

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE MANEJO EM NITOSSOLO  
VERMELHO DISTROFÉRICO E NA CULTURA DO GIRASSOL**

**JAIRO COSTA FERNANDES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Dezembro de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE MANEJO EM NITOSSOLO  
VERMELHO DISTROFÉRICO E NA CULTURA DO GIRASSOL**

**JAIRO COSTA FERNANDES**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Gamero**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Dezembro de 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F363a Fernandes, Jairo Costa, 1974-  
Avaliação de sistemas de manejo em Nitossolo Vermelho Distroférico e na cultura do girassol / Jairo Costa Fernandes. - Botucatu : [s.n.], 2008.  
xvii, 173 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2008  
Orientador: Carlos Antonio Gamero  
Inclui bibliografia

1. Semeadura direta. 2. Sementes oleaginosas. 3. Semeadura - Velocidade. 4. Nitossolo. 5. Máquinas agrícolas. 6. Solos -. Manejo. I. Gamero, Carlos Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**  
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE MANEJO EM NITOSSOLO VERMELHO  
DISTROFÉRICO E NA CULTURA DO GIRASSOL"**

**ALUNO: JAIRO COSTA FERNANDES**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ANTONIO GAMERO**

Aprovado pela Comissão Examinadora



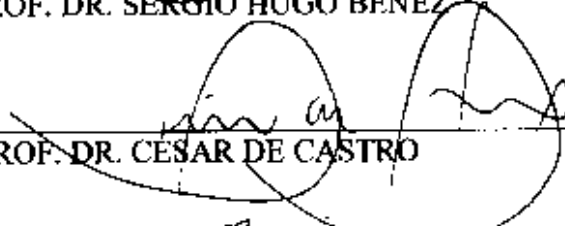
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CARLOS ANTONIO GAMERO




\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. MARIA HELENA DE MORAES



\_\_\_\_\_  
PROF. DR. SÉRGIO HUGO BENEZ



\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CÉSAR DE CASTRO



\_\_\_\_\_  
PROF. DR. RUBENS SIQUEIRA

Data da Realização: 01 de dezembro de 2008.

*"De tanto ver triunfar as nulidades,  
de tanto ver prosperar a desonra,  
de tanto ver crescer a injustiça,  
de tanto ver agigantarem-se os poderes  
nas mãos dos maus,  
o homem chega a desanimar da virtude,  
a rir-se da honra,  
a ter vergonha de ser honesto".  
(Rui Barbosa)*

**DEDICO**

**A meus pais, Jayme (*in memoriam*) e Laura, que nunca mediram esforços, para proporcionar-me o essencial: Educação e Saúde.**

**À família...**

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho que me acolheu fornecendo condições favoráveis para o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamentos de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pelo auxílio no financiamento dos meus estudos, sem o qual não seria possível realizar este trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos A. Gamero, por aceitar a tarefa de me orientar e, principalmente, pela amizade e compreensão.

Ao Prof. Dr. Kléber P. Lanças pela amizade, ensinamentos sobre interação ferramenta/solo e por ter proporcionado o meu doutorado sanduíche.

À Márcia C. Gamero, pela amizade, por ter lido o trabalho e contribuído nas correções do texto.

Ao Prof. Dr. Joelito de Oliveira Rezende, pelo encaminhamento para o doutorado e pela torcida para o meu sucesso profissional.

Ao Prof. Dr. Antonio P. González da Facultad de Ciencias, Universidad de La Coruña, por permitir a minha estada na Espanha para realização do doutorado sanduíche.

Ao Prof. Dr. José M. M. Avalos, da Facultad de Ciencias, Universidad de La Coruña, pelos ensinamentos sobre geoestatística e parceria nas publicações dos artigos científicos.

Ao corpo técnico da FCA, nas pessoas da Srs. (as) Acássio T. Filho, Aparecido B. Ramom, Gilberto Winckler, Luciano Alves, Mário de O. Munhoz, Marilene do C. Santos, Marlene Rezende, Rosângela C. Moreci, Sílvio Scolastici e Rita de Cássia Miranda.

Ao Mestre José Guilherme Lança Rodrigues, um amigo que não mediu esforços para que este trabalho pudesse ser concluído.

Ao Prof. Dr. Zacharias X. de Barros, pela simplicidade em pessoa e pelo tratamento exemplar para com os alunos, durante sua gestão como Coordenador do programa de Pós - Graduação.

Aos Prof.(s) Dr. (s) Ângelo Catâneo, Dirceu Maximino, João C. C. Saad, Marco A. M. Biaggioni, Licon G. Cardozo, Antonio de P. Sousa, Antonio E. Klar, Paulo Roberto A. Silva, Saulo P. S. Guerra, Sérgio H. Benez, Sílvio J. Bicudo pela amizade.

Aos Técnicos de laboratório Ailton de L. Lucas, Eduardo B. Nogueira, Maury T. da Silva e Pedro Alves pela amizade, apoio e atenção nas horas em que precisei de ajuda.

Aos colegas da Pós - Graduação: Alessandra C. Gamero, André S. Seki, Cássio Piffer, Caio Márcio, Débora Neves, Denise Mahl, Eduardo Melli, Erick V. Bertolini, Fabrício Leite, Flávio J. de S. Pereira, Flávia Meinicke, Gilmar Alves, Glória Romero, Juan J. Bonnin, Julio Cezar, Lauter Souto, Marina M. Moraes, Miriam Correa, Reginaldo, Rodrigo D. Barboza, Marísia C da Silva, Rone B. Oliveira e Virgínia Maria.

Aos amigos de república Alessandro José M. Santos, Diego C. Zied, José C. Pezzoni Filho, Leonardo de A. Monteiro, Waylson Z. Quartezeni e nossa secretária Nice Rodrigues.

Aos amigos brasileiros e espanhóis, Alex Fiscina, Aline Emy, Carlos Carballeira, Carlos Miranda, David e Rodrigo Baldo, com os quais convivi durante os seis meses em que morei na Espanha.

Aos estagiários: Ana C. E. de Oliva, Fábio D. Vicentini, Fernando T. de Mello, Luiz F. Ferraretto, Michele H. Asada e Thiago O. Decicino.

Aos estagiários da “Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho” *campus* de Registro, pela ajuda e dedicação na instalação do experimento.



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 Cultura do girassol.....	7
4.1.1 Exigências edafoclimáticas.....	9
4.1.2 Importância socioeconômica.....	10
4.2 Atributos físicos químicos do solo.....	13
4.3 Qualidade do solo.....	28
4.4 Manejo do solo.....	31
4.5 Semeadoras-adubadoras de precisão para semeadura direta.....	39
4.6 Mecanismos sulcadores das semeadoras-adubadoras de precisão.....	45
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
5.1 Material.....	51
5.1.1 Localização da área experimental e caracterização do meio físico.....	51
5.1.2 Máquinas agrícolas.....	55
5.1.2.1 Tratores.....	55
5.1.2.2 Equipamentos agrícolas.....	55
5.1.3 Insumos (herbicidas, fertilizantes, inseticidas e fungicidas).....	57
5.1.4 Semeadura.....	58
5.1.5 Material utilizado para mensuração das variáveis relacionadas ao solo, máquina e planta.....	59
5.1.5.1 Análise granulométrica.....	59
5.1.5.2 Densidade de partículas.....	59
5.1.5.3 Densidade do solo.....	59
5.1.5.4 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total.....	59
5.1.5.5 Teor de água do solo.....	60

5.1.5.6 Resistência do solo à penetração.....	60
5.1.5.7 Ensaio de compactação.....	60
5.1.5.8 Determinação do limite de liquidez.....	61
5.1.5.9 Determinação do limite de plasticidade.....	61
5.1.5.10 Determinação do limite de contração.....	61
5.1.5.11 Percentagem de agregados de agregados.....	61
5.1.5.12 Determinação da percentagem de cobertura do solo.....	62
5.1.5.13 Determinação da massa seca da cobertura vegetal.....	62
5.1.5.14 Determinação da velocidade média e patinagem das rodas motrizes do trator.....	62
5.1.5.15 Determinação da força média de tração na barra.....	62
5.1.5.16 Determinação do consumo horário de combustível.....	62
5.1.5.17 Determinação da profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos sistemas de manejo.....	63
5.1.5.18 Determinação da profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora.....	63
5.1.5.19 Determinação da profundidade de deposição de sementes.....	63
5.1.5.20 Determinação da distribuição longitudinal das plantas.....	64
5.1.5.21 Determinação da massa seca da parte aérea.....	64
5.1.5.22 Determinação da altura das plantas, diâmetro do caule, diâmetro do capítulo, massa de mil aquênios, teor de óleo e produtividade de aquênios do girassol.....	64
5.2 Métodos.....	65
5.2.1 Delineamento experimental.....	65
5.2.2 Descrição dos tratamentos.....	66
5.2.3 Cronograma de condução do experimento.....	68
5.2.4 Amostragem de solo.....	69
5.2.5 Análise física do solo.....	70
5.2.5.1 Análise granulométrica (Método da pipeta).....	70

5.2.5.2	Densidade de partículas.....	70
5.2.5.3	Densidade do solo.....	71
5.2.5.4	Macroporosidade, microporosidade e porosidade total.....	71
5.2.5.5	Teor de água do solo.....	71
5.2.5.6	Resistência do solo à penetração.....	72
5.2.5.7	Ensaio de compactação.....	72
5.2.5.8	Densidade relativa.....	72
5.2.5.9	Limite de liquidez.....	73
5.2.5.10	Limite de plasticidade.....	73
5.2.5.11	Índice de plasticidade.....	73
5.2.5.12	Limite de contração.....	74
5.2.5.13	Percentagem de agregados (Método por via seca).....	74
5.2.6	Análise química do solo.....	74
5.2.7	Determinação do índice de qualidade do solo.....	75
5.2.8	Percentagem de cobertura do solo.....	79
5.2.9	Massa seca da cobertura vegetal.....	80
5.2.10	Avaliação das operações agrícolas.....	80
5.2.10.1	Velocidade média do trator.....	80
5.2.10.2	Patinagem do trator em operação.....	81
5.2.10.3	Força média de tração na barra.....	81
5.2.10.4	Resistência específica operacional.....	82
5.2.10.5	Potência média de tração na barra.....	82
5.2.10.6	Capacidade de campo teórica do conjunto trator-equipamento....	83
5.2.10.7	Consumo horário de combustível.....	83
5.2.10.8	Consumo operacional de combustível.....	84
5.2.10.9	Profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos sistemas de manejo.....	84
5.2.10.10	Profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora.....	85
5.2.11	Avaliação da cultura do girassol.....	86

5.2.11.1	População de plantas.....	86
5.2.11.2	Distribuição longitudinal das plantas.....	86
5.2.11.3	Profundidade de deposição de sementes.....	87
5.2.11.4	Altura das plantas e diâmetro do caule.....	87
5.2.11.5	Massa seca da parte aérea.....	88
5.2.11.6	Diâmetro do capítulo.....	88
5.2.11.7	Massa de mil aquênios.....	88
5.2.11.8	Teor de óleo nos aquênios.....	88
5.2.11.9	Produtividade de aquênios do girassol.....	88
5.2.12	Análise dos resultados.....	89
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
6.1	Cobertura na superfície do solo.....	90
6.2	Densidade do solo, densidade de máxima compactação, teor de água de máxima compactação e densidade relativa.....	92
6.3	Porosidade total, macroporosidade e microporosidade.....	94
6.4	Diâmetro médio ponderado e percentagem de agregados estáveis.....	96
6.5	Resistência do solo à penetração.....	97
6.6	Teor de água no solo na determinação da resistência do solo à penetração após a colheita do girassol.....	98
6.7	Análise química do solo.....	99
6.8	Índice de qualidade do solo.....	103
6.9	Teor de água do solo no dia dos preparos.....	107
6.10	Desempenho do trator durante o preparo do solo.....	107
6.11	Teor de água do solo no dia da semeadura.....	110
6.12	Velocidades na operação de semeadura.....	111
6.13	Força média na barra de tração.....	113
6.14	Resistência específica operacional.....	115
6.15	Potência média na barra de tração.....	117
6.16	Consumo horário e operacional de combustível.....	119
6.17	Capacidade de campo teórica.....	122

6.18	Profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes.....	124
6.19	Profundidade de semeadura.....	124
6.20	Área do solo mobilizada.....	126
6.21	População de plantas.....	127
6.22	Distribuições de plantas.....	131
6.23	Alturas das plantas.....	134
6.24	Diâmetro do caule.....	136
6.25	Massa seca da parte aérea.....	137
6.26	Diâmetro de capítulo.....	139
6.27	Massa de mil aquênios.....	140
6.28	Massa de um capítulo.....	141
6.29	Teor de óleo nos aquênios.....	142
6.30	Produtividade de aquênios do girassol.....	143
7	CONCLUSÕES.....	147
8	REFERÊNCIAS.....	148
9	APÊNDICE.....	170

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabelas</b>	<b>Página</b>
1 Análises granulométricas da área experimental, antes do plantio, nas camadas 0-200 e 200-400 mm de profundidade.....	53
2 Análises químicas do solo da área experimental, antes do plantio, nas camadas 0-200 e 200-400 mm de profundidade.....	53
3 Cronograma de atividades desenvolvidas para a execução do experimento.....	68
4 Curva de padronização, indicadores de qualidade, limites críticos e referências dos indicadores para avaliação de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido a diferentes sistemas de manejo.....	79
5 Esquema da análise de variância.....	89
6 Cobertura na superfície do solo por resíduos vegetais da safra anterior e ervas daninhas presentes na área antes e após instalação dos sistemas de manejo.....	91
7 Valores médios da densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), densidade de máxima compactação ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), teor de água de máxima compactação ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e densidade relativa, após a colheita do girassol.....	93
8 Valores médios de porosidade total ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ ) e microporosidade ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ ) após a colheita do girassol.	95
9 Diâmetro médio ponderado (mm) e percentagem de agregados estáveis (%) por classe de tamanho, na profundidade de 0-200 mm, após a colheita do girassol.....	96
10 Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa) após a colheita do girassol.....	98
11 Teor de água no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no momento da determinação da resistência do solo à penetração (MPa) após a colheita do girassol.....	99
12 Análise química do solo após o cultivo do girassol.....	102
13 Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico	

	submetido a semeadura direta com mecanismo sulcador tipo haste.....	105
14	Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido a semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco.....	105
15	Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido ao preparo reduzido e semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco.....	106
16	Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido ao preparo convencional e semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco.....	106
17	Teor de água do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no dia dos preparos.....	107
18	Velocidade média, força média de tração, potência média de tração, patinagem do trator e capacidade de campo teórica para os diferentes sistemas de manejo do solo.....	108
19	Valores médios do consumo operacional e horário de combustível, profundidade média de preparo e área de solo mobilizada.....	109
20	Teor de água do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no dia da semeadura do girassol.....	111
21	Valores médios das velocidades na operação de semeadura ( $\text{km h}^{-1}$ ) do girassol.....	112
22	Força média na barra de tração (kN), exigida pela semeadora-adubadora durante a semeadura do girassol.....	114
23	Valores médios da resistência específica operacional ( $\text{N mm}^{-2}$ ) durante a semeadura do girassol.....	116
24	Potência média na barra de tração (kW) exigida pela semeadora-adubadora durante a semeadura do girassol.....	117
25	Valores médios do consumo horário de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ ) durante a semeadura do girassol.....	119
26	Valores médios do consumo operacional de combustível ( $\text{L ha}^{-1}$ ) durante a semeadura do girassol.....	121
27	Valores médios da capacidade de campo teórica ( $\text{ha h}^{-1}$ ) durante a semeadura do girassol.....	123

28	Valores médios da profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes (mm).....	124
29	Valores médios da profundidade de semeadura (mm).....	125
30	Valores médios da área mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora (mm <sup>2</sup> ).....	126
31	População inicial de plantas (nº de plantas ha <sup>-1</sup> ) em função dos sistemas de manejo.....	128
32	População final de plantas (nº de plantas ha <sup>-1</sup> ) em função dos sistemas de manejo.....	129
33	Valores médios da percentagem (%) de plantas com espaçamento, duplo, aceitável e falho em função dos sistemas de manejo.....	131
34	Altura das plantas (cm) em função dos sistemas de manejo.....	134
35	Tempo necessário (dias) para atingir o ponto de inflexão da curva de crescimento das plantas.....	135
36	Diâmetro do caule das plantas (cm) em função dos sistemas de manejo..	136
37	Massa seca da parte aérea (g por planta <sup>-1</sup> ) na maturação fisiológica R 9 em função dos sistemas de manejo.....	138
38	Diâmetro de capítulo (mm) em função dos sistemas de manejo.....	139
39	Massa de mil aquênios (g) em função dos sistemas de manejo.....	140
40	Valores médios da massa de um capítulo (g) em função dos sistemas de manejo.....	141
41	Valores médios do teor de óleo nos aquênios (%).....	143
42	Valores médios de produtividade de aquênios do girassol (kg ha <sup>-1</sup> ).....	145



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Página</b>
1 Detalhe das unidades experimentais.....	52
2 Resistência do solo à penetração (MPa), na camada 0-500 mm, nos Blocos I, II, III e IV, antes da instalação do experimento.....	54
3 Precipitação e temperatura média mensal, durante o ciclo da cultura.....	54
4 Arado reversível de quatro discos (A); escarificador de sete hastes (B).....	57
5 Semeadora-adubadora de precisão (A); pulverizador de barra (B).....	58
6 Avaliação da resistência à penetração (A); determinação da porosidade do solo (B).....	60
7 Solo mobilizado pelo escarificador (A); profundidade de semeadura (B).....	63
8 Detalhe das parcelas 10 dias após emergência (A); pulverização de inseticida e fungicida (B); plantas de girassol na fase R5 (C); secagem dos aquênios ao ar livre (D).....	65
9 Disposição dos sistemas de manejo nas parcelas e velocidades de semeadura nas subparcelas das unidades experimentais.....	67
10 Tendências das curvas para padronização de escores: a) <i>mais é melhor</i> ; b) <i>menos é melhor</i> e c) <i>valor ótimo</i> .....	78
11 Velocidades na operação de semeadura em função das velocidades pré estabelecidas.....	113
12 Resistência específica operacional em função das velocidades na operação de semeadura.....	116
13 Potência média na barra de tração em função das velocidades na operação de semeadura.....	118
14 Consumo horário de combustível em função das velocidades na operação de semeadura.....	120
15 Consumo operacional de combustível em função das velocidades na	

	operação de semeadura.....	122
16	Capacidade de campo teórica em função das velocidades na operação de semeadura.....	123
17	População inicial de plantas em função das velocidades na operação de semeadura.....	128
18	População final de plantas em função das velocidades na operação de semeadura.....	130
19	Porcentagem de plantas com espaçamento duplo, aceitável e falho em função das velocidades na operação de semeadura.....	133
20	Diâmetro do caule das plantas (cm) em função das velocidades na operação de semeadura.....	137
21	Massa seca da parte aérea (g por planta <sup>-1</sup> ) na fase reprodutiva R 9 em função das velocidades na operação de semeadura.....	138
22	Diâmetro de capítulo (mm) em função das velocidades na operação de semeadura.....	140
23	Massa de mil aquênios em função das velocidades na operação de semeadura.....	141
24	Massa de um capítulo em função das velocidades na operação de semeadura.....	142
25	Teor de óleo nos aquênios (%) em função das velocidades na operação de semeadura.....	144
26	Produtividade de aquênios do girassol (kg ha <sup>-1</sup> ) em função das velocidades na operação de semeadura.....	147

## 1 RESUMO

O girassol é uma oleaginosa de reconhecida importância na alimentação animal, humana, sendo, atualmente, uma das principais matérias-primas para produção de biocombustível. Existem poucos estudos relacionados aos sistemas de manejo do solo adotados para esta cultura. Objetivou-se no presente trabalho quantificar e analisar os efeitos dos sistemas de manejo nos atributos físicos e químicos de um Nitossolo Vermelho Distroférico (NVdf), após a colheita do girassol, em uma área cultivada durante 11 anos sob o sistema de semeadura direta, e identificar a velocidade na operação de semeadura que permite o melhor desenvolvimento do girassol. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, localizada no município de Botucatu-SP. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, seguindo o esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. Os tratamentos efetuados nas parcelas foram: os sistemas de manejo do solo (semeadura direta com mecanismo sulcador tipo haste-SDh; semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco duplo-SDd; cultivo reduzido-CR e cultivo convencional-CC). Nas subparcelas, as velocidades utilizadas para a semeadura foram de 3; 5; 6 e 8 km h<sup>-1</sup>. Amostras de solo foram coletadas na camada superficial, após a colheita do girassol e analisou-se a textura do solo, densidades, porosidade, diâmetro médio ponderado, percentagem de agregados, resistência do solo à penetração e análise química do solo. Para o desempenho operacional dos equipamentos de preparos do solo e semeadura, foram analisadas as seguintes variáveis: velocidade de semeadura, patinação das rodas motrizes, força média

de tração na barra, resistência específica operacional, potência média de tração na barra, consumo horário e operacional de combustível, capacidade de campo teórica e área de solo mobilizado. As variáveis da cultura do girassol avaliadas foram: população de plantas, distribuição longitudinal de plantas, profundidade de deposição de sementes, altura das plantas, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea, diâmetro de capítulo, massa de mil aquênios, teor de óleo e produtividade dos aquênios. O Nitossolo Vermelho Distroférico é um solo de boa qualidade para o sistema de produção agrícola, independentemente do sistema de manejo adotado. Os indicadores físicos, resistência à penetração e macroporosidade, aumentam o índice de qualidade nos sistemas de manejo CR e CC, quando comparados à SDh e SDd. Os indicadores químicos são os que mais contribuem para elevar o índice de qualidade do NVdf. A semeadura direta com mecanismo sulcador tipo haste foi o tratamento que exigiu maior força e potência média de tração na barra do conjunto trator-semeadora-adubadora. A variação da velocidade na operação de semeadura não proporciona aumento nos valores da força de tração média na barra do conjunto trator-semeadora-adubadora. O consumo horário e o operacional de combustível, não são influenciados pelos sistemas de manejo e são direta e inversamente proporcionais ao aumento da velocidade de trabalho, respectivamente. A profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes é menor no tratamento SDd e independe da velocidade empregada na operação de semeadura. O sistema de manejo aração seguido de gradagem promove maior profundidade de semeadura quando comparado aos demais tratamentos e a variação na velocidade de trabalho, não interfere na profundidade de semeadura. O tratamento SDh é o sistema de manejo recomendado para a implantação da cultura e o desenvolvimento do híbrido comercial de girassol Hélio 358. O aumento da velocidade na operação de semeadura compromete a população de plantas e, conseqüentemente, o desenvolvimento da cultura.

---

**Palavras - chave:** semeadura direta, oleaginosa, velocidade de semeadura, força de tração.

## **EVALUATE PERFORMANCE OF THE MANEGEMENT SYSTEMS IN THE A PALEUDULT AND IN THE CROP OF THE SUNFLOWER.**

Botucatu, 2008. 173p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-

Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista

Author: Jairo Costa Fernandes

Advisor: Carlos Antonio Gamero

### **2 SUMMARY**

The sunflower is an oleaginous plant of recognized importance in the animal and human feeding, being, at present, one of the main raw materials for bio-fuels production. There are few researches to the soil management systems for this crop. It was objectified in the present work to quantify and to analyze the effect of the management systems in the physical and chemical attributes of a Paleudult, after the harvest of the sunflower, in an area cultivated during 11 years under the system of direct sowing, identify the speed in the sowing operation that allows the best development in the productivity of the sunflower. The experiment was installed in “UNESP – São Paulo State University”, in the Experimental Farm of the Lageado of the Agronomic Sciences College- Botucatu-SP. The experimental was in randomized block design in split plot, with four repetitions. The effected treatments in the plots were: the soil management systems (no-till using furrow opener with mechanism type rod-SDh; no-till using furrow opener with mechanism type double disk-SDd record; minimum tillage-CR and conventional tillage-CC). In the sub plots, the used speeds for the sowing were 3; 5; 6 and 8 km h<sup>-1</sup>. Soil samples were collected in the surface layer, after the harvest of sunflower and analyzed to soil texture, density, porosity, mean weight diameter, percentage of aggregates, soil resistance to penetration and soil chemistry analysis. For the operational performance of equipment for soil preparation and seeding, were analyzed the following variables: speed of sowing, skating wheels driving, the average tensile strength in the bar, resistance specific operational, average power of the traction bar, time consumption

and operational fuel, field capacity and theoretical area of soil mobilized. The variables of the culture of sunflower were evaluated: plant population, longitudinal distribution of plants, seed deposition depth, plant height, stem diameter, dry mass of shoots, head diameter, a thousand grains weight, oil content and yield of achenes. The Paleudult is a soil of good quality for the system of agricultural production, regardless the system adopted. The physical indicators, macroporosity and penetration resistance, increase the index of quality management systems in the CR and CC, as compared to SDh and SDd. Indicators are chemicals that contribute most to raise the index of quality of NVdf. The no-till using furrow opener with mechanism type rod was the treatment that required more power and average power draw of the bar of all tractor-seeder-fertilizer. The variation of speed in the operation of planting does not provide an increase in the values of average tensile strength of the bar of all tractor-seeder-fertilizer. The hourly consumption of fuel and operational, are not influenced by management systems and are directly and inversely proportional to the increased speed of work, respectively. The depth of the groove for placement of fertilizers is lower in the SDd treatment and independent of speed used in the seeding operation. The management system plowing followed by harrowing promotes greater depth of sowing as compared to other treatments and the variation in speed of work, does not interfere with the depth of sowing. Treatment SDh is the recommended management system for the deployment of culture and development of commercial hybrid sunflower Helium 358. The speed increase in seeding operation commits the population of plants and, consequently, the development of culture.

