 = 10 ; P6 = local memória = número sensor = 10

Par07 = 1.0 ; P7 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par08 = 0.0 ; P8 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 11: conector PT1 em 14SE/EX3 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor11]

NomeSensor = Potenciometro 1

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 4 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 4 ; 4 = excite, delay and measure

NumPar = 9 ; 9 = número de parâmetros da instrução 4

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 25 ; P2 = range code = 25 = 5000 mV rej. 60 Hz

Par03 = 14 ; P3 = canal single-ended = 14SE

Par04 = 3 ; P4 = canal excitação = EX3

Par05 = 1 ; P5 = delay em centésimos de segundo

Par06 = 5000 ; P6 = tensão excitação = 5000 mV

Par07 = 11 ; P7 = local memória = número sensor = 11

Par08 = 1.0 ; P8 = multiplicador unidades eng. (ajuste)

Par09 = 0.0 ; P9 = offset unidades eng. (ajuste)

;Sensor 12: conector PT2 em 16SE/EX4 (desabilite abaixo, se não conectado)

[Sensor12]

NomeSensor = Potenciometro 2

HabilitaSensor = N

MultiploPeriodoLeitura = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para medir (ajuste)

MultiploPeriodoGravacao = 1 ; múltiplo de PeriodoExec para gravar (ajuste)

Resol = 4 ; precisao em bytes (ajuste 2 ou 4)

Instr = 4 ; 4 = excite, delay and measure

NumPar = 9 ; 9 = número de parâmetros da instrução 4

Par01 = 1 ; P1 = repetições = 1

Par02 = 25 ; P2 = range code = 25 = 5000 mV rej. 60 Hz

---

Par03 = 16	; P3 = canal single-ended = 16SE
Par04 = 4	; P4 = canal excitação = EX4
Par05 = 1	; P5 = delay em centésimos de segundo
Par06 = 5000	; P6 = tensão excitação = 5000 mV
Par07 = 12	; P7 = local memória = número sensor = 12
Par08 = 1.0	; P8 = multiplicador unidades eng. (ajuste)
Par09 = 0.0	; P9 = offset unidades eng. (ajuste)

---

Figura 12. Exemplo Programa para o Datalogger CR23X usando DLOG.EXE.

De um modo geral, observa-se no arquivo que é possível inserir comentário numa linha, depois do caractere “;”, para tornar o programa mais claro e auto-explicativo.

O arquivo possui 13 seções distintas:

A primeira é a seção [Gerais], na qual são definidos três parâmetros de uso geral para o programa, tais como:

**DiretorioArquivosColetados:** informa o diretório onde devem ser gravados os dados coletados. Esta informação, na verdade, não diz respeito ao datalogger propriamente dito, mas sim ao programa DLOG.EXE que é discutido posteriormente.

**PeriodoExec:** trata-se do período básico de execução do programa do datalogger. Os períodos de leitura e gravação de dados dos transdutores devem ser múltiplos inteiros deste período.

**NumSensores:** informa o número de sensores definido neste programa, que deve ficar fixo com o valor 12. Mesmo sendo este valor fixo no valor máximo de sensores conectáveis (12), na prática é possível desabilitar individualmente cada um dos sensores acessando o programa.

Em seguida, seguem as 12 seções para cada um dos 12 sensores. Estas seções são nomeadas [Sensor01], ..., [Sensor12].

Todas as seções de sensores têm uma estrutura inicial idêntica, e uma estrutura final que depende do tipo de sensor (parâmetros da instrução específica para ler este sensor).

A estrutura inicial comum contém os seguintes parâmetros:

**NomeSensor:** trata-se de um nome designado para o sensor, por exemplo, “Strain Gauge 1”. Este parâmetro não é utilizado pelo datalogger propriamente dito. Ele é utilizado no arquivo de coleta de dados, construído pelo programa DLOG.EXE, discutido adiante.

**HabilitaSensor:** através deste parâmetro pode-se habilitar (S) ou desabilitar (N) o sensor. Se o sensor estiver desabilitado, não será considerado pelo programa do datalogger.

**MultiploPeriodoLeitura:** este parâmetro define a relação entre o período de leitura deste sensor e o período básico do programa, definido pelo parâmetro PeríodoExec na seção [Gerais].

**MultiploPeriodoGravacao:** este parâmetro define a relação entre o período de gravação dos dados deste sensor na memória do datalogger e o período básico do programa, definido pelo parâmetro PeríodoExec na seção [Gerais]. Exceto em condições especiais, os parâmetros MultiploPeriodoGravacao e MultiploPeriodoLeitura são idênticos.

**Resol:** este parâmetro indica a precisão de gravação dos dados deste sensor na memória do datalogger, que pode valer 2 (2 bytes) ou 4 (4 bytes). Com 2 bytes, pode-se armazenar valores com 4 dígitos significativos, com valor mínimo de 0.001 e valor máximo de 6999. Com 4 bytes, pode-se armazenar valores com 5 dígitos significativos, com valor mínimo de 0.00001 e valor máximo de 99999.

**Instr:** este parâmetro informa o código da instrução do datalogger que deve ser utilizado para este sensor, e vale:

- 3:** contagem de pulsos, para sensores PH1, PH2, PH3, PH4, PL5 e PL6.
- 6:** strain gauge ponte completa de 4 fios, para sensores SG1, SG2, SG3 e SG4.
- 4:** “excite, delay and measure”, para sensores PT1 e PT2.

**NumPar:** este parâmetro informa quantos parâmetros adicionais deve-se informar para a instrução específica, e vale:

- 6:** para a instrução 3, dos sensores PH1, PH2, PH3, PH4, PL5 e PL6.
- 8:** para a instrução 6, dos sensores SG1, SG2, SG3 e SG4.
- 9:** para a instrução 4, dos sensores PT1 e PT2.

A estrutura final contém os parâmetros específicos para cada instrução. Estes parâmetros têm nomes Par01, Par02, ..., Parnn, onde “nn” é o número definido pelo parâmetro NumPar. No caso específico desta tese, nos strain gauges, existem 8 parâmetros específicos. Como exemplo, será

examinado o caso do sensor SG2, que se encontra abaixo da seção [Sensor08]:

**Par01:** seu valor deve ficar fixo em 1 (número de repetições da leitura em cada ciclo de aquisição)

**Par02:** o valor 21, no exemplo, indica que a saída máxima esperada do transdutor é 10 mV (Vout máximo), e que existe uma filtragem para evitar ruídos especialmente de 60 Hz. Outros valores podem ser programados, e para isto deve-se consultar o manual do CR23X.

**Par03:** o valor 2 indica que este sensor (SG2) está conectado no canal de medição diferencial número 2, na régua de bornes do datalogger.

**Par04:** o valor 2 indica que este sensor (SG2) está conectado no canal de excitação número 2, na régua de bornes do datalogger.

**Par05:** o valor 5000 indica que a excitação utilizada na leitura deste sensor (Vexc) é de 5000 mV.

**Par06:** o valor 8 indica que a memória geral número 8 é utilizada para armazenar as leitura deste sensor. Esse valor não precisa ser alterado pelo usuário.

**Par07:** trata-se de um fator multiplicativo (*Kmul*) para conversão para unidades de engenharia, no caso, kgf.

**Par08:** trata-se de um fator aditivo (*Kad*) para conversão para unidades de engenharia, no caso, kgf.

### 3.2.3.5. O Programa DLOG.EXE

Este programa, desenvolvido em linguagem C++ com o compilador Microsoft Visual C++ 6.0, tem diversas funções, entre as quais:

- Interpretar os programas desenvolvidos para o datalogger e carregá-los no datalogger através do canal de comunicação serial RS-232;
- Recuperar, através do canal de comunicação serial RS-232, os dados armazenados no datalogger durante operações de coleta, e gravá-los em arquivos do tipo CSV, que podem ser tratados através de planilhas Excel;
- Prover uma interface com o datalogger para ajuste de hora e observação de anormalidades (diagnósticos).

Na parte superior da tela (Figura 13), são mostradas informações como data e hora no computador, data e hora no datalogger CR23X, estado da conexão (comunicação RS-232) com o datalogger CR23X, arquivo de definição do programa ativo, arquivo do programa ativo, autonomia prevista para coletas em horas, considerando o programa ativo.

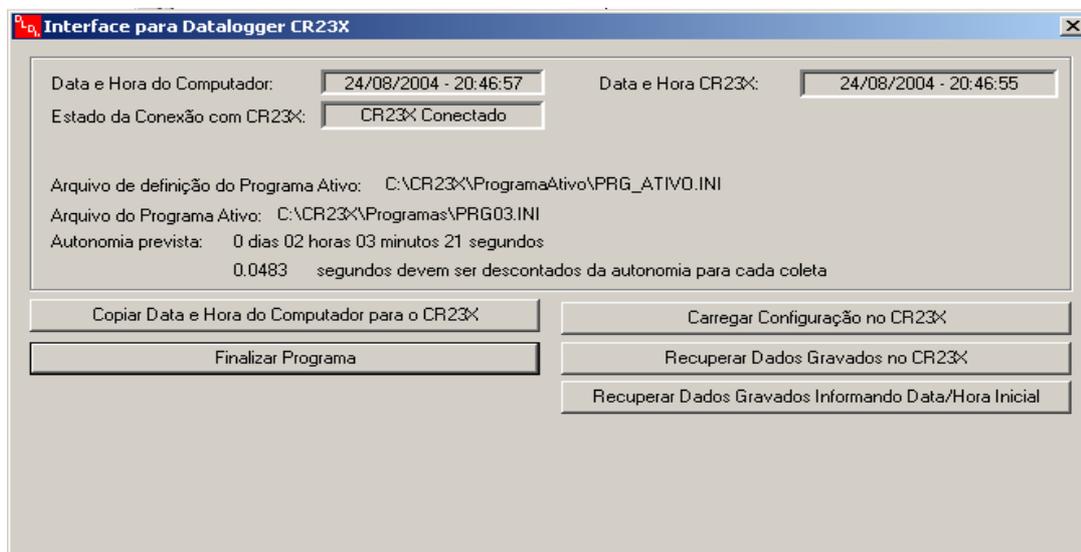


Figura 13. Tela Principal de DLOG.EXE.

Na parte inferior da tela existem botões de comando com as seguintes funções:

- copiar data e hora do computador para o CR23X, ajustando o horário do datalogger;
- finalizar o programa;
- carregar uma configuração (novo programa) no CR23X;
- recuperar dados gravados na memória CR23X, depois de uma ou mais operações de coleta;
- recuperar dados gravados na memória CR23X, depois de uma ou mais operações de coleta, informando a data e hora inicial a partir do qual existe interesse. Dados mais antigos do que esta data e hora são descartados.

O programa DLOG.EXE, ao ser iniciado, procura por um arquivo denominado DLOG.INI, que deve se encontrar instalado no mesmo diretório onde se encontra o programa DLOG.EXE. O conteúdo do arquivo DLOG.INI é apresentado na Figura 14.

---

```
[DLOG]
;Arquivo que localiza o programa ativo
LocalProgramaAtivo = C:\CR23X\ProgramaAtivo\PRG_ATIVO.INI

;O canal serial pode ser COM1, COM2, COM3, ..., COM9, COM10, COM11, ..., COM16
CanalSerial = COM1
```

---

Figura 14. Arquivo DLOG.INI.

Apenas dois parâmetros são definidos em DLOG.INI:

**LocalProgramaAtivo:** informa o diretório e nome de outro arquivo .INI, que informa o programa ativo e algumas opções para gerar os arquivos de dados coletados no formato CSV.

**CanalSerial:** informa o canal serial do computador que deve ser utilizado para a comunicação, podendo variar entre COM1 e COM16.

Além disso, existe o arquivo apontado pelo parâmetro LocalProgramaAtivo referenciado no arquivo DLOG.INI. Este arquivo (no exemplo: C:\CR23X\ProgramaAtivo\PRG\_ATIVO.INI) tem o conteúdo apresentado na Figura 15.

---

```
[PRG]
; Arquivo que aponta para o programa ativo
ProgramaAtivo = C:\CR23X\Programas\TRATOR_FUNDO.INI
[CSV]
;Opções para geração dos arquivos CSV
;O separador pode ser vírgula (V) ou ponto e vírgula (P)
;Normalmente deve valer P para versões em português do EXCEL
SeparadorCSV = P
;O ponto decimal pode ser vírgula (V) ou ponto (P)
;Normalmente deve valer V para versões em português do EXCEL
PontoDecimalCSV = V
; Data e hora iniciais para "Encontrar local inicial a partir de data/hora"
DataInicialColeta = 24/08/2004
HoraInicialColeta = 07:10:00
```

---

Figura 15. Arquivo para Localização do Programa Ativo.

O primeiro parâmetro, Programa Ativo, informa o diretório e nome do arquivo que contém o programa ativo.

O segundo parâmetro, SeparadorCSV, indica o separador de colunas utilizado para arquivos CSV. As opções são V (vírgula) ou P (ponto-e-vírgula). Normalmente a opção P deve ser utilizada para versões em português do Excel.

O terceiro parâmetro, PontoDecimalCSV, indica o separador utilizado entre dígitos inteiros e fracionários de um número em arquivos CSV. As opções são V (vírgula) ou P (ponto). Normalmente a opção V deve ser utilizada para versões em português do Excel.

O quarto e quinto parâmetros, DataInicialColeta e HoraInicialColeta, indicam data e hora inicial a ser empregada quando o botão de comando Recuperar Dados Gravados Informando Data e Hora Inicial é utilizado no programa DLOG.EXE.

### **3.2.3.6. Operação normal do Datalogger**

Ao carregar um novo programa no datalogger, todas as informações coletadas pelo datalogger são eliminadas. A partir deste momento, o usuário pode executar novas coletas, relacionadas ao novo programa que acabou de carregar.

Apertando o botão INICIAR, o datalogger liga a lâmpada verde e desliga a lâmpada vermelha, iniciando uma coleta que só termina ao apertar o botão PARAR. Ao apertar o botão PARAR, a lâmpada vermelha acende e a verde é desligada. Esta seqüência pode ser repetida inúmeras vezes. A cada ciclo INICIAR-PARAR, uma nova coleta de dados é definida.

Quando os dados forem, posteriormente recuperados através do programa DLOG.EXE, será criado um arquivo CSV para cada ciclo INICIAR-PARAR.

### **3.2.3.7. Tipos de arquivos CSV gerados pelo Programa DLOG.EXE**

Conforme visto anteriormente, o próprio programa do usuário para o datalogger define o diretório onde devem ser armazenados os arquivos com os dados coletados, através do parâmetro DiretorioArquivosColetados.

Dentro deste diretório existem sub-diretórios com nomes “ddmmaaaa” para indicar dia, mês e ano do momento em que iniciaram as coletas armazenadas neste diretório.

Dentro de um diretório “ddmmaaaa” existem diretórios com nomes “hhmmss” para indicar a hora, minuto e segundo em que iniciou uma coleta específica.

E dentro do diretório “hhmmss”, por sua vez, existem N+1 arquivos, onde N é o número de sensores habilitados no programa:

- os N arquivos tem nomes SensorXX.csv, onde XX pode variar de 01 a 12, de acordo com os sensores habilitados no programa;
- o arquivo adicional tem nome Gerais.

A Figura 16 mostra um exemplo, onde os sensores 07 (SG1) e 08 (SG2) estão habilitados, para uma coleta que iniciou às 14:42:16 de 11/10/2004.

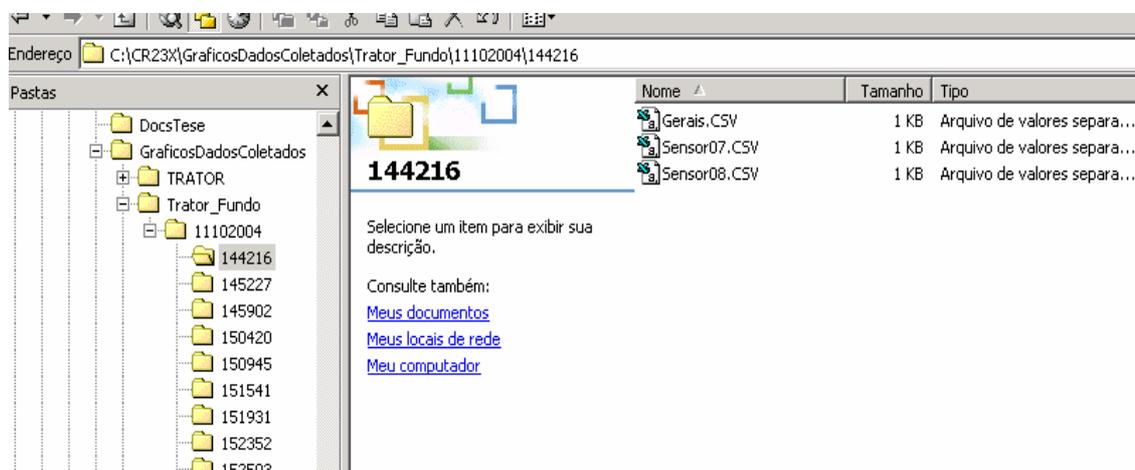


Figura 16. Estrutura de Armazenamento dos Arquivos CSV.

### 3.2.3.8. Arquivo Gerais.CSV

O arquivo Gerais.CSV reporta diagnósticos relacionados com o período durante o qual foi efetuada a coleta. A Figura 17 exemplifica, para o caso da Figura 16, informações de diagnóstico reportadas:

Data Inicial	11/10/2004
Hora Inicial	15:15:41
Temperatura interna do painel	32,35
Tensão da bateria interna 12 V	13,63
Tensão da bateria de lítio	2,619
Contagem de erros de watchdog	0
Contagem de erros de overrun	0
Contagem de erros de bateria 12 V baixa	0
Contagem de erros na memória de dados	0
Contagem de erros na tensão de 5V	0

Figura 17. Arquivo Gerais.CSV.

É importante observar este arquivo. Se algum dos cinco contadores de erros que aparecem nas últimas 5 linhas estiver diferente de zero, a aquisição pode estar sob suspeita. Também é importante verificar a tensão da bateria de lítio (se estiver abaixo de 2,4 V, deve ser substituída), e da bateria interna (se estiver abaixo de 11 V, deve ser carregada).

### 3.2.3.9. Arquivo SensorXX.CSV

O arquivo SensorXX.CSV reporta a lista de dados coletados para este sensor. Cada linha reporta um valor, e o tempo relativo desde o início da coleta. A Figura 18 mostra as primeiras linhas do arquivo Sensor08.CSV da coleta exemplificada anteriormente.

Tempo	Strain Gauge 2
0	111,65
0,2	125,49
0,4	106,54
0,6	66,85
0,8	137,21
1	196,75
1,2	200,96
1,4	163,68
1,6	128,19
1,8	135,11

Figura 18. Arquivo Sensor08.CSV.

Observa-se que, com os arquivos SensorXX.CSV, pode-se fazer estudos, gráficos e análises dos dados coletados. A própria ferramenta Excel pode ser utilizada em muitos destes estudos e análises.

### 3.2.4. Instalação dos extensômetros na haste sulcadora

A Figura 19 mostra dois extensômetros colados numa das faces do suporte de uma haste sulcadora. Os outros dois, que completam a ponte de Wheatstone, estão colados na face oposta.

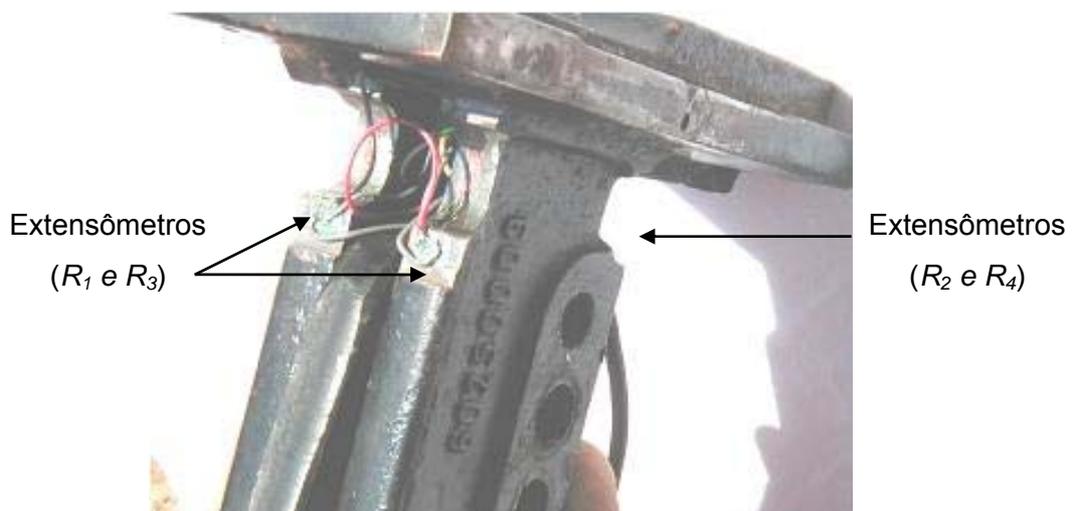


Figura 19. Strain gauges instalados no suporte da haste sulcadora.

Os procedimentos de instalação dos extensômetros devem ser rigorosamente seguidos. Variações no processo de colagem, preparação da superfície onde serão instalados e o ambiente ao qual os extensômetros ficarão expostos devem ser considerados no planejamento e desenvolvimento da instrumentação.

### 3.2.5. Conexão entre o Datalogger e transdutor de força

A Figura 20 ilustra como um equipamento de aquisição de dados (datalogger) se conecta a um transdutor de força baseado em extensômetros do tipo “strain gauges”, ligados numa configuração de ponte completa.

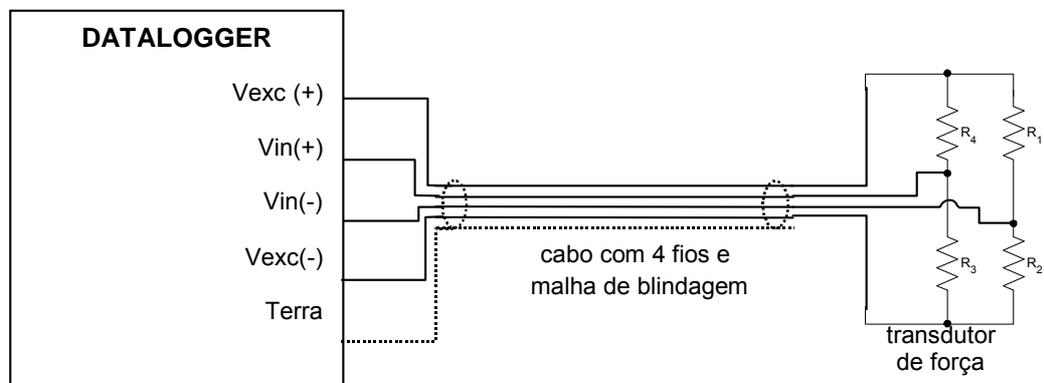


Figura 20. Conexão do datalogger ao transdutor de força.

Observa-se que o datalogger possui, internamente, a fonte para excitação ( $V_{exc}$ ), que é ligada ao transdutor através de dois fios ( $V_{exc+}$  e  $V_{exc-}$ ). Além disso, há dois conectores de medição ( $V_{in+}$  e  $V_{in-}$ ) no lado do datalogger, conectados aos terminais  $V_{out+}$  e  $V_{out-}$  no lado do transdutor de força. A malha de blindagem do cabo deve ser ligada exclusivamente no terminal de aterramento do datalogger, devendo permanecer desconectada do lado do transdutor de força.

O diâmetro dos fios do cabo entre datalogger e transdutor deve ser escolhido de tal forma que a queda de tensão no cabo seja uma parte insignificante da tensão de excitação ( $V_{exc}$ ). Por exemplo, se os 4 resistores da ponte têm  $400\ \Omega$ , a resistência equivalente da ponte também é de  $400\ \Omega$ . A resistência do cabo deve ser bem menor do que este valor. Tipicamente, a resistência de um cabo de instrumentação 26 AWG é da ordem de  $130\ \Omega\ km^{-1}$ , ou seja, um cabo de aproximadamente 10 m possui  $2,6\ \Omega$  de resistência

(percurso de ida e volta com 20 m). Ou seja, a imprecisão causada pela queda de tensão é da ordem de  $2,6 / 402,6$  que é menor que 1%.

Para comprimentos mais longos ou quando a exigência de precisão é maior pode-se utilizar cabos de maior diâmetro.

Outra possibilidade é utilizar medições de 6 fios. O datalogger CR23X possui este recurso, que utiliza seis fios na conexão entre datalogger e transdutor e necessita de dois canais de medição ao invés de um único. Neste caso, os dois fios e o canal de medição adicionais servem para medir a tensão de excitação que chega ao transdutor, computando assim a queda de tensão sobre os cabos.

Para os objetivos dos experimentos relatados nesta tese, um cabo de instrumentação com cerca de 10 m e 26 AWG possuem uma precisão adequada.

### **3.2.6. Aquisição de dados pelo Datalogger CR23X**

Uma vez conectado ao transdutor de força, o datalogger pode efetuar leituras cíclicas das forças. Através do programa, deve-se informar ao datalogger alguns parâmetros para execução das leituras, tais como:

- período de execução de leituras sucessivas da força (por exemplo: 0,1 s);
- período de execução de gravações sucessivas da força (por exemplo: 0,2 s, embora normalmente coincida com o período de execução de leituras). Isto significa que, no final do ensaio, estará disponível um gráfico de Força por Tempo, com um valor conhecido de força a cada 0,2 s;
- precisão das leituras a serem feitas e armazenadas (vinculação entre duração da coleta e memória de armazenamento disponível no datalogger);
- método de medição a ser utilizado por exemplo, ponte de Wheatstone completa;
- canal de medição a ser utilizado (se houver múltiplos canais de medição no datalogger);
- canal de excitação a ser utilizado (se houver múltiplos canais de excitação no datalogger);
- tensão de excitação ( $V_{exc}$ ) a ser aplicada no transdutor de força durante a medição a partir do canal de excitação;

- tensão máxima esperada no canal de medição ( $V_{in}$ , conectado a  $V_{out}$  do transdutor de força);
- tipo de filtragem necessária para eliminar interferência eletromagnética (exemplo: rejeição de ruído de 60 Hz);
- fator multiplicativo para conversão para unidades de engenharia por exemplo: kgf;
- fator aditivo para conversão para unidades de engenharia (exemplo: kgf);
- área de memória utilizada para gravação dos dados obtidos.

Durante a execução do programa de coleta de dados, o datalogger executa medições periódicas das forças e as grava automaticamente na memória do datalogger. Posteriormente, através de um cabo de comunicação, os dados armazenados no datalogger podem ser transferidos para um computador e processados, com o uso de planilha eletrônica.

### **3.2.7. Diagrama de blocos de um Datalogger**

Os circuitos internos do datalogger são alimentados por uma fonte de alimentação, que pode receber energia de uma bateria interna de 12 Vdc, ou de uma fonte externa de 12 Vdc, como a bateria do trator. Existe também um conector que recebe energia de um carregador externo de baterias, que deve suprir uma tensão entre 17 e 28 Vdc. A Figura 21 mostra um diagrama de blocos típico de um datalogger.

O microprocessador é o elemento central que coordena a execução de programas, o acesso às memórias de programa e de dados coletados e o acesso aos periféricos (canais de excitação, canais de medição, canais de comunicação, teclado e display).

A memória de programação armazena o programa elaborado e/ou ajustado pelo usuário para executar uma tarefa específica de coleta de dados. Esta memória é retentiva, isto é, dados não são perdidos com o desligamento do datalogger devido a bateria interna de 3 Vdc. A memória de armazenamento dos dados coletados normalmente possui alta capacidade de armazenamento (da ordem de Mbytes), podendo armazenar dados de longos períodos de coletas de dados, sendo esta memória também é retentiva.

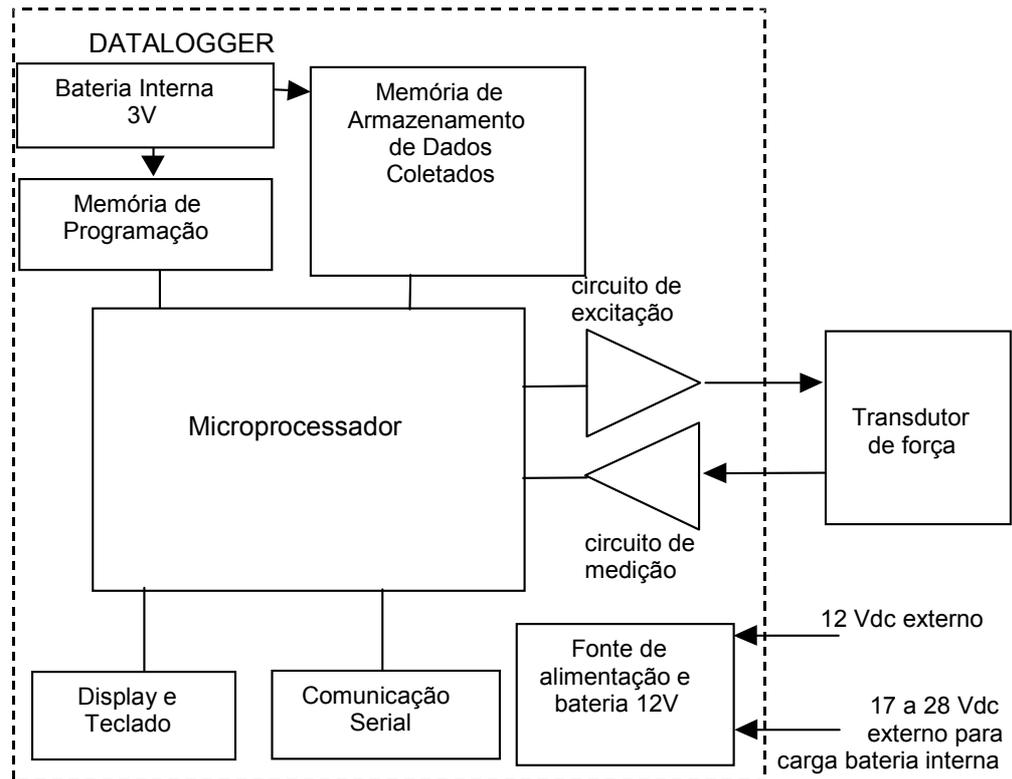


Figura 21. Diagrama de blocos típico de um Datalogger.

Os circuitos de excitação e medição já foram descritos nos itens anteriores e suas funções são, respectivamente, suprir alimentação ( $V_{exc}$ ) ao transdutor de força e medir o sinal de saída ( $V_{out}$ ) gerado pelo transdutor.

O display e teclado permitem algumas pequenas intervenções locais, como por exemplo, ler o valor instantâneo da força. Isto é útil no procedimento de calibração, descrito posteriormente.

O canal de comunicação serial é um dispositivo que permite conexão com um computador, com diversos objetivos, tais como carregar um novo programa de usuário, transferir os dados coletados, obter diagnósticos operacionais do datalogger e ajustar data e hora do datalogger, entre outros.