---

**Keywords:** no-tillage, oleaginous, sowing speed, traction force.

### 3 INTRODUÇÃO

O girassol, mesmo sendo uma planta C3, apresenta características agronômicas importantes, tais como, maior resistência à seca, ao frio e ao calor, sendo que a produtividade é pouco influenciada pelo fotoperíodo, quando comparada à de outras espécies cultivadas no país. Sendo assim, ele é uma opção nos sistemas de sucessão e rotação de culturas para as regiões produtoras de grãos.

Atualmente, o girassol é cultivado em todos os continentes, em aproximadamente 23,7 milhões de hectares e com produção de 29,8 milhões de toneladas, destacando-se como a quarta oleaginosa em produção de grãos e a quinta em área cultivada no mundo.

Da planta do girassol pode-se aproveitar a parte aérea para produção de silagem, os grãos e o farelo para alimentação de aves e de outros animais. Após a prensagem dos grãos se obtém seu principal produto que é o óleo, utilizado na alimentação humana e na produção do biocombustível.

O solo, componente básico da biosfera terrestre, é um recurso, finito, frágil, não renovável e utilizado para o cultivo de culturas destinadas à produção de alimentos, fibras e óleo. Dos atributos físicos do solo, a textura e a estrutura são considerados os mais importantes para o crescimento das plantas, sendo que a sua constante mobilização, efetuada de forma inadequada, principalmente, em sistemas intensivos de exploração agrícola, leva à degradação de sua estrutura.

Para avaliação da qualidade de um solo, são necessários indicadores que quantifiquem as condições e os níveis de conservação ou degradação do solo estudado.

Para a escolha de um sistema de manejo, considera-se a produtividade da cultura ou as condições físicas que os mesmos promovem no solo. Para o girassol, os efeitos dos sistemas de manejo são pouco estudados.

O Sistema Plantio Direto é caracterizado por implantar uma cultura com menor mobilização no solo, sobre coberturas vegetais das culturas anteriores, necessitando, para isso, fazer uso da rotação de culturas, de herbicidas e de semeadoras-adubadoras apropriadas.

Os avanços nas semeadoras-adubadoras, para plantio direto, favoreceram o surgimento de novos mecanismos de abertura dos sulcos e de distribuição de fertilizantes. Anteriormente, utilizavam-se somente discos duplos, sendo que hoje, é possível encontrar, também, mecanismos sulcadores do tipo haste.

De acordo com as condições de solo encontradas, o mecanismo sulcador disco duplo desencontrado e haste (facão), ambos utilizados no plantio direto, poderão ter diferentes eficiências operacionais, como também, condições favoráveis do leito de semeadura para o desenvolvimento das culturas, quando comparados.

O objetivo geral deste estudo foi quantificar e analisar os efeitos dos sistemas de manejo nos atributos físicos e químicos de um Nitossolo Vermelho, após a colheita do girassol, em uma área cultivada durante 11 anos sob o sistema de semeadura direta, sendo que os objetivos específicos foram:

- i) identificar e quantificar o grau de alteração do solo promovido pelos sistemas de manejo, utilizando-se, dos indicadores de qualidade (atributos físicos e químicos do solo);
- ii) avaliar a influência dos sistemas de manejo no desenvolvimento e do girassol;
- iii) identificar a velocidade na operação de semeadura que permite o melhor desenvolvimento do girassol;
- iv) estudar o desempenho das operações agrícolas nos diferentes sistemas de manejo.



## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Cultura do girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta angiosperma da classe das dicotiledôneas, pertencente à ordem Asterales, família Asteraceae, sub-família Asteroideae, tribo Heliantheae e gênero *Helianthus*, originária do continente norte-americano (CASTRO; FARIAS, 2005). Embora originária de regiões subtropicais, a planta apresenta grande adaptabilidade a diferentes ambientes (SANGOI; KRUSE, 1993).

É uma planta de fecundação cruzada (alógama), realizada basicamente por abelhas. Atualmente, apesar da existência de híbridos com elevado grau de autofecundação que produzem mesmo na ausência de insetos polinizadores, estudos já comprovaram que a presença desses insetos, na época do florescimento, propicia o aumento da produção (CASTRO; FARIAS, 2005).

Essa planta possui raiz principal pivotante que pode atingir grande profundidade, a partir da qual saem as raízes secundárias e, não havendo impedimentos químicos ou físicos, pode alcançar até dois metros de profundidade. A importância deste vigoroso sistema radicular é que a planta adquire grande poder de absorção de água do solo, sendo por esta característica tolerante às estiagens e servirá, também, para evitar o tombamento da planta na fase final da produção, uma vez que a sua inflorescência encerra

uma grande quantidade de frutos, atingindo peso extremamente elevado no ápice do caule (PIRES, 1994).

A raiz principal tem grande poder de crescimento, porém, o aprofundamento será tão limitado quanto maior for a resistência das camadas de impedimentos físicos, como a compactação do solo (CASTRO; FARIAS, 2005). As raízes secundárias se distribuem horizontalmente na camada situada entre 5 e 30 cm de profundidade, dependendo dos teores de água do solo (BUZATTI; MUNDSTOCK, 1994). O crescimento radicular dá-se, de preferência, em locais de menor resistência do solo, aproveitando pontos de fratura originados da variação dos teores de água ou propiciados por métodos mecânicos como a subsolagem. Para plantas de girassol com 6 a 8 folhas e de 0,15 m de altura foram observados que os valores de  $1,75 \text{ kg dm}^{-3}$  em solo arenoso e  $1,46$  a  $1,63 \text{ kg dm}^{-3}$  em solo argiloso foram considerados como os limites críticos de densidade do solo à penetração radicular de raízes (VEIHMEYER; HENDRICKSON, 1948) citado por (BUZATTI; MUNDSTOCK, 1994).

O ciclo vegetativo do girassol varia de 65 a 155 dias, dependendo das características intrínsecas de cada genótipo, da data de semeadura, das condições ambientais de cada região e do manejo adotado para o cultivo. O caule do girassol é ereto, vigoroso e cilíndrico e o seu interior é maciço, geralmente não ramificado, com altura variando entre 1,0 a 2,5 m, enquanto o diâmetro da haste varia de 0,01 a 0,1 m. De modo geral, as plantas de girassol possuem de 20 a 40 folhas, alcançando área de até  $0,9 \text{ m}^2$  de folhas/planta, em solos profundos e sem deficiência hídrica ou nutricional (CASTRO; FARIAS, 2005).

O crescimento de uma planta é, geralmente, mais rápido em sua fase inicial, diminuindo a seguir de velocidade e tendendo a uma estabilidade na fase adulta e várias funções assintóticas são apropriadas para descrever esse processo (MISCHAN; PINHO, 2006). O girassol caracteriza por um crescimento lento nos primeiros 30 dias após a emergência, atingindo a altura aproximada de 30 cm neste período. Durante os próximos 30 dias a altura das plantas quadruplica alcançando o seu valor máximo ao redor dos 70 a 80 dias após a emergência (UNGER, 1990).

O ajuste da altura, em função da idade, pode ser feito por uma grande variedade de modelos lineares e não-lineares (GUIMARÃES et al., 2002). Avaliando o crescimento de cinco cultivares de girassol em um Latossolo Vermelho argiloso, empregando

o ajuste de diferentes funções não-lineares assintóticas, Amabile et al. (2003) verificaram que a função logística forneceu os melhores ajustes aos dados de crescimento.

A inflorescência do girassol é composta por flores sésseis, condensada em receptáculo comum discóide e rodeada por um involúcro de brácteas, formado na parte superior do caule, conhecido como capítulo (CASTRO; FARIAS, 2005). Quando está em fase de desenvolvimento, o disco realiza movimento de rotação, formando ângulo reto que segue a direção dos raios solares (PELEGRINI, 1985). A flor fecundada dará origem ao fruto (aquênio) através de transformações de seu ovário. Nos genótipos comerciais, o peso de 1000 aquênios varia de 30 a 60 g, apresentando freqüentemente um número que pode variar entre 800 e 1.700 por capítulo.

#### **4.1.1 Exigências edafoclimáticas**

O comportamento de uma variedade está condicionado ao tipo de solo e ao clima da região, para poder expressar o seu potencial genético. Apesar da excelente estrutura física que o Nitossolo Vermelho apresenta em suas condições naturais, a constante mobilização e o uso de equipamentos de preparo inadequados, principalmente em sistemas intensivos de exploração agrícola, levam à degradação de sua estrutura. Essa condição física, alterada do solo, pode ocasionar diminuição da produtividade das culturas, em vista da complexidade dos fenômenos que envolvem as relações solo-planta-atmosfera (RODRIGUES, 2001).

Rezende (2000) sugere, a respeito de sistemas de produção agrícola, que a presença de uma rede ideal de poros, com ampla variação de tamanho, é um fator chave na fertilidade do solo, porque beneficia as relações entre drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração, temperatura, entre outros fatores, influenciando positivamente na produtividade do sistema.

O girassol é uma cultura que se adapta bem a diversos ambientes, podendo tolerar temperaturas baixas e períodos de estresse hídrico (CASTRO; FARIAS, 2005). Em relação ao fotoperíodo, o girassol é classificado como espécie pouco sensível.

Segundo Marques (1994), a cultura do girassol possui maior capacidade de adaptação às condições marginais de clima do que a cultura do milho e da soja.

O girassol não se adapta em regiões em que haja excesso de chuvas e alta umidade, principalmente após a floração. É uma das plantas que mais resiste à seca, quando cultivada em solos profundos e não compactados, produzindo satisfatoriamente, enquanto outras culturas, como o milho, por exemplo, são seriamente prejudicadas. Segundo a bibliografia, 250 a 400 mm de chuva, são suficientes para que o girassol desenvolva normalmente o seu ciclo vegetativo (MARQUES, 1994). A água é um componente crítico para elaboração do óleo na época entre a formação das flores nos capítulos e o amadurecimento dos aquênios. A falta, neste intervalo, acarreta a diminuição do rendimento e no conteúdo do óleo dos aquênios (PELEGRINI, 1985).

Em solos que apresentam aeração e disponibilidade hídrica adequadas, a temperatura é o fator mais limitante à germinação da semente de girassol, sendo inibida com temperaturas entre 3 a 4 °C. A velocidade de germinação aumenta exponencialmente de 3 a 30 °C, devendo ser mantida máxima entre 6 a 23 °C, decrescendo rapidamente com temperaturas acima de 25 °C (CASTRO; FARIAS, 2005).

A ocorrência de geadas nos períodos de início de florescimento e de formação de aquênios causa o abortamento das flores, contribuindo para a má formação das sementes e afetando a produtividade (PELEGRINI, 1985).

O girassol é uma espécie sensível à acidez do solo, apresentando, geralmente, sintoma de toxidez de  $Al^{+3}$  em pH em  $CaCl_2$  menor que 5,2 (AMABILE et al., 2003; WALLACE, 1990).

#### **4.1.2 Importância socioeconômica do girassol**

O cultivo de girassol, no Brasil, iniciou-se na época da colonização da região Sul do País (DALL'AGNOL et al., 2005). O cultivo comercial teve início em São Paulo em 1902, quando a Secretaria da Agricultura distribuiu sementes para os agricultores. Na década de 30, a planta já era conhecida como sendo de muitas utilidades, por exemplo, no uso como forrageira e produtora de silagem, produtora de sementes para extração de óleo comestível e para alimentação de aves.

Até o final da década de 1970, o girassol não se estabeleceu no Brasil como cultura de expressão, pois não conseguia competir com outras opções agrícolas mais

atraentes, como o milho, a soja, o amendoim e o algodão, possuindo um baixo nível tecnológico em seu cultivo. Após esse período, com o apoio do Governo Federal, o programa de Mobilização Energética estimulou o uso de óleos vegetais em substituição aos derivados do petróleo e o plantio da cultura se destacou como uma cultura inovadora (DALL'AGNOL et al., 2005; PELEGRINI, 1985).

Na região do Cerrado Brasileiro, a partir de 1998, o girassol retomou áreas expressivas, principalmente nos Estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, como segundo cultivo de verão, popularmente denominado de safrinha. Dessa forma, o girassol, em função de possibilitar o uso das mesmas máquinas e mão-de-obra utilizadas nas lavouras de milho e soja, vem se constituindo em boa alternativa na composição dos sistemas de produção de grãos do Centro - Oeste brasileiro (DALL'AGNOL et al., 2005).

No Mato Grosso do Sul, no período de outono-inverno, os atuais sistemas de produção restringem-se quase que exclusivamente ao trigo e à aveia preta. Atualmente, com a instalação de indústrias de extração de óleo vegetal, fábricas de rações e aviários, a cultura do girassol surge como possível alternativa (HECKLER, 2002) em função da necessidade de rotação de culturas e do interesse manifestado pelos setores industriais e comerciais (LEITE, 2002).

O Brasil é um produtor pouco expressivo de girassol (grão), porém tanto a produção quanto a área colhida têm aumentado significativamente nos últimos cinco anos. A demanda interna por óleo de girassol também tem crescido e para supri-la o país importa o óleo, principalmente da Argentina (SILVA, 2005).

De acordo com a Conab (2007), na safra de 2006/2007, a área plantada, a produção e a produtividade nacional, corresponderam a: 75,4 mil hectares, 106,1 mil toneladas e 1.405 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O Estado do Rio Grande do Sul (29,3 mil toneladas) foi o maior produtor, seguido dos Estados de Mato Grosso (29,2 mil toneladas), Goiás (28,5 mil toneladas) e Mato Grosso do Sul (10,9 mil toneladas).

O girassol é uma planta com grande potencial no aumento da produção de grãos no país, não só para alimentação animal e humana, mas também, porque através de práticas adequadas de manejo do solo, pode-se ter o seu uso ampliado como planta ornamental ou matéria-prima para a produção de bicompostíveis (CASTRO; FARIAS, 2005).

É uma realidade o esgotamento do petróleo para os diversos fins e os impactos ambientais provocados pelo seu uso, portanto, a busca por fontes alternativas de energia se faz necessário. A preocupação dos pesquisadores e especialistas é a substituição dos derivados do petróleo por combustíveis de origem vegetal. Sendo assim, o biodiesel é uma alternativa, pois é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais. No Brasil, existem diversas espécies vegetais que podem ser utilizadas, entre elas, o girassol (COSTA; OLIVEIRA, 2006).

Com o incentivo do governo Federal, mais recentemente, em se utilizar o biodiesel na matriz energética nacional, através de sua adição ao óleo diesel comercializado, a cultura do girassol apresenta viabilidade técnico-ambiental na produção de biocombustíveis (SILVA et al., 2007).

O óleo de girassol vem ganhando um crescente espaço no comércio nacional e internacional devido à excelente qualidade do óleo comestível extraído de sua semente. O maior benefício proporcionado por esse combustível alternativo é ambiental, pois sua emissão de dióxido de carbono é 78% inferior quando comparado ao diesel. Desse modo, haverá uma contribuição para a redução dos gases que provocam o efeito estufa, aumentando a temperatura do planeta (DEL COLLE, 2005).

O biodiesel substitui total ou parcialmente o combustível originado do petróleo em motores do ciclo-diesel, podendo ser usado puro ou misturado em diversas proporções. A mistura de 2% é chamada de B2 e assim sucessivamente, até chegar ao biodiesel puro, denominado B100 (COSTA; OLIVEIRA, 2006).

No país, a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, estabelece a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biocombustível ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Neste ano, 2008, após os três anos de publicação da Lei, já é obrigatório o uso de 2% e em 2013, deverá ser de 5% (PORTAL DO BIODIESEL BRASIL, 2007).

## 4.2 Atributos físicos e químicos do solo

Na literatura, existe abundante bibliografia sobre os elementos químicos do solo, seu papel e comportamento na nutrição vegetal. No entanto, a fertilidade física, pelo contrário, é um tema muito pouco abordado, apesar de, na década de 70, ter-se produzido grandes avanços no estudo da resposta do sistema radicular frente ao solo como meio físico (PORTA et al., 1999).

A física do solo é o ramo da ciência que trata das suas propriedades físicas, bem como, da predição e do controle dos processos físicos que ocorrem no seu interior (FERREIRA; DIAS JUNIOR, 1997).

As relações entre as condições físicas do solo e o crescimento das plantas são complexas e, no momento, não é possível dar uma resposta simples sobre qual é o valor ótimo de cada variável, que permite obter uma ótima produção para um dado cultivo. A principal dificuldade se baseia em que tais variáveis apresentam uma variabilidade espaço-temporal grande, dentro de um mesmo tipo de solo (LETEY, 1985).

Uma das características mais importantes no estudo da relação máquina/solo, com conseqüência imediata às plantas, é a alteração das propriedades físicas das camadas de solo por interferência mecânica. Conseqüentemente, o estudo para determinação das principais características físicas do solo agrícola, no intuito de adequá-lo às necessidades das plantas a serem cultivadas, é um fator importante no processo de produção agrícola (MAIA, 1999).

A caracterização da camada compactada e do comportamento do solo em relação às suas propriedades físicas, como densidade, porosidade, teor de água, capacidade de retenção e infiltração da água e, principalmente, a localização da camada compactada, é de extrema significância para o planejamento das técnicas modernas de produção (IAIA et al., 2006).

Gupta e Allmaras (1987) definem a compactação do solo como a sua compressão em estado não saturado, caracterizada pelo decréscimo em volume, com aumento da densidade e expulsão do ar dos poros.

De acordo com Cunha et al. (2002), a compactação pode ser definida como sendo a ação mecânica por meio da qual se impõe ao solo, uma redução em seu índice de vazios, que é a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos.

A compactação é um processo no qual há um aumento da resistência à penetração, apresentando redução da porosidade, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e da água no solo (SILVA et al., 2000c).

A compactação dos solos agrícolas tem aumentado nos últimos anos e vem se tornando um fator limitante no aumento da produtividade e na sustentabilidade do sistema de plantio direto, especialmente em solos argilosos (KAISER et. al., 2005).

Segundo Souza et al. (2005), embora a erosão seja um processo natural, acaba sendo acelerada ou retardada pela ação antrópica, principalmente por diversas alterações como o preparo e os manejos inadequados dos solos.

Segundo Dexter (2004), a compactação é uma alteração estrutural que causa reorganização das partículas do solo, aumentando a sua densidade e decrescendo a produtividade das culturas implantadas nessas condições.

Em solos agrícolas, o tráfego de máquinas é atribuído como a principal causa da compactação, principalmente em condições de solo com elevado conteúdo de água. Esse fenômeno vem se acentuando com o aumento das dimensões e conseqüentemente da massa das máquinas agrícolas, ocorrendo no aumento da carga por eixo e pressão exercida sobre o solo (SILVA et al., 2004).

A compactação causa redução de massa por unidade de volume, acarretando maior densidade e resistência mecânica do solo à penetração, com redução da porosidade total e com maior ênfase na redução dos poros de maior diâmetro (LEONEL et al., 2007; STONE et al., 2002).

O dimensionamento da compactação do solo é bastante subjetivo, pois não existe um parâmetro específico que indique com precisão o quanto um solo encontra-se compactado. Uma das formas de avaliação da compactação de um solo é baseada na comparação de sua condição atual a uma condição natural ou sem restrições ao crescimento e produtividade das culturas (SILVA et al., 2004).

O conhecimento dos vários fatores que concorrem para os agravamentos da compactação do solo, como é o caso da patinação dos rodados, o domínio



sobre os processos pelo qual, a compactação do solo pode ser modificada e controlada, bem como a forma de determiná-la, é essencial para uma agricultura permanente (MAZIERO et al., 1997).

As respostas para compactação do solo podem ser complexas, devido às diferentes maneiras que esta pode alterar as propriedades físicas do solo. Tem havido muitas tentativas de encontrar valores críticos de índice de cone, capacidade suporte, permeabilidade que são relacionados com os fatores que limitam o crescimento de raízes (BOTTA et al., 2006).

Qualquer alteração significativa na estrutura do solo, reduzindo à percentagem de espaços vazios, acima de certo valor crítico, afeta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (MAIA, 1999).

O comportamento das plantas cultivadas, frente à compactação do solo, constitui, porém, um tema em que ainda poucas respostas podem ser consideradas definitivas e, apesar do grande volume de pesquisa, ainda pouco se conhece a respeito dos mecanismos que regem esse comportamento. Este tipo de incerteza está na origem da dificuldade para caracterização de dois aspectos fundamentais relacionados ao modelo de classificação da compactação do solo: definir quais as propriedades físicas do solo que melhor representam a compactação e estabelecer os valores limites das mesmas que determinam perdas importantes na produtividade das culturas (ARAÚJO, 2004).

Para um adequado crescimento, as plantas necessitam de uma estrutura que possibilite uma área de contato entre as raízes e o solo, assegure a obtenção de água e nutrientes e um suficiente espaço poroso para o fornecimento adequado de oxigênio (LIMA et al., 2004).

A estrutura do solo influencia no crescimento das plantas de várias formas, sendo os efeitos sobre a alongação radicular os mais claros e determinantes na habilidade das raízes em extrair água e nutrientes do solo em quantidades adequadas (MÜLLER, 2002).

A ênfase dada à estrutura do solo como fator de produção agrícola deve-se, em grande parte, ao fato de serem o ar e a água os ocupantes básicos dos espaços vazios (MITSUIKI, 2006).

A densidade do solo é uma característica física que sofre alterações com o manejo, sendo um das principais variáveis utilizadas para avaliar a compactação do solo. Esta variável é definida como a relação entre a massa de sólidos por unidade de volume ocupado por partículas e poros. Em uma determinada amostra de solo, se houver diminuição do seu volume para uma mesma massa de sólidos, haverá um aumento de sua densidade (KIEHL, 1979; MITSUIKI, 2006).

A determinação da densidade do solo, nas diferentes camadas de um determinado perfil, poderá trazer informações sobre o manejo atual e a possibilidade de uso para algumas culturas exigentes a menores valores de densidades. A densidade do solo, em geral, aumenta com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores provocando a compactação e reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores (eluviação) também contribui para a redução dos espaços porosos aumentando a densidade do solo dessas camadas (SENGIZ, 2005).

Ainda não existem valores de densidade de solo considerados limitantes à produtividade agrícola. Alguns estudos têm sido feitos nesse sentido, mas ainda existem questionamentos e dúvidas (LIMA et al., 2007).

Pela constituição das suas partículas, os solos de textura argilosa apresentam valores de densidade inferiores ( $1,0$  a  $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$ ) aos solos de textura arenosa ( $1,6$  a  $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ ) e, a depender do teor de material orgânico, esses valores tendem a ser menores (KIEHL, 1979).

Para Reinert e Reichert (2006), os valores normais para solos arenosos variam de  $1,2$  a  $1,9 \text{ kg dm}^{-3}$ , enquanto que para os solos argilosos de  $0,9$  a  $1,7 \text{ kg dm}^{-3}$ . Valores de densidade do solo, associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular, situam-se em torno de  $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$  para solos arenosos e  $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$  para solos argilosos.

Maria et al. (1999) afirmam que, para a densidade a partir  $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$ , em Latossolo Roxo, ocorre restrição ao desenvolvimento radicular, quando o solo se encontra em capacidade de campo, caracterizando compactação.

Moraes et al. (1995), objetivando determinar o nível de compactação que impede o desenvolvimento das raízes de plantas de soja, em um Nitossolo Vermelho

Distroférico, em casa de vegetação, verificaram que o desenvolvimento das raízes das plantas ficou impedido quando a densidade do solo atingiu valores de  $1,3 \text{ kg dm}^{-3}$ .

Cruz et al. (2003), avaliando as propriedades físicas de um Argissolo Vermelho, em Pelotas - RS, submetido a sistemas de manejo numa propriedade agrícola, observaram que os maiores valores de densidade na profundidade de 0,0-0,10 m foram no solo sob plantio direto.

Abreu et al. (2004) não encontraram diferença na densidade do solo em diferentes sistemas de manejo.

Falleiro et al. (2003), avaliando os efeitos de seis sistemas de preparo sobre as propriedades físicas do solo, verificaram que a densidade do solo foi maior na semeadura direta do que nos demais tratamentos. Os autores observaram, também, que não houve aumento ou redução de densidade do solo com o aumento da profundidade, para todos os tratamentos.

A densidade relativa, razão entre a densidade do solo avaliada e a densidade máxima determinada pelo teste de Proctor normal, é uma alternativa para quantificar a qualidade do solo (KLEIN, 2006). O mesmo autor, estudando amostras de um Latossolo Vermelho, verificou que o valor da densidade relativa, em que as condições ao desenvolvimento das plantas são consideradas ótimas, é de 0,71 e limitada a 0,88.

Liepic et al. (1991), avaliando o desenvolvimento da cultura da cevada, em um solo com  $600 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, verificaram que o crescimento das plantas e a produtividade de grãos foram inferiores quando os valores de densidade relativa excederam o valor de 0,88.

Carter (1990), trabalhando em solos arenosos, observou uma maior produtividade de cereais, quando a densidade relativa se manteve entre 0,77 e 0,84 e que, em áreas sob plantio direto, o valor de densidade relativa de 0,89, afetava o desenvolvimento das plantas, principalmente por deficiência de aeração do solo ocasionada pela redução do volume de macroporos.

O solo é composto por pequenos espaços vazios, chamados de poros. Os poros de tamanho maiores são conhecidos como macroporos e os de menor tamanho, de microporos, os quais desempenham funções específicas no solo. Os microporos servem para armazenar água, enquanto que os macroporos são responsáveis pela drenagem da água, pela

entrada e saída dos gases no solo e pela penetração das raízes das plantas. Assim sendo, é de extrema importância que as técnicas adotadas para o cultivo de plantas não promovam a alteração na porosidade do solo (ARAÚJO; PAIVA, 2006).

Ferreras et al. (2001), avaliando o sistema de plantio direto e a utilização de escarificador na cultura da soja, encontraram valores de densidade relativa de 0,82 e 0,69 na camada de 0-6 cm, enquanto que na camada de 10-16 cm foram de 0,87 e 0,85, respectivamente. A cultura da soja apresentou menor rendimento de grãos no plantio direto ( $1.700 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que no solo escarificado ( $3.550 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

A densidade do solo é um dos atributos físicos que tem estreita relação com o grau de compactação de uma determinada camada do solo, permitindo inferir as dificuldades para a emergência, o desenvolvimento radicular e a circulação de água e de ar. No entanto, o valor da densidade do solo apresenta limitações importantes, já que não oferece informações sobre o tamanho dos poros e conexões entre eles. Estes aspectos podem predizer o movimento da água nos poros de um solo e os riscos de degradação dos agregados (PORTA et al., 1999).

A aeração dos solos refere-se à habilidade de um solo atender a demanda respiratória da vida biológica do solo, havendo a necessidade de contínua troca de oxigênio e  $\text{CO}_2$  entre a atmosfera e o solo, sendo que os macroporos atendem a esta função. Normalmente, considera-se que o espaço aéreo de 10% de macroporos é suficiente para arejar o solo e satisfazer a demanda respiratória no solo (REINERT; REICHERT, 2006).

O espaço vazio encontrado no solo é resultante da agregação das partículas minerais individuais com participação da matéria orgânica. Os poros distinguíveis a olho nu são os de diâmetros superiores a 0,06 mm. Em alguns casos, existem os espaços intergranulares como os de horizontes arenosos, os das galerias, devidas à atividade da fauna e os das fissuras, provocadas em solos que apresentam argilas expansíveis (PORTA et al., 1999).

A porosidade total do solo é constituída por uma rede de poros conectados entre si, com tamanhos variados, que permitem o movimento do ar e da água (ARAÚJO, 2004).

Num determinado tipo de solo, a distribuição de poros, por tamanho, será em função tanto da textura quanto da sua estrutura (FERREIRA; DIAS JUNIOR, 1997).

Em solos arenosos há predominância de macroporos, enquanto em solos argilosos, de microporos. Nesse aspecto, a origem do tamanho de poros relaciona-se ao tamanho de partículas, sendo considerados de natureza ou porosidade textural. Quando as partículas se organizam em agregados, há a criação, geralmente, de poros grandes entre os agregados, sendo considerada porosidade estrutural. Esta última é especialmente importante em solos argilosos onde os macroporos são formados como consequência da estruturação (REINERT; REICHERT, 2006).

A porosidade tem grande influência nas propriedades físicas do solo, como a durabilidade, a força mecânica, a permeabilidade e as propriedades de adsorção. Os poros, de uma maneira geral, e a depender do seu tamanho, são classificados em: macroporos (diâmetros superiores a 0,1 mm), mesoporos (diâmetros entre 0,1 mm e 0,05 mm) e microporos (diâmetros menores do que 0,05 mm) (SAAD, 2007).

Segundo Camargo e Alleoni (2006), poucas espécies têm raízes com diâmetro inferior a 0,1 mm. As raízes jovens, em pleno crescimento, da maioria das plantas herbáceas e arbóreas, são consideravelmente superiores a esse valor, sendo, portanto, bem maiores do que os poros drenados na "capacidade de campo", cujo diâmetro está na faixa de 0,05 mm. Os macroporos constituem a rota principal para crescimento das raízes, de modo que solos mal estruturados podem inibir o pleno desenvolvimento do sistema radicular.

Costa et al. (2003), avaliando, durante 21 anos, os efeitos dos sistemas de preparo convencional e o plantio direto, sobre as propriedades físicas da camada de 0-0,2 m de um Latossolo Bruno, verificaram que a adoção do sistema de plantio direto proporcionou melhoria nas propriedades físicas do solo em comparação ao preparo convencional, evidenciada pela diminuição na densidade. Por outro lado, o preparo convencional e o plantio direto não se diferenciaram quanto aos seus efeitos na porosidade do solo (total, macro e micro) e na resistência à penetração. O rendimento das culturas de soja (18 safras) e milho (4 safras) foi de 42 e 22%, respectivamente, superior no plantio direto quando comparado ao preparo convencional, o que, possivelmente, reflete a melhoria na qualidade física do solo.

Falleiro et al. (2003), estudando os efeitos de diferentes sistemas de preparo verificaram que a micro e a macroporosidade não foram afetadas pelos diferentes sistemas de preparo e ou profundidades nas camadas de 0-5 de 10-20 cm.

Siqueira (1995), comparando sistemas utilizados em preparo de solos, não encontrou diferenças estatísticas significativas para os valores de densidade do solo e porosidade total.

Schaefer et al. (2001) compararam a porosidade do solo em diferentes sistemas de preparo, verificando a formação de camadas compactadas, sob grade pesada, e a boa conexão de macroporos em plantio direto e aração sem uso de grade. Observaram, ainda, que o uso da grade pesada resultou em mudanças na continuidade dos poros do solo.

Cruz et al. (2003), avaliando as propriedades físicas e o carbono orgânico de um Argissolo Vermelho, submetido a sistemas de manejo numa propriedade agrícola, observaram que o solo sob os sistemas convencionais apresentou maior porosidade total e macroporosidade na profundidade de 0,0-0,10 m e maior microporosidade na profundidade de 0,10-0,20 m.

Sidiras et al. (1984), estudando algumas características físicas de um Latossolo Roxo sob plantio direto e preparo convencional, observaram que no plantio direto houve aumento da densidade do solo e da microporosidade e diminuição da macroporosidade e porosidade total.

Tormena et al. (2002), avaliando algumas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho, cultivado com mandioca, após dois anos de implantação em diferentes sistemas de preparo do solo, verificaram que no plantio direto e no preparo mínimo foram apresentados os maiores valores de densidade do solo e os menores valores de macroporosidade na camada de 0-0,10 m de profundidade. Resultados similares foram obtidos na avaliação da resistência do solo à penetração independente da época de avaliação e da umidade do solo. Os sistemas de preparo mínimo e preparo convencional do solo proporcionaram condições físicas menos restritivas ao crescimento das plantas, quando comparado com o plantio direto.

Colet (2006), avaliando as alterações ocorridas em atributos físicos de um solo sob pastagem com e sem escarificação, verificou que essa operação propiciou o aumento da macroporosidade e da porosidade total e redução da densidade do solo nos 100 milímetros superficiais. Quando observado na entrelinha da passagem do escarificador, verificou que a escarificação não afetou a macroporosidade, a microporosidade e a densidade do solo na profundidade de 100-200 milímetros.

Streck et al. (2004), com o objetivo de avaliar o efeito do tráfego de máquinas na alteração das propriedades físicas do solo sob plantio direto, observaram redução na macroporosidade e porosidade total sem aumento para microporosidade. A densidade e a resistência à penetração se elevaram para os tratamentos com tráfego.

Bonel et al. (2004), estudando os atributos físicos do solo em dois sistemas de manejo (semeadura direta durante 12 anos e escarificação na mesma área), evidenciaram incremento na porosidade total, macroporosidade e nos mesoporos até 200 mm de profundidade, quando utilizou-se da escarificação.

A avaliação da resistência à penetração e a determinação da curva de resistência são importantes no estudo do efeito da compactação sobre as condições físicas do solo, podendo ser utilizadas para orientar o manejo e o controle das suas qualidades físicas (IMHOFF et al., 2000).

A resistência do solo à penetração é uma das suas características físicas que exprime o grau de compactação e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes (RIBON et al., 2003). É uma propriedade física do solo ligada diretamente ao crescimento radicular. Comparada à densidade do solo, é à medida que melhor expressa o potencial de crescimento das raízes por incorporar os efeitos da densidade e da umidade do solo. Um solo, que apresenta valores elevados de densidade, pode não ser limitante ao crescimento de raízes quando se encontra úmido, no entanto, quando se encontra seco, poderá apresentar condições limitantes ao crescimento radicular por apresentar valores elevados de resistência à penetração (NEVES JUNIOR, 2005). Assim, a importância da avaliação da resistência do solo à penetração pode ser realizada pelo índice de cone, que é expresso como a força por unidade de área da base do cone até uma determinada profundidade (CUNHA et al., 2002).

Normalmente, as determinações de densidade, macroporosidade e porosidade total do solo são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo, porém a resistência do solo à penetração pode ser uma medida mais sensível para identificar este estado, especialmente em camadas pouco espessas (CECONI et al., 2007).

Segundo Canarache (1990), a resistência à penetração é afetada pela textura, densidade do solo e teor de água, sendo que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas.

A preferência em utilizar penetrógrafos, para medir o estado de compactação, está na praticidade e rapidez na obtenção dos resultados. Ainda, os penetrógrafos medem a resistência do solo em pequenos incrementos de profundidade, sendo úteis para avaliar as camadas de maior resistência em profundidade. Os valores de resistência à penetração estão positivamente correlacionados com a densidade do solo (SILVA et al., 2004).

Valores de resistência mecânica do solo entre 2 MPa e 3 MPa foram considerados limitantes ao desenvolvimento radicular para várias culturas anuais (TAYLOR; BURNETT, 1964). De fato, em solos compactado, com mais do que 2 MPa de resistência, nem todas as raízes conseguiram crescer (BOTTA et al., 2006; DEXTER; ZOEBISH, 2006).

Miller (1987) afirma que a penetração das raízes pode ser reduzida, se a resistência do solo atingir valores da ordem de 3,0 MPa, o que pode resultar em decréscimo no suprimento de água e de nutrientes para as plantas.

Segundo Arshad et al. (1996), a resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores de potencial que variam de 2,0 a 4,0 MPa.

A resistência do solo à penetração, medida pelo índice de cone, é um parâmetro interessante por localizar de modo fácil onde se encontram as camadas compactadas no perfil (SILVA et al., 2004). Entretanto, o teor de água do solo é um parâmetro importante na quantificação da resistência à penetração, pois há elevada dependência dos resultados em relação a este parâmetro (RIBON et al., 2003).

Em condições de campo, a resistência à penetração é bastante variável, sendo muito influenciada pelas condições do manejo dado ao solo, pela intensidade de tráfego das máquinas agrícolas e pela umidade do solo (SILVA et al., 2004).

Apesar de muitos estudos terem sido feitos, não se tem uma quantificação, universalmente aceita, da influência de uma determinada variação no teor de água sobre a resistência à penetração para diferentes solos, ou seja, se esta resistência varia linearmente, ou não, em função de iguais acréscimos no teor de água, ou ainda, se estes



acréscimos influenciam o coeficiente de variação dos dados de resistência, obtidos na caracterização de um determinado solo (CUNHA et al., 2002).

Klein (1998), avaliando o manejo de um Latossolo em semeadura direta, observou que os valores de resistência do solo sofriam elevada variação em função dos teores de água do solo.

A resistência à penetração é freqüentemente usada para a indicação comparativa do nível da compactação, em solos de mesmo tipo e teor de água, devido à facilidade e rapidez que numerosas medidas podem ser realizadas. Os resultados são normalmente expressos em termos de força por unidade de área do cone com dimensões padronizadas instalado na ponta da haste do penetrômetro ou penetrógrafo (LANÇAS; SANTOS, 1998).

A resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores (MITSUIKI, 2006).

Rosolem et al. (1999), estudando os efeitos das interações água, textura do solo e resistência à penetração sobre o crescimento de raízes de milho, verificaram que as resistências do solo à penetração da ordem de 1,3 MPa reduziram à metade o crescimento das raízes seminais adventícias do milho.

Stone e Silveira (1999), avaliando os efeitos dos sistemas de preparo em um Latossolo Vermelho, verificaram que o preparo com arado propiciou menores valores de resistência à penetração ao longo do perfil do solo. O preparo com grade condicionou uma camada mais compactada entre 10 e 24 cm de profundidade e em plantio direto, houve maior compactação até 15 e 22 cm.

Cavaliere et al. (2006), avaliando os efeitos de diferentes sistemas de preparo utilizados para o plantio da cultura da mandioca, nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m, de um Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram que os maiores valores de resistência à penetração foram obtidos no plantio direto, seguido do preparo reduzido e convencional e mais acentuado na camada subsuperficial.

Nash e Selles (1995), estudando os efeitos do tamanho de agregados, densidade do solo e resistência à penetração na velocidade de emergência do milho, verificaram que a melhor velocidade e uniformidade de emergência ocorreram com uma

densidade do solo em torno ou abaixo de  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ , com agregados de 4 mm e resistência à penetração menor do que 1,4 MPa.

Mello Prado et al. (2002), avaliando as alterações na resistência à penetração e na densidade do solo, em razão de sistemas de preparo do solo e diferentes épocas de amostragens, verificaram que os sistemas de preparo do solo afetaram significativamente a resistência à penetração e a densidade do solo nas profundidades estudadas. No solo submetido a longo período de pousio, a resistência à penetração sofreu aumento significativo, quando comparado ao solo sob cultivo intenso, independentemente do sistema de preparo de solo anteriormente utilizado.

Streck et al. (2004), utilizando dos atributos físicos para avaliar o efeito do tráfego de máquinas na alteração das propriedades físicas do solo sob plantio direto, verificaram que a resistência à penetração foi o parâmetro físico que melhor evidenciou o efeito do número de passadas do rodado da máquina sobre o solo.

Abreu et al. (2004) observaram que, dentre as propriedades físico-mecânicas analisadas, a resistência à penetração mostrou-se como a mais sensível para detectar a compactação em relação à densidade e porosidade do solo, especialmente para camadas pouco espessas.

Soza et al. (2003) verificaram que no Leste da Região dos Pampas, em um solo argiloso e compactado, com um índice de cone maior que 1,2 MPa, reduziu-se a emergência do trigo em 26%.

Silva et al. (2000c), avaliando a resistência mecânica do solo à penetração, nas zonas de tráfego e entre tráfego de uma colhedora de grãos, em dois sistemas de manejo e em duas condições de umidade do solo, verificaram que o conteúdo de água do solo influenciou nos valores absolutos de resistência mecânica à penetração. Os autores verificaram que maiores valores de resistência à penetração foram encontrados no sistema de plantio direto causado pelo acúmulo de pressões mecânicas a que o solo foi submetido anualmente. Entretanto, a produtividade da cultura da soja não diferiu entre os sistemas de manejo do solo.

A curva de compactação de um solo é a representação gráfica da variação da densidade do solo, compactado artificialmente em laboratório em função de seu grau de umidade, sendo características próprias em cada tipo de solo. Desse modo, não se

pode extrapolar um valor de umidade ótima de compactação de um solo para outro (CAMARGO; ALLEONI, 2006).

Segundo Dias Junior (2000), a influência da matéria orgânica na curva de compactação é evidente, devido ao seu alto poder de adsorção de água, o que dificulta a compactação do solo.

Novak et al. (1992) estudaram o comportamento da compactação através de diferentes pressões aplicada ao solo pelo tráfego de tratores, e com dois teores de água pré-estabelecidos pelo ensaio de proctor. Eles verificaram que os efeitos do tráfego e das pressões de contato estudados não elevaram a compactação do solo a níveis prejudiciais à porosidade de aeração, porém o aumento no teor de água no solo promoveu maior compactação.

A estabilidade de agregados constitui-se um importante parâmetro na avaliação do efeito de manejo na agregação de solos, sendo importante na definição dos indicadores da qualidade do solo (CAROLINO DE SÁ et al., 2000).

A formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos que, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais são envolvidas substâncias que agem na agregação e na estabilização (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

A agregação do solo pode sofrer alterações permanentes ou temporárias, demonstrando variação cíclica provocadas por práticas de manejo de solo e culturas. Essas alterações dependem da estabilidade dos agregados que podem ser resultado da ação de união mecânica por células e hifas dos organismos, dos efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou da ação estabilizadora dos produtos de decomposição que agem individualmente ou em combinação (BAVER et al., 1973).

A estabilidade é também fortemente afetada pela matéria orgânica do solo, devido à sua quantidade e qualidade e, especialmente, por ser o agente cimentante mais dependente do manejo de solo e plantas (REINERT; REICHERT, 2006).

A importância da argila e da matéria orgânica na estabilização dos agregados, frequentemente, sobrepõe-se à dos cátions o que reforça a importância da matéria orgânica na qualidade física de Latossolos subtropicais (CASTRO FILHO et al., 1998; CRUZ et al., 2003).

Diversos trabalhos relatam que, com o uso agrícola do solo, há uma diminuição na quantidade de agregados maiores que 2,0 mm. Com isso, a infiltração de água é menor e o solo se torna mais suscetível à erosão. Este efeito é mais intenso, quanto mais se trabalha o solo (BOGNOLA et al., 1998).

O diâmetro médio ponderado dos agregados é um índice que traduz a estabilidade dos agregados de toda a amostra. Sendo assim, a análise dos atributos que concorrem para seu aumento ou diminuição é uma síntese de todos os fatores que influenciaram cada classe de agregados (DUFRANC et al., 2004).

Wendling et al. (2005), objetivando estudar a influência de diferentes manejos na estabilidade de agregados, em um Latossolo Vermelho, observaram que o plantio direto aumentou os índices de agregação em relação ao preparo convencional, mas diminuiu em relação à mata nativa.

Moraes e Müller (2008), avaliando os efeitos a longo prazo da monocultura cana-de-açúcar na agregação de um Nitossolo em três condições de manejo (vegetação natural, cultivo da cana-de-açúcar durante 12 anos e 50 anos), verificaram que a estabilidade do solo foi maior nas áreas sob vegetação natural e semelhantes para as áreas de menor e a longo prazo.

Carpenedo e Mielniczuk (1990) verificaram que o sistema plantio direto propiciou maior estabilidade de agregados em relação ao preparo convencional com aração seguida de grade leve.

Lacerda et al. (2005) avaliaram o efeito do manejo do solo, na estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho Distroférrico, em três sistemas de manejo: mata, preparo convencional por 10 anos seguido de semeadura direta por 12 anos e preparo convencional por 22 anos. Neste estudo, não observaram diferenças significativas no diâmetro médio ponderado quando substituíram o preparo convencional pela semeadura direta, verificando que o mesmo foi menor para o preparo convencional quando comparado ao solo de mata.

Castro Filho et al. (1998), estudando as relações entre o teor de C-orgânico e o tamanho e estabilidade dos agregados do solo em dois sistemas de plantio (convencional e direto), verificaram que o sistema de plantio direto melhorou o estado de

agregação do solo com o incremento do teor de C-orgânico, sobretudo na camada de 0-10 cm, onde os valores de diâmetro médio ponderado foram significativamente superiores.

Corrêa (2002) avaliaram o efeito de diferentes sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. Verificaram que o plantio direto da soja, sobre a palhada do milho, proporcionou maior estabilidade de agregados do solo e a porcentagem de matéria orgânica correlacionou-se positivamente com a porcentagem de agregados estáveis em água, maiores que 2 mm, e com o diâmetro médio ponderado dos agregados.

Palmeira et al. (1999), comparando, com diferentes sistemas, o diâmetro médio ponderado dos agregados obtido no solo, mantido sem cultivo, verificaram que em relação a este atributo, houve uma redução de 1,11; 1,80 e 2,87 vezes para a semeadura direta, o sistema tradicional e convencional de arroz irrigado e o de sucessão e rotação de culturas, respectivamente.

Nos sistemas de plantio direto é notório os maiores valores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na camada superficial do solo, em relação às camadas mais profundas (SANTOS; TOMM, 2003; SIDIRAS; PAVAN, 1985).

Santos e Tomm (2003), estudando a disponibilidade de nutrientes em função de manejo de solo verificaram que o preparo convencional do solo com arado de discos e com preparo reduzido foram os que apresentaram maiores valores de pH na camada 0-50 mm de profundidade, quando comparados com a semeadura direta. Já nas camadas de 50-100 e 100-150 mm, os autores verificaram que os valores de pH foram superiores no preparo convencional do solo, quando comparados com aqueles obtidos nos tratamentos de semeadura direta e preparo reduzido.

Almeida et al. (2005) estudando as propriedades químicas de um Cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo verificaram que os teores de Ca foram mais baixos no sistema de preparo convencional com sucessão em relação aos da semeadura direta com rotação, o que parece apontar para um efeito positivo da rotação de culturas na semeadura direta em aumentar os teores de Ca neste sistema.

De acordo com Kluthcouski, et al. (2000) e Muzilli (1983) os principais nutrientes que se acumulam na superfície são o P,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$ .

### 4.3 Qualidade do solo

Nos últimos anos, novas estratégias têm sido desenvolvidas na obtenção de incrementos da produtividade agrícola associados à manutenção da qualidade do solo. No entanto, as terras agrícolas vêm perdendo a sua qualidade física decorrente dos processos de compactação a que estão sendo expostas, sendo fato comprovado que o manejo agrícola inapropriado resulta na deterioração da qualidade do solo (DEXTER, 1988; LIMA et al. 2004).

O conceito de qualidade do solo evoluiu até o final da década de 90, em resposta ao destaque dado ao enfoque holístico sobre a sustentabilidade da terra e de que a sua administração requer mais do que o controle da erosão (LIMA et al., 2007).

Doran (2002) entende por qualidade do solo a sua capacidade funcional, num ecossistema, de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a sanidade vegetal e animal.

Em qualquer ecossistema o solo tem uma função a desempenhar. Para Gregorich (2006), as funções primárias do solo são: sustentar a vida vegetal e animal, regular os fluxos de água, de gases e energia, tamponar ou filtrar contaminantes ambientais.

Segundo Karlen e Stott (1994), um índice quantitativo de qualidade do solo pode servir como indicador da capacidade do mesmo para a produção sustentável de plantas e de animais de forma economicamente viável, socialmente aceitável e ambientalmente amigável.

Segundo Zill et al. (2003), a indagação de como avaliar a perda de qualidade de um determinado solo, em função do manejo agrícola, é antiga, controversa e pertinente. A resposta mais adequada parece ser a utilização de características presentes no agroecossistema, que sejam indicativas do estado de qualidade do solo. Entre todos os indicadores, os relacionados à qualidade física dos solos possuem especial importância, visto que, quando deteriorada, é difícil de recuperar (IMHOFF, 2002).

De acordo com Karlen et al. (1997), a apreciação do impacto do manejo sobre qualidade de solo, exige uma análise do estado de um indicador atual em comparação com outro já conhecido. Indicadores físicos, como a quantificação da densidade,

da porosidade, da agregação e da resistência do solo à penetração, revelam grande importância no monitoramento da qualidade do solo (LIMA et al., 2007).

A qualidade do solo não pode ser medida diretamente, mas os atributos do solo, que são sensíveis às mudanças dos manejos, poderão ser usados como indicadores (ANDREWS et al., 2004), identificando, de preferência, aqueles que respondem rapidamente a essas mudanças (ROMIG et al., 1995).

O avanço sobre o estudo de qualidade do solo está atrasado, porque ainda não se tem um consenso desenvolvido para quantificar ou implementar um conjunto mínimo de dados para este tipo de avaliação (WANDER; BOLLERO, 1999). Uma das maiores dificuldades encontradas está na escolha de variáveis que sejam realmente sensíveis para detectar alterações em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo (LIMA et al., 2007).

Larson e Pierce (1994) e Gregorich et al., (1994) relatam que se deve definir um mínimo de dados dos atributos do solo, para ser selecionado, quantificado e aplicado para a avaliação da sua qualidade. Doran e Parkin (1996) propuseram uma série mínima de dados para caracterizar e monitorar a qualidade do solo. Os indicadores quantitativos de qualidade do solo, na série mínima de dados proposta, incluíam atributos do solo como: textura, profundidade e enraizamento, densidade, infiltração, curva característica de retenção da água, matéria orgânica, condutividade elétrica, N, P, e K extraível, biomassa microbiana e respiração.

A importância de um indicador depende do resultado de interesse (NISSEN; WANDER, 2006). Karlen e Stott (1994) selecionaram indicadores e apresentaram uma metodologia para estimar um índice de qualidade do solo que teve como função principal resistir à erosão hídrica. Segundo Souza et al. (2003), a metodologia proposta pode ser utilizada para avaliar e identificar problemas de manejo do solo dentro do enfoque de sustentabilidade, melhorar seus recursos e, conseqüentemente, orientar decisões relacionadas às correções a serem implementadas.

A metodologia empregada por Karlen e Stott (1994), também foi utilizada por Glover et al. (2000), avaliando três sistemas de produção de maçã no Estado de Washington/EUA. Os autores afirmaram que a metodologia apresentou flexibilidade e facilidade de utilização.

Souza et al. (2003), utilizando à mesma metodologia, com enfoque na produção vegetal, para a cultura do citros, concluíram que a metodologia empregada para estimar o índice de qualidade do solo, foi prática e adequada, permitindo, inclusive, identificar as funções principais, os indicadores limitantes e orientar intervenções, visando melhorá-los.

Hussain et al. (1999), buscando determinar um índice de qualidade do solo, para avaliar os efeitos de três sistemas de manejo, a longo-prazo, no Sul de Illionis/EUA, concluíram que o uso de um índice de qualidade do solo ajudou a combinar as informações obtidas através da medição de vários indicadores. Sendo, então, uma ferramenta que pode ser utilizada para melhorar decisões relacionadas ao manejo do solo.