### 3.2.8. Procedimento de calibração da instrumentação instalada no suporte da haste sulcadora

Neste item, descreve-se a metodologia utilizada para ajustar dois parâmetros de conversão para unidades de engenharia, para medição da força na haste sulcadora. Esta metodologia também resulta na calibração das medições. Para o caso específico do transdutor de força, e para muitas variáveis analógicas, é necessário ajustar dois parâmetros no programa do usuário relacionados à conversão para unidades de engenharia, e são eles:

***Kmul***: fator multiplicativo para conversão para unidades de engenharia

***Kad***: fator aditivo para conversão para unidades de engenharia

Seguem as etapas necessárias para a calibração correta do suporte e para a conversão para as unidades de engenharia requeridas.

***Etapa 1:***

Consiste em fazer um ajuste inicial do fator multiplicativo com valor unitário (1,0) e do fator aditivo com valor nulo (0,0) e carregar o programa no datalogger.

***Etapa 2:***

A segunda etapa consiste na determinação do fator multiplicativo. Para executá-la, a haste sulcadora, montada no suporte, é pendurada conforme mostra a Figura 22.

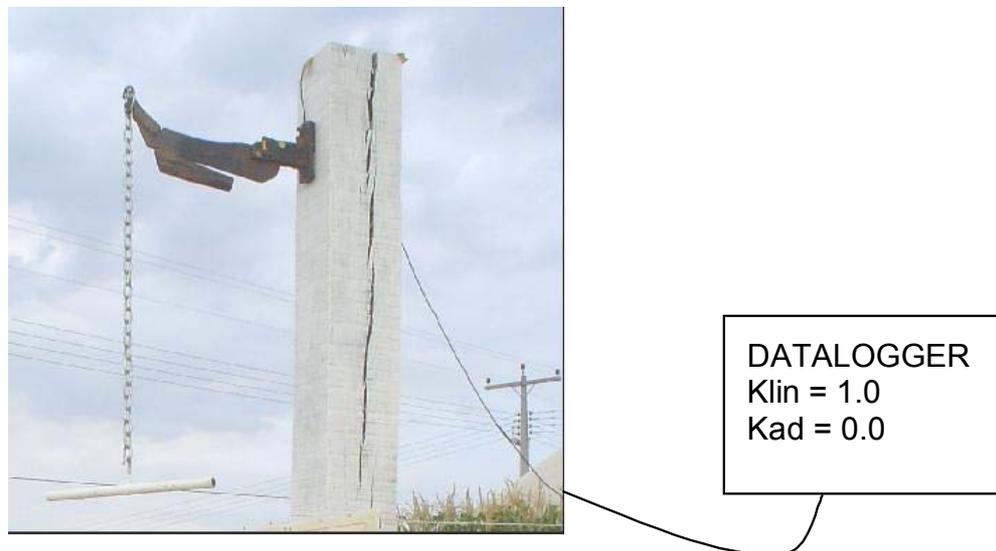


Figura 22. Arranjo para determinação do fator linear.

Na ponta da haste, penduram-se seqüencialmente, quatro objetos de massas diferentes e conhecidas. Os valores de massa reais dos objetos são introduzidos nas células B2:B5 da planilha mostrada na Figura 23. Os valores das correspondentes massas indicadas pelo datalogger são introduzidos nas células C2:C5 da planilha. A leitura dos valores é feita diretamente no display do datalogger.

A partir disto, a planilha calcula automaticamente o fator linear, indicando o resultado na célula B18. O resultado é a média de seis valores calculados de formas diferentes ( $6 = C(4,2)$ ), ou seja, combinação de 4 massas

2 a 2. As equações utilizadas para os seis cálculos são mostradas nas células A9:A14 da planilha.

Na coluna B19, a planilha mostra o máximo desvio da média apresentado por uma destas 6 leituras, o que evidencia a qualidade da calibração.

### Etapa 3:

Essa etapa consiste em carregar o fator multiplicativo *Klin* ajustado (ex: -140.92 na planilha mostrada da Figura 23) no programa do datalogger, mantendo ainda o fator aditivo *Kad* com valor nulo.

	A	B	C
1		<b>Peso Real</b>	<b>Peso Indicado</b>
2	<b>Peso 1</b>	34,25	-0,65
3	<b>Peso 2</b>	68,5	-0,89
4	<b>Peso 3</b>	94,55	-1,078
5	<b>Peso 4</b>	120,1	-1,258
6	<b>Valor Atual do Parâmetro 7 (Fator Multiplicativo)</b>	1	
7			
8	<b>Cálculos</b>	<b>Fator Linear</b>	<b>Desvio da Média</b>
9	$(PR1 - PR2) / (PI1 - PI2)$	-142,7083333	1,787915461
10	$(PR1 - PR3) / (PI1 - PI3)$	-140,8878505	0,032567405
11	$(PR1 - PR4) / (PI1 - PI4)$	-141,2006579	0,280240023
12	$(PR2 - PR3) / (PI2 - PI3)$	-138,5638298	2,356588085
13	$(PR2 - PR4) / (PI2 - PI4)$	-140,2173913	0,703026568
14	$(PR3 - PR4) / (PI3 - PI4)$	-141,9444444	1,024026573
15	<b>Valor Médio</b>	-140,9204179	
16	<b>Máximo Desvio da Média</b>	2,356588085	
17			
18	<b>Valor Ajustado do Parâmetro 7 (Fator Multiplicativo)</b>	<b>-140,9204179</b>	
19	<b>Percentual do Desvio Máximo da Média</b>	<b>1,67%</b>	
20			
21			

Figura 23. Planilha de calibração das hastes sulcadoras.

### Etapa 4:

A quarta etapa consiste em determinar o fator aditivo. Para tanto, deve-se montar a haste sulcadora no trator em posição de trabalho. Deve-se operar com a haste e depois retornar ligeiramente em marcha ré, mantendo a haste em posição de trabalho e removendo o solo a ela aderido para que a mesma não sofra nenhuma tensão.

Nesta situação, o valor de força que deve ser lido é nulo. Caso esteja aparecendo um valor diferente de zero no display do datalogger, este valor deve ser multiplicado por -1 (invertido), resultando no fator aditivo.

Nesta etapa, é importante enfatizar que a haste não deve ser forçada para frente.

***Etapa 5:***

A última etapa consiste em carregar o fator aditivo *Kad* ajustado no datalogger, e a partir deste, o processo de aquisição pode ser iniciado.

### 3.3. Resultados e discussão

#### 3.3.1. Calibração da instrumentação instalada nos suportes das hastes sulcadoras

Nas Figuras 24 e 25 são demonstrados os resultados de várias calibrações, com hastes de diferentes geometrias. Os valores médios de três repetições por teste de calibração.

Em todos os testes de calibração foram utilizados, no mínimo quatro cargas conhecidas.

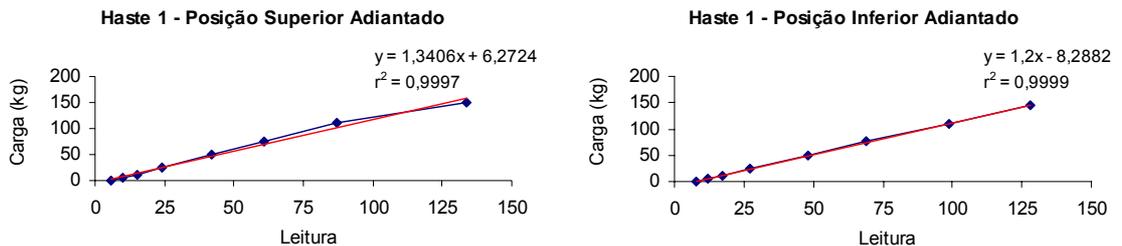


Figura 24. Calibração prévia das hastes sulcadoras, nas posições superior e inferior (haste 1).

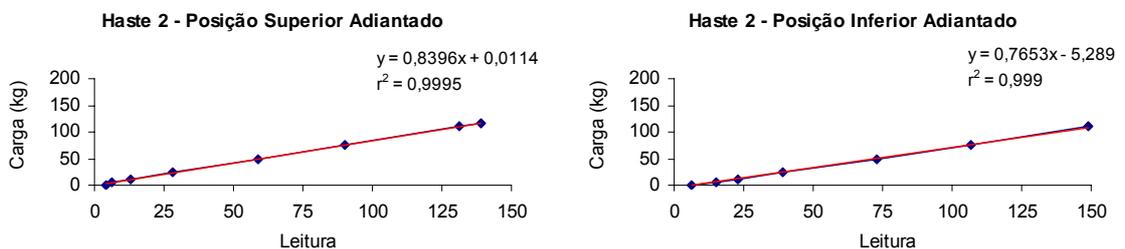


Figura 25. Calibração prévia das hastes sulcadoras, nas posições superior e inferior (haste 2).

Observa-se que o coeficiente de correlação entre a carga e a leitura foi alto, significando que tanto a metodologia de aplicação do teste, como a própria instalação dos *strain gauges* foi efetiva. Também é importante observar que para cada configuração, geometria ou regulagem das hastes é necessária a calibração das mesmas.

#### 3.3.2. Valores de demanda de tração da haste sulcadora utilizando a instrumentação eletrônica

A instrumentação eletrônica de aquisição de dados foi testada em Argissolo Vermelho distrófico típico (Eldorado do Sul – RS) e em Latossolo Vermelho distroférico (Tupanciretã – RS). As Figuras 26 e 27 são

demonstrativas das diferenças evidenciadas utilizando-se o equipamento de aquisição e processamento dos dados.

A facilidade de instalação e operação do conjunto também possibilitou a modificação de diversas variáveis operacionais no campo, gerando dados que comprovaram a efetividade do projeto proposto nesse capítulo.

A Figura 26 mostra os resultados do teste da haste sulcadora em semeadura direta, no município de Tupanciretã – RS, em Latossolo Vermelho distroférico (unidade de mapeamento Santo Ângelo), textura muito argilosa ( $0,73 \text{ kg kg}^{-1}$  de argila). A haste foi regulada em duas profundidades, denominadas FUNDO (0,15 m) e RASO (0,09 m).

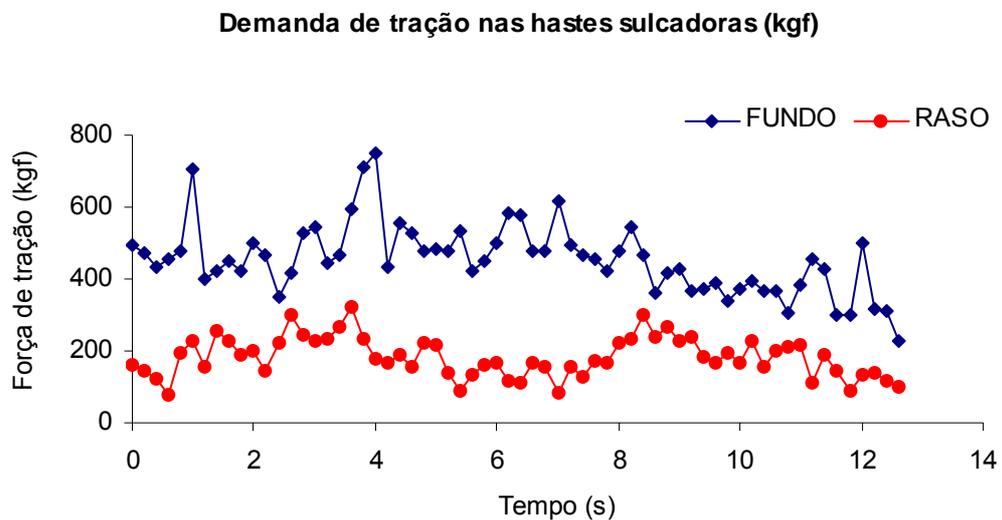


Figura 26. Variação do esforço de tração de uma haste sulcadora em função da profundidade de atuação e tempo (s), Tupanciretã – RS.

O esforço de tração da haste que operou à maior profundidade foi maior do que o demandado pela haste que trabalhou na profundidade menor. Observa-se nesse espaço de tempo que ocorrem picos de esforço de tração, isso ocorre devido ao esforço da haste para cisalhar o solo.

Na Figura 27 estão os resultados do teste de duas hastes sulcadoras de diferentes geometrias, no município de Eldorado do Sul – RS, EEA/UFRGS, em Argissolo Vermelho distrófico típico ( $0,20 \text{ kg kg}^{-1}$  de argila), em semeadura direta. Os testes foram efetivos, pois as principais diferenças na configuração das mesmas encontravam-se no formato e no ângulo de ataque diferenciado em cada ferramenta.

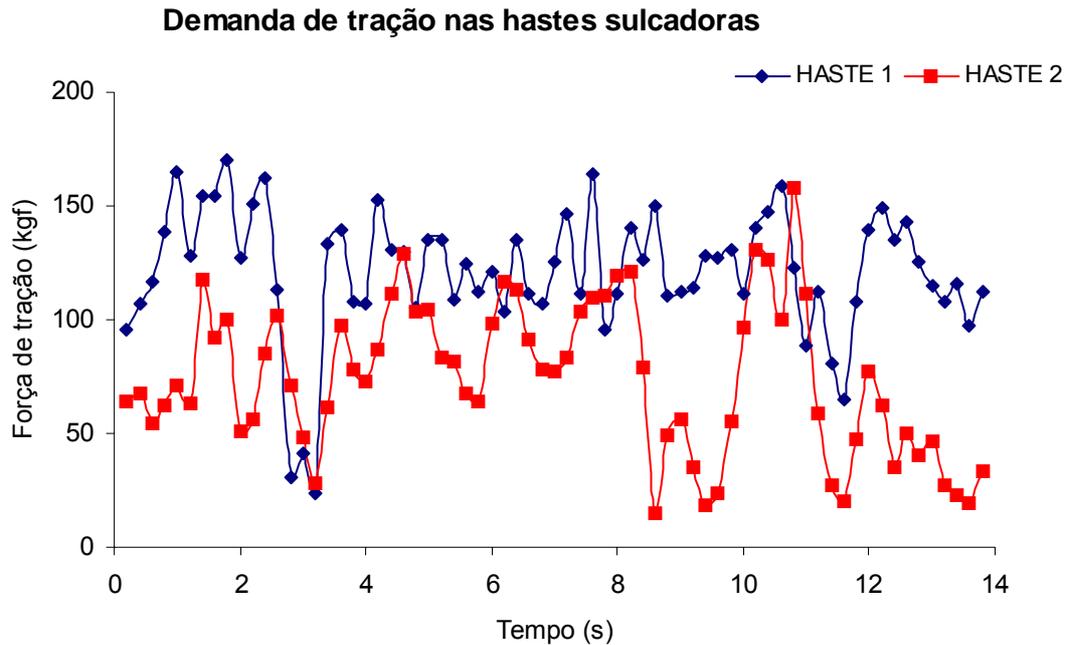


Figura 27. Variação do esforço de tração na análise comparativa de duas hastes com geometrias diferentes em função do tempo (s), EEA – UFRGS (Eldorado do Sul – RS).

Embora exigindo menor força de tração, mesmo na Haste 2 os picos de força de tração ao longo do tempo de avaliação são importantes para definições de projeto, materiais e utilização de coeficientes de segurança.

### 3.3.3. Aplicação da aquisição de dados de esforço de tração no gerenciamento de tomada de decisões em áreas agrícolas

Utilizando a instrumentação eletrônica para aquisição de esforços de tração em hastes sulcadoras e com recursos de agricultura de precisão, foi possível a elaboração de um mapa do estado de compactação do solo (Figura 28). Essa aplicação permitiu, de uma maneira rápida e clara, evidenciar zonas com diferentes resistências do solo à passagem do sulcador.