Govaerts et al. (2006), utilizando-se de uma série mínima de dados (estabilidade de agregados, ponto de murcha permanente, resistência à penetração e indicadores químicos) para avaliação da qualidade do solo, cultivado durante 12 anos, com rotação de trigo e milho, em diferentes práticas de manejo, observaram que o plantio direto sem remoção dos resíduos das culturas melhorou as condições físicas e químicas do solo. Ao contrário, o plantio direto com remoção dos resíduos das culturas favoreceu ao elevado acúmulo de Mn no solo, à baixa estabilidade dos agregados, à elevada resistência, à penetração, à baixa infiltração de água e aos valores elevados de enxurradas.

Moraes et al. (2002), avaliaram dois sistemas de manejo para um Nitossolo Vermelho: a) preparo convencional (uma aração e duas gradagens pesadas), por 20 anos, para a cultura do milho; b) preparo convencional (uma aração e duas gradagens pesadas), por 13 anos, seguido de semeadura direta por sete anos, com aveia-preta como cultura de inverno e milho como cultura de verão; c) e floresta nativa (testemunha). Nesta pesquisa, concluíram que a substituição do preparo convencional pela semeadura direta melhorou a qualidade física do solo.

Costa et al. (2006) avaliando a qualidade de um Latossolo Vermelho, submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto, verificaram que a qualidade do solo, em ambos os sistemas de cultivo foram similar quanto aos atributos físicos, mas em relação aos atributos químicos, a sua capacidade de troca catiônica foi mais alta no solo sob plantio direto.

Um sistema de manejo somente poderá ser considerado sustentável se ele mantiver ou melhorar a qualidade do solo, não comprometendo a qualidade ambiental além



de um nível que seja aceitável pela sociedade. Somente entendendo e promovendo a qualidade do solo, é que se poderá garantir, às gerações futuras, no grau requerido, a proteção ambiental e a utilização dos solos de uma forma proveitosa (COGO et al., 2003).

#### **4.4 Manejo do solo**

O surgimento de novas variedades de plantas cultivadas, o desenvolvimento de agentes químicos agrícolas, a mecanização e a tecnificação do sistema de produção resultaram, por períodos limitados, em rendimentos e lucros excepcionais para os agricultores. Porém, isso foi obtido, na maioria dos casos, à custa de danos irreversíveis ao meio ambiente, ocasionando a erosão dos solos, a diminuição da qualidade ambiental e dos gêneros alimentícios produzidos. O desmatamento sem critério, a título de expansão de fronteira agrícola, tem produzido catástrofes sem precedentes e de recuperação socialmente onerosa (BERNER, 1995).

O gerenciamento dos recursos e de operações que visam melhorar e/ou manter os atributos do solo e viabilizar a sustentabilidade da agricultura constitui o manejo do solo (HERNANI; SALTON, 1998). De acordo com Ralisch (1999), a qualidade do manejo físico do solo realizado, deve ser analisada em três níveis: o estado inicial do solo, ou seja, a situação do solo que será manejado; o manejo realizado e as condições de realização e; o estado final do solo, ou seja, os efeitos do manejo que podem ser os previstos e esperados, mas que também, podem ser diferentes do planejado, o que é bastante comum, levando à degradação física.

A constante mobilização do solo de forma inadequada, principalmente em sistemas intensivos de exploração agrícola, leva à degradação de sua estrutura. Essa condição física alterada do solo pode ocasionar diminuição da produtividade das culturas, em vista da complexidade dos fenômenos que envolvem as relações solo-planta-atmosfera (RODRIGUES, 2001). O solo não deve ser considerado simplesmente como meio de produção. O respeito às suas características e condições, no momento do manejo, são fundamentais para sua preservação e exige uma abordagem holística de suas características, fazendo com que este recurso natural faça parte do sistema de produção empregado (RALISCH, 1999).

A adoção, recente no Brasil, de sistemas conservacionistas de manejo do solo agrícola, baseados na exclusão parcial ou total das operações de mobilização superficial do solo (aração e gradagem), trouxe uma preocupação adicional quanto à redução do risco de compactação causada pelo tráfego, uma vez que aquelas operações permitiam, dentre outras funções, eliminarem periodicamente, camadas superficiais compactadas (ARAÚJO, 2004).

Toda operação agrícola altera as condições do solo em maior ou menor intensidade dependendo do estado inicial do mesmo e das características das máquinas, entretanto, a importância dessas alterações depende, em grande parte, da reação das plantas ao novo ambiente estabelecido para seu desenvolvimento (ARAÚJO, 2004).

A transição dos sistemas convencionais para os sistemas conservacionistas esbarram em dois grandes obstáculos: o conceitual e o operacional. Para romper a barreira conceitual, o caminho mais eficaz é a conscientização conservacionista que tem como melhor aliada a informação técnica-agronômica. A etapa final do convencimento, normalmente, se dá por meio de visitas a produtores que já possuem o sistema implantado, com resultados agronômicos e financeiros que justifiquem técnica e economicamente a adoção do manejo conservacionista, estimulando o produtor do sistema convencional a experimentá-lo (COELHO, 1998).

Na agricultura mecanizada, o preparo do solo é uma operação básica, caracterizada por objetivos complexos, elevado número de métodos e grande diversidade de opiniões. Em muitos casos, a utilização das práticas de preparo do solo são mais influenciadas pela tradição e intuição, do que por uma análise mais racional (GAMERO, 1991).

Diversos tipos de preparo do solo são estudados com o fim de verificar a manutenção da fertilidade, o controle da erosão, a redução do custo das operações e proporcionar maior renda ao agricultor, com manejo sustentado do solo (RODRIGUES, 2001).

A escolha de um sistema de preparo é extremamente complexa, principalmente devido às variações dos tipos de solos, teores de água, coberturas vegetais sobre a superfície, culturas a serem implantadas, níveis tecnológicos, método de conservação, entre outras (FURLANI, 2000). No entanto, o preparo mais adequado deve ser decisivo para a escolha dos equipamentos a serem empregados e não o contrário (GAMERO et al., 1997).

Devido a essa crescente necessidade de tecnologias eficientes para a conservação dos recursos naturais e mais agudamente dos solos cultivados, tem-se buscado opções de sistemas de preparo do solo que provoquem menor desagregação e conservem maior quantidade de cobertura vegetal morta na superfície, a fim de reduzir o processo erosivo (FIGUEIREDO, 1991).

Benez (1972) caracteriza o preparo convencional como sendo de alto grau de mobilização e desagregação do solo com o intuito de obtenção de uma sementeira sem obstáculos, possuindo o inconveniente de compactá-lo, destruir a estrutura, reduzir a infiltração, aumentar a erosão, favorecer o crescimento das plantas invasoras e, principalmente, proporcionar alto custo quando comparado ao sistema de cultivo mínimo.

Com a crescente preocupação dos pesquisadores e agricultores em preservar os recursos naturais, principalmente o solo, torna-se necessário minimizar a mobilização do mesmo e manter quantidades razoáveis de resíduos vegetais sobre as superfícies do terreno. Assim surgiram novos equipamentos, como é o caso do escarificador, que, em relação ao preparo convencional, desagrega menos o solo e mantém maior quantidade de resíduos vegetais na superfície (FURLANI, 2000).

Os preparos conservacionistas de solo reduzem a erosão hídrica em relação aos preparos convencionais, visto que são menos intensos e mantêm o solo coberto por maior período de tempo (STURNER et al., 2005).

De acordo Mazuchowski e Derpsch (1984), escarificar significa romper o solo da camada arável, até o máximo de 25 a 30 cm, utilizando implementos chamados escarificadores para o preparo primário do solo.

O preparo do solo com escarificador pode manter e até melhorar a parte física, por desagregar o mínimo possível a sua estrutura e preservar uma cobertura morta capaz de proteger, até certo ponto, a superfície da radiação solar e do impacto das gotas da chuva (DERPSCH, 1984).

Para Gadanha Junior et al. (1991), o escarificador é um implemento que promove a desagregação do solo, sendo utilizado, também, para o rompimento de camadas compactadas. Além de permitir economia de combustível, a escarificação proporciona uma melhor conservação do solo e uma maior capacidade operacional do sistema, permitindo, assim, uma economia de tempo e dinheiro (MAIA, 1999).

A escarificação é um sistema de preparo que revolve pouco o solo, porque é realizado com implementos de hastes estreitas. Permite, pois, que o solo permaneça coberto com resíduos de culturas, protegendo-o contra a erosão (FIGUEIREDO, 1991).

Pela forma de trabalhar, o escarificador pulveriza menos o solo do que o arado, deixando sem enterrar a maior parte dos resíduos vegetais (MAZUCHOWSKI; DERPSCH, 1984).

As operações de preparo do solo, como a escarificação, criam um microrelevo na superfície, sendo o índice de rugosidade superficial do mesmo, o critério mais utilizado para a sua determinação. Essas alterações afetam o escoamento superficial e o armazenamento temporal de água. A escarificação esporádica do solo sob plantio direto tem se apresentado como uma alternativa para minimizar os efeitos da compactação, especificamente em períodos de deficiência hídrica (CAMARA; KLEIN, 2005; VASQUEZ; DE MARIA, 2003).

Derpsch et al. (1984), avaliando diferentes implementos de preparo do solo, verificaram que os escarificadores foram os que deixaram o solo mais protegido com resíduos de culturas. Na avaliação da porcentagem de resíduos presentes na superfície do solo, após o preparo, deixaram 77%, contra 31 e 37% apresentados nas operações com grade pesada e arado de disco, respectivamente.

Lopes et al. (2005), utilizando-se de um escarificador de sete hastes, trabalhando na profundidade média de 30 cm, acoplado a um trator John Deere, com potência de 88,2 kW, encontrou uma potência média na barra de tração de 22,66 kW, trabalhando na velocidade 3,18 km h<sup>-1</sup>.

Com o objetivo de diminuir os custos operacionais e reduzir a movimentação do solo, muitos agricultores estão substituindo o preparo de solo convencional pelo sistema de plantio direto. Este sistema fundamenta-se na mínima mobilização do solo, no uso de herbicidas para o controle de plantas invasoras, formação de cobertura vegetal no solo, rotação de culturas e uso de semadora-adubadora específica. A maior retenção de água no solo, ocasionada pelo sistema plantio direto, pode aumentar a compactação devido ao tráfego de máquinas. Com isso, se faz necessário o uso de hastes sulcadoras em semeadoras-adubadoras para romper esta camada superficial compactada (SILVA; BENEZ, 2005).

Embora a operação executada seja uma semeadura, o sistema foi denominado pela Federação de Associações de Plantio Direto na Palha de “plantio direto”, por ser a nomenclatura popular (DALLMEYER, 2001).

Cada vez mais presente na agricultura brasileira, o plantio direto ocupa uma área de aproximadamente 25 milhões de hectare. É um método que visa maior conservação do solo e diminuição do tráfego de máquinas com mobilização mínima do solo, mantendo a sua cobertura vegetal. Como nesse sistema a semeadora é a única máquina responsável pela mobilização do solo, seus mecanismos de abertura do sulco devem apresentar desempenho satisfatório, boa qualidade de semeadura e demanda de potência otimizada (GERMINO, 2004). Uma técnica que vem sendo adotada pelos produtores é a substituição (nas semeadoras) dos discos duplos para deposição de adubos pelas hastes sulcadoras em maiores profundidades, com o objetivo de romper, caso exista, as camadas de solo compactadas e adiando o uso de escarificadores. Devido ao menor embuchamento de palha e menor mobilização do solo, o disco duplo é o mecanismo mais utilizado pelos produtores rurais (GERMINO, 2004).

O preparo adequado do solo proporciona equilíbrio nas suas condições físicas, químicas e biológicas, com reflexos no aumento da produtividade das culturas e na manutenção das condições naturais do solo (RODRIGUES, 2001).

As operações de preparo do solo estão entre as técnicas que freqüentemente melhoram as produções das culturas, mas devem ser adaptadas às condições específicas para um distinto sistema de produção (FURLANI, 2000). Para tanto há uma quantidade razoável de equipamentos diferentes disponíveis e uma gama de regulagens que cada implemento dispõe para se adequar às situações e às necessidades. O conhecimento destes aspectos, de seus efeitos, dos objetivos, das condições em que se realizarão os trabalhos e a forma de realizá-los, auxiliará no sucesso das safras sucessivas e na preservação do solo (RALISCH, 1999).

Figueiredo (1991), objetivando determinar as diferenças existentes entre o preparo reduzido do solo utilizando três hastes (uma haste flexível e ângulo de ataque de 20° e duas hastes rígidas, com ângulos de ataque de 45° e 65°), duas profundidades de operação (17 e 27 cm), e o convencional (uma aração e duas gradagens), observou que,

independentemente dos tipos de hastes, ângulos de ataque e profundidades de trabalho, o preparo reduzido proporcionou uma cobertura de solo superior ao sistema convencional.

Furlani (2000), estudando a combinação de três sistemas de preparo do solo (convencional, composto por uma aração e duas gradagens niveladoras; reduzido com escarificador; solo não preparado/semeadura direta) na cultura de inverno, utilizando o consórcio de aveia preta (*Avena strigosa* Shreb.) e o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e na cultura de verão, utilizando o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), observou que a cobertura do solo pelos restos das culturas de inverno, após a semeadura da cultura do feijoeiro, foi 76% para o sistema de semeadura direta, 37 e 8% para os preparos reduzido e convencional, respectivamente.

Boller et al. (1996) avaliaram os efeitos de três sistemas de preparo do solo (aração seguida por duas gradagens; mobilização com enxada rotativa e; escarificação com escarificador conjugado com discos para corte de palhada e rolo destorroador) e quatro condições de cobertura do solo antes do preparo. Os autores verificaram que a cobertura do solo foi maior após a escarificação e este preparo permitiu, também, maior diâmetro médio geométrico dos agregados.

Siqueira (1999) estudando três tipos de preparo do solo observou menores percentagens de cobertura, quando se comparou os preparos do solo utilizando o arado de disco e de aiveca com o preparo reduzido.

Modolo et al. (2004) estudando a uniformidade de distribuição de sementes de milho verificaram tendência no aumento dos espaçamentos entre sementes, em função na elevação das velocidades de deslocamento.

Levien e Gamero (2000) verificaram que o preparo convencional (arado de disco seguido de duas grades leves) promoveu, em média, redução de 85% na porcentagem de cobertura do solo com aveia preta. Os autores observaram que aos dez dias, após da semeadura do milho, os tratamentos com preparo convencional e plantio direto apresentaram população de plantas superior ao preparo reduzido.

Salvador e Benez (1993) verificaram que, dentre as operações de preparo do solo, aquela realizada com arado de disco exigiu maior demanda de energia, seguida da grade pesada e escarificador, porém o escarificador apresentou tendência de menor consumo de combustível e demanda de potência por unidade de área mobilizada.

Levien (1999) verificou que o preparo convencional (arado de disco seguido de duas gradagens leves) resultou em maior demanda de potência e consumo de combustível nas operações de preparo do solo em comparação ao plantio direto, apresentando uma posição intermediária em relação à operação de escarificação. Durante os dois anos de condução deste ensaio em um Nitossolo Vermelho Distroférico, o tratamento com preparo convencional apresentou maior produtividade de grãos de milho.

Levien et al. (2003), avaliando o desempenho operacional dos métodos de preparo de solo, observaram que a capacidade operacional no preparo reduzido do solo (escarificação) foi três vezes maior, bem como demandou 21% menos potência e 52% menos combustível, por área trabalhada, do que quando comparado com o preparo convencional.

Rodrigues e Gamero (2006), comparando sistemas de manejo do solo e coberturas vegetais, através da capacidade de campo efetiva, consumo horário e operacional de combustível, verificaram que o sistema plantio direto foi o que apresentou os melhores índices, independentemente das coberturas vegetais estudadas.

Possamai et al. (2001), com o objetivo de analisar o manejo do solo e a cultura do milho safrinha na região de Viçosa-MG, estudaram os efeitos dos sistemas: semeadura direta, preparo do solo com arado de aivecas, arado de discos, grade pesada e enxada rotativa, sobre a produtividade e características agronômicas do milho safrinha em sucessão ao feijão das águas. Os autores verificaram que o sistema de semeadura direta proporcionou um menor número de dias para florescimento, aumentando a população de plantas, o diâmetro do colmo, a altura de plantas, a altura de inserção da primeira espiga, o número de espigas por hectare, o índice de espigas de milho e a produtividade, sendo, portanto, o mais indicado para o cultivo do milho safrinha na região.

Bertol e Fische (1997), avaliando diferentes sistemas de preparo conservacionista do solo na cultura da soja, verificaram que o escarificador com rolo destorroador promoveu o maior rendimento de grãos, porém o tratamento que obteve a melhor taxa de retorno foi o da semeadura direta.

Almeida (1992), comparando a produtividade da soja no preparo convencional, reduzido e plantio direto, observou que a produtividade obtida em preparo convencional foi superior à do preparo reduzido e à do plantio direto.

Stone e Silveira (1999), estudando os efeitos dos sistemas de preparo em um Latossolo Vermelho no comportamento do feijoeiro, observaram que a maior produtividade foi no plantio direto e se deveu, entre outros fatores, aos menores valores e à menor variação ao longo do ciclo da tensão matricial da água.

Pereira (1996), avaliando a cultura da soja submetida aos sistemas de plantio direto e convencional, concluiu que o sistema de plantio direto proporcionou melhor crescimento e produtividade da cultura da soja.

Wendt et al. (2005), avaliando a cultura do girassol em dois métodos de preparo do solo (convencional e plantio direto), observaram que os métodos de preparo de solo não influenciaram nas características agrônômicas e rendimento de grãos do girassol.

Silva et al. (1997), estudando sistemas de manejo do solo (convencional e plantio direto), na cultura do girassol, concluíram que o rendimento de aquênios de girassol não é afetado pelos diferentes sistemas de manejo.

Botta et al. (2006), durante dois anos de pesquisa, comparando o rendimento do girassol em dois métodos de preparo: escarificação a 280 mm e subsolagem a 450 mm de profundidade; e, o controle, que foi arado de disco a 180 mm de profundidade, seguido de grade leve, verificaram que o preparo com subsolagem, se diferenciou e obteve maior produtividade, seguido do preparo com escarificação, que não diferenciou do convencional.

Fernandes et al. (1998), estudando diferentes preparos na cultura do milho, concluíram que o sistema plantio direto proporcionou maior atividade biológica na profundidade de 0 - 7,5 cm, com melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e maiores produções de palhada e grãos de milho, em relação ao preparo convencional com arado de disco e aiveca.

Fernandes et al. (2007), estudando diferentes sistemas de manejo na cultura do girassol verificaram que os valores de produtividade não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo utilizados.



#### 4.5 Semeadoras-adubadoras de precisão para semeadura direta

Desde os tempos mais remotos, as operações de preparo de solo eram realizadas com a sua movimentação, visando oferecer às sementes as condições que, teoricamente, seriam as melhores para o seu desenvolvimento (BALASTREIRE, 1987).

O processo produtivo agrícola, fundamentado na produção de grãos por meio de sistemas sustentáveis, com o uso de práticas conservacionistas adequadas, exige o desenvolvimento de máquinas e equipamentos agrícolas cada vez mais eficientes e precisos. Nesse contexto, estão enquadradas as semeadoras, que passaram a assumir importância fundamental nesse moderno sistema de produção (MODOLO et al., 2005).

De acordo com Gadanha Júnior et al. (1991), semeadura é a operação de implantação de culturas que utilizam sementes como órgãos de propagação. As semeadoras apropriadas para sementes graúdas, que depositam no espaçamento recomendado, são denominadas como semeadoras de precisão.

A semeadura de precisão é definida como a colocação de sementes no solo no espaçamento recomendado para o desenvolvimento das plantas (SINGH et al., 2005). Para que a cultura possa atingir o potencial máximo de produtividade, é preciso que as semeadoras-adubadoras estejam adequadamente dimensionadas e reguladas de modo que as sementes sejam satisfatoriamente distribuídas em termos de profundidade, posição na linha de semeadura e número de sementes; as sementes mantenham sua qualidade ao passarem pelo mecanismo dosador; o adubo seja distribuído em quantidade, posição e profundidade desejada; seus mecanismos distribuidores não sejam afetados pelas possíveis variações da velocidade, do micro-relevo e da declividade (MAHL et al., 2001).

Conseguir uma ótima emergência das plântulas que permita chegar até a colheita com adequado número de plantas é a base para melhorar o cultivo (REIS; ALONÇO, 2001).

A distribuição uniforme das sementes na linha de semeadura também contribui para um bom desenvolvimento do estande inicial (KURACHI et al., 1989). A correta dosagem de sementes e fertilizantes pela semeadora é uma importante etapa no processo de semeadura, enquanto o processo eficiente de dosagem de sementes consiste na sua distribuição uniforme, de acordo com os padrões recomendados para a cultura (MERCANTE et al., 2005).

A distribuição qualitativa e quantitativa da semente de girassol deve ser eficiente, de modo a conseguir deposição uniforme no sulco de semeadura, em profundidade e distância entre as sementes. A semente de girassol apresenta grande variabilidade no tamanho, tanto em largura, como em espessura e comprimento. Em um mesmo capítulo de girassol, híbrido ou variedade de polinização livre, as variações são muito grandes, o que dificulta uma adequada calibração dos sistemas dosadores mecânicos ou pneumáticos (SILVEIRA et al., 2005a).

O desempenho das semeadoras, quanto à eficiência de distribuição longitudinal de sementes aceitáveis (0,5 a 1,5 vezes o espaçamento desejado), são classificadas de acordo com Tourino e Klingensteiner (1983) em: desempenho ótimo com 90 a 100%, bom com 75 a 90%, regular com 50 a 75% e insatisfatório abaixo de 50%.

Segundo Reis (2001), o bom desempenho de uma semeadora-adubadora, quanto à precisão de semeadura, é afetado por erros de dosagem, deposição, profundidade e acondicionamento de sementes, dependendo da eficiência de todos os componentes da máquina e não somente do mecanismo dosador.

Devido à grande diversidade de solos encontrados nas diferentes regiões do país, é inviável que uma máquina possibilite, em todos os casos, um bom contato do solo com a semente (KOAKOSKI et al., 2007), e que, um único mecanismo distribuidor propicie um melhor desenvolvimento inicial da cultura (REIS et al. 2006; REIS et al., 2004).

Segundo Klein et al. (2002), as máquinas dotadas de mecanismo dosador de disco horizontal devem ser operadas a uma velocidade máxima de 5 km h<sup>-1</sup>; em velocidade superior, o preenchimento das células ou furos é problemático, podendo aumentar as lesões nas sementes. O ideal seria operar à velocidade de 4 km h<sup>-1</sup>, ou menos.

Santos et al. (2003) observaram que quanto maior a velocidade de deslocamento, menor será a porcentagem de enchimento dos discos dosadores.

Segundo Casão Junior et al. (1999), para avaliar o bom desempenho da semeadora, deve-se obter informações como corte de palha, profundidade de semeadura e aplicação de fertilizantes, volume de solo mobilizado no sulcamento, cobertura do sulco, velocidade de emergência da cultura e população final das plantas.

Um dos principais fatores que contribuem para o sucesso da cultura do girassol é o estabelecimento de uma população de plantas adequada e uniformemente distribuída (EMBRAPA, 1983).

Mahl et al. (2004), estudando, na semeadura da cultura do milho, a demanda energética e a eficiência da distribuição de sementes de uma semeadora-adubadora para semeadura direta, submetida à variação de velocidade e condições de solo, verificaram que a variação da velocidade não interferiu no estande inicial de plantas.

Ao avaliar o efeito da velocidade de semeadura sobre a população de plantas, distribuição longitudinal e produção de grãos de milho, Fey e Santos (2000) observaram uma relação linear decrescente entre a velocidade média de semeadura e a população de plantas de milho, número de espigas, espaçamentos aceitáveis entre plantas e produtividade de grãos de milho.

Fey et al. (2000) também afirmaram que o aumento da velocidade na operação de semeadura de milho influenciou a uniformidade de distribuição longitudinal de plantas, porém não afetou a população de plantas e a produtividade de grãos.

Mantovani et al. (1992), avaliando a eficiência operacional de nove semeadoras-adubadoras de milho, observaram que todas as semeadoras foram sensíveis ao aumento da velocidade de deslocamento quanto à uniformidade de distribuição da semente.

Ao avaliar a população e distribuição de plantas, em 48 propriedades agrícolas e em sistema de plantio direto, com a cultura do milho, Schimandei et al. (2006) concluíram que o processo de semeadura é eficiente, quanto à população de plantas desejada, nas 48 propriedades. Já a grande variabilidade encontrada na distribuição de plantas, na linha de semeadura, sugere a necessidade de ações de pesquisa e extensão junto aos produtores.

Garcia et al. (2006), estudando a influência da velocidade de deslocamento na semeadura de milho, variando de 3,0 a 9,0 km h<sup>-1</sup>, verificaram que há aumento na percentagem de espaçamentos falhos e múltiplos e queda de espaçamentos aceitáveis ao se elevar a velocidade de semeadura. A produtividade só foi afetada quando a população de plantas com espigas foi reduzida pelo incremento de velocidade.

Portella et al. (1998) estudaram o efeito da velocidade de trabalho das semeadoras sobre o desempenho de mecanismos dosadores na semeadura de milho. Nessa pesquisa os autores utilizaram 12 semeadoras, estudando quatro velocidades de deslocamento,

verificando, que o melhor mecanismo foi o dosador alveolado horizontal, na velocidade de deslocamento de  $3,7 \text{ km h}^{-1}$ .

Furlani et al. (1999), estudando tipos de preparo do solo e velocidades de semeadura, para a cultura do milho, verificaram que o preparo convencional e a menor velocidade ( $3 \text{ km h}^{-1}$ ), favoreceram valores maiores da altura das plantas, diâmetro dos colmos e produtividades.

Cortez et al. (2005), Rahman e Chen (2001), Silva et al. (2000b), Lanças e Benez (1988) e Coelho (1988) não encontraram aumento proporcional na força de tração devido ao aumento na velocidade de operação da semeadora. Já Mahl (2006) e Silva (2000b) constataram que houve aumento nos valores da força de tração na maior velocidade.

Furlani et al. (2005b), avaliando o desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora de quatro linhas, variando as marchas do trator ( $5,9 \text{ km h}^{-1}$  e  $7,0 \text{ km h}^{-1}$ ) e o preparo do solo (convencional, reduzido e plantio direto), observaram que a potência e a força de tração na barra, na operação de semeadura, não foram influenciadas pelos fatores marcha do trator e preparo do solo.

Segundo Nagaoka e Nomura (2003), as semeadoras-adubadoras usadas para plantio direto, em altas velocidades, poderão abrir sulcos maiores, revolvendo faixa mais larga e se não obtiverem suficiente compressão do solo pela roda compactadora, este será um dos inconvenientes de se aumentar a velocidade.

Mello et al. (2007), avaliando o espaçamento entre plântulas e a produtividade de dois híbridos de milho (simples e duplo), em função de três velocidades de semeadura ( $5,4$ ;  $6,8$  e  $9,8 \text{ km h}^{-1}$ ), em um Latossolo Vermelho Eutroférico, submetido ao preparo convencional, evidenciaram que o aumento da velocidade do conjunto trator/semeadora-adubadora reduziu a produtividade de grãos para o híbrido simples, mas não interferiu na produtividade do híbrido duplo. O aumento da velocidade, na operação de semeadura, reduziu a percentagem de espaçamentos normais entre as plântulas, independentemente do híbrido estudado.

Casão Junior et al. (2000), avaliando o desempenho operacional e a demanda energética de uma semeadora-adubadora MAGNUM 2850 PD, com duas velocidades de trabalho de  $4,5$  e  $8,0 \text{ km h}^{-1}$ , com a finalidade de oferecer subsídios para seu aperfeiçoamento, de acordo com as condições socioeconômicas e edafoclimáticas das

propriedades rurais do Paraná, concluíram que quando a velocidade de operação aumentou, a uniformidade de espaçamentos considerados aceitáveis foi prejudicada, o que indica erros de deposição das sementes.

Furlani et al. (2005a), avaliando o desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão, em três sistemas de preparo e em três marchas de trabalho, na cultura do milho, verificaram que no preparo reduzido do solo, a operação de semeadura apresentou maior consumo de combustível, menor velocidade de deslocamento, menor capacidade de campo efetiva e maior patinagem. Em preparo convencional e plantio direto, a semeadora-adubadora apresentou bom desempenho, independentemente da marcha utilizada.

Portella e Fagnello (1997), estudando a cultura da soja em plantio direto, observaram que houve redução no índice de emergência de plântulas (número de sementes depositadas/número de plântulas emergidas) de até 18%, com aumento da velocidade de deslocamento, caracterizando ser ao redor de 6 km h<sup>-1</sup> a melhor velocidade de trabalho de semeadura.

Silva et al. (2000a), estudando o desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho, em quatro velocidades de deslocamento (3, 6, 9 e 11,2 km h<sup>-1</sup>), num Latossolo Roxo Eutrófico com plantio direto por 12 anos, verificaram que o número de plantas de milho na linha de semeadura foi menor nas maiores velocidades de operação da máquina. A uniformidade dos espaçamentos entre as sementes de milho na linha de semeadura foi considerada excelente para velocidade de 3 km h<sup>-1</sup>, regular para 6 e 9 km h<sup>-1</sup> e insatisfatória para 11,2 km h<sup>-1</sup>. As velocidades da semeadora-adubadora de até 6 km h<sup>-1</sup> propiciaram maiores estandes de plantas e número de espigas por metro e foram responsáveis pelos maiores rendimentos de grãos.

Ao avaliar a eficiência operacional de nove semeadoras-adubadoras de milho, Mantovani et al. (1992) observaram que as velocidades ensaiadas, independente do equipamento, não apresentaram efeito significativo sobre a profundidade de plantio.

Tritin et al. (2005), avaliando a demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de deslocamento, em Latossolo Vermelho Distrófico, constataram o efeito da velocidade sobre o consumo horário de combustível, a potência média e a máxima e capacidade operacional. Os autores

não observaram efeito da velocidade para a força de tração média e máxima e patinagem do rodado traseiro.

Silveira et al. (2005b) estudando o requerimento de força de tração em duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de sementes de uma semeadora de fluxo contínuo com 14 linhas, na semeadura da aveia preta, verificaram que o aumento da velocidade de deslocamento de  $5,24 \text{ km h}^{-1}$  para  $7,09 \text{ km h}^{-1}$ , provocou acréscimo de 6,90% no requerimento de força de tração na barra.

Furlani et al. (2004), avaliando o desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão, em condições de campo, empregando três métodos de preparo do solo, verificaram que os valores de força e pico de força de tração na barra, patinagem dos rodados motrizes e consumo de combustível foram maiores no preparo com escarificador do que os obtidos no preparo convencional e na semeadura direta. Observaram, também, que a capacidade de campo efetiva foi maior na semeadura direta em relação aos demais tratamentos.

Oliveira (1997), estudando dois tipos de solo e três coberturas vegetais, no desempenho do conjunto trator/semeadora-adubadora, observou um incremento na demanda de potência e no consumo horário de combustível com o aumento da velocidade de deslocamento de  $5,0$  para  $7,0 \text{ km.h}^{-1}$ , tanto para o Latossolo quanto para o Argissolo.

Ao avaliar o desempenho de uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo, Furlani et al. (2002) concluíram que a potência exigida na barra foi maior no preparo do solo escarificado do que no preparo convencional e no plantio direto.

Levien (1999), estudando condições de cobertura e métodos de preparo do solo para implantação da cultura do milho, observou que a força de tração média exigida na semeadura do milho foi significativamente superior no preparo reduzido (8,54 kN), seguido do convencional (7,76 kN) e plantio direto (6,74 kN). A potência média foi maior no preparo reduzido (11,5 kN) e menor no plantio direto (9,9 kN), ficando o convencional (10,7 kN) em posição intermediária.

Silva et al. (2000b) verificaram que a força de tração média requerida na barra de tração de uma semeadora não sofreu variação significativa com a variação da velocidade e que, o maior requerimento de força de tração ocorreu na maior velocidade de deslocamento.

Bortolotto et al. (2006), avaliando a demanda energética requerida por uma semeadora-adubadora disponível comercialmente para plantio direto, submetida a quatro velocidades de deslocamento (4,7; 5,4; 6,5 e 7,2 km h<sup>-1</sup>) na implantação da cultura da soja, verificaram que a força de tração média, a potência média e o consumo horário de combustível, foram maiores com o aumento da velocidade.

Ao estudar diferentes sistemas de manejo Mahl (2006), Cortez et al. (2005), Furlani et al. (2005b) e Camilo et al. (2004), verificaram que o consumo horário de combustível foi diretamente proporcional à medida que se aumentou a velocidade de semeadura.

Silveira et al. (2005c), avaliando a demanda de potência e a força de tração de uma semeadora-adubadora, na implantação da cultura do milho safrinha sob plantio direto, verificaram que o aumento na velocidade de deslocamento não afetou a profundidade do sulco, a força de tração média e específica, mas a profundidade de deposição das sementes foi afetada. As demandas de potências médias por unidade de semeadura e específicas foram afetadas pelo aumento na velocidade de deslocamento.

Ao avaliar o desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e das velocidades de deslocamento Furlani et al. (2008) observaram que o sistema plantio direto e a maior velocidade (6 km h<sup>-1</sup>) demandou maior força, potência e consumo horário de combustível.

#### **4.6 Mecanismos sulcadores das semeadoras-adubadoras de precisão**

No sistema plantio direto, a semeadura é feita com revolvimento do solo somente na linha onde a semente será depositada. O sucesso do desenvolvimento da cultura, nesse processo, bem como sua produção, depende, em parte, do ambiente do solo em torno da semente por ocasião da semeadura. Os principais fatores físicos desse ambiente, como temperatura, umidade e aeração, são diretamente influenciados pelo tipo de mecanismo de abertura do sulco (REIS et al., 2006).

Segundo Cepik et al. (2005), na semeadura direta tem-se por objetivo produzir sulcos satisfatórios com o uso de um mesmo tipo de sulcador, numa mesma

configuração e regulagem, nas mais diversas condições de umidade e graus de consolidação do solo.

Os sulcadores, como o próprio nome indica, são ferramentas destinadas a abrir sulcos no solo para a colocação da semente, dos adubos ou mesmo dos defensivos agrícolas, a uma profundidade adequada para cada espécie vegetal, mantendo entre estes as distâncias pré-estabelecidas (BALASTREIRE, 1987).

Na operação de semeadura devem ser abertos sulcos com largura e profundidade mínimas, de forma a proporcionar economia de potência e, ao mesmo tempo, garantir a adequada deposição do fertilizante e das sementes e o bom desenvolvimento das plantas (SIQUEIRA; CASÃO JÚNIOR, 2004).

Quando se utiliza diferentes mecanismos de abertura do sulco, como disco duplo e haste sulcadora do tipo facão, espera-se que ocorram diferenças na relação solo-semente e na qualidade da semeadura (REIS et al., 2006).

Nos últimos cinco anos, a utilização de haste sulcadora para deposição do adubo em detrimento dos discos duplos vem crescendo entre os agricultores. Basicamente, a explicação resume-se no fato do mecanismo tipo haste romper melhor as camadas compactadas e também por trabalharem melhor em solos mais argilosos (SANTOS et al., 2008).

A alta resistência à penetração dos componentes rompedores em solos basálticos, associada à sua grande retenção de umidade, tem exigido constantes adaptações dessas máquinas à realidade regional (CASÃO JÚNIOR et al., 2000).

Broch et al. (2000) afirmam que para cada tipo de solo e dependendo da textura, da quantidade de resíduos vegetais, da compactação e da fertilidade, há uma configuração nas combinações de discos de corte e sulcadores para permitir a maior eficiência na distribuição de sementes e fertilizantes garantindo uma melhor qualidade de semeadura.

Os sulcadores são elementos importantes nas semeadoras-adubadoras de precisão para a semeadura direta uma vez que, a adequação da máquina a uma dada condição operacional, que pode ou não ser regionalizada, é verificada por meio da correta seleção dos sulcadores a serem empregados (COELHO, 1998).

O plantio direto tem por objetivo produzir sulcos com o uso de um mesmo tipo de sulcador, numa mesma configuração e regulagem, nas mais diversas condições



de teor de água e graus de consolidação do solo. É sabido, porém, que o solo se comporta diferentemente frente a essas condições. Sendo assim, é lógico depreender que as condições de abertura do sulco em que a semente deverá desenvolver-se, serão diferentes em cada uma das situações e que ocorrerão diferenças na eficiência operacional do conjunto trator/semeadora-adubadora. Essas variações podem tornar o processo de semeadura economicamente inviável, devido a gastos energéticos elevados ou se a emergência não for satisfatória (CEPIK et al., 2005).

Os discos duplos são compostos por dois discos planos, normalmente lisos e de diâmetros diferentes, que podem ser defasados (diâmetros diferentes montados no mesmo centro) ou desencontrados (diâmetros iguais montados em centros diferentes). Estes discos podem ser usados tanto para abertura dos sulcos para a deposição de fertilizante quanto de sementes. Os discos duplos requerem maior força vertical para penetração no solo com menor esforço de tração, ao passo que, as hastes exigem menor força vertical, mas, no entanto, demandam maior força de tração (PORTELLA, 2001).

Segundo Araújo et al. (1999), a compactação das paredes laterais do sulco de semeadura, proporcionado pelos discos duplos em solos argilosos, úmidos e compactados, representa uma limitação. Embora os sulcadores de discos duplos apresentem algumas limitações operacionais, principalmente quando se deseja operar em maiores profundidades, pelo fato de mobilizarem menor volume e se adaptarem a diversos tipos de solo, ainda hoje são os modelos mais utilizados no país. Mais recentemente foram introduzidos sulcadores do tipo facão para permitir fertilização com profundidade que pode atingir até 120 mm na unidade adubadora, associados a sulcadores de discos duplos para na unidade semeadora (COELHO, 1998).

O uso de sulcadores do tipo haste, nas semeadoras de plantio direto, tem-se generalizado nas áreas de solos argilosos como alternativa para romper a camada superficial mais compactada e penetrar até a profundidade desejada. O implemento pode influir no esforço de tração, conforme as características do metal e a superfície em contato com o solo, a curvatura, a forma e as condições da superfície da ferramenta utilizada onde a força é aplicada (ARAÚJO et al., 1999; MODOLO et al., 2005).

As hastes promovem maior mobilização do solo nos sulcos de semeadura do que os discos duplos, elevando a incidência de ervas e a possibilidade de

ocorrência de erosão, porém são mais baratas e exigem menos pressão para penetração no solo (REIS et al., 2006).

Siqueira et al. (2001), comparando modelos comerciais de hastes, trabalhando à mesma profundidade, verificaram que a força de tração requerida varia muito, entre os diferentes modelos, devido ao ângulo de ataque, a largura da ponteira e ao formato da haste.

Segundo Siqueira et al. (2002), o uso de hastes de formato parabólico, com ângulo de ataque em torno de 20 graus e espessura da ponteira de 22 mm, pode representar até 50% de redução de potência requerida de tração de uma semeadora-adubadora de semeadura direta.

Cepik et al. (2005), estudando a força de tração demandada pelas hastes sulcadoras de adubo de uma semeadora-adubadora em diferentes estados de consistência de um Argissolo, verificaram que o aumento da velocidade não influenciou na força de tração na haste em solos de consistência seco e úmido, porém, na condição de friabilidade, essa foi maior. Segundo Araújo et al. (1999), as hastes, porém, demandam maior força de tração do que os discos e, por isso, têm sido empregadas na semeadura do milho e menos intensamente na soja devido à limitação de potência dos tratores.

Ao estudar o efeito de diferentes mecanismos rompedores sobre o desempenho de uma semeadora-adubadora na implantação da cultura de soja, em plantio direto, Koakoski et al. (2007), verificaram que o mecanismo rompedor do tipo facão proporcionou maior profundidade de semeadura e porosidade do solo, menor distância entre sementes e menor resistência do solo à penetração.

Portella et al. (1997), estudando o desempenho de elementos rompedores de solo, sobre o índice de emergência de soja e de milho em plantio direto verificaram que as profundidades de semeadura não foram influenciadas pelos mecanismos sulcadores.

Camilo et al. (2004), verificaram que no mecanismo sulcador tipo disco duplo, apresentaram maiores valores de profundidade de semeadura, do que no mecanismo sulcador tipo haste e não encontraram influência da velocidade de avanço do trator na profundidade de semeadura.

Santos et al. (2008), avaliando tecnicamente três semeadoras para plantio direto de milho, verificaram que o uso de sistema de abertura dos sulcos para deposição do fertilizante do tipo haste sulcadora aumenta as exigências de força de tração na barra, potência por haste nas semeadoras, além do consumo de combustível horário, em relação ao sistema de abertura dos sulcos do tipo discos duplos.

Mello et al. (2002), estudando o condicionamento físico dos mecanismos sulcadores, verificaram que a haste (facão) apresentou maior capacidade de romper o solo na linha de semeadura, provocando redução na densidade e na resistência à penetração; aumento na macroporosidade do solo e um aumento de 11,3% na produção do milho em relação ao mecanismo sulcador tipo disco duplo.

Ao avaliar a demanda energética de mecanismos sulcadores tipo haste e disco duplo de uma semeadora-adubadora de plantio direto, Silva e Benez (2005) verificaram que o mecanismo sulcador tipo haste requereu maior força que o disco duplo, com aumento médio de 97,4%.

Righes et al. (1990) constataram que o sulcador tipo haste foi o equipamento que demandou menor pressão para penetrar o solo, mobilizou maior volume de solo e, em consequência, produziu sulcos de maior largura. O sulcador duplo disco, no entanto, exigiu maior demanda de pressão para penetrar o solo, mobilizando menor volume de solo e produzindo sulcos de menor largura.

Andreolla e Gabriel Filho (2006), avaliando a potência requerida na barra de tração do trator por uma semeadora com dois tipos de elementos sulcadores (haste ou discos duplos), na semeadura da soja, verificaram que a semeadora com sulcadores tipo disco exerceram menor força de tração, e maior velocidade de deslocamento do conjunto. A semeadora equipada com o sulcador de haste necessitou de maior força de tração em relação a de disco duplo, com aumento de cerca de 4,35 vezes. Mantida a mesma marcha e rotação inicial do motor, ocorreu diminuição de 6,4% na velocidade do conjunto com sulcador de haste em relação àquele com disco. A potência requerida na barra de tração foi maior na semeadora com sulcador de hastes.

Silva (2003), estudando a demanda de força de tração requerida para hastes sulcadoras e discos duplos desencontrados, na mesma configuração da máquina, obteve em média 308 N e 143 N por linha de semeadura, respectivamente.

Mahl (2006), Santos et al (2008) e Silva (2003), não observaram maior consumo de combustível quando foi utilizado os mecanismos sulcadores do tipo haste e disco na semeadura direta. Já Camilo et al. (2004), verificaram maior consumo de combustível quando utilizaram o mecanismo sulcador do tipo disco duplo na semeadura direta.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Material**

#### **5.1.1 Localização da área experimental e caracterização do meio físico**

O experimento foi instalado no ano agrícola de 2007, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas UNESP, localizada no município de Botucatu - Estado de São Paulo. A localização geográfica está definida pelas coordenadas 22° 49' de latitude Sul e 48° 25' de longitude Oeste de Greenwich, unidade de mapeamento Lageado que ocupa 42% da fazenda, com altitude média de 770 m e declividade de 0,045 m m<sup>-1</sup>.

A área experimental é conhecida como “área 54” situada ao lado da Rodovia Alcides Soares (Botucatu - Vitoriana) e vinha sendo cultivada no sistema de semeadura direta durante 11 anos, com rotação de soja e milho no verão, safrinha de milho e aveia ou triticales no inverno (Figura 1).



**Figura 1.** Detalhe das unidades experimentais. Fazenda Lageado/Botucatu-SP.

O solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho Distroférico típico A moderado, textura argilosa e muito argiloso, relevo ondulado (NVdf), em conformidade com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006). Anteriormente este solo era classificado como Terra Roxa Estruturada distrófica, textura argilosa (CARVALHO et al., 1983). A origem deste solo é de produtos de alteração basálticos retrabalhados, da formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento (Mesozóico), apresentando boa drenagem, porém, com tendências de erosão laminar moderada a severa (IPT, 1981).

Os resultados das análises física, química e resistência à penetração, para a caracterização física e química do solo, são apresentados nas Tabelas 1 e 2 e Figura 2, respectivamente. Simultaneamente à avaliação da resistência à penetração, foram determinados os teores médios de água do solo que foram de: 269,1 g kg<sup>-1</sup> (0-100 mm); 272,4 g kg<sup>-1</sup> (100-200 mm); 280,5 g kg<sup>-1</sup> (200-300 mm) e 287,8 g kg<sup>-1</sup> (300-400 mm).

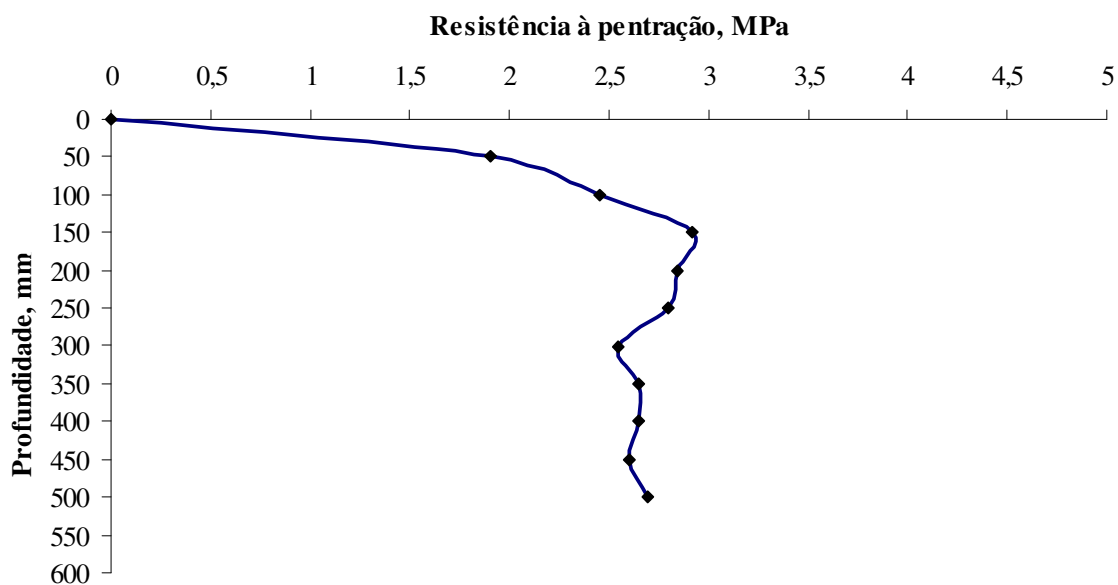
De acordo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo CWa, subtropical, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. A precipitação média anual é de 1.400 mm com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio entre 3 e 18 °C. As precipitações e temperaturas médias mensais, durante o experimento encontraram-se ilustradas na Figura 3.

**Tabela 1.** Atributos do solo para caracterização da área experimental, na camada de 0-200 mm de profundidade.

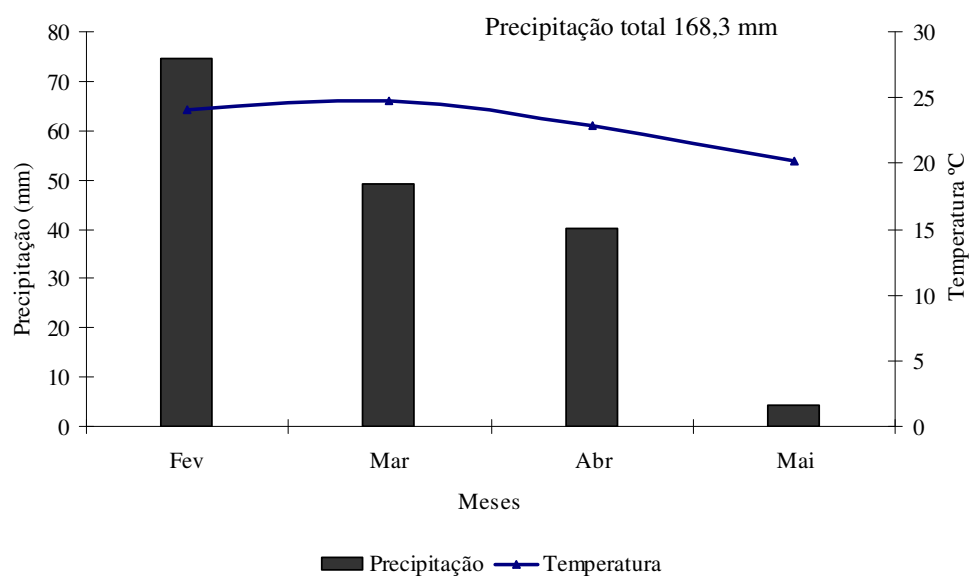
Atributos do solo	Valor
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	16,00
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	86,75
Areia total (g kg <sup>-1</sup> )	102,75
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	279,50
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	617,75
Densidade de partículas (kg dm <sup>-3</sup> )	3,00
Limite de liquidez (%)	44
Limite de plasticidade (%)	33
Índice de plasticidade	11
Limite de contração (%)	18
Capacidade de campo m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,35
Ponto de murcha permanente m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,24

**Tabela 2.** Análises químicas do solo da área experimental, antes da semeadura do girassol na camada de 0-200 mm e 200-400 mm de profundidade.

Profundidade	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	H <sup>+</sup> AL <sup>+3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CTC	V
(mm)	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
0-200	5,2	27	25	41	3,1	47	18	68	109	62
200-400	5,4	27	27	38	3,2	47	19	69	107	65



**Figura 2.** Resistência do solo à penetração (MPa), na camada 0-500 mm de profundidade, antes da instalação do experimento.



**Figura 3.** Precipitação e temperatura média mensal, durante o ciclo da cultura, ano/2007.



## 5.1.2 Máquinas agrícolas\*

### 5.1.2.1 Tratores

Na instalação do experimento foram utilizados os seguintes tratores:

- Trator John Deere, com tração 4x2 TDA, com potência de 88,2 kW (121 cv), modelo 6600, utilizado para realização da gradagem, escarificação, semeadura do girassol e tracionamento do comboio durante a medição da força de tração na operação de aração;

- Trator Massey Ferguson, com tração 4x2 TDA, com potência de 63,5 kW (86 cv), modelo MF 283, utilizado para as operações de comboio durante a aração;

- Trator Massey Ferguson, com tração 4x2 TDA, com potência de 45,5 kW (62 cv), modelo MF 265, utilizado para aplicação de herbicida;

- Trator Massey Ferguson, com tração 4x2, com potência de 37,5 kW (51 cv), modelo MF 235, utilizado para as aplicações de agroquímicos e pulverização com canhão;

- Trator Ford New Holland, com tração 4x2, com potência de 38,5 kW (52,4 cv), modelo 3030, utilizado para as aplicações de agroquímicos.