Foram feitas cinco leituras por segundo, o que na prática correspondeu a uma leitura de resistência a cada 0,31 m, considerando-se a velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora-adubadora de 5,6 km h<sup>-1</sup>. Os valores foram expressos em kgf e foram posteriormente alocados aos pontos do mapa da área de onde foram obtidos. O mapa foi elaborado a partir das zonas de mesma resistência do solo ao cisalhamento imposto pela haste sulcadora, podendo ser interpretado como um mapa do estado de compactação do solo da área amostrada (aproximadamente um

hectare). Esta área estava sob semeadura direta em terreno com baixa declividade ( $0,02 \text{ m m}^{-1}$ ).

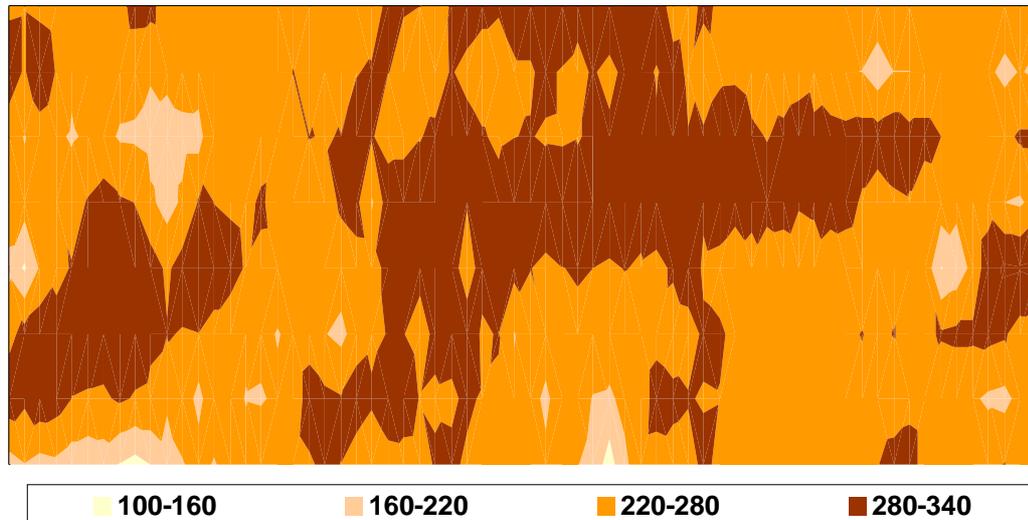


Figura 28. Mapa do estado de compactação do solo elaborado a partir de dados de esforço de tração (kgf) medidos em haste sulcadora da semeadora-adubadora.

Dentro da área de amostragem, são observadas zonas com valores de resistência à passagem de hastes sulcadoras entre 280 e 340 kgf. Estes valores são referidos na literatura como restritivos ao crescimento de raízes (Merotto Jr. & Mundstock, 1999; Taylor et al. 1966).

A partir desta informação, sugestões para um manejo diferenciado destas áreas em relação às zonas onde não ocorre restrição mecânica ao crescimento de raízes. Essa tomada de decisões economiza tempo, custos e mão-de-obra, pois somente áreas que necessitem de descompactação serão trabalhadas.

A utilidade de mapas de compactação do solo reside no fato que a correlação de mapas de compactação do solo com mapas de rendimento das culturas, fertilidade do solo, granulometria e teor de matéria orgânica do solo, entre outros, é uma importante ferramenta para gerenciamento e tomada de decisões na agricultura.

### 3.4. Conclusões

A instrumentação eletrônica e a metodologia desenvolvidas para a aquisição de dados na avaliação da demanda de tração em hastes sulcadoras de distribuição de adubo mostrou-se funcional, prática e precisa.

Nas operações efetuadas no campo, a instrumentação suportou as oscilações do conjunto trator/semeadora-adubadora e não foi afetada pela poeira gerada no campo.

A capacidade de armazenamento dos dados foi suficiente na aplicação solicitada no campo e a facilidade de transferência e operação dos dados em planilha eletrônica também foi evidenciada.

Os *strain gauges* funcionaram bem independentemente do formato do suporte de haste ao qual foram aplicados e apresentaram excelente desempenho na aquisição de dados.

A utilização de hastes instrumentadas com sensores eletrônicos para avaliação de estados de compactação do solo, a partir da resistência do solo ao cisalhamento da haste sulcadora mostrou-se viável, independentemente do tamanho das áreas. Isto significa que é possível monitorar pequenas, médias e grandes áreas.

## **4. ESTUDO II: FORÇA DE TRAÇÃO E MOBILIZAÇÃO DO SOLO EM FUNÇÃO DE DOSES DE RESÍDUOS E PROFUNDIDADE DE ATUAÇÃO DAS HASTES SULCADORAS**

### **4.1. Introdução**

A utilização da técnica de semeadura direta implica na manutenção dos resíduos culturais sobre o solo. Esses podem influenciar o desempenho da operação de semeadura, no posicionamento da semente no solo e no condicionamento do microclima ao redor da mesma, afetando a germinação das plantas. Em situações onde o sulcador atua de forma a deixar o solo descoberto, pode torná-lo vulnerável à invasão de plantas indesejáveis e à ação de agentes erosivos. Dessa forma, a quantidade de palha, seu tamanho e posicionamento na superfície do solo são fatores que podem afetar o desenvolvimento e produtividade de uma cultura.

Neste contexto, o desempenho das semeadoras-adubadoras, suas regulagens e operação eficiente influenciam diretamente na germinação e emergência das culturas.

Muitas áreas afetadas por compactação superficial não necessitariam ser descompactadas ou revolvidas antes da semeadura se as semeadoras-adubadoras fossem reguladas adequadamente, o que resultaria em posicionamento eficiente das sementes e do adubo para uma boa germinação e crescimento das plantas, mesmo em solos com diferentes teores de água.

Em áreas compactadas ou suscetíveis à compactação, a utilização de hastes sulcadoras para distribuição de adubo deve ser considerada. Além da função de distribuição de adubo, as hastes sulcadoras têm a função de mobilização do solo na linha de semeadura, minimizando possíveis zonas de compactação. Entretanto, a profundidade ideal de atuação das hastes

sulcadoras ainda é questionada, tanto por produtores, como por pesquisadores.

A hipótese deste estudo é que maiores quantidades de resíduos culturais na superfície do solo e a atuação das hastes sulcadoras a maiores profundidades aumentam os esforços de tração necessários para a operação de semeadura.

O objetivo desse estudo foi avaliar um conjunto trator e semeadora-adubadora, equipado com três e cinco linhas de semeadura, operando em Argissolo Vermelho distrófico típico, em semeadura direta, com diferentes doses de resíduo sobre a superfície (0, 2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>) e com hastes sulcadoras de distribuição de adubo atuando em diferentes profundidades de distribuição (0,06 e 0,12 m).

## 4.2. Material e métodos

### 4.2.1. Localização e características da área experimental

O estudo foi realizado na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA – UFRGS), município de Eldorado do Sul – RS. O experimento foi instalado em área com Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999), unidade de mapeamento São Jerônimo (BRASIL, 1973). Este solo apresenta textura do horizonte superficial franco-argilosa a argilosa com cascalhos. A área do experimento tem declividade entre 0,02 e 0,03 m m<sup>-1</sup>. A precipitação média anual da região é de 1.440 mm, com clima do tipo subtropical de verão úmido quente (Cfa) (Bergamaschi et al., 2003), segundo classificação de Köppen. Pott (1974), descreveu o campo natural da região como regular, considerando como predominantes as gramíneas *Paspalum spp.*, *Aristida spp.*, *Trachypogon montufari* e *Setaria geniculata* e as leguminosas *Desmodium canum*.

### 4.2.2. Histórico de uso da área experimental

A área experimental foi utilizada com pecuária por 15 anos. A partir de 2001, foram implantadas culturas de inverno e verão em semeadura direta, conforme a Tabela 3.

Os dados apresentados neste estudo são referentes aos anos agrícolas de 2002 (milho), onde a semeadora-adubadora estava equipada com três linhas de semeadura e em 2004 (feijão), quando a semeadora-adubadora estava equipada com cinco linhas de semeadura.

Tabela 3. Sucessões de culturas implantadas na área experimental

Ano Agrícola	Inverno	Verão
2000	Campo Natural	
2001	Aveia preta	Soja
2002	Aveia preta	Milho
2003	Aveia preta	Soja
2004	Aveia preta e Nabo forrageiro	Feijão

Nos anos agrícolas de 2001, 2002 e 2003, a aveia preta antecedeu as culturas de verão. No ano agrícola de 2004, as culturas de verão foram

precedidas por aveia preta e nabo forrageiro. As culturas de inverno tiveram a função de fornecer resíduos culturais para cobertura do solo sobre as quais foram semeadas as culturas de verão.

#### 4.2.3. Máquinas e equipamentos para a condução dos ensaios no campo

Os equipamentos utilizados para a implantação, condução e colheita do experimento são caracterizados na Tabela 4.

Tabela 4. Equipamentos utilizados nos ensaios no campo

---

#### **Semeadora-adubadora marca Vence Tudo, modelo 11500, montada**

---

- Inverno:**
- Fluxo contínuo, com kit de inverno
  - Onze linhas de semeadura, espaçadas em 0,17 m
  - Sulcadores para adubo e sementes do tipo discos duplos desencontrados com 0,33 m (13 “), regulados para a profundidade de 0,03 m
- 

- Verão:**
- De precisão
  - Três linhas de semeadura espaçadas em 0,80 m para o milho
  - Cinco linhas de semeadura espaçadas em 0,40 m para o feijão
  - Disco de corte de palha com diâmetro de 0,36 m (14 “), colocados a frente de cada linha de semeadura
  - Hastes sulcadoras de adubo do tipo facão, com ponteiros de 0,025 m de largura, ângulo de ataque de 20°, reguladas para a profundidade de 0,06 e 0,12 m, dependendo do tratamento secundário proposto
  - Sulcadores para distribuição de sementes do tipo discos duplos desencontrados com 0,33 m (13 ”), regulados para a profundidade de 0,05 m
  - Pneus 5.00/16-12 R1, com pressão de inflação de 18 kPa
  - Engate nos três pontos do trator (montada)
  - Massa da semeadora-adubadora descarregada: 810 kg
- 

#### **Trator marca John Deere, modelo 5600 tração 4x2**

---

- Tração dianteira auxiliar (TDA), esta não foi acionada nos ensaios de campo
-

- Potência máxima no motor de 53 kW
- Massa em ordem de marcha: 4.000 kg
- Pneus traseiros 18.4-30 R1
- Pressão de inflação de 110 kPa
- Pressão de contato do pneu traseiro: 122 kPa
- Pneus dianteiros 12.4-24 R1
- Pressão de inflação de 95 kPa
- Bitola de 1,65 m nos eixos dianteiro e traseiro
- Velocidade do trator/semeadora-adubadora: 5,6 km h<sup>-1</sup>

---

**Colhedora de grãos marca John Deere, modelo 1175**

---

- Potência máxima no motor de 92 kW
- Plataforma convencional de 4,62 m (14 pés)
- Picador de palha
- Massa em ordem de marcha: 8.400 kg
- Pneus dianteiros 18.4-30 R1
- Pressão de inflação dos pneus dianteiros: 138 kPa
- Pressão de contato do pneu dianteiro: 177 kPa
- Pneus traseiros 10.5/80-18 F3
- Bitola no eixo dianteiro: 2,34 m
- Bitola no eixo traseiro: 2,18 m

---

**Pulverizador tratorizado marca Jacto, montado**

---

- De barras, providas com 19 pontas de pulverização com jato em leque 110-02, espaçados em 0,5 m
  - Pressão de trabalho de 40 psi (275 kPa)
  - Bitola de 1,65 m nos eixos dianteiro e traseiro
  - Largura útil de 9,5 m
  - Tanque com capacidade para 400 L de calda
  - Engate nos três pontos do trator (montado)
-

---

### Sistema de irrigação

---

- Aspersores com base de 1,5 m de altura (9 unidades)
  - Raio de molhamento de 18 m
  - Vazão de 13 mm h<sup>-1</sup>
  - Bomba de recalque acionada por motor diesel (10,3 kW)
- 

#### 4.2.4. Atributos físicos da área experimental

Na Tabela 5 estão relacionados os atributos físicos do solo da área experimental (Cepik, 2002). Na semeadura do milho, em 2002, o teor de água no solo foi de 0,14 kg kg<sup>-1</sup>, e em 2004, por ocasião da semeadura do feijão, foi de 0,17 kg kg<sup>-1</sup>.

Tabela 5. Atributos físicos iniciais da área experimental na profundidade de 0 a 0,14 m

Atributos	Unidade	Valor
Densidade dos sólidos	g cm <sup>-3</sup>	2,65
Limite de liquidez	kg kg <sup>-1</sup>	0,23
Limite de plasticidade	kg kg <sup>-1</sup>	0,14
Limite de contração	kg kg <sup>-1</sup>	0,08
Índice de Plasticidade	kg kg <sup>-1</sup>	0,09
Argila	kg kg <sup>-1</sup>	0,20
Silte	kg kg <sup>-1</sup>	0,27
Areia	kg kg <sup>-1</sup>	0,53

Cepik (2002)

#### 4.2.5. Manejo e sucessões de culturas.

##### 4.2.5.1. Operação da semeadora-adubadora com três linhas de semeadura, cultura teste milho, ano agrícola de 2002.

Sobre a palha da cultura da soja foi semeada a aveia preta, no dia 15 de junho de 2002, com a semeadora-adubadora de fluxo contínuo descrita no item 4.2.3.

As doses de resíduos culturais de inverno aplicadas sobre a superfície do solo foram de 0, 2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

Para obter 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. A aveia preta foi semeada na densidade de 90 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando-se sementes com poder germinativo de 75% e pureza mínima de 90%.

A adubação, realizada conforme recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995), foi dividida em adubação de base, quando foram utilizados 100 kg ha<sup>-1</sup> de adubo NPK 05-20-20, e em adubação de cobertura, quando foram aplicados 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de uréia 45-00-00, em dois momentos distintos: no dia 16 de julho de 2002, quando foi aplicada metade da dose em todos os tratamentos, exceto nas parcelas com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia preta, e a outra metade da dose, em 25 de agosto de 2002, nos tratamentos onde se visava obter doses mais elevadas de resíduos culturais de aveia preta (4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), com o objetivo de incrementar nestes últimos não somente a matéria seca da parte aérea, mas também a de suas raízes.

Após a aveia preta atingir o ponto de maturação, no dia 7 de novembro de 2002, foi efetuada a colheita da mesma com auxílio da colhedora de grãos. A palha proveniente do saca-palhas e das peneiras da colhedora foi coletada em lona plástica e pesada, sendo a quantidade relativa à dose de resíduo necessária em cada parcela uniformemente distribuída sobre a superfície do solo.

A cultura do milho foi implantada no dia 15 de novembro de 2002, dando continuidade à rotação de culturas. Utilizou-se uma semeadora-adubadora, descrita no item 4.2.3. A população de plantas pretendida foi de 72.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foram utilizadas sementes da cultivar Pioneer 3071, com poder germinativo de 90% e pureza mínima de 98%.

A adubação foi realizada seguindo recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995).

#### **4.2.5.2. Operação da semeadora-adubadora com cinco linhas de semeadura, cultura teste feijão, ano agrícola de 2004.**

Sobre a palha da cultura da soja foi semeado o consórcio de aveia preta e nabo forrageiro no dia 25 de abril de 2004, com a semeadora-adubadora de fluxo contínuo descrita em 4.2.3.

As diferentes doses de resíduos culturais de inverno propostas neste estudo foram de 0, 2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

Nos tratamentos de 0 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca de aveia preta e nabo forrageiro, 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. A densidade de sementes utilizada foi de 80 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta e 14 kg ha<sup>-1</sup> de nabo forrageiro e estes possuíam poder germinativo de 80% e 60% e pureza mínima de 98% e 97%, respectivamente.

A adubação, realizada conforme recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995), foi dividida em adubação de base, onde foram utilizados 120 kg ha<sup>-1</sup> de adubo NPK 05-20-20, e em adubação de cobertura, quando foram aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de uréia 45-00-00, em dois momentos distintos: no dia 01 de julho de 2004, quando foi aplicada metade da dose em todos os tratamentos, exceto nas parcelas com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia preta e nabo forrageiro, e a outra metade da dose em 20 de agosto de 2004, nos tratamentos onde se visava obter doses mais elevadas de resíduos culturais (4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>), com o objetivo de incrementar nestes últimos não somente a matéria seca da parte aérea, mas também a de suas raízes.

Após a aveia preta e o nabo forrageiro atingirem o ponto de maturação foi efetuada a colheita no dia 8 de outubro de 2004 com auxílio da colhedora de grãos. A palha proveniente do saca-palhas e das peneiras da colhedora foi coletada em lona plástica e pesada, sendo a quantidade relativa à dose de resíduo necessária em cada parcela uniformemente distribuída sobre a superfície do solo.

A semeadura da cultura do feijão ocorreu em 11 de outubro de 2004, utilizando-se uma semeadora-adubadora, regulada para distribuir 15 sementes por metro linear. Foi utilizada a variedade BRS Valente (EMBRAPA), conforme recomendação para a região, com poder germinativo de 87% e pureza mínima de 98%. Foi utilizado inoculante específico para o feijão.

A adubação foi realizada seguindo recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995).

#### **4.2.6. Tratamentos**

Os tratamentos principais foram definidos a partir de doses de resíduos da cultura de inverno sobre a superfície do solo. Foram empregadas seis doses de resíduos: 0, 2, 3, 4, 5 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>. A aplicação do fertilizante mineral foi realizada em duas profundidades nominais (0,06 e 0,12 m), que consistiram nos tratamentos secundários. O comprimento das parcelas foi de 7 m e a largura das parcelas foi de 5 m e a das sub-parcelas foi de 2,5 m.

As avaliações ocorreram no momento da semeadura do milho, em 2002, utilizando-se a semeadora-adubadora equipada com três linhas de semeadura. E também na semeadura do feijão, em 2004, utilizando-se a semeadora-adubadora equipada com cinco linhas de semeadura.

#### **4.2.7. Delineamento experimental e análise estatística dos dados**

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e seis repetições. Os tratamentos principais foram as doses de resíduos culturais dispostos sobre o solo, e os secundários, as profundidades de atuação das hastes sulcadoras de distribuição de adubo da semeadora-adubadora.

Os dados obtidos no campo e em laboratório foram tabulados e submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas entre si, utilizando-se o teste de análise de médias de Tukey ( $P < 0,05$ ).

As análises estatísticas dos dados de milho e de feijão foram feitas independentemente.

#### **4.2.8. Avaliações e amostragens**

##### **4.2.8.1. Teor de água no solo**

O método utilizado para verificação do teor de água no solo está descrito em EMBRAPA (1997), valores expressos em kg kg<sup>-1</sup>. Foram efetuadas três repetições por tratamento.

##### **4.2.8.2. Força de tração na haste sulcadora de adubo**

A força de tração expressa em N, foi quantificada nas hastes sulcadoras utilizando-se a instrumentação eletrônica para aquisição de dados de esforço de tração, descrita no Capítulo 3.

#### 4.2.8.3. Área da seção transversal do sulco e volume de solo mobilizado pela haste sulcadora

Foram obtidas leituras da forma geométrica do sulco produzido pelo sulcador, com três repetições, utilizando o perfilômetro com hastes espaçadas de 0,01 m, largura total de 0,35 m e com regulagem variável de até 0,35 m no sentido longitudinal (Figura 29).

Para efetivar a leitura, retirou-se o solo que havia sido mobilizado pela haste sulcadora de adubo, e foram colocadas duas estacas, lateralmente às linhas de semeadura, as quais serviram como referência para as leituras efetuadas.



Figura 29. Vista frontal do perfilômetro em uso no campo.

Após a retirada manual do solo solto, as varetas do perfilômetro foram liberadas, ao atingirem o solo, copiaram o desenho do sulco nas suas extremidades superiores, permitindo marcar, em uma folha de papel colocada à frente do painel do aparelho, as extremidades superiores das hastes do aparelho. As leituras foram realizadas após a passagem do conjunto trator/semeadora-adubadora em todos os ensaios. A área da seção transversal foi calculada 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.

A área da seção transversal dos sulcos ( $\text{cm}^2$ ) foi convertida em  $\text{m}^2$ , após foi multiplicada por 12.500 (3 linhas, milho) ou 25.000 (5 linhas, feijão) para obtenção do volume de solo mobilizado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) pela haste sulcadora de

adubo da semeadora-adubadora. O fator 12.500 ou 25.000 corresponde à área de um hectare (10.000 m<sup>2</sup>) dividida pelo espaçamento entre linhas de 0,80 m para a cultura do milho e 0,40 m para a cultura do feijoeiro, respectivamente.

#### **4.2.8.4. Profundidade máxima efetiva provocada pelas hastes sulcadoras**

Utilizando-se as leituras do perfilômetro, obtiveram-se os dados de máxima profundidade para cada sulco, sendo apresentados os dados médios referentes às repetições com valores expressos em cm.

#### **4.2.8.5. Força de tração específica na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora**

A força de tração específica foi calculada dividindo-se os valores de força de tração medida nas hastes pela respectiva área da seção transversal do sulco resultante, valores expressos em N cm<sup>-2</sup>.

#### **4.2.8.6. Patinagem das rodas tratórias**

A patinagem das rodas tratórias foi avaliada através da comparação entre o deslocamento do trator sem carga e o deslocamento efetivo enquanto cada parcela era semeada, durante a operação de semeadura da cultura do milho e do feijão. Enquanto a semeadora-adubadora operava dentro de cada parcela subdividida, marcou-se com uma estaca o ponto no solo onde houve coincidência com marcações feitas nos pneus traseiros do trator. Após uma volta completa do pneu, marcou-se este segundo ponto com outra estaca, coincidente também com uma das marcas feitas no pneu. A distância entre a primeira e a segunda estaca foi medida. Para obter-se a distância percorrida pelo trator sem carga foi utilizado o mesmo procedimento, entretanto com a semeadora-adubadora erguida pelo sistema hidráulico do trator, obtendo-se o valor da patinagem dos rodados tratórios do trator segundo a Equação 9:

$$P = (DSC - DCC) * (DSC^{-1}) \quad \text{Equação 9.}$$

onde:

$$P = \text{Patinagem (m m}^{-1}\text{)}$$

DSC= Distância percorrida pelo pneu do trator com a semeadora-adubadora erguida (m)

DCC= Distância percorrida pelo pneu do trator com a semeadora-adubadora operando (m)

### 4.3. Resultados e discussão

Os dados deste capítulo serão apresentados conjuntamente para a operação de semeadura com três linhas de semeadura configuradas para milho e com cinco linhas de semeadura configuradas para feijão.

#### 4.3.1. Profundidade máxima efetiva provocada pelas hastes sulcadoras

Na Tabela 6 são apresentados os valores de profundidade máxima do sulco, estes foram avaliados utilizando-se o perfilômetro, descrito no item 4.2.8.3. Os resultados são apresentados em centímetros devido à utilização posterior em outros cálculos, como por exemplo a determinação da força específica ( $N\ cm^{-1}$ ).

Tabela 6. Profundidade máxima efetiva dos sulcos (cm) provocada pela haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos e número de linhas da semeadora-adubadora

Doses de resíduos ( $Mg\ ha^{-1}$ )	Número de linhas de semeadura					
	3 linhas			5 linhas		
	Profundidade de atuação da haste					
	0,06 m	0,12 m	Média	0,06 m	0,12 m	Média
0	6,7	11,6	9,1 a	6,8	11,5	9,2 a
2	6,7	11,5	9,1 a	6,9	11,4	9,2 a
3	6,4	11,7	9,0 a	7,1	11,7	9,4 a
4	6,6	11,5	9,0 a	7,0	11,4	9,2 a
5	6,3	11,4	8,8 a	7,6	11,2	9,4 a
6	6,1	11,2	8,6 a	7,1	10,6	8,9 a
Média	6,5 A	11,5 B	9,0	7,1 A	11,3 B	9,2

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si ( $P < 0,05\%$ ). CV = 15,9% (3 linhas), 16,2% (5 linhas)

Não houve diferença significativa entre os resultados em relação às diferentes doses de resíduos culturais. As profundidades nominais de atuação das hastes sulcadoras para distribuição de adubo, 0,06 e 0,12 m, não foram atingidas. Na menor profundidade (0,06 m) os valores excederam o pretendido com a regulagem. Já na profundidade de 0,12 m, na média, a profundidade alcançou valores médios na ordem de 0,115 m para a operação de semeadura de milho (3 linhas) e 0,113 m na operação de semeadura do feijão (5 linhas).

Casão Júnior et al. (2000c), comparando dez modelos de semeadoras-adubadoras, todas equipadas com hastes sulcadoras de adubo, constataram a dificuldade geral de regulação da profundidade do sulcador de adubo. As máquinas trabalharam entre 0,129 e 0,199 m, valores acima dos 0,10 m requeridos no teste que conduziram. Concluíram, recomendando aos fabricantes o desenvolvimento de um dispositivo para a manutenção da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo.

#### 4.3.2. Área de solo mobilizada pela haste sulcadora de adubo

Na Tabela 7, encontram-se os dados da área da seção transversal dos sulcos, quantificados logo após a operação de semeadura do milho e do feijão.

Tabela 7. Área de solo mobilizado ( $\text{cm}^2$ ) pela haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo

Doses de resíduos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	Número de linhas de semeadura					
	3 linhas			5 linhas		
	Profundidade de atuação da haste					
	0,065 m	0,115 m	Média	0,071 m	0,113 m	Média
0	50,9	63,5	57,2 a	50,7 Aa	53,7 Aa	52,2
2	53,9	63,2	58,5 a	53,0 Aa	59,8 Aab	56,4
3	52,7	63,9	58,3 ab	55,0 Aa	63,3 Aabc	59,2
4	55,5	64,7	60,1 b	54,5 Aa	70,6 Bbc	62,6
5	53,4	66,1	59,7 ab	56,2 Aa	77,1 Bbd	66,7
6	56,2	67,8	62,0 c	55,2 Aa	87,7 Bd	71,5
Média	53,8 A	64,9 B	59,3	54,1	68,7	61,4

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si ( $P < 0,05\%$ ). CV = 15,5% (3 linhas), 15,8% (5 linhas)

Na operação de semeadura do milho, utilizando a semeadora com três linhas, verifica-se que um aumento de 5 cm na profundidade de atuação do sulcador de adubo (0,065 m para 0,115 m) implicou 20,6% de aumento na área de solo mobilizada.

Os resultados também mostram que a mobilização do solo efetuada pelo sulcador de adubo da semeadora-adubadora foi influenciada pelas doses de resíduos nas quantidades de 0 e 6  $\text{Mg ha}^{-1}$ , na média das profundidades

testadas sendo maior a área de solo mobilizado com doses maiores de resíduos culturais, provavelmente devido a maior quantidade de raízes no tratamento com maior dose de resíduo, influenciando o sulcamento do solo.

Já na semeadura do feijão, com 5 linhas espaçadas em 0,4 m, houve interação significativa entre as doses de resíduos, porém, somente apresentaram diferença significativa, as doses 0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

Houve diferença significativa entre as profundidades de atuação do sulcador de adubo, a partir de 4 Mg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.3.3. Volume de solo mobilizado pela haste sulcadora

Na Tabela 8, encontram-se os dados calculados de volume de solo mobilizado.

Tabela 8. Volume de solo mobilizado (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) pela haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Número de linhas de semeadura					
	3 linhas			5 linhas		
	Profundidade de atuação da haste					
	0,065 m	0,115 m	Média	0,071 m	0,113 m	Média
0	63,6	79,4	71,5 a	126,8	134,3	130,6 a
2	67,4	79,0	73,2 a	132,5	149,5	141,0 a
3	65,9	79,9	72,9 ab	137,5	158,3	147,9 ab
4	69,4	80,9	75,1 b	136,3	176,5	156,4 b
5	66,7	82,6	74,7 bc	140,5	192,8	166,7 bc
6	70,3	84,7	77,5 c	138,0	219,3	178,7 c
Média	67,2 A	81,1 B	74,2	135,3 A	171,8 B	153,6

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si (P < 0,05%). CV = 16,2% (3 linhas), 14,9% (5 linhas)

Nas duas operações de semeadura avaliadas, houve diferença significativa entre as profundidades de atuação das hastes sulcadoras quanto ao volume de solo mobilizado.

Considerando o espaçamento de 0,80 m entre linhas de semeadura (três linhas), quando a profundidade de atuação passou de 0,065 para 0,115 m, houve um aumento de mobilização de solo da ordem de

13,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, representando um incremento de 20% em relação ao solo mobilizado com a haste a 0,065 m de profundidade.

Utilizando cinco linhas, o incremento de solo mobilizado com o aumento da profundidade de atuação dos sulcadores (de 0,071 para 0,113 m) foi de 36,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, neste caso, representando um aumento de 27%.

A quantidade de resíduos teve importância fundamental sobre o solo mobilizado. Maiores quantidades de resíduo resultaram em maiores quantidades de solo mobilizado. Com o solo descoberto (0 Mg ha<sup>-1</sup>), três sulcadores (espaçados de 0,80 m) mobilizaram 71,5 m<sup>3</sup> em média e com 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos sobre o solo foram mobilizados 77,5 m<sup>3</sup>.

Com cinco linhas de semeadura (espaçadas de 0,40 m) foram mobilizados 131 m<sup>3</sup> de solo na ausência de cobertura e 179 m<sup>3</sup> quando com 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais.

#### 4.3.4. Força de tração na haste sulcadora

Na Tabela 9, encontram-se os valores de demanda de tração medidos na haste sulcadora instrumentada.

Os valores obtidos nos testes não excederam os recomendados pela American Society of Agricultural Engineers (2003), que tem como valor de referência para projetos, 3400 N o esforço demandado na barra de tração.

Tabela 9. Força de tração (N) na haste sulcadora de adubo em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Número de linhas de semeadura					
	3 linhas			5 linhas		
	Profundidade de atuação da haste					
	0,065 m	0,115 m	Média	0,071 m	0,113 m	Média
0	772	1313	1043 ab	1030	1311	1171 a
2	783	1204	994 ab	980	1323	1152 a
3	704	1179	942 a	1006	1314	1160 a
4	829	1250	1040 ab	1001	1393	1197 a
5	870	1251	1061 ab	944	1252	1098 a
6	911	1264	1088 b	947	1244	1096 a
Média	812 A	1244 B	1028	985 A	1306 B	1146

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si (P < 0,05%). CV = 12,4% (3 linhas), 13,1% (5 linhas)

Na operação com três linhas de semeadura, houve diferença significativa nos valores de demanda de tração em relação à profundidade de atuação das hastes, sendo 53,2% superior na profundidade 0,115 m, em relação à de 0,065 m. Comparando com a quantidade de solo mobilizada, veremos que houve um aumento de 20% apenas, na mesma situação. Já nas doses de resíduos de aveia preta, somente apresentaram diferença significativa, os tratamentos 3 e 6 Mg ha<sup>-1</sup>.