### 5.1.2.2 Equipamentos agrícolas

Na instalação do experimento foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Arado reversível da marca Jan, modelo AR-430, montado de quatro discos com diâmetro de 762 mm (30"), espaçados em 610 mm; ângulos horizontal e vertical de 48° e 20° respectivamente; largura de corte de 1.300 mm e massa de 810 kg (Figura 4A);

---

\* A citação das marcas comerciais não implica a recomendação de uso por parte do autor.

- Grade leve excêntrica, marca Marchesan, modelo GNL/32-784 de arrasto com 32 discos de 508 mm (20”) de diâmetro cada, sendo os da seção dianteira de bordas recortados e os posteriores de bordas lisos, espaçados entre si em 170 mm; ângulo de 34° entre as seções e de 18° de ataque dos discos; largura de corte 2.550 mm e massa de 758 kg;

- Escarificador da marca Jan, modelo Jumbo Matic JMHD-7, de arrasto, levante no sistema hidráulico; equipado com sete hastes protegidas com sistema de segurança por mola plana, espaçadas a 350 mm, ponteiros de 60 mm de largura, 430 mm de comprimento, e angulo de 24° com a horizontal; conjugado com discos de corte flutuantes de 457 mm (18”) inseridos à frente de cada haste; cilindro destorroador/nivelador na parte posterior, com largura de 2.800 mm e massa de 1.075 kg (Figura 4B);

- Semeadora-adubadora de precisão, de arrasto marca Marchesan, modelo PST<sup>2</sup>; com quatro linhas espaçadas 700 mm; capacidade de 160 kg de sementes e 725 kg de fertilizantes; mecanismo dosador de sementes do tipo discos horizontais perfurados, com 28 orifícios; mecanismo distribuidor de fertilizantes do tipo condutor helicoidal; discos de corte do tipo liso. Foram utilizados dois conjuntos de sulcadores, com mecanismo disco duplo desencontrado (diâmetro de 15” x 15”) para adubos e sementes, e mecanismo sulcador do tipo haste sulcadora (comprimento da ponteira de 12,5 cm) para fertilizantes e discos duplos desencontrados para sementes; rodas controladoras de profundidade e rodas compactadoras em “V” (Figura 5A);

- Pulverizador de barra montado, marca Jacto, modelo Condor M12; capacidade de 600 litros e barras equipadas com 24 bicos de jato cônico; largura útil de 12m e massa de 195 kg (Figura 5B);

- Pulverizador turbo atomizador tipo canhão, marca Jacto, modelo AJ-401-LH; capacidade do tanque polietileno de 400 litros, alcance de 30 m, e massa de 230 kg.



**Figura 4.** Arado reversível de quatro discos (A); escarificador de sete hastes (B).

### 5.1.3 Insumos (herbicidas, fertilizantes, inseticidas e fungicidas)

Antes dos sistemas de manejo, para dessecação das espécies vegetais indesejáveis, foram utilizados  $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de glifosato (GHYPHOSATE) com grânulos dispersíveis em água (Roundup WG) e  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de uréia a um volume de calda de  $400 \text{ L ha}^{-1}$ . Aos 23 dias, após a emergência do girassol foi utilizado um herbicida pós-emergente, Podium EW,  $1,0 \text{ L ha}^{-1}$  a um volume de calda de  $400 \text{ L ha}^{-1}$ .

As plantas invasoras presentes na área experimental foram as seguintes espécies vegetais: *Acanthospermum hispidum* L. (carrapicho de carneiro), *Commelina benghalensis* L. (trapoeraba), *Cenchrus echinatus* L. (carrapicho), *Euphorbia heterophylla* L. (amendoim-bravo), *Leonotis nepetifolia* (cordão-de-frade), *Braquiaria plantaginea* (capim marmelada) e *Raphanus sativus* L. (nabiça).

Na adubação de semeadura foram utilizados, conforme recomendação para a cultura,  $330 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula 8-28-16 (N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ). Na adubação de cobertura, via foliar, foi aplicado,  $200 \text{ g ha}^{-1}$  de boro, na forma de ácido bórico, 23 dias após a emergência do girassol.

Para o controle da lagarta do girassol (*Chlosyne lacinia saunderssi*) e os percevejos (*Nezara viridula*, *Thyanta perditor* e *Xionysius majo*) houve a necessidade de aplicação  $0,5 \text{ L ha}^{-1}$  do inseticida Lorsban 480 BR (CLORPIRIFÓS), aos 64 dias após a emergência do girassol.

Aos 70 dias após a emergência do girassol foram aplicados  $1,0 \text{ L ha}^{-1}$  do inseticida Thiodan (ENDOSULFAN) para o controle de percevejos e  $0,5 \text{ L ha}^{-1}$  do

fungicida Folicur 200 CE (TEBUCONAZOLE) para o controle de oídeo (*Golovinomyces cichoracearum*).

No estágio inicial da cultura para o controle de formigas *Atta* spp., utilizou-se formicida granulado.

Para cada 100 kg de sementes de girassol, usadas na semeadura, foi utilizado 300 ml do fungicida Vitavax-Thiram 200 SC (CARBOXINTHIRAM) para tratá-las.

#### 5.1.4 Semeadura

A semeadura do girassol foi realizada numa densidade de 3,47 sementes  $m^{-1}$ , objetivando-se obter uma população estimada de 40.000 plantas (Figura 5 A). O cultivar de girassol utilizado foi o híbrido Hélio 358 com pureza de 99% e poder germinativo de 90% provenientes da empresa Helianthus do Brasil Ltda., Uberlândia, Minas Gerais.



**Figura 5.** Semeadora-adubadora de precisão (A); Pulverizador de barra (B).

## **5.1.5 Material utilizado para mensuração das variáveis relacionadas ao solo e a planta**

### **5.1.5.1 Determinação da análise granulométrica**

Para determinação da análise granulométrica foram utilizados: vidraria, hidróxido de sódio a 1 N, agitador elétrico (12.000 rpm), peneiras granulométricas, termômetro, cronômetro, balança de precisão (0,0001g), dessecador e estufa elétrica.

### **5.1.5.2 Determinação da densidade de partículas**

Para a coleta de amostras e determinação da densidade de partículas foram utilizados: enxada, sacos plásticos, balão volumétrico, álcool etílico, vidraria, dessecador e estufa elétrica.

### **5.1.5.3 Determinação da densidade do solo**

Para a coleta das amostras e determinação da densidade do solo foram utilizados: enxada, anel volumétrico de bordas cortantes, amostrador de solo, marreta, faca, filme plástico, etiqueta, gaze, anel elástico, bandeja plástica, balança de precisão, dessecador e estufa elétrica.

### **5.1.5.4 Determinação da macroporosidade, microporosidade e porosidade total**

Para a coleta das amostras e determinação da macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, foram utilizados: enxada, anel de bordas cortantes, amostrador de solo, marreta, faca, filme plástico, etiquetas, gaze, anel elástico, bandeja plástica, unidade de sucção, balança de precisão, água destilada, dessecador e estufa elétrica (Figura 6B).

### 5.1.5.5 Determinação do teor de água no solo

Para a coleta das amostras e determinação do teor de água no solo foram utilizados: enxadão, cápsulas de alumínio, fita crepe, caixa de isopor, bandeja plástica, estufa elétrica, dessecador e balança de precisão.

### 5.1.5.6 Determinação da resistência do solo à penetração

Para determinação da resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrógrafo manual, marca SOIL CONTROL, modelo SC-60, com haste de 600 mm de comprimento, carga máxima admitida 120 kg, cone de ângulo de 30°, com área de base de 129,3 mm<sup>2</sup>, diâmetro de haste de 9,53 mm e peso líquido de 4 kg, seguindo a norma da ASAE-313 (Figura 6A).



**Figura 6.** Avaliação da resistência à penetração (A); determinação da porosidade do solo (B).

### 5.1.5.7 Determinação do ensaio de compactação

Para a coleta das amostras e determinação do ensaio de compactação foram utilizados: enxadão, sacos plásticos, bandeja metálica, peneira granulométrica de 4,76 mm, borrifador, cilindro metálico e colar suplementar, base de engate do cilindro, soquete de proctor 2,5 kg, extrator de amostra, talhador e espátula de lâmina flexível, cápsulas de alumínio, paquímetro, pincel, balança de precisão, dessecador e estufa elétrica.

#### **5.1.5.8 Determinação do limite de liquidez**

Para a coleta das amostras e determinação do limite de liquidez foram utilizados: enxadão, pisseta plástica, sacos plásticos, peneira granulométrica de 42 mm, graal de porcelana com pestilo, espátula de metal flexível, água destilada, aparelho de Casagrande, cinzéis, dessecador, balança de precisão e estufa elétrica.

#### **5.1.5.9 Determinação do limite de plasticidade**

Para a coleta das amostras e determinação do limite de plasticidade foram utilizados: enxadão, sacos plásticos, peneira granulométrica de 42 mm, placa de vidro esmerilhado, bastonete de 3 mm, pisseta plástica, graal de porcelana com pestilo, espátula de lâmina flexível, água destilada, cápsulas de alumínio, balança de precisão, gabarito cilíndrico para comparação com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento, dessecador e estufa elétrica.

#### **5.1.5.10 Determinação do limite de contração**

Para a coleta das amostras e determinação do limite de contração foram utilizados: enxadão, pisseta plástica, sacos plásticos, peneira granulométrica de 42 mm, graal de porcelana com pestilo, espátula de metal flexível, água destilada, recipiente para moldagem do corpo de prova, dessecador, banho-maria, parafina, paquímetro, barbante, balança de precisão e estufa elétrica.

#### **5.1.5.11 Percentagem de agregados**

Para a coleta das amostras e determinação dos agregados por via seca foram utilizados: pá-de-corte, sacos plásticos, conjunto de peneiras granulométricas, agitador mecânico, balança de precisão e estufa elétrica.

#### **5.1.5.12 Determinação da percentagem de cobertura do solo**

Para a determinação da percentagem de cobertura do solo foi utilizada corda de 15 m com cem pontos, distanciados 0,15 m entre si.

#### **5.1.5.13 Determinação da massa seca da cobertura vegetal**

Utilizou-se um quadrado de madeira de 0,25 m<sup>2</sup> de área (0,5 x 0,5 m), tesoura de poda, sacos de papel, estufa elétrica de ventilação forçada e balança de precisão.

#### **5.1.5.14 Determinação da velocidade média e patinagem das rodas motrizes do trator**

Na determinação da velocidade média e patinagem das rodas motrizes do trator foi utilizado um cronômetro e duas balizas alinhadas no início e fim das parcelas experimentais.

#### **5.1.5.15 Determinação da força média de tração na barra**

Para determinação da força média de tração na barra foi utilizada uma célula de carga de marca Sodemex, modelo N-400, com capacidade de 100 kN e sensibilidade de 1,998 mV/V, um berço e um sistema de aquisição de dados.

#### **5.1.5.16 Determinação do consumo horário de combustível**

Para determinação do consumo horário de combustível foi utilizado um fluxômetro, marca “Flowmate” oval, modelo Oval M-III, com precisão de 0,01 mL e um sistema de aquisição de dados.



#### 5.1.5.17 Determinação da profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos sistemas de manejo

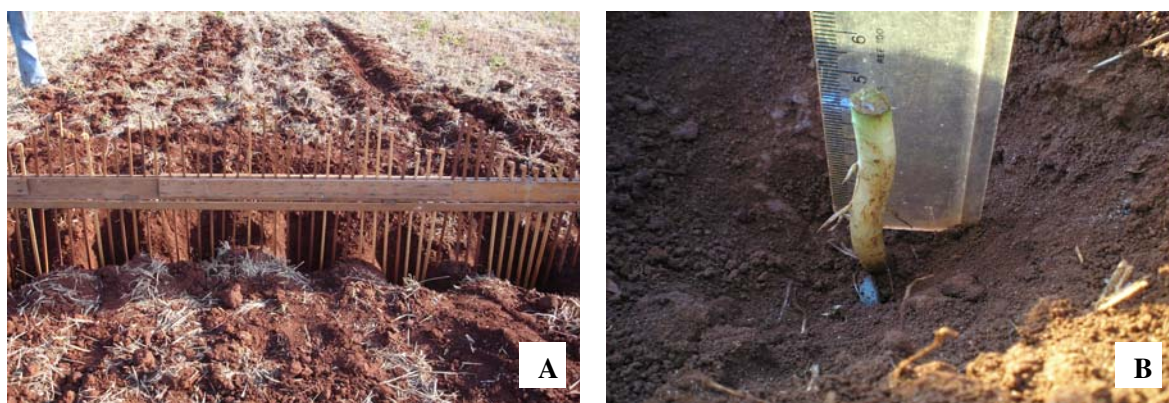
Utilizou-se um perfilômetro de madeira com 40 hastes graduadas em centímetros, espaçadas a cada 5 cm, instalado sobre marcadores de madeira.

#### 5.1.5.18 Determinação profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora

Para o levantamento do perfil de solo mobilizado, na linha de semeadura, foi utilizado um perfilômetro de madeira (Figura 7A), que possui 37 réguas verticais de 50 cm, espaçadas de 1,5 cm e folhas de papel tamanho A3, canetas porosas; régua graduada em milímetros, mesa digitalizadora marca Digicon, modelo MDD 1812 e software SPAN (Sistema de Planimetria Digitalizada).

#### 5.1.5.19 Determinação da profundidade de deposição de sementes

Na determinação da profundidade de deposição de sementes, utilizou-se uma pá-de-corte, tesoura e régua graduada em milímetros (Figura 7B).



**Figura 7.** Solo mobilizado pelo escarificador (A); profundidade de semeadura (B).

#### **5.1.5.20 Determinação da distribuição longitudinal das plantas**

Para determinar os espaçamentos entre plantas de girassol na linha de semeadura, utilizou-se trena, caneta e planilha.

#### **5.1.5.21 Determinação da massa da parte aérea**

Utilizou-se uma tesoura de poda, sacos de papel, estufa elétrica de ventilação forçada e balança de precisão.

#### **5.1.5.22 Determinação da altura das plantas, diâmetro do caule, diâmetro do capítulo, massa de mil sementes, teor de óleo e produtividade de aquênios do girassol**

Para medição da altura das plantas e do diâmetro do caule foram utilizados: marcadores e uma trena para identificação e medição da altura das plantas e um paquímetro para medição do diâmetro caulinar;

Para determinação do diâmetro do capítulo e massa de mil sementes foram utilizados: paquímetro, sacos de papel e balança de precisão;

Utilizou-se na extração de óleo nos aquênios: papel de filtro, balão de fundo redondo, grampos, destilador, solvente (hexano), estufa e balança digital;

Para colheita manual e determinação da produtividade de aquênios do girassol foram utilizados: sacos de nylon e balança.



**Figura 8.** Detalhe das parcelas 10 dias após emergência (A); pulverização de inseticida e fungicida (B); plantas de girassol na fase R5 (C) e secagem dos aquênios ao ar livre (D).

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Delineamento Experimental

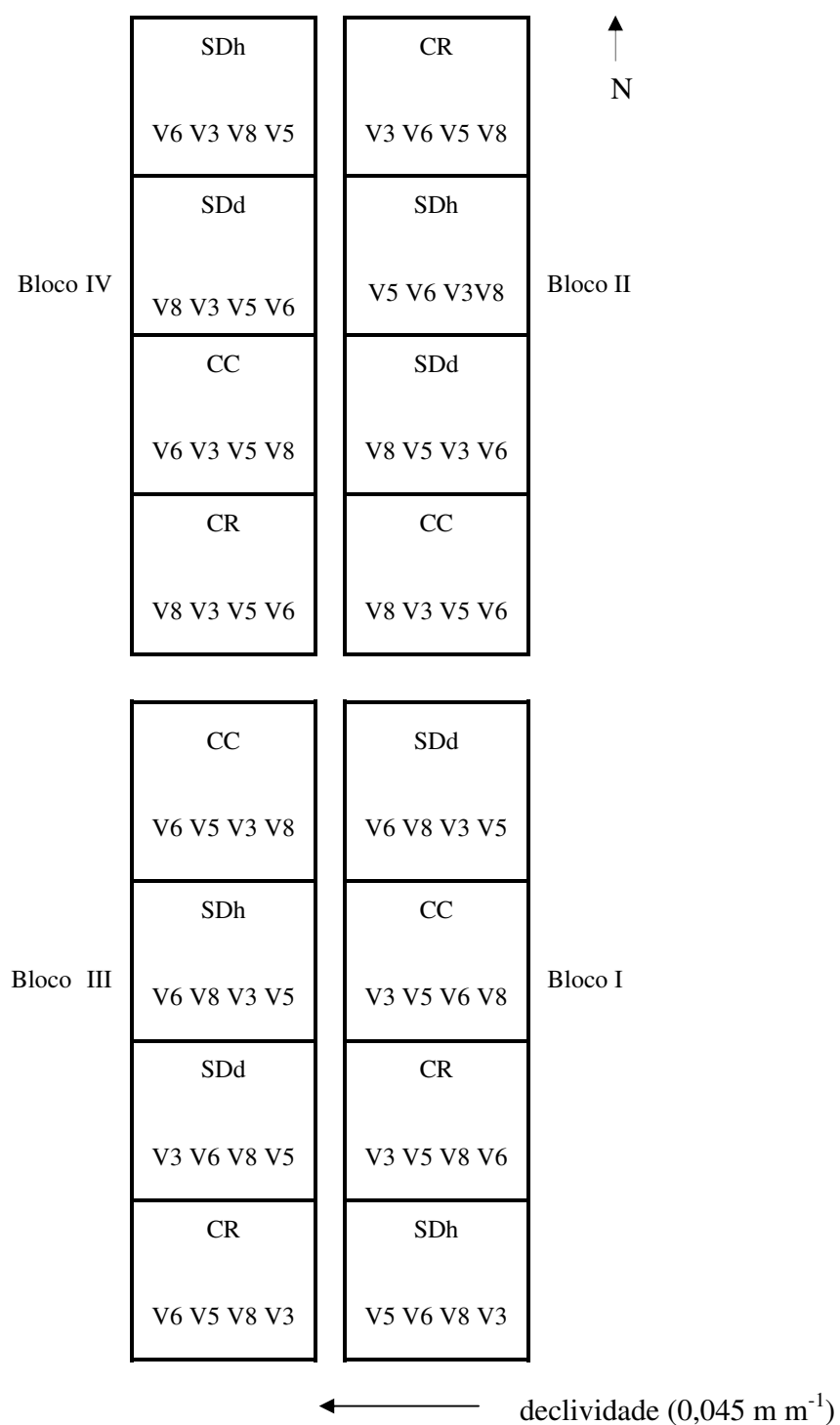
O experimento foi constituído de dezesseis tratamentos (quatro sistemas de manejo do solo e quatro velocidades na operação de semeadura) e 4 repetições, com delineamento experimental em blocos casualizados, seguindo o esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos nas parcelas foram os sistemas de manejo do solo e nas subparcelas, as velocidades na operação de semeadura. Cada parcela teve 11,2 m de largura por 20 m de comprimento (16 linhas espaçadas 0,7m) e as subparcelas 2,8 m de largura por 20 m de comprimento (4 linhas espaçadas 0,7m), com área útil de 14 m<sup>2</sup> (1,4 m x 10 m). Os blocos e as parcelas foram separados por carregadores de 8 e 10m de comprimento entre eles, respectivamente.

### 5.2.2 Descrição dos tratamentos

As parcelas foram representadas pelos sistemas de manejo do solo como segue (Figura 9):

- Semeadura direta com mecanismo sulcador tipo haste (SDh);
- Semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco duplo desencontrado (SDd);
- Preparo do solo com escarificador de 7 hastes conjugado com rolo destorroador e semeadura com mecanismo sulcador tipo disco duplo desencontrado (CR);
- Preparo do solo com arado de disco seguido de grade leve e semeadura com mecanismo sulcador tipo disco duplo desencontrado (CC).

As subparcelas foram representadas pelas velocidades na operação de semeadura, que foram selecionadas na caixa de mudança de machas, escolhendo-se: (3<sup>a</sup> A (3 km h<sup>-1</sup>); 2<sup>a</sup> B (5 km h<sup>-1</sup>); 1<sup>a</sup> C (6 km h<sup>-1</sup>) e 2<sup>a</sup> C (8 km h<sup>-1</sup>)) que corresponderam a: (V3); (V5); (V6); (V8), respectivamente, do trator marca John Deere, modelo 6600 (121cv) com tração dianteira auxiliar desligada.



**Figura 9.** Disposição dos sistemas de manejo do solo nas parcelas e velocidades na operação de semeadura nas subparcelas das unidades experimentais.

### 5.2.3 Cronograma das atividades desenvolvidas

Para a instalação do experimento foram realizadas as atividades descritas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Cronograma de atividades desenvolvidas para a execução do experimento.

Data	Atividade
15/01/07	Dessecação da área experimental com 2,5 kg de glifosato e 2 kg de uréia.
17/01/07	Estaqueamento da área e coleta de solo para análise química.
25/01/07	Massa da cobertura vegetal; percentagem de cobertura do solo; avaliação da área antes da mobilização; resistência do solo à penetração; coleta de solo para determinação do teor de água.
26/01/07	Instrumentação do trator; preparo do solo; avaliação do solo mobilizado; profundidade de preparo e coleta de solo para determinação do teor de água.
5 a 7/02/07	Regulagem e manutenção da semeadora-adubadora.
07/02/07	Tratamento de sementes com fungicidas, instrumentação do trator e da semeadora-adubadora; semeadura do girassol; coleta de dados de força média de tração; consumo de combustível; velocidade média; patinagem; coleta de dados do solo mobilizado, profundidade do sulco e coleta de solo para determinação do teor de água.
12/02/07	Emergência das plântulas.
22/02/07	1º avaliação de altura das plantas (10 DAE).
28/02/07	2º avaliação de altura das plantas (16 DAE).
02/03/07	Determinação da profundidade de deposição de sementes.
05/03/07	Coleta de dados da distribuição longitudinal e população de plantas.
07/03/07	Aplicação de Podium EW; Lorsban 480 BR (clorpirifós) e boro.
14/03/07	3º avaliação de altura das plantas (30 DAE).
21/03/07	4º avaliação de altura das plantas (37 DAE).
31/03/07	5º avaliação de altura das plantas (46 DAE).
13/04/07	6º avaliação de altura das plantas (60 DAE).
13 a 19/04/07	Capina manual.

.....(continua)

17/04/07	Aplicação de 0,5 L ha <sup>-1</sup> de Lorsban 480 BR, para controle de lagartas e percevejos.
23/04/07	Aplicação de 1 L ha <sup>-1</sup> de Thiodan CE e 0,5 L ha <sup>-1</sup> de Folicur 200 CE para controle de percevejos e oídeos.
16/05/07	7° e 1° avaliação de altura e diâmetro do caule das plantas, respectivamente e coleta da parte aérea para determinação da massa seca (93 DAE).
18/05/07	Colheita do girassol (95 DAE).
21 a 29/05/07	Limpeza dos capítulos.
28/05/07	Coleta de amostras indeformadas de solo.
29/05/07	Pesagem dos capítulos.
01 a 06/06/07	Trilhagem dos capítulos.
10 a 13/06/07	Limpeza dos aquênios.
14/06/07	Pesagem dos aquênios.
15/06/07	Coleta de amostras deformadas de solo para análise física e química.
03/07/07	Avaliação da resistência do solo à penetração.
21/08/07	Início das análises físicas do solo.
28/09/07	Determinação do teor de óleo nos aquênios.

---

#### 5.2.4 Amostragem de solo

Para o estudo dos atributos físicos e químicos do solo, foram retiradas amostras deformadas e indeformadas, nas linhas de semeadura das subparcelas correspondente a V3 = 3A. Isto porque, o intuito de avaliar os atributos físicos e químicos do solo, deve-se, somente, aos sistemas de manejo do solo estudados e não as velocidades de semeadura.

As amostras deformadas foram usadas para as seguintes determinações: textura, densidade de partículas, ensaio de compactação, limites de liquidez, de plasticidade e de contração, percentagem de agregados e análise química. As amostras indeformadas foram usadas para as seguintes determinações: densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade.

Para determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, as amostras foram retiradas nas profundidades de 20-90 mm e 150-220 mm, totalizando 64 amostras (4 sistemas de manejo x 2 profundidade x 8 repetições).

Para determinação do ensaio de compactação, limites de liquidez, plasticidade, contração e percentagem de agregados as amostras foram retiradas na profundidade de 0-200 mm, totalizando 16 amostras (4 sistemas de manejo x 4 repetições).

Para determinação da textura, densidade de partículas e análise química, as amostras foram retiradas nas profundidades de 0-200 mm e 200-400 mm, totalizando 32 amostras (4 sistemas de manejo x 2 profundidades x 4 repetições).

Os atributos físicos textura, densidade de partículas, limites de liquidez, plasticidade e contração foram utilizados para caracterização física do solo.

## **5.2.5 Análise física do solo**

### **5.2.5.1 Análise granulométrica (Método da pipeta)**

A análise granulométrica foi baseada no princípio da velocidade de queda das partículas que compõem o solo, conforme a Lei de Stokes, utilizando como dispersante, o hidróxido de sódio a 1 N. Para determinação da argila foi fixado o tempo para o deslocamento vertical das partículas após agitação com o dispersante químico e pipetado um volume da suspensão, para secar na estufa a 105 °C durante 24 horas e posteriormente pesado. As frações grosseiras (areia grossa e fina) foram separadas por tamização, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte foi determinado pela diferença das demais frações em relação à amostra original (EMBRAPA, 1997).