Com cinco linhas de semeadura a demanda de tração na menor profundidade foi de 985 N e na profundidade maior chegou a 1306 N. Neste caso, o aumento na demanda de tração foi de 321 N, o que representa um aumento de 32,6%. No caso, comparando com o aumento da área mobilizada, vemos que esta aumentou em 27%.

Não houve diferença significativa nos valores de força demandada nas hastes nas diferentes doses de resíduos na operação com 5 linhas de semeadura. Nesse caso, pode ser afirmado que não houve influência da quantidade de resíduos sobre a demanda de potência pelo sulcador.

Em trabalho efetuado anteriormente, Cepik (2002) avaliou a demanda de força de tração na haste sulcadora de adubo em semeadura de soja sobre campo nativo e observou valores médios de 614 N (0,06 m) e 1409 N (0,12 m), neste mesmo solo, na consistência friável. Essa menor diferença entre as duas profundidades pode ser atribuída ao arranjo estrutural do solo da área, pois a cultura foi implantada diretamente sobre campo nativo dessecado.

Bordignon (2005), em Latossolo Vermelho distroférrico (> 60% argila), avaliou o esforço horizontal em hastes sulcadoras e obteve 485, 1082 e 2566 N nas profundidades de atuação das hastes de 0,08, 0,13 e 0,18 m. A velocidade de operação do conjunto foi de 6 km h<sup>-1</sup>.

Conte (2005), em área de integração lavoura-pecuária, avaliou o esforço de tração demandado por hastes sulcadoras na operação de semeadura direta da soja em áreas com diferentes intensidades de pastejo. Concluiu que as maiores demandas de tração ocorreram nos tratamentos mais pastejados, demonstrando o impacto da presença dos animais. Os valores de esforço de tração na maior profundidade de atuação (0,15 m) foram de 3840 N na área sem pastejo até 4970 N na área com o pastejo mais intensivo. Cabe

ressaltar que a haste usada tinha desenho diferente da usada no presente trabalho.

Siqueira et al. (2001a), obtiveram valores de força de tração de 1376 e 2201 N, comparando treze diferentes modelos de hastes, atuando numa velocidade média de 5,5 km h<sup>-1</sup>. A profundidade de atuação dos sulcadores testados foi de 0,117 a 0,133 m.

#### 4.3.5. Força de tração específica

A força de tração específica refere-se à força demandada na haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora relacionada à área da seção transversal do sulco mobilizado pela mesma.

Na Tabela 10 são apresentados os dados de força específica avaliados nos anos agrícolas de 2002 (3 linhas) e 2004 (5 linhas).

Tabela 10. Força de tração específica (N cm<sup>-2</sup>) em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo

Doses de resíduos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Número de linhas de semeadura					
	3 linhas			5 linhas		
	Profundidade de atuação da haste					
	0,065 m	0,115 m	Média	0,071 m	0,113 m	Média
0	15,2	20,7	17,9 a	20,3	24,4	22,4 a
2	14,5	19,1	16,8 a	18,5	22,2	20,4 a
3	13,4	18,5	15,9 a	18,3	20,8	19,5 a
4	14,9	19,3	17,1 a	18,4	19,7	19,0 a
5	16,3	18,9	17,6 a	16,8	16,2	16,5 b
6	16,2	18,6	17,4 a	17,2	14,2	15,7 b
Média	15,1 A	19,2 B	17,1	18,2 A	19,0 A	18,7

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si (P < 0,05%). CV = 16,6% (3 linhas), 16,4% (5 linhas)

Na operação de semeadura utilizando três linhas as diferentes doses de resíduos culturais de inverno não afetaram significativamente a força de tração específica, já as diferentes profundidades de atuação das hastes provocaram diferença significativa na força de tração.

As diferentes doses de resíduo apresentaram diferenças significativas na força de tração específica na operação de semeadura

utilizando cinco linhas. Este efeito pode ter sido devido a uma pequena diferença no teor de água no solo nos tratamentos com maior dose de resíduos.

#### 4.3.6. Patinagem das rodas tratoriais nas operações de semeadura

Para que ocorra tração em solos agrícolas é necessário que ocorra patinagem. Porém, ultrapassando certo limite, pode ocorrer perda de aderência dos rodados com o solo e redução de tração (Lanças, 1997).

Na Tabela 11 são apresentados os valores de patinagem das rodas tratoriais obtidos no momento das operações de semeadura.

Tabela 11. Patinagem das rodas tratoriais ( $m\ m^{-1}$ ) em função de doses de resíduos de inverno e profundidades de atuação do sulcador de adubo.

Doses de resíduos ( $Mg\ ha^{-1}$ )	Número de linhas de semeadura					
	3 linhas			5 linhas		
	Profundidade de atuação da haste					
	0,065 m	0,115 m	Média	0,071 m	0,113 m	Média
0	0,05	0,06	0,05 a	0,08	0,13	0,11 a
2	0,05	0,06	0,05 a	0,09	0,16	0,13 ab
3	0,05	0,07	0,06 a	0,13	0,17	0,15 bc
4	0,05	0,08	0,06 a	0,14	0,18	0,16 cd
5	0,06	0,07	0,06 a	0,18	0,20	0,19 de
6	0,04	0,07	0,06 a	0,19	0,23	0,21 e
Média	0,05 A	0,07 B	0,06	0,14 A	0,18 B	0,16

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si ( $P < 0,05\%$ ). CV = 17,5% (3 linhas), 18,2% (5 linhas)

A American Society of Agricultural Engineers (1989) recomenda, para obtenção de máxima eficiência de tração, patinagem de 0,08 a 0,10  $m\ m^{-1}$  em solos não mobilizados, e de 0,11 a 0,13  $m\ m^{-1}$  em solos mobilizados. Na operação de semeadura com 5 linhas essa referência foi excedida.

Na operação de semeadura utilizando 3 linhas montadas, verifica-se que a quantidade de resíduos culturais sobre o solo não afetou o desempenho do trator no que diz respeito à patinagem, quando aplicado o teste de médias. Com o uso de 5 linhas, e portanto, uma demanda de potência maior na barra de tração, o efeito da cobertura é claramente visível. A patinagem aumenta à

medida que aumenta a quantidade de resíduos sobre o solo. Este efeito pode ser atribuído ao contato deficiente do pneu com o solo, uma vez que boa parte da palha era composta de partículas não ancoradas, portanto passíveis de fácil remoção pelo pneu.

A operação de semeadura utilizando três hastes sulcadoras a 0,115 m de profundidade provocou um aumento de 34% na patinagem do trator, comparada aos valores de patinagem quando operou a 0,065 m. Mesmo assim, os valores de patinagem ficaram dentro do limite aceitável para tratores 4 x 2 com TDA. Trabalhando com cinco hastes a 0,113 m de profundidade de atuação também houve aumento de patinagem, da ordem de 29%. Neste caso, a patinagem passou de 0,14 para 0,18 m m<sup>-1</sup>. Em ambos os casos a patinagem está acima do recomendado pela literatura técnica. Neste caso, trabalhando com maior número de linhas, há a necessidade de trabalhar com a TDA acionada.

Fey et al. (2002), avaliaram a patinagem dos rodados tratórios de um trator 4 x 2 tracionando uma semeadora-adubadora em lavoura conduzida em semeadura direta com diferentes doses de resíduos culturais e concluíram que os menores valores de patinagem (0,067 m m<sup>-1</sup>) ocorreram nas áreas com menores doses de cobertura do solo.

Herzog et al. (2002) evidenciaram esta diferença em relação às profundidades de atuação das hastes sulcadoras, bem como entre as doses de resíduos sobre o solo, porém na cultura da soja, ou seja com a semeadora operando com maior número de linhas (5), espaçadas entre si em 0,45 m.

A Figura 30 mostra a correlação entre a patinagem e as diferentes doses de resíduos culturais utilizadas.

Na operação de semeadura com cinco linhas, a correlação elevada indica que doses elevadas de resíduo no solo aumentam a patinagem, provavelmente devido ao comprometimento do contato pneu-solo. Os valores de patinagem operando com 5 linhas foram excedidos a partir de 3 Mg ha<sup>-1</sup> na menor profundidade de atuação (0,071 m) e na maior profundidade (0,113 m) foram excedidos os valores recomendados pela American Society of Agricultural Engineers (1989) em todas as doses de resíduos.

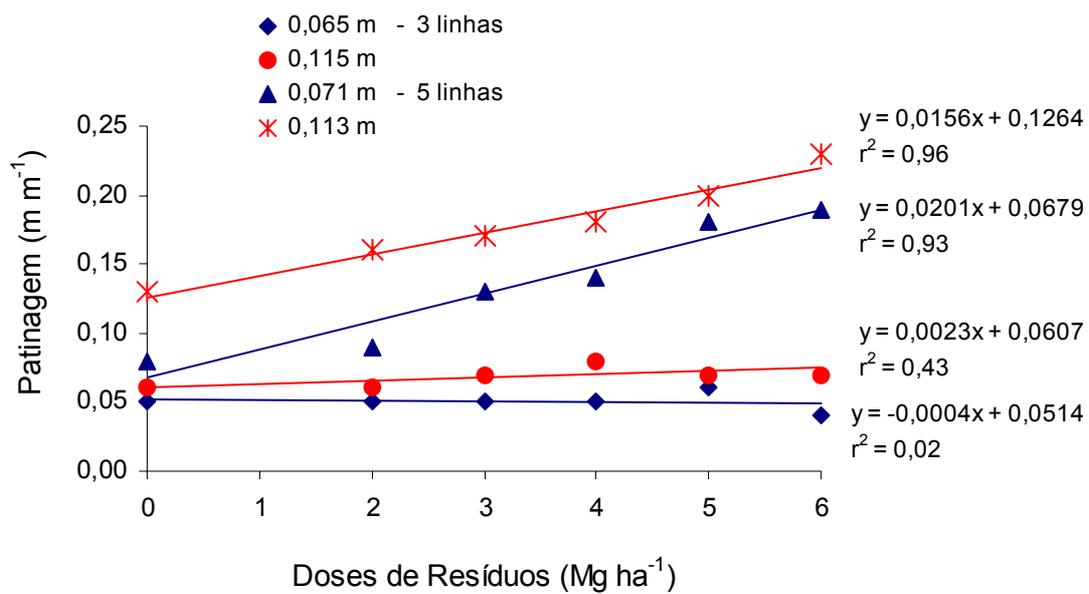


Figura 30. Regressão linear para os valores de patinagem em função das doses de resíduos, nas duas profundidades efetivas da haste sulcadora de adubo, com 3 e 5 linhas de semeadura

#### 4.4. Conclusões

A demanda de tração nas hastes sulcadoras foi afetada pela variação da profundidade das mesmas na operação de semeadura utilizando três linhas e cinco linhas de semeadura. Na operação com três linhas a maior profundidade (0,115 m) demandou 53,2% a mais de demanda de tração em relação à profundidade de 0,065 m.

A força de tração foi afetada pelas diferentes doses de resíduos na operação com três linhas de semeadura, apresentando valores entre 942 N e 1088 N. Já na operação com cinco linhas, utilizando a análise das médias, não houve diferença significativa entre as doses de resíduos.

A mobilização do solo avaliada nos diferentes tratamentos principais (doses de resíduos) e secundários (profundidade de atuação das hastes) apresentou diferenças de volume de solo mobilizado, tanto na operação de semeadura com três linhas, como a feita com cinco linhas de semeadura.

A patinação das rodas tratoriais avaliada na operação de semeadura com três linhas apresentou diferenças significativas somente na profundidade de atuação das hastes não sendo influenciada pelas doses de resíduos. Os valores obtidos estão dentro dos citados pela literatura.

Na operação com cinco linhas de semeadura os valores de patinação excederam os tradicionalmente aceitos pela literatura. Recomenda-se, neste caso, o acionamento da tração dianteira auxiliar.

## **5. ESTUDO III: AVALIAÇÃO DA COMPRESSIBILIDADE DO SOLO EM FUNÇÃO DO TRÁFEGO DE MÁQUINAS E DOSES DE RESÍDUOS**

### **5.1. Introdução**

A evolução do sistema produtivo agrícola abrange desde melhorias no manejo do solo e das culturas até melhorias tecnológicas das máquinas e equipamentos utilizados nas lavouras. Com a utilização de práticas conservacionistas de preparo e manejo do solo, tornou-se necessária a avaliação dessas mudanças no sistema e seus elementos.

A adoção da semeadura direta modificou diversos paradigmas e consolidou conceitos. A adição de quantidades consideráveis de biomassa ao sistema, o não revolvimento do solo e a rotação de culturas são alguns dos parâmetros básicos adotados na semeadura direta.

Embora com características que evidenciem princípios conservacionistas, mesmo áreas cultivadas sob semeadura direta, podem apresentar compactação do solo, principalmente na camada superficial. Essa compactação ocorre devido ao tráfego de máquinas ou o pastejo de animais em teor de água no solo indevido ou com carga excessiva aplicada sobre o mesmo. Por isso, práticas como o controle de tráfego têm sido analisadas e adotadas em áreas agrícolas.

Assim como os sistemas de cultivo, as máquinas e equipamentos agrícolas também evoluíram quer adaptando-se as demandas dos produtores quer antecipando necessidades inerentes ao sistema. Embora a relação peso/potência das máquinas já tenha sido otimizada, outros aspectos devem ser considerados tais como a distribuição de massa sobre os eixos e o dimensionamento de rodados.

O estudo da compressibilidade dos solos possibilita a identificação do máximo carregamento que o solo pode suportar sem apresentar

deformações permanentes. Isso ocorre quando o solo é submetido à ação de tensões externas de máquinas e equipamentos agrícolas, deformando-o. A intensidade dessa deformação está relacionada com a compressibilidade do solo. A compressibilidade é o quociente entre redução do volume do solo por unidade de energia aplicada. Com o conhecimento desse parâmetro é possível avaliar a capacidade de suporte do solo e, assim, evitar deformações que proporcionem problemas de compactação.

O tráfego de máquinas, ao causar deformações no solo, constitui fator determinante de modificações físicas no mesmo, podendo reduzir os efeitos benéficos dos sistemas conservacionistas.

A suscetibilidade de um determinado solo à compactação e a definição do momento ideal de execução das operações mecanizadas são indicados por uma série de parâmetros físico-mecânicos, dentre os quais, a pressão de pré-consolidação. Esta é utilizada como uma estimativa da capacidade de suporte de carga dos solos agrícolas.

A hipótese desse estudo é que áreas manejadas em semeadura direta sujeitas a diferentes intensidades de tráfego sobre o solo e diferentes doses de resíduos na superfície apresentam valores de pressão de pré-consolidação diferenciadas, sendo tanto maior quanto maior for a intensidade do tráfego e quanto menor for a quantidade de resíduos sobre a superfície.

O objetivo desse estudo foi determinar a capacidade de suporte de um Argissolo Vermelho distrófico típico submetido a diferentes intensidades de tráfego sob diferentes doses de resíduos, em duas áreas distintas, com e sem irrigação.

## **5.2. Material e métodos**

### **5.2.1. Localização e características da área experimental**

O estudo foi realizado na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA – UFRGS), município de Eldorado do Sul – RS. O experimento foi instalado em Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999), unidade de mapeamento São Jerônimo (BRASIL, 1973). Este solo apresenta textura do horizonte superficial franco-argilosa a argilosa com cascalhos. A área do experimento tem declividade entre 0,02 e 0,03 m m<sup>-1</sup>. A precipitação média anual da região é de 1.440 mm, com clima do tipo subtropical de verão úmido quente (Cfa) (Bergamaschi et al., 2003), segundo classificação de Köppen. Pott (1974), descreveu o campo natural da região como regular, considerando predominantes as gramíneas *Paspalum spp.*, *Aristida spp.* e *Trachypogon montufari* e *Setaria geniculata*, e referente as leguminosas o *Desmodium canum*.

### **5.2.2. Histórico de uso da área experimental**

O histórico de uso da área experimental está descrito no Capítulo 4. Em 2004, após a colheita das culturas de inverno (aveia preta e nabo forrageiro em consórcio), foi efetuado um estudo para avaliar o efeito das pressões exercidas pelo tráfego de máquinas, através da retirada de amostras indeformadas, para posterior determinação da pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e do índice de compressibilidade (Cc).

### **5.2.3. Máquinas e equipamentos para a condução dos ensaios no campo**

As máquinas e equipamentos utilizados na condução dos ensaios no campo estão descritos no Capítulo 4.

### **5.2.4. Manejo e sucessões de culturas, ano agrícola de 2004**

Sobre a palha da cultura da soja foram semeados aveia preta e nabo forrageiro em consórcio, no dia 25 de abril de 2004, com a semeadora-adubadora de fluxo contínuo.

As doses de resíduos culturais avaliadas para este estudo foram as de 0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais sobre o solo.

Nos tratamentos de 0 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca de aveia preta e nabo forrageiro, 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. A densidade de sementes utilizada foi de 80 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta e 14 kg ha<sup>-1</sup> de nabo forrageiro, que possuíam poder germinativo de 80% e 60% e pureza mínima de 98% e 97%, respectivamente.

A adubação, realizada conforme recomendação do Manual de Recomendação de Adubação e Calagem (Tedesco et al., 1995), foi dividida em adubação de base, onde foram utilizados 120 kg ha<sup>-1</sup> de adubo NPK 05-20-20, e em adubação de cobertura, quando foram aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de uréia 45-00-00, em dois momentos distintos: no dia 01 de julho de 2004, quando foi aplicada metade da dose em todos os tratamentos, exceto nas parcelas com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia preta e nabo forrageiro, e a outra metade da dose em 20 de agosto de 2004, nos tratamentos onde se visava obter doses mais elevadas de resíduos culturais, no caso deste estudo, a de 5 Mg ha<sup>-1</sup>, com o objetivo de incrementar neste não somente a matéria seca da parte aérea, mas também a de suas raízes.

Após a aveia preta e o nabo forrageiro atingirem o ponto de maturação, foi efetuada a colheita no dia 8 de outubro de 2004 com auxílio da colhedora de grãos. A palha proveniente do saca-palhas e das peneiras da colhedora foi coletada em lona plástica e pesada, sendo a quantidade relativa à dose de resíduo necessária em cada parcela uniformemente distribuída sobre a superfície do solo.

#### **5.2.5. Tratamentos**

Os tratamentos principais e secundários foram escolhidos com base no experimento já utilizado no Capítulo 4.

Os tratamentos principais deste estudo foram definidos por doses de resíduos da cultura de inverno sobre a superfície do solo (0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup>). Os tratamentos secundários foram considerados os locais sem tráfego, com tráfego de trator e com tráfego de colhedora.

A retirada das amostras indeformadas de solo foi feita em duas áreas experimentais, com e sem irrigação.

As amostras para o ensaio oedométrico foram coletadas após a operação de colheita das culturas de inverno em 2004. Como as operações

mecanizadas foram acompanhadas desde 2000, e resultaram em 7 passagens de tráfego de rodados de tratores e 7 passagens de rodados de colhedora, além de áreas sem tráfego algum, em duas profundidades de amostragem (0,05 a 0,075 m e de 0,125 a 0,15 m).

Portanto foram retiradas amostras indeformadas em duas profundidades, em parcelas com diferentes doses de resíduos culturais (0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup>) e nos locais com diferentes intensidades de tráfego.

A largura das parcelas foi definida para que os tráfegos das máquinas e equipamentos utilizados tivessem um local determinado de passagem considerando o tráfego controlado dos equipamentos. Segue abaixo (Figura 31) o esquema do tráfego controlado nas parcelas e sub-parcelas do experimento. A largura das parcelas é 5 m, e a das sub-parcelas é 2,5 m.

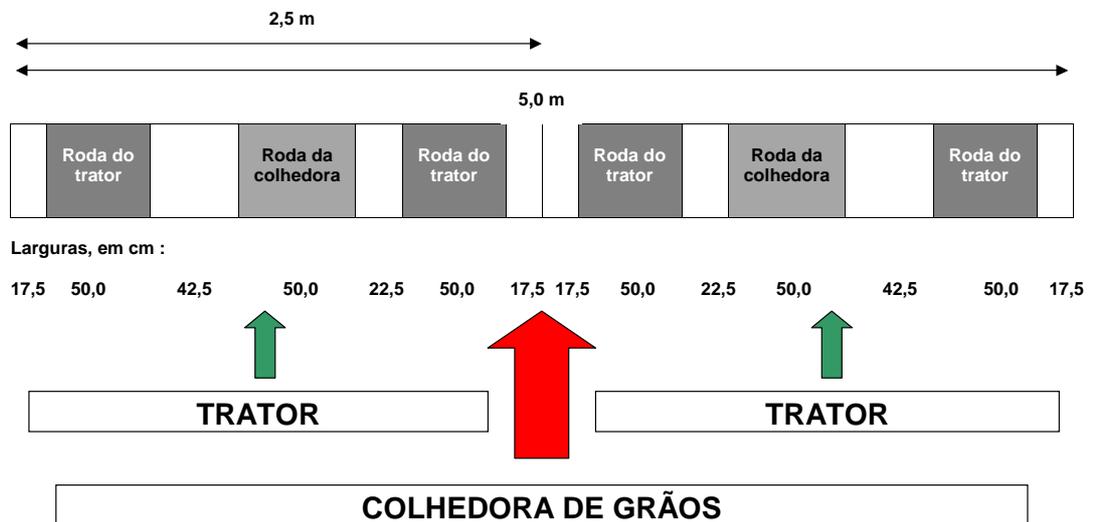


Figura 31. Esquema do controle de tráfego do trator e colhedora nas parcelas e sub-parcelas

### 5.2.6. Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas. Os tratamentos principais foram as doses de resíduos (0 e 5 Mg ha<sup>-1</sup>) em duas profundidades de amostragem (0,05 a 0,075 m e de 0,125 a 0,15 m). Os tratamentos secundários foram as diferentes intensidades de tráfego (sem tráfego, com tráfego de rodados de trator e com tráfego de rodados de colhedora). Foram coletados ao todo, 72 anéis de dimensões conhecidas, considerando três repetições por tratamento.

Os dados obtidos no campo e 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 ( $P < 0,05$ ).

### 5.2.7. Avaliações e amostragens

#### 5.2.7.1. Ensaio oedométrico

O ensaio oedométrico foi realizado segundo recomendações estabelecidas na norma MB-3336 (ABNT, 1990) para condições de solo não saturado. As amostras indeformadas foram saturadas por 24 horas. Após esse intervalo de tempo, as mesmas foram colocadas em funil de vidro com placa porosa de cerâmica para aplicação de tensão na ordem de 0,60 m de coluna d'água. Foi utilizada uma prensa de compressão uniaxial, marca TESTOP (Figura 32), com aplicação de cargas estáticas de 12,5; 25; 50; 100; 200; 400 e 800 kPa.



Figura 32. Prensa oedométrica e seus componentes

Para cada um dos estágios de pressão, fez-se a leitura correspondente no defletômetro, o qual indica a variação de altura do corpo de prova, com resolução de 0,01 mm. Os intervalos de tempo propostos na norma são: 0 min; 1/8 min, 1/4 min, 1/2 min, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 8 min, 15 min até 24 horas, dependendo do tipo de solo e uso que o mesmo está proposto. Machado (2001) e Carpenedo (1994), considerando que as cargas aplicadas

aos solos agrícolas são dinâmicas, concluíram em testes prévios, que mais de 90% da consolidação das amostras ocorrem nos primeiros 5 minutos após a aplicação das cargas. Os intervalos de tempo utilizados neste estudo foram 0 min; 0,5 min, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min e 5 min. A pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) foi determinada pelo processo de Pacheco Silva, de acordo com a ABNT (1990). Os dados foram processados utilizando-se uma planilha de cálculos eletrônica desenvolvida especificamente para esse estudo. Foi possível o cálculo automático da pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ), em kPa, bem como o índice de compressibilidade ( $C_c$ ).

### 5.3. Resultados e discussão

Os dados apresentados nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 serão discutidos conjuntamente.

Tabela 12. Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade ( $C_c$ ) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 0 Mg ha<sup>-1</sup>, em área com irrigação.

Tráfegos	Profundidade de amostragem (m)				Médias	
	0,05 – 0,075		0,125 – 0,15			
	$\sigma_p$ (kPa)	$C_c$	$\sigma_p$ (kPa)	$C_c$	$\sigma_p$ (kPa)	$C_c$
Sem Tráfego	78,4	0,20	89,7	0,16	84,1 a	0,18 a
Trator	107,6	0,19	103,0	0,19	105,3 b	0,19 a
Colhedora	108,6	0,18	124,9	0,19	116,7 c	0,19 a
Médias	98,2 A	0,19 A	105,9 B	0,18 A	102,0	0,19

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si ( $P < 0,05\%$ ).

A pressão de pré-consolidação mostra o limite de pressão que o solo pode suportar sem sofrer deformação volumétrica permanente. Assim, pôde ser observado que o solo não trafegado foi pouco resistente ao passo que o solo já trafegado estava mais coeso, permitindo maiores cargas.

Nota-se uma tendência do solo sob os rodados da colhedora ser mais resistente que o solo no rastro dos pneus do trator. Isto pode ser devido ao fato da pressão de contato dos pneus motrizes da colhedora ter sido superior à pressão de contato dos pneus motrizes do trator.

Tabela 13. Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade (Cc) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 5 Mg ha<sup>-1</sup>, em área com irrigação.

Tráfegos	Profundidade de amostragem (m)				Média	
	0,05 – 0,075		0,125 – 0,15		$\sigma_p$ (kPa)	Cc
	$\sigma_p$ (kPa)	Cc	$\sigma_p$ (kPa)	Cc		
Sem Tráfego	75,9	0,21	96,2	0,20	86,0 a	0,20 a
Trator	103,5	0,20	113,4	0,19	108,5 b	0,20 a
Colhedora	115,5	0,21	117,3	0,18	116,4 c	0,20 a
Médias	98,3 A	0,21 A	109,0 B	0,19 A	103,6	0,20

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si ( $P < 0,05\%$ ).

A pressão de pré-consolidação do solo não trafegado é sensivelmente inferior à pressão do solo trafegado, tanto pelo trator como pela colhedora. Os valores e a dispersão dos mesmos são semelhantes, tanto nas áreas sem resíduos como nas áreas com 5 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, o que demonstra que os resíduos, nas doses estudadas, não influíram na dissipação da energia compressiva que este solo já sofreu.

Há tendência dos valores da pressão de pré-consolidação serem maiores nos solos trafegados pela colhedora que no solo trafegado pelo trator é acentuada quando se comparam os dados na camada de 0,125 a 0,15 m.

Tabela 14. Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade (Cc) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 0 Mg ha<sup>-1</sup>, em área sem irrigação.

Tráfegos	Profundidade de amostragem (m)				Média	
	0,05 – 0,075		0,125 – 0,15		$\sigma_p$ (kPa)	Cc
	$\sigma_p$ (kPa)	Cc	$\sigma_p$ (kPa)	Cc		
Sem Tráfego	75,5	0,22	88,9	0,19	82,2 a	0,21 a
Trator	87,0	0,20	96,4	0,21	91,7 b	0,21 a
Colhedora	111,0	0,17	126,9	0,20	119,0 c	0,19 a
Médias	91,2 A	0,20 A	104,1 B	0,20 A	97,6	0,20

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si ( $P < 0,05\%$ ).

Tabela 15. Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressibilidade (Cc) em função do tráfego controlado, com dose de resíduo de 5 Mg ha<sup>-1</sup>, em área sem irrigação.

Tráfegos	Profundidade de amostragem (m)				Média	
	0,05 – 0,075		0,125 – 0,15		$\sigma_p$ (kPa)	Cc
	$\sigma_p$ (kPa)	Cc	$\sigma_p$ (kPa)	Cc		
Sem Tráfego	76,9	0,22	96,4	0,22	86,6 a	0,22 a
Trator	101,8	0,17	117,7	0,19	109,8 b	0,18 a
Colhedora	120,4	0,22	130,0	0,23	125,2 c	0,23 a
Médias	99,7 A	0,21 A	114,7 B	0,21 A	107,2	0,21

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, não diferem entre si ( $P < 0,05\%$ ).

Gaggero (1998) obteve maiores pressões de pré-consolidação do solo na camada superficial, trabalhando em Podzólico Vermelho Escuro com pisoteio animal. Estes dados ratificam as citações encontradas na literatura, onde o pisoteio animal traz mudanças mensuráveis na camada superficial enquanto que a aplicação de cargas por pneus se reflete em profundidades maiores, pois o total de carga aplicado é maior.

Conforme a teoria da transmissão de tensões no solo (Hadas, apud Trein, 1995) é de se esperar maiores diferenças em maiores profundidades, uma vez que os pneus da colhedora e os pneus do trator, apesar de serem iguais, sofrem cargas diferentes. O máximo de deformação volumétrica esperado aconteceria em profundidades maiores que a amostrada, pois a falha do solo só estaria totalmente confinada a profundidades maiores que 0,20 m, para o tipo de pneu utilizado.

Os valores de índice de compressibilidade do solo apresentados nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. São valores semelhantes aos encontrados por Carpenedo (1994). O autor avaliou diferentes manejos do solo, em Podzólico Vermelho Escuro Obteve valores médios de índice de compressibilidade da ordem de 0,19 nos tratamentos em semeadura direta, na tensão de umidade de 6 kPa, ou seja, também na condição de friabilidade do solo.

#### **5.4. Conclusões**

O tráfego sobre o solo causou aumento na resistência do mesmo, evidenciada pelo aumento da pressão de pré-consolidação. Há tendência da pressão de pré-consolidação do solo trafegado pela colhedora ser maior que a tensão de pré-consolidação do solo trafegado pelo trator.

A existência de cobertura de resíduos sobre o solo até 5 Mg não causou diferenças na pressão de pré-consolidação do solo na camada de 0 a 0,15 m de profundidade. Em outras palavras, a cobertura do solo nas doses estudadas não dissipa a energia aplicada pelos pneus do trator e colhedora utilizados nesse estudo.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

O tráfego de máquinas afeta a estrutura do solo e a pressão de pré-consolidação foi um indicador sensível para detectar diferenças estruturais.

O índice de compressibilidade não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Esses dados são confirmados pela literatura que relata a dependência do índice de compressibilidade da textura do solo.

A força de tração foi afetada pelas doses de resíduos na operação com três linhas de semeadura, apresentando valores entre 942 N e 1088 N. Já na operação de semeadura utilizando cinco linhas, na análise de médias, não houve diferença significativa. A demanda de tração nas hastes sulcadoras foi maior na maior profundidade de operação das hastes sulcadoras.

A patinagem das rodas tratórias avaliada na operação de semeadura com três linhas apresentou diferenças significativas somente na profundidade de atuação das hastes não sendo influenciada pelas doses de resíduos. Já na operação com cinco linhas de semeadura os valores excederam os aceitos pela literatura. Recomenda-se, neste caso, o acionamento da tração dianteira auxiliar (TDA).

A instrumentação eletrônica e a metodologia desenvolvida para a aquisição de dados na avaliação da demanda de tração em hastes sulcadoras de distribuição de adubo mostrou-se funcional, prática e precisa.