### **5.2.5.2 Densidade de partículas**

A densidade de partículas do solo foi determinada pelo método do balão volumétrico de acordo a Embrapa (1997). As amostras indeformadas de solo foram pesadas (20 g de solo seco em estufa a 105 °C por 12 horas) e colocadas em balões volumétricos de 50 ml. Em seguida foi adicionado álcool etílico, agitando-se bem o balão para



eliminar bolhas de ar que se formavam. Após 24 horas e considerando que houve completa eliminação das bolhas de ar existentes no interior dos agregados, foi completado o volume do balão volumétrico com álcool etílico e anotado o volume gasto, sendo efetuados os cálculos.

#### **5.2.5.3 Densidade do solo**

Para determinação da densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico, de acordo com a Embrapa (1997). Quatro amostras indeformadas foram coletadas em duas profundidades (20-90 e 150-220 mm), de cada parcela. Anéis de bordas cortantes e volume interno conhecido ( $274,581 \text{ cm}^3$ ) foram cravados no solo, exercendo pancadas por meio de uma marreta. Logo em seguida, as amostras foram retiradas e isolados através de um filme plástico. No laboratório, o excesso de terra foi removido até igualar as bordas do anel. As amostras foram transferidas para um recipiente e levadas para secar em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 horas e pesadas para obtenção da massa de solos.

#### **5.2.5.4 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total**

A macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo foram determinadas utilizando uma unidade de sucção constituída por um conjunto de funis de Buckner, seguindo metodologia da Embrapa (1997).

Amostras de solos foram saturadas por 24 horas e colocadas sobre a mesa de sucção a uma tensão de  $0,006 \text{ MPa}$ , para retirar a água dos macroporos (poros com diâmetros maiores do que  $0,05 \text{ mm}$ ). Logo em seguida, as amostras foram pesadas e colocadas em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , para determinação dos volumes de microporos (poros com diâmetros menores do que  $0,05 \text{ mm}$ ). A porosidade do solo foi determinada somando-se os valores dos macro e microporos.

#### **5.2.5.5 Teor de água do solo**

Para determinação do teor de água no dia do preparo do solo e semeadura do girassol, foi utilizado o método gravimétrico descrito pela Embrapa (1997). As

amostras deformadas do solo foram coletadas em três profundidades (0-100, 100-200, 200-300 mm) e colocadas em latas de alumínio numeradas e de peso conhecido. No laboratório, foram pesadas e transferidas para secar na estufa a 105 °C durante 24 horas, esfriadas e novamente pesadas a seco.

#### **5.2.5.6 Resistência do solo à penetração**

A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando-se de um penetrógrafo, descrito no subitem 5.1.5.6. À medida que a haste ia sendo introduzida no solo, os dados foram registrados em um cartão de papel para as diferentes profundidades. Os valores médios obtidos em  $\text{kgf cm}^{-2}$ , a cada 5 cm de profundidade, foram multiplicados por 0,0981 para serem transformados em MPa. Considerando a época de avaliação, foram realizados antes da instalação do experimento e no final do ciclo da cultura, na linha de semeadura. Simultaneamente a esta operação, foram retiradas amostras de solo para determinação do teor de água atual pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997).

#### **5.2.5.7 Ensaio de compactação do solo**

O ensaio de compactação do solo foi realizado pelo método de Proctor, conforme metodologia descrita por Nogueira (1995). O ensaio foi repetido para 5 teores de água e obtido, para cada teor de água, um valor da densidade do solo. Após os resultados serem plotados em um gráfico (teor de água versus densidade do solo) foi ajustado um polinômio de segundo grau para encontrar o teor de água que promoveu a máxima densidade do solo.

#### **5.2.5.8 Densidade relativa**

A densidade relativa ( $D_r$ ), que consiste numa relação entre a densidade do solo atual e a densidade do solo máxima extraída da curva de compactação, foi

obtida da fórmula: onde,  $D_r$  é a densidade relativa;  $D_s$  é a densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), e  $D_{s\text{máx}}$  é a densidade do solo máxima ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

$$D_r = \frac{D_s}{D_{s\text{máx}}} \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

$D_r$  - densidade relativa;

$D_s$  - densidade do solo,  $\text{kg dm}^{-3}$ ;

$D_{s\text{máx}}$  - densidade do solo máxima,  $\text{kg dm}^{-3}$ .

#### **5.2.5.9 Limite de liquidez**

Para determinação do limite de liquidez do solo foi utilizada a metodologia descrita por Embrapa (1997).

#### **5.2.5.10 Limite de plasticidade**

Para determinação do limite de plasticidade do solo foi utilizada a metodologia descrita por Embrapa (1997).

#### **5.2.5.11 Índice de plasticidade**

O índice de Plasticidade (IP) foi calculado pela diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade:  $IP = LL - LP$ .

#### 5.2.5.12 Limite de contração

A determinação do limite de contração (LC) seguiu a metodologia proposta por Miranda (2006).

#### 5.2.5.13 Percentagem de agregados (Método por via seca)

Para determinação da percentagem de agregados, pelo método por via seca, foi utilizada a metodologia descrita por Embrapa (1997). O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado segundo a equação proposta por Castro Filho et al. (1998).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (xi.wi) \quad (2)$$

onde:

*DMP* - diâmetro médio ponderado;

*wi* - proporção de cada classe em relação ao total;

*xi* - diâmetro médio das classes (mm).

#### 5.2.6 Análise química do solo

Para determinar a análise química do solo, dentro de cada parcela, foi coletado um ponto ao acaso, em duas profundidades (0-200, 200-400 mm), cujas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo, pertencente ao Departamento de Ciência do Solo, FCA/UNESP/Botucatu, onde foram processadas e analisadas, conforme Raij et al. (2001).

### 5.2.7 Determinação do índice de qualidade do solo

As variáveis do solo quando analisadas isoladamente, não fornecem informações necessárias para avaliar as alterações provocadas pelos sistemas de manejo, havendo a necessidade de integrá-las conjuntamente, para se chegar a um consenso sobre o comportamento do sistema solo. Procurou-se, nesta parte do trabalho, analisar as variáveis do solo em conjunto e nunca isoladamente. Desta maneira, utilizou-se de outra metodologia que procurou integrar as variáveis do solo e que passaram a ser chamadas de indicadores para avaliar o índice de qualidade do Nitossolo Vermelho Distroférico típico (NVdf).

Para o cálculo do índice de qualidade do solo, foi empregada a metodologia descrita por Karlen e Stott (1994), utilizando-se de indicadores físicos e químicos.

Tendo em vista a importância do solo para o desenvolvimento radicular, suprimento de ar, água e nutrientes, foi considerado na avaliação da qualidade do Nitossolo Vermelho Distroférico típico, as seguintes funções principais: desenvolvimento radicular (DR); armazenamento de água (AA) e suprimento de nutrientes (SN).

O mínimo de dados definidos para determinação do índice de qualidade do solo foi: resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), alumínio trocável (Al), porosidade total (PT), diâmetro médio ponderado (DMP), pH, fósforo (P), matéria orgânica (M.O.), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V).

Os limites críticos para cada indicador de qualidade do solo foram estabelecidos da seguinte forma:

i) resistência do solo à penetração (RP) - foi considerado como limite crítico o valor de 2,0 MPa. Segundo Carter (2006), o valor ótimo está entre 0,5 - 2,0 MPa;

ii) densidade do solo (Ds) - o limite crítico foi de 1,21 kg dm<sup>-3</sup>, estabelecido com base na relação do valor médio da densidade de máxima compactação obtida no ensaio de Proctor e a densidade relativa do solo. A densidade relativa do solo considerada foi de 0,88, pois de acordo Liepic et al. (1991), avaliando um solo com textura semelhante, 600 g kg<sup>-1</sup> de argila, verificaram que esse valor de densidade, comprometeu o desenvolvimento da cultura da cevada;

iii) macroporosidade (Ma) - os limites críticos superiores e inferiores foram de 0,20 e 0,10 mm<sup>3</sup> mm<sup>-3</sup>, respectivamente, pois segundo Carter (2006), essa é a faixa de valores considerada limite para o bom crescimento e desenvolvimento radicular das plantas;

iv) alumínio trocável (Al) - foi utilizado como limite crítico, o valor de 5 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, acima do qual, é considerado por Raij et al. (2001), como alto teor presente no solo;

v) porosidade total (PT) - foram adotados como limites críticos superior e inferior os valores de 0,55 e 0,472 mm<sup>3</sup> mm<sup>-3</sup>, respectivamente, pois segundo Reichardt, (1987), esses valores são considerados normais para os Nitossolos do Estado de São Paulo;

vi) diâmetro médio ponderado (DMP) - adotou-se como limite crítico o valor de 0,5 mm. Segundo Kiehl (1979), se aceita como sendo de baixa estabilidade, os solos com DMP abaixo de 0,5 mm;

vii) pH em CaCl<sub>2</sub> - foram adotados como limites críticos superior e inferior o valores de 9 e 5, respectivamente, pois esses valores de pH são considerados por Raij et al. (2001), como a faixa de acidez ideal para o desenvolvimento das culturas;

viii) fósforo (P) - adotou-se o limite crítico de 16 mg kg<sup>-1</sup>, segundo Raij et al. (2001), abaixo desse teor é considerado baixo para o desenvolvimento da cultura;

ix) capacidade de troca de cátions (CTC) - foi adotado o limite crítico de 4,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, abaixo do qual a CTC é considerada como limitante (LEPSCH, 1983);

x) saturação por bases (V) - foi adotado o valor de 50%, que é o limite entre os solos distróficos e eutróficos (TOMÉ JR., 1997);

xi) matéria orgânica (M.O.) - foi adotado como limite crítico o valor de 15 g kg<sup>-1</sup>, pois segundo Tomé Jr. (1997) este é o teor considerado como baixo para os solos do Estado de São Paulo.

No presente trabalho a soma dos ponderadores das funções principais e dos indicadores, dentro de cada uma delas, foi igual a 1, seguindo a metodologia proposta por Karlen e Stott (1994). Sendo assim, foram estabelecidos os ponderadores 0,40; 0,20 e 0,40, para as funções principais DR, AA e SN, respectivamente. A função principal AA, recebeu menor ponderador (0,20), por ser um solo muito argiloso e bem estruturado, o que

facilita um ótimo armazenamento de água, quando ocorre a precipitação, por ser um solo argiloso e com elevados teores de óxidos de ferro e de matéria orgânica, tornando um solo bem estruturado (FERREIRA et al., 2002). Para os indicadores de qualidade, pertencentes a cada função principal, foram definidos os ponderadores, com base na sua importância relativa para avaliar cada uma dessas funções.

Para calcular o índice de qualidade do solo, primeiramente foram padronizados os valores fornecidos dos indicadores, em razão das diferentes unidades de medição utilizadas para cada um deles. Foram utilizadas três curvas de padronização, cujos escores variaram entre 0 e 1, (Figura 10).

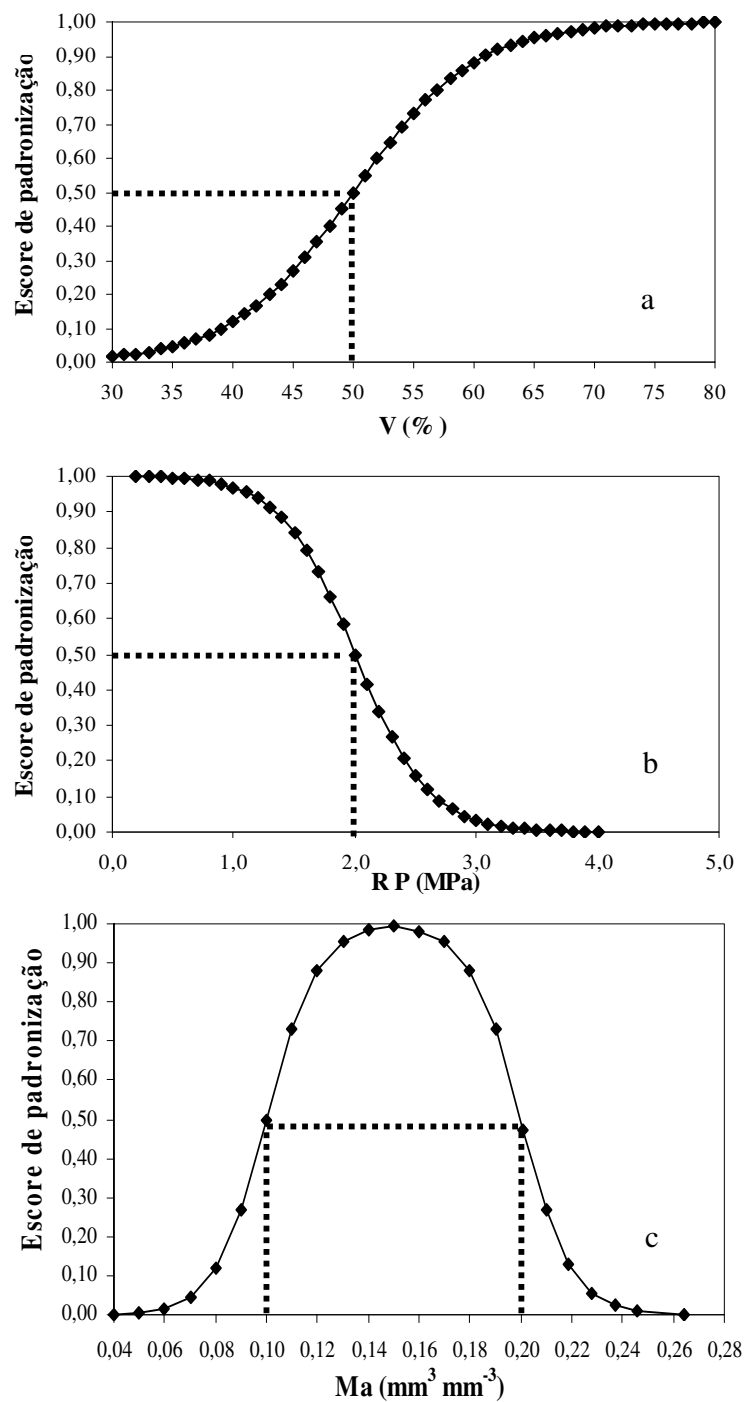
Como proposto por Karlen e Stott (1994); Souza et al. (2003) os escores atribuídos aos indicadores no seu limite crítico, correspondeu a 0,5. Isso implica dizer, que se os valores observados de todos os indicadores pertencentes às funções principais estiverem no limite crítico, o índice de qualidade do solo estimado será igual a 0,5. E sendo o valor máximo do índice de qualidade igual a 1,0 ou próximo desse valor, melhor será a qualidade do solo. A equação empregada para determinação dos escores padronizados foi utilizada pelos sistemas de engenharia por Wymore em 1993, citado por Glover et al. (2000).

Através da equação 3 e Tabela 4, foi possível utilizar três tendências das curvas de padronização de escore (*mais é melhor, menos é melhor e ótimo*), para o cálculo do índice de qualidade do solo: a) *mais é melhor* - foi utilizado para padronizar escores, cujo aumento de valores dos indicadores determinados e quantificados, aumenta a qualidade do solo. b) *menos é melhor* - foi utilizado para padronizar escores, cujo aumento de valores dos indicadores determinados e quantificados, diminui a qualidade do solo. c) *valor ótimo* - foi utilizado para padronizar escores, no qual os valores dos indicadores determinados e quantificados aumentam a qualidade do solo dentro de uma determinada faixa.

$$v = \frac{1}{1 + \left( \frac{B-L}{x-L} \right)^{2S(B+x-2L)}} \quad (3)$$

onde:  $v$  é o escore padronizado;  $B$  é o valor crítico do indicador, cujo escore padronizado é 0,5;  $L$  é o valor inicial mais baixo;  $S$  é a inclinação da tangente à curva no valor crítico do

indicador;  $x$  é o valor do atributo do solo ou indicador determinado no campo ou em laboratório.



**Figura 10.** Tendências das curvas para padronização de escores: a) *mais é melhor*; b) *menos é melhor* e c) *valor ótimo*.



**Tabela 4.** Curva de padronização, indicadores de qualidade, limites críticos e referências dos indicadores para avaliação de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido a diferentes sistemas de manejo.

Curva de padronização	*IQ	Prof. (mm)	Limites críticos dos indicadores			Declividade da curva	Referências dos limites críticos
			Inferior	Superior	Ótimo		
Atributos físicos							
Menos é melhor	<sup>1</sup> RP	150-220	2,00	-	-	-0,8342	Carter, 2006
Menos é melhor	<sup>2</sup> Ds	150-220	1,21	-	-	-7,1500	Liepic et al., 1991
Ótimo	<sup>3</sup> Ma	150-220	0,10	0,20	0,15	25,0250	Carter, 2006
Ótimo	<sup>4</sup> PT	150-220	0,47	0,55	0,51	50,0501	Reichardt, 1987
Mais é melhor	<sup>5</sup> DMP	0-200	0,50	-	-	1,6683	Kiehl, 1979
Atributos químicos							
Menos é melhor	<sup>6</sup> Al	0-200	5,00	-	-	-0,5005	Raij et al., 2001
Ótimo	<sup>7</sup> pH	0-200	5,00	9,00	7,00	0,5005	Raij et al., 2001
Mais é melhor	<sup>8</sup> P	0-200	16,00	-	-	0,1001	Raij et al., 2001
Mais é melhor	<sup>9</sup> CTC	0-200	4,00	-	-	0,5005	Lepsch, 1983
Mais é melhor	<sup>10</sup> V	0-200	50,00	-	-	0,0501	Tomé Jr., 1997
Mais é melhor	<sup>11</sup> M.O.	0-200	15,00	-	-	0,1001	Tomé Jr., 1997

\*IQ = Indicador de qualidade; <sup>(1)</sup>RP = resistência do solo à penetração; <sup>(2)</sup>Ds = densidade do solo; <sup>(3)</sup>Ma = macroporosidade; <sup>(4)</sup>PT = porosidade total; <sup>(5)</sup>DMP = diâmetro médio ponderado; <sup>(6)</sup>Al = alumínio trocável; <sup>(7)</sup>pH em CaCl<sub>2</sub>; <sup>(8)</sup>P = fósforo; <sup>(9)</sup>CTC = capacidade de troca de cátions; <sup>(10)</sup>V = saturação por bases e <sup>(11)</sup>M.O. = matéria orgânica.

Depois dos valores já padronizados, os escores foram multiplicados pelo ponderador associado a cada indicador e, em seguida, os valores encontrados foram somados e multiplicados pelo ponderador da função principal. Para finalizar, realizou-se o somatório dos valores encontrados para as funções principais e determinou-se o índice de qualidade do solo.

### 5.2.8 Percentagem de cobertura do solo

A percentagem de cobertura do solo pelos resíduos vegetais foi determinada esticando uma trena de 15 m de comprimento com 100 marcas distribuídas em espaços regulares de 0,15 m, nos dois sentidos diagonais das parcelas, sendo que cada marca

da trena, que coincidiu com a palha sobre o solo, correspondeu a 1% de cobertura do solo. Esta metodologia foi descrita por Laflen et al. (1981).

### **5.2.9 Massa da cobertura vegetal**

A massa da cobertura vegetal presente na área seguiu a metodologia do quadrado de madeira (0,25 m<sup>2</sup>) descrita por Chaila (1986). A massa verde colhida foi embalada em sacos de papel e seca em estufa a 65° C por 48 horas, sendo pesada e os valores obtidos transformados em kg ha<sup>-1</sup>.

### **5.2.10 Avaliação das operações agrícolas**

#### **5.2.10.1 Velocidade média do trator**

A velocidade média do trator foi determinada através da relação entre a distância e o tempo gasto para percorrer a parcela de 20 metros. O tempo gasto foi obtido com um cronômetro. A velocidade média foi calculada pela equação:

$$V_m = \frac{\Delta d}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad (4)$$

onde:

$V_m$  – velocidade média do trator, km h<sup>-1</sup>;

$\Delta d$  - distância, m;

$\Delta t$  - tempo de percurso na parcela, s;

3,6 - fator de conversão.

### 5.2.10.2 Patinagem do trator em operação

A percentagem de patinagem das rodas motrizes foi estimada utilizando-se os tempos de percurso na parcela, com e sem carga conforme Gamero e Lanças (1996). A percentagem de patinagem foi calculada pela equação:

$$P_{at} = \left( \frac{T_{cc} - T_{sc}}{T_{cc}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

onde:

$P_{at}$  - Patinagem do trator, %;

$T_{cc}$  - tempo do trator com carga, s;

$T_{sc}$  - tempo do trator sem carga, s.

### 5.2.10.3 Força média de tração na barra

No preparo convencional, para determinar a força média de tração na operação de aração foi utilizado o método indireto, conforme Gamero e Lanças (1996), fazendo uso de um comboio de tratores. O primeiro, denominado trator de tração, da marca John Deere, modelo 6600, tracionou o trator de suporte (Massey Ferguson, modelo MF 283). A força média de tração exigida pelo arado foi determinada através da diferença entre o trator de tração para tracionar o conjunto (trator de suporte e arado) em operação e o comboio com o arado levantado para eliminar a resistência ao rolamento.

No preparo convencional, o trator de tração foi conduzido em marcha e rotação constante do motor (1ª B a 2.200 rpm). Após a aração, foi realizada uma gradagem utilizando uma grade leve, tracionada por um trator com marcha e rotação constante do motor (2ª B a 2.200 rpm). No preparo reduzido, com o escarificador, foi utilizado um trator, com marcha e rotação do motor constante (3ª A a 2.200 rpm). Os dados foram coletados e armazenados a uma frequência de 1 Hz pelo sistema de aquisição de dados, "micrologger" da

CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo CR21X. A força de tração média foi calculada pela equação:

$$F_{tm} = \frac{\sum F_i}{n} \quad (6)$$

onde:

$F_{tm}$  - força de tração média, N;

$\sum F_i$  - somatório da força de tração instantânea, N;

$n$  - número de dados registrados.

#### 5.2.10.4 Resistência específica operacional

A resistência específica operacional foi calculada através da força de tração média necessária para mobilizar 1 mm<sup>2</sup> de solo, pela equação:

$$R_{eo} = \frac{F_{tm}}{A_{mob}} \cdot 1000 \quad (7)$$

onde:

$R_{eo}$  - resistência específica operacional, N mm<sup>-2</sup>;

$F_{tm}$  - força de tração média, N;

$A_{mob}$  - área mobilizada, mm<sup>2</sup>.

#### 5.2.10.5 Potência média na barra de tração

A potência média na barra de tração foi calculada através do produto da força de tração média requerida e a velocidade média do conjunto trator-equipamento, pela equação:

$$P_m = F_{tm} \cdot V_m \quad (8)$$

onde:

$P_m$  - potência média na barra de tração, W;

$F_{tm}$  - força de tração média, N;

$V_m$  - velocidade média do conjunto trator-equipamento, m s<sup>-1</sup>.

#### 5.2.10.6 Capacidade de campo teórica do conjunto trator-equipamento

A capacidade de campo teórica do conjunto trator-equipamento foi determinada através da multiplicação da largura do equipamento pela velocidade de trabalho. A capacidade de campo teórica foi calculada pela equação:

$$C_{ct} = L_t \cdot V_m \cdot 0,36 \quad (9)$$

onde:

$C_{ct}$  - capacidade de campo teórica, ha h<sup>-1</sup>;

$L_t$  - largura de trabalho do equipamento, m;

$V_m$  - velocidade média de trabalho, m s<sup>-1</sup>;

0,36 - fator de conversão.

#### 5.2.10.7 Consumo horário de combustível

Determinou-se o consumo horário de combustível, utilizando-se um fluxômetro instalado próximo ao filtro de combustível do trator registrando unidades de pulsos que correspondiam o consumo em mL. Para realização do cálculo em L h<sup>-1</sup> foram utilizados a quantidade de pulsos e o tempo gasto para percorrer a parcela. O consumo horário foi calculado pela equação:

$$C_h = \frac{\Sigma p \cdot 3,6}{\Delta t} \quad (10)$$

onde:

$C_h$  - consumo horário, L h<sup>-1</sup>;

$\Sigma p$  - somatório de pulsos equivalentes ao gasto em mL para percurso na parcela;

$\Delta t$  - tempo de percurso na parcela, s;

3,6 - fator de conversão.

#### 5.2.10.8 Consumo operacional de combustível

Determinou-se o consumo operacional de combustível ou consumo de combustível por unidade de área trabalhada, pela relação entre o consumo horário de combustível e a capacidade de campo teórica. O consumo operacional de combustível foi calculado pela equação:

$$C_{oc} = \frac{C_{hc}}{C_{ct}} \quad (11)$$

onde:

$C_{oc}$  - consumo operacional de combustível, L ha<sup>-1</sup>;

$C_{hc}$  - consumo horário de combustível, L h<sup>-1</sup>;

$C_{ct}$  - capacidade de campo teórica, ha h<sup>-1</sup>.

#### 5.2.10.9 Profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos sistemas de manejo

Para o cálculo da profundidade do sulco e área de solo mobilizada utilizou-se um perfilômetro de madeira, que foi colocado transversalmente no início das

parcelas. Os perfis foram determinados antes do preparo, após o uso do equipamento e depois da retirada do solo. No final das parcelas foram lidos os perfis mobilizados após o uso do arado e da grade leve. A profundidade do sulco foi calculada pela equação:

$$P_m = \sum \frac{P_n - P_f}{n} \quad (12)$$

onde:

$P_m$  - profundidade do sulco, cm;

$P_n$  - valor do perfil da superfície natural do solo para cada ponto do perfilômetro, cm;

$P_f$  - valor do perfil da superfície final do solo para cada ponto do perfilômetro, cm;

$n$  - número de leituras (varetas do perfilômetro).