A utilização de hastes instrumentadas com sensores eletrônicos para avaliação de estados de compactação do solo, a partir da resistência do solo ao cisalhamento da haste sulcadora mostrou-se viável, independentemente do tamanho das áreas. Isto significa que é possível monitorar pequenas, médias e grandes áreas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 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.2, p.189-197, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In: ASAE standards 2003: standards engineering practices data. San Joseph, 2003. p.373-380.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code. In: ASAE standards 1989: standards engineering practices data. St. Joseph, 1989. p.44-48.

ARAGÓN, A.; GARCÍA, M.G.; FILGUEIRA, R.R.; PACHEPSKY, Y.A. Maximum compactability of Argentine soils from Proctor test; the relationship with organic carbon and water content. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.56, n.2, p.197-204, 2000.

ASHBURNER, J; SIMS, B. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza**. San José: IICA, 1984. 473p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Ensaio de adensamento unidimensional**. NBR 12007, MB – 3336, Rio de Janeiro, 1990. 13p.

BALBUENA, R.H.; MEDEVIL, G.O.; RESSIA, J.M. Cobertura del suelo y características de labor de escarificadores con cuchillas circulares y rejas convencionales. In: BALBUENA, RH.; BENEZ, S.H.; JORAJURÍA, D. **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito Latinoamericano**. La Plata: Editorial de la UNLP, 1998. p.137-42.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.28, n.9, p.1261-1263, 1996.

BALL, B.C.; CAMPBELL, D.J.; HUNTER, E.A. Soil compactability in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.57, n.1, p.83-91, 2000.

BARUM, A.O. **Estimativa do impacto macroeconômico do plantio direto na região de solos arenosos do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 1999. 119f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G da. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77p.

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

BOLLER, W., KLEIN, V.A., DALLMEYER, A.U., SCHONS, P. Força de tração e potência para operar com uma semeadora-adubadora de precisão em solo sob preparo reduzido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1992, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992.

BORCHARDT I.G., ZARO, M.A. **Extensômetros de resistência elétrica**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1982.

BORDIGNON, J. **Projeto, construção e desenvolvimento de transdutores para medição de esforços em semeadoras-adubadoras**. 2005. 122f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

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

BRAIDA, J.A. **Acúmulo de resíduos vegetais na superfície e de matéria orgânica no solo e suas implicações no comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. Santa Maria: UFSM, 2004. 106f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado Rio Grande do Sul**. Recife: IPEAS, 1973. 431f. (Boletim técnico, 30).

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCANTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. **Adubação verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1967. 187p.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 2000. 99f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.523-32, 2000a.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISCH, R.; SILVA, A.L.; LADEIRA, A.S.; SILVA, J.C.; MACHADO, P.; ROSSETO, R. Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense. **Circular do Instituto Agrônomo do Paraná**, n.105, p.1-47, 1998.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Análise tridimensional de esforços em semeadora de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000b. 1 CD-ROM.

CASÃO JUNIOR, R.; CHANG, C. S. . Estudo dos esforços tridimensionais em hastes de paraplow, em caixa de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. v.3, p. 1878-1894.

CASÃO JÚNIOR, R.; HENKLAIN, J.C.; LADEIRA, A.S.; MORENO, E.C. Efeito de diferentes implementos na resistência a tração e qualidade de preparo do solo (Latosolo Roxo). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1992, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. p.847-868.

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

CASSOL, L.C. **Relações solo – planta - animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2001. 144f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CAUDURO, C.R. **Uma metodologia para o auxílio ao projeto mecânico de transdutores extensométricos**. 1992. 144f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

CEPIK, C.T.C. **Análise de desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades de trabalho**. 2002. 62f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CHAUDHURI, D. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills – a review. **Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.79, n.2, p.125-137, 2001.

COLLINS, B.A.; FOWLER, D.B. Effects of soil characteristics, seeding depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.39, p.199-211, 1996.

DALLY, J.W.; RILEY, W.F.; McCONNELL, K.G. **Instrumentation for Engineering Measurements**. 2.ed. John Wiley & Sons, New York, 1993.

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 and Tillage Research**, Amsterdam, v.8, n.2, p.253-263, 1986.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.11, n.3, p.199-238, 1988.

DEXTER, A.R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.20, n.1, p.87-100, 1991.

DEXTER, A.R. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, n.3-4, p.201-214, 2004.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v.8, n.1, p.139-151, 1995.

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.1, p.175-182, 1996.

DING, G.; LIU, X.; HERBERT, S.; NOVAK, J. et al. Effect of cover crop management on soil organic matter. **Geoderma**, Amsterdam, v.130, p.229-239, 2006.

DRANSFIELD, P.; WILLATT, S.T.; WILLIS, A.H. Soil – to – implement reaction experienced with simple tines at various angles of attack. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.9, n.2, p.222-224. 1964.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

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

ETANA, A.; COMIA, R.A.; HAKANSSON, I. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.44, n.1-2, p.13-21, 1997.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M. Efeito das rodas do trator em propriedades físicas de dois solos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.34, p.562-568, 1987.

FEY, E.; SANTOS, S.R.; WEIRICH NETO, P.H.; PEREIRA J.O. Rendimento de milho (*Zea mays L.*) utilizando 3 mecanismos sulcadores na semeadura, com 3 teores de água do solo, em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais ...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

FEY, E.; SEIDEL, G. O.; VERONA, M. M.; ERIG, P. R.; FEY, A. Desempenho de uma semeadora sob culturas vegetais épocas de dessecação em sistema de semeadura sob a palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

GAGGERO, M. R. **Alterações das propriedades físicas e mecânicas do solo sob sistemas de preparo e pastejo**. 1998. 124f. Dissertação (Mestrado)

– Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 1998.

GEBRESENBET, G.; JOHNSON, H. Performance of seed drill coulters in relation to seed, depth and rake angles. **Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.52, n.2, p.121-45, 1992.

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.

GLANCEY, J.L.; UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.J. et al. An instrumented chisel for the study of soil-tillage dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.14, n.1-2, p.1-24. 1989.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000. 653p.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.223-27, 2002.

GRIS, C.F.; GOMES, J.B.D.; MELAPISO, G.M.V. Efeitos da compactação do solo em um Latossolo Vermelho distroférico típico na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

HAKANSSON, I. Soil Compaction control objectives, possibilities and prospects. **Soil Technology**, Amsterdam, v.3, n.2, p.231-239, 1990.

HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.35, n.1, p.85-97, 1995.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop responses in different traffic regimes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.11, n.3, p.239-282, 1988.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; Soil Compaction. In: LAL, r.; BLUM, W.H.; VALENTIN, C.; STEWART, B.A. eds. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. p.167-79.

HERZOG, R.L.S. **Semeadura direta de soja sobre resíduos de aveia preta cultivada em campo nativo, em função de doses de resíduos, irrigação e profundidades de atuação do sulcador de adubo da semeadora-adubadora**. 2003. 95f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HERZOG, R.L.S.; LEVIEN, R.;BEUTLER, J.F.; TREIN, C.R. Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduos sobre o solo na semeadura direta de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**, Massachusetts, USA: Academic Press, 1980. 413p.

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

JOHNSON, M.D.; LOWERY, B.; DANIEL, T.C. Soil moisture regimes of three conservation tillage systems. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.27, p.1385-1390 & 1395, 1984.

KLEIN, V.A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.3, p.395-398, 1995.

KONDO, M.K.; DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.2, p.211-218, 1999.

KUSHWAHA, R.L.; ZHANG, Z.X. Evaluation of factors and current approaches related to computerized design of tillage tools – a review. **Journal of Terramechanics**, Amsterdam, v.35, n.1, p.69-86, 1998.

LAFOND, J.; ANGERS, D.A.; LAVERDIÈRE, M.R. Compression characteristics of clay soil as influenced by crops and sampling dates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.22, n.3, p.233-241, 1992.

LANÇAS, K.P.; UPADHYAYA, S.K. **Pneus radiais para tratores: guia para seleção correta da pressão de inflação**. Botucatu: FCA/UNESP, 1997. 33p. (Boletim Técnico, n.1)

LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.1127-1132, 1980.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, n.3, p.274-286, 1991.

LEITE, M.A.S.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; MAHL, D.; OLIVEIRA, M.F.B.; SALVADOR, A.; GRECO, C.R.; PONTES, J.R.V.; MARQUES, J.P.; SILVA, A.R.B.; COSTA, A.M. Demanda da força de tração na semeadura da cultura do milho (*Zea mays L.*) em diferentes sistemas de preparo do solo e espaçamento entre linhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

LEVIEN R.; BEUTLER J.F.; CEPIK C.T.C.; TREIN C.R. Força de tração em haste sulcadora do tipo facão, operando a duas profundidades em solo com e sem vegetação de campo nativo, na presença e ausência de disco de corte de palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

LEVIEN, R.; COGO, N. P.; ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.73-80, 1990.

LEVIEN, R.; GAMERO, C.A.; TREIN, C.R. Variação do perfil original do solo em função das operações de preparo do solo e semeadura e chuvas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

MACEDO, V.R.M. **Compressibilidade de um Podzólico Vermelho-Escuro fisicamente degradado e recuperado**. 1993. 88f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

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.

MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V. dos; MORAES, M.L.B. de; ALONÇO A. dos S.; **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1996. 229p.

MACHADO, A.L.T.; TREIN, C.R. **Determinação da compressibilidade em dois tipos de solos do Rio Grande do Sul**. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000. Pelotas, 2000. 1 CD-ROM

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; LEITE, M.A.S.; SILVA, A.R.B.; PONTES, J.R.V.; MARQUES, J.P.; GRECO, C.R.; COSTA, A.M. Distribuição longitudinal e de profundidade de deposição de sementes de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função da velocidade e mecanismo sulcador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

McKYES, E. The calculation of draft forces soil failure boundaries of narrow cutting blades. **Transaction of American Society of Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v.21, p.20-24. 1978.

MELLO, J. da S. Fundamentos para integração lavoura-pecuária no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.36, p.12-13, 1996.

MELLO, L.M.M.; TAKAHASHI, C.M.; YANO, E.H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.197-202, 1999.

MIELKE, L.N.; GRISSO, R.D.; BASHFORD, L.L. et al. Bi-level subsoiler performance using tandem shanks. **Applied Engineering in Agriculture**. St. Joseph, v.10, n.3, p.345-349, 1994.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo do solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME,

L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.209-248.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**. 2.ed. Chapecó: Ed. autor, 1991. 337p.

OLIVEIRA, M.F.B. de; SIQUEIRA, R.; RALISCH, R.; ARAÚJO, A.G. de; CASÃO JÚNIOR, R. Mobilização do solo por hastes sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000a. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, M.L. de; VIEIRA, L.B.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, C.M. de; DIAS, G.P. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1455-63, 2000b.

ORTIGÃO, J.A.R. **Introdução à mecânica dos solos nos estados críticos**. Rio de Janeiro: LTC., 1995. 378p.

PAULLETO, E.A.; PEDROTTI, A.; CRESTANA, S. Avaliação da compactação de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivos através da tomografia computadorizada e do penetrômetro. In: SEMINÁRIO INTERAMERICANO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA – CNPT, 1997. p.143-146.

PAYNE, P.C.J.; TANNER, D.W. The relationship between rake angle and the performance of simple cultivation implements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.4, n.4, p.312-325, 1959.

PAZ GONZÁLES, A.; ALVES, M.C.; FERNÁNDES RUEDA, M.A.J. Efecto del contenido en materia orgánica sobre la susceptibilidad del suelo a la compactación. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

PERDOK, U.D.; ARTS, W.B.M. The performance of agricultural tires in soft soil conditions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.10, n.3, p.319-330, 1987.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 355p.

PLASSE, R.; RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E. Simulation of narrow blade performance in different soils. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.28, n.4, p.1007-1012, 1985.

POTT, A. **Levantamento ecológico da vegetação de um campo natural sob três condições: pastejado, excluído e melhorado**. 1974. 223f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1974.

RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E. Performance to traction wheels in a clay soil. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.2, p.229-231, 1979.

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

REEDER, R. Making the transition to conservation tillage. In: CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS AND MANAGEMENT: CROP RESIDUE MANAGEMENT

WITH NO-TILL, RIDGE-TILL, MULCH-TILL. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p.3-4.

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typic hapludalf**. Michigan: MSU, 1990. 128f. Tese (Doutorado), Michigan State University, Michigan, 1990.

ROS, C.O.; VENDRUSCULO, E.R.O.; SECCO, D. Utilização de adubos verdes intercalares ao cultivo do milho e trigo em sistema de plantio direto. **Revista Científica UNICRUZ**, Cruz Alta, v.1, n.1, p.54-57, 1999.

ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.241-248, 1991.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V. **Dinámica y mecánica de suelos**. Madrid: Agrotécnicas, 1996. 426p.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; ANDREU, E.; HERNANZ, J.L. Response of five types of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression tests. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.48, n.1, p.37-50, 1998.

SANTOS, H.P.; REIS, E.M. PÖTTKER, D. Culturas de inverno para plantio direto no sul do Brasil. Passo Fundo: CNPT, 1990. p.1-24. (Circular Técnica, 3)

SCHULER, R.T.; WOOD, R.K. Soil compaction. In: CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS AND MANAGEMENT: CROP RESIDUE MANAGEMENT WITH NO-TILL, RIDGE-TILL, MULCH-TILL. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p.42-5.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.2, p.287-291, 1997.

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.

SILVA, A.P. da; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.61, p.877-883, 1997.

SILVA, A.R.B.; BENEZ, S.H.; MAHL, D.; LEITE, M.A.S.; PONTES, J.R.; GREGO, C.R.; MARQUES, J.P.; COSTA, A.M. Avaliação de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função de diferentes mecanismos sulcadores e velocidades de deslocamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H.; MAHL, D.; SILVA, A.R.B.; GERMINO, R. Avaliação da demanda energética de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

SILVA, V.R. **Compressibilidade de um podzólico e um latossolo em função do estado inicial de compactação e saturação em água**. Santa Maria: UFSM, 1999. 98f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em

Biodinâmica dos solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A.G.; CASÃO JÚNIOR R.; RALISCH, R.; Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001b. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R.; BOLLER, W.; GAMERO, C.A. Eficiência e consumo de energia de um triturador de palhas em diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, p.79-86, 1997.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR R.; RALISCH, R.; ARAÚJO, A.G.; Variabilidade da demanda energética de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras diretas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001a. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R.; OLIVEIRA, M.F.B.; CASÃO JÚNIOR R.; RALISCH, R.; ARAÚJO, A.G. de. Demanda energética por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD-ROM.

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

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Soil compressibility as influenced by sewage sludge incorporation. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.64, p.227-236. 1996.

SUMMERS, J.D.; KHALILIAN, A.; BATCHELDER, D.G. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.29, N.1, P.37-39. 1986.

TAKAHASHI, C.M.; MELLO, L.M.M.; YANO, E.H. Distribuição longitudinal de sementes de milho (*Zea mays L.*) em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

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.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.

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. 174p.

TERMINIELO, A.M.; BALBUENA, R.H., CLAVERIE, J.A.; DONAGH, P.M.M. Efecto de la adición de cuchillas circulares sobre escarificadores de cinceles. **Agro-Ciência**, Concepción, v.13, p.331-335, 1997.

THOMAS, C.A.K. **Desenvolvimento de um sistema de medição de deformações em máquinas agrícolas**. 2003. 71f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TORMENA, C.A. **Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo**. Piracicaba:ESALQ, 1998. 106f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Solo e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

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**, v.22, n.2, p.301-309, 1998.

TREIN, C.R. **The mechanics of soil compaction under wheels**. 1995. 132f. Tese (Doutorado) – Cranfield University, Silsoe, 1995.

UNGER, P.W.; KASPAR, T.C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, v.86, Set./Out., p.759-766, 1994.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.