A área de solo mobilizada foi calculada pela equação:

$$A_m = L_c \cdot P_m \quad (13)$$

onde:

$A_m$  - área de solo mobilizada, cm<sup>2</sup>;

$L_c$  - largura de corte, cm;

$P_m$  - profundidade do sulco, cm.

#### **5.2.10.10 Profundidade do sulco e área de solo mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora**

Os três perfis do solo foram marcados em folhas de papel tamanho 40 x 60 cm, utilizando caneta porosa: perfil da superfície natural do solo (antes da mobilização); perfil da superfície final do solo (após mobilização); perfil interno do solo mobilizado (após

mobilização com retirada do solo). O cálculo da área mobilizada foi obtido por meio de planimetria digitalizada no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Rural.

## **5.2.11 Avaliação da cultura**

### **5.2.11.1 População de plantas**

A população de plantas de girassol foi avaliada pela contagem das plantas presentes em uma distância de 10 metros em duas linhas de semeadura, totalizando uma área de 14 m<sup>2</sup>.

### **5.2.11.2 Distribuição longitudinal de plantas**

Logo após a regularidade de plantas emergidas de girassol, as distâncias entre plantas foram medidas com o auxílio de uma trena graduada, numa extensão de 10 m, em duas fileiras das plantas, de cada tratamento. Depois dessas medições, foram obtidas as porcentagens de espaçamentos duplos, aceitáveis e falhos. A semeadora estava regulada para dosar 3,47 sementes por metro.

Os dados referentes às distâncias entre plantas foram avaliados de acordo com a metodologia adaptada por Kurachi et al. (1989), na qual a população total de espaçamentos foi dividida em subpopulações, correspondendo a múltiplos do espaçamento nominal (EN), que é o espaçamento recomendado agronomicamente. Assim, três categorias foram usadas: a primeira correspondeu aos espaçamentos iguais ou próximos de zero (<0,5 EN), denominada espaçamentos duplos; a segunda corresponde aos espaçamentos aceitáveis (0,5 - 1,5 EN); a terceira corresponde aos espaçamentos denominados falhas (>1,5 EN).



### 5.2.11.3 Profundidade de deposição de sementes

A profundidade de deposição de sementes foi determinada em duas linhas de 1 m, em cada subparcela, fora da área útil. As plantas foram cortadas rente ao solo sendo realizada uma escavação em volta das mesmas, medindo-se com auxílio de uma régua graduada, tendo como limite de profundidade de semeadura o tegumento da semente.

### 5.2.11.4 Altura das plantas e diâmetro do caule

Aos 10, 16, 30, 37, 46, 60 e 93 dias após a emergência (DAE), foi determinada de forma não destrutiva, a altura de 4 plantas por parcela, identificadas com marcadores. E aos 93 dias após a emergência foi determinado o diâmetro do caule. No primeiro caso, à medida foi realizada do nível do solo até a região central de cada capítulo, com auxílio de uma régua graduada e, no segundo, 10 cm acima do colo da planta, com auxílio de um paquímetro. Para determinação da curva de crescimento das plantas foi ajustada uma função logística descrita por Amabile et al. (2003).

$$\omega = \frac{\theta}{(1 + \exp^{\alpha - \beta \cdot x})} \quad (14)$$

onde:

$\omega$  - variável dependente (altura das plantas);

$\theta$  - parâmetro assintótico (correspondendo à altura na maturação fisiológica);

exp - base dos logaritmos neperianos;

$\alpha$  - parâmetro de locação;

$\beta$  - taxa de expansão do crescimento;

$x$  - tempo em que o crescimento ocorre.

Nos resultados, os parâmetros foram utilizados da seguinte maneira:

Altura na maturação - estimada pela função logística-  $\theta$ ;

Tempo de inflexão - calculado através da relação entre os parâmetros -  $\frac{\alpha}{\beta}$ .

#### **5.2.11.5 Massa seca da parte aérea**

A biomassa da parte aérea foi avaliada retirando-se 4 plantas no final do ciclo da cultura. As plantas foram cortadas rente ao solo, e secas, até atingir massa constante, em estufa elétrica a 65 °C.

#### **5.2.11.6 Diâmetro do capítulo**

O diâmetro do capítulo foi determinado medindo-se a inflorescência de 4 plantas no final do ciclo da cultura, distribuídas ao acaso, na área útil da subparcela.

#### **5.2.11.7 Massa de mil aquênios**

Coletando-se mil aquênios, foi obtida e determinada a sua massa.

#### **5.2.11.8 Teor de óleo nos aquênios**

A obtenção e quantificação do teor de óleo foram realizadas no Laboratório do Núcleo de Pesquisa Avançada em Matologia do Departamento de produção vegetal da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Utilizou-se o método químico Soxhlet de acordo com Souto (2007).

#### **5.2.11.9 Produtividade de aquênios do girassol**

Procedeu-se a colheita manual dos capítulos, na maturação fisiológica R 9, nas duas linhas centrais das subparcelas, em uma área útil de 14 m<sup>2</sup>. Após a colheita, os

capítulos foram secados em ambiente protegido e realizada a separação dos aquênios manualmente. O teor de água dos aquênios foi determinado com auxílio de um sensor de umidade e corrigido para 12%.

### 5.2.12 Análise dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância, conforme o esquema apresentado na Tabela 5, para as médias provenientes do fator qualitativo (sistemas de manejo do solo), utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que para as oriundas do fator quantitativo (velocidades na operação de semeadura), o modelo de regressão, testando-se os coeficientes dos componentes de cada modelo até 5% de probabilidade, sendo escolhidos os modelos significativos com maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 5.** Esquema da análise de variância.

Causa de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F
Blocos	3	QM Bloco	
Sistemas de manejo do solo (S)	3	QM S	QM S / QM Erro (a)
Erro (a)	9	QM Erro (a)	
Velocidades na operação de semeadura (V)	3	QM V	QM V / QM Erro (b)
S x V	9	QM S x V	QM S x V / QM Erro (b)
Erro (b)	36	QM Erro (b)	
Total	63		

Para o crescimento das plantas foi ajustada uma função não-linear assintótica, “função logística”.

A análise estatística foi realizada utilizando o programa de estatística “SISVAR” – Sistema de Análise de Variância – da Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2000).

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos são apresentados na forma de Tabelas e Figuras. Para as Tabelas, quando ocorrer a ausência de letras entre os valores e, para as Figuras em forma de gráficos, quando ocorrer a presença das letras “ns”, nas equações, é indicação de que não houve significância pelo teste de Fisher a 5% de probabilidade. Mesmo não sendo significativa ( $P < 0,05$ ) a interação entre os sistemas de manejo (SM) e as velocidades na operação de semeadura (V), pois indica não haver dependência entre os efeitos dos fatores estudados, procedeu-se o desdobramento da interação SM x V para confirmar tal informação. Médias seguidas da mesma letra maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As abreviações citadas em Tabelas, Figuras e textos correspondem aos sistemas de manejo: SDh - Semeadura direta com mecanismo sulcador tipo haste; SDd - Semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco; CR - Cultivo reduzido e semeadura com mecanismo sulcador tipo disco e CC - Cultivo convencional e semeadura com mecanismo sulcador tipo disco.

### **6.1 Cobertura na superfície do solo**

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da percentagem de cobertura na superfície do solo com resíduos vegetais da safra anterior e ervas daninhas presentes na área antes e após os sistemas de manejo, os quais não apresentaram diferenças

estatisticamente significativas, demonstrando, assim, a homogeneidade de cobertura no solo. Antes de qualquer interferência mecânica, havia na superfície do solo mais de 80% de cobertura vegetal, apresentando uma média de 6.268,07 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca.

**Tabela 6.** Cobertura na superfície do solo por resíduos vegetais da safra anterior e ervas daninhas presentes na área antes e após instalação dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Antes dos sistemas de manejo (%)	Após os sistemas de manejo (%)
SDh	92,17	92,17a
SDd	92,11	92,11a
CR	95,85	30,38 b
CC	83,42	5,83 c

DMS antes do manejo = 16,17; DMS após o manejo = 13,07; CV antes do manejo (%) = 8,05; CV após o manejo (%) = 10,74.

Após a instalação dos manejos, o tratamento CC apresentou as menores percentagens de cobertura, mantendo, apenas, 5,83% da superfície do solo protegida com resíduos. Isto é explicado pela mobilização e inversão das camadas superficiais do solo pelos órgãos ativos do arado e incorporação de grande parte dos resíduos vegetais que estavam presentes na superfície, o que concorda com os resultados obtidos por Siqueira (1999), quando comparou a operação de escarificação com o preparo do solo com arado de disco e aiveca.

Levien e Gamero (2000) verificaram que o preparo convencional (arado de disco seguido de duas grades leves) promoveu, em média, redução de 85% na porcentagem de cobertura do solo com aveia preta.

Nos sistemas de manejo SDh e SDd, os valores de coberturas no solo, 92,17 e 92,11%, respectivamente, foram superiores aos 76% encontrados por Furlani et al. (2004).

O tratamento CR apresentou valores de cobertura (30,38%) inferiores aos 38,3% encontrados por Boller et al. (1997) e 37% por Furlani et al. (2004). Mesmo assim, o tratamento CR, pode ser considerado como preparo conservacionista, por ter apresentado valores de cobertura vegetal no solo após a escarificação, acima de 30%, conforme relatado por Magleby e Shertz (1988).

## **6.2 Densidade do solo, densidade de máxima compactação, teor de água de máxima compactação e densidade relativa**

O valor da densidade do solo considerado como alto foi acima de  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$ . Este valor foi determinado através da densidade relativa de 0,88 que, segundo Liepic et al. (1991), para um solo de mesma textura, foi comprometedor para o desenvolvimento das culturas.

Os valores médios da densidade do solo entre os sistemas de manejo e profundidades são apresentados na Tabela 7. Verifica-se na camada de 20-90 mm, que os tratamentos SDh, CR e CC apresentaram valores da densidade inferiores a  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$  e o tratamento SDd apresentou valor acima do aceitável ( $1,23 \text{ kg dm}^{-3}$ ), diferenciando-se estatisticamente dos demais sistemas de manejo. Cruz et al. (2003) e Falleiro et al. (2003), avaliando os efeitos de seis sistemas de manejo sobre as propriedades físicas do solo, verificaram que a densidade foi superior na semeadura direta em relação aos demais tratamentos.

Verifica-se também, na Tabela 7, que na profundidade de 150-220 mm, o tratamento SDh foi o que apresentou maior valor da densidade do solo, diferindo estatisticamente do tratamento CR. Abreu et al. (2004) comparando sistemas de cultivo (convencional e plantio direto), verificaram que não houve diferença significativa entre os valores da densidade do solo. Costa et al. (2003), avaliando, durante 21 anos, os efeitos dos sistemas de preparo convencional e o plantio direto, verificaram que a adoção do sistema de plantio direto proporcionou melhoria nas propriedades físicas do solo em comparação ao preparo convencional, evidenciada pela diminuição na densidade.

Comparando-se os sistemas de manejo, entre as profundidades, verificou-se que houve diferença significativa entre os valores da densidade do solo, os quais foram superiores na camada de 150-220 mm, com exceção do tratamento SDd que não diferiu significativamente. Já Falleiro et al. (2003), não observaram aumento ou redução da densidade do solo com o aumento da profundidade nos sistemas de manejos estudados. Provavelmente, os menores valores da densidade na camada superior do solo ocorreram devido as mesmas apresentarem maior teor de matéria orgânica o que está de acordo com Costa et al. (2006). Outro fator que pode ter contribuído para a diminuição dos valores da densidade do solo na

primeira camada foi a descompactação provocada pelos equipamentos de preparo nos tratamentos CR e CC e pelos mecanismos sulcadores das semeadoras nos caso dos tratamentos SDh e SDd, uma vez que as amostras foram retiradas na linha de semeadura.

Analisando a densidade de máxima compactação na Tabela 7, verifica-se que o tratamento CR diferiu significativamente, apresentando menor valor de densidade quando comparado aos demais sistemas de manejo. Para atingir a máxima compactação, não houve significância entre os sistemas de manejo, em relação aos teores de água encontrados, ficando, estes, dentro da faixa de friabilidade do solo.

A densidade relativa não apresentou efeito estatisticamente significativo entre os sistemas de manejo, porém, se forem considerados os valores acima de 0,88 como impeditivo ao desenvolvimento das culturas, como relatado por Klein (2006) e Liepic et al. (1991), verifica-se que apenas o tratamento SDd ultrapassou este valor.

**Tabela 7.** Valores médios da densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), densidade de máxima compactação ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), teor de água de máxima compactação ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e densidade relativa, após a colheita do girassol.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo			
	SDh	SDd	CR	CC
	<sup>1</sup> Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ )			
20-90	1,10 B b	1,23A a	1,13B b	1,09 B b
150-220	1,36A a	1,27ABa	1,24 Ba	1,27ABa
	<sup>2</sup> Densidade de máxima compactação ( $\text{kg dm}^{-3}$ )			
0-100	1,39A	1,38A	1,35 B	1,38A
	<sup>3</sup> Teor de água de máxima compactação ( $\text{g kg}^{-1}$ )			
0-100	287,57	288,48	290,70	288,13
	<sup>4</sup> Densidade relativa			
0-100	0,80	0,89	0,84	0,80

<sup>1</sup>DMS interação sistemas de manejo = 0,10; DMS interação profundidade = 0,07; CV sistemas de manejo (%) = 6,33; CV profundidade (%) = 3,95.

<sup>2</sup>DMS = 0,02; CV (%) = 0,63.

<sup>3</sup>DMS = 0,90; CV (%) = 3,54.

<sup>4</sup>DMS = 0,11; CV (%) = 5,76.

### 6.3 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Verifica-se na Tabela 8 que houve interação significativa pelo teste de F ( $P < 0,05$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades para as variáveis: porosidade total, macroporosidade e microporosidade. Considerando que o solo estudado é de textura argilosa e que a porosidade total foi superior a  $0,50 \text{ mm}^3 \text{ mm}^{-3}$ , independente dos sistemas de manejo e da profundidade, sendo estes valores considerados como ótimos para um bom armazenamento de água.

Pode ser constatado que o tratamento SDh foi o que apresentou maior porosidade total na profundidade de 20-90 mm, diferenciando-se estatisticamente do tratamento CR, sendo que na profundidade de 150-220 mm, não foi constatada diferença significativa entre os sistemas de manejo, corroborando com os resultados obtidos por Siqueira (1995). Comparando-se os valores obtidos de porosidade total, entre as profundidades, verificou-se que apenas o tratamento SDh diferiu estatisticamente, apresentando menor porosidade na segunda camada. Costa et al. (2006) verificaram que a porosidade total diminuiu com a profundidade, possivelmente em função do maior teor de matéria orgânica na camada superficial e do acúmulo das pressões abaixo de 100 mm, resultante do tráfego.

Avaliando-se os poros de aeração (macroporosidade) na camada 20-90 mm de profundidade, verifica-se que entre os sistemas de manejo, a macroporosidade foi superior ao valor mínimo restritivo para o desenvolvimento radicular das plantas ( $0,10 \text{ mm}^3 \text{ mm}^{-3}$ ) e que os tratamentos SDh e CC foram os que apresentaram maiores valores, sendo que apenas o tratamento SDh diferenciou-se dos tratamentos SDd e do CR (Tabela 8). Isto implica que a mobilização com as hastas da semeadora foi suficiente para aumentar a porosidade de aeração na camada superficial e que o rompimento do solo com a escarificação não demonstrou a mesma eficiência. Provavelmente isto deve ter ocorrido devido ao teor de água no dia do preparo não ter favorecido um bom cisalhamento do solo, discordando dos resultados obtidos por Bonel et al. (2004) que, estudando os atributos físicos do solo em dois sistemas de manejo (semeadura direta durante 12 anos e escarificação na mesma área), evidenciaram incremento na porosidade total, macroporosidade e nos mesoporos até 200 mm de profundidade, quando utilizou-se da escarificação. Tormena et al. (2002) verificaram que o



plântio direto e o preparo reduzido foram os tratamentos que apresentaram menores valores de macroporosidade na camada de 0-100 mm de profundidade, enquanto que Colet (2006) observou que escarificação propiciou o aumento da macroporosidade nos 100 mm superficiais e não afetou na profundidade de 100-200 mm.

Os poros de aeração da camada de 150-220 mm de profundidade não foram afetados significativamente pelos sistemas de manejo. Comparando-se entre as profundidades, verificou-se que os tratamentos SDh, SDd e CC diferiram significativamente, apresentando maior macroporosidade na camada superficial (Tabela 8).

Com relação à microporosidade, verifica-se na camada de 20-90 mm de profundidade que os sistemas de manejo SDh e SDd, diferiram significativamente, sendo que o tratamento SDh foi o que apresentou a menor microporosidade. Na camada de 150-220 mm, apenas o tratamento SDh diferiu do tratamento CC e, sendo que este último, foi aquele que apresentou menor microporosidade. Observa-se também que a microporosidade aumentou em profundidade, independente do sistema de manejo adotado (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores médios de porosidade total ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ ) e microporosidade ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ ) após a colheita do girassol.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo			
	SDh	SDd	CR	CC
	<sup>1</sup> Porosidade total ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ )			
20-90	0,5469Aa	0,5306AB	0,5051 B	0,5208AB
150-220	0,5143A b	0,5064A	0,5259A	0,5172A
	<sup>2</sup> Macroporosidade ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ )			
20-90	0,1993Aa	0,1427 Ba	0,1419 B	0,1875ABa
150-220	0,0874 b	0,0938 b	0,1146	0,1209 b
	<sup>3</sup> Microporosidade ( $\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$ )			
20-90	0,3476 B b	0,3879A b	0,3633AB b	0,3408 B b
150-220	0,4268A a	0,4127AB a	0,4114ABa	0,3963 Ba

<sup>1</sup>DMS interação sistemas de manejo = 3,48; DMS interação profundidade = 2,55; CV sistemas de manejo (%) = 3,21; CV profundidade (%) = 3,19.

<sup>2</sup>DMS interação sistemas de manejo = 5,02; DMS interação profundidade = 3,68; CV sistemas de manejo (%) = 22,23; CV profundidade (%) = 17,60.

<sup>3</sup>DMS interação sistemas de manejo = 2,90; DMS interação profundidade = 2,13; CV sistemas de manejo (%) = 6,78; CV profundidade (%) = 3,59.

#### 6.4 Diâmetro médio ponderado e percentagem de agregados estáveis

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 9, verifica-se que não houve significância para os resultados obtidos de diâmetro médio ponderado e para a percentagem de agregados estáveis por classe de tamanho pelo teste de F a 5% de probabilidade, podendo-se afirmar, que os sistemas de manejos aplicados não comprometeram a estabilidade de agregação do solo, sendo que a classe de 4-2 mm foi a que apresentou maior percentagem no tamanho de agregados, corroborando com os resultados obtidos por Cruz et al. (2003) e Lacerda et al. (2005), que não observaram diferenças significativas entre o diâmetro médio ponderado dos agregados, quando substituíram o preparo convencional pela semeadura direta em um Nitossolo Vermelho Distroférico. Por outro lado, os resultados discordam daqueles obtidos por Campos et al. (1995), Castro Filho et al. (1998) e Reinert et al. (1984), os quais verificaram que o sistema de plantio direto apresentou maiores valores de diâmetro médio ponderado quando comparado ao preparo convencional.

Verifica-se, portanto na Tabela 9 que, por ser um solo argiloso com elevados teores de óxidos de ferro, sendo conduzido durante 11 anos sob o sistema de semeadura direta, resultando no aumento do teor de matéria orgânica, os tratamentos com preparo convencional e reduzido, em uma única safra, não foram capazes de influenciar no diâmetro médio ponderado e na percentagem de agregados estáveis por classe de tamanho.

**Tabela 9.** Diâmetro médio ponderado (mm) e percentagem de agregados estáveis (%) por classe de tamanho, na profundidade de 0-200 mm, após a colheita do girassol.

Sistemas de manejo	<sup>1</sup> DMP	<sup>2</sup> 4,0 – 2,0 mm	<sup>3</sup> 2,0 – 1,0 mm	<sup>4</sup> 1,0 – 0,5 mm	<sup>5</sup> 0,5 – 0,25 mm
	mm	-----%			
SDh	2,29	68,25	20,00	7,75	4,00
SDd	2,44	74,25	17,25	6,00	2,50
CR	2,21	64,50	21,75	11,75	2,00
CC	2,24	65,25	23,00	8,25	3,50

<sup>1</sup>DMS sistemas de manejo = 0,32; CV sistemas de manejo (%) = 6,29.

<sup>2</sup>DMS sistemas de manejo = 13,76; CV sistemas de manejo (%) = 9,16.

<sup>3</sup>DMS sistemas de manejo = 6,50; CV sistemas de manejo (%) = 14,36.

<sup>4</sup>DMS sistemas de manejo = 6,87; CV sistemas de manejo (%) = 38,38.

<sup>5</sup>DMS sistemas de manejo = 1,91; CV sistemas de manejo (%) = 46,19.

### **6.5 Resistência do solo à penetração**

Analisando-se os valores obtidos para a resistência do solo à penetração, apresentados na Tabela 10, entre os diferentes sistemas de manejo, verifica-se que na profundidade de 0-50 mm, os tratamentos CR e o CC foram os que apresentaram os menores valores, diferenciaram-se estatisticamente dos tratamentos SDh e SDD. O tratamento SDD foi o que apresentou maior resistência do solo porém, independente dos tratamentos, todos os valores obtidos de resistência do solo à penetração podem ser considerados baixos.

Na profundidade de 50-100 mm, o tratamento CR apresentou o menor valor de resistência do solo, seguido do tratamento CC. Os tratamentos SDh e SDD, alcançaram valores de resistência acima de 2 MPa, valor este considerado, por vários autores, como comprometedor para o desenvolvimento radicular das culturas (Tabela 10). Este resultado está de acordo com Cavalieri et al. (2006), que verificaram maiores valores de resistência à penetração no tratamento de plantio direto.

Na Tabela 10 pode se verificar que o tratamento CR foi o que obteve os menores valores de resistência do solo à penetração quando comparado aos tratamentos SDh e SDD, até a profundidade de 550 mm, já com relação ao tratamento CC, diferenciou-se na profundidade de 50-100 mm e abaixo de 150 mm de profundidade.

Considerando os valores de resistência encontrados entre os sistemas de manejo e profundidades, verifica-se que os mesmos estão abaixo de 3,5 MPa, valor este considerado por Torres e Saraiva (1999) como indicativo de baixa compactação quando o solo apresenta-se na condição friável.

Pode-se observar que, dentre os atributos físicos do solo, a resistência à penetração foi o mais sensível para identificar os efeitos dos sistemas de manejo, corroborando com os resultados obtidos por Ceconi et al. (2007), Santana et al. (2006), Abreu et al. (2004) e Streck et al. (2004).

**Tabela 10.** Valores médios de resistência do solo à penetração (MPa) após a colheita do girassol.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo			
	SDh	SDd	CR	CC
0 – 50 mm	1,18 B	1,82A	0,35 C	0,46 C
50 – 100 mm	2,29A	2,57A	0,69 C	1,12 B
100 – 150 mm	2,53A	2,62A	1,55 B	1,87 B
150 – 200 mm	2,61A	2,65A	1,39 B	2,40A
200 – 250 mm	2,69A	2,79A	1,59 B	2,58A
250 – 300 mm	2,74A	2,93A	1,89 B	2,63A
300 – 350 mm	2,75A	2,91A	2,11 B	2,69A
350 – 400 mm	2,75A	2,94A	2,20 B	2,76A
400 – 450 mm	2,81A	2,89A	2,27 B	2,73A
450 – 500 mm	3,07A	2,91A	2,33 B	2,80A
500 – 550 mm	2,82A	2,91A	2,35 B	2,89A

DMS sistemas de manejo = 0,42; CV sistemas de manejo (%) = 33,20.

O aumento dos valores de resistência à penetração em função da profundidade está de acordo com aqueles obtidos por Borges et al. (2004), que verificaram incremento mais acentuado da resistência em maiores profundidades, justificando assim, entre outros fatores, à pressão das camadas superficiais sobre as subjacentes e à própria pressão exercida pelas máquinas utilizadas nas operações de manejo.

### 6.6 Teor de água no solo na determinação da resistência do solo à penetração após a colheita do girassol.

Na Tabela 11, são apresentados os valores médios do teor de água no solo, no momento da determinação da resistência à penetração, a qual foi efetuada quando o mesmo se apresentava abaixo do limite de plasticidade que é de 33% ( $330 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Analisando-se os valores do teor de água no solo, obtidos entre os sistemas de manejo, verifica-se que houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade na profundidade de 100-200 mm, sendo que o tratamento CC apresentou maior teor de água e diferiu estatisticamente do tratamento SDd. Observa-se que para as outras profundidades não houve influência do teor de água entre os sistemas de manejo do solo

(Tabela 11). De maneira geral, verificou-se que o aumento na profundidade implicou na elevação do teor de água no solo, mesmo assim, não ocorreu a redução dos valores de resistência à penetração (Tabela 9).

**Tabela 11.** Teor de água no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no momento da determinação da resistência do solo à penetração (MPa) após a colheita do girassol.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo				Médias
	SDh	SDd	CR	CC	
0-100	264,75 b	275,50	274,75	266,50 b	270,38 b
100-200	281,25ABab	277,75 B	289,75AB	308,25Aa	289,25a
200-300	292,25 a	291,50	299,75	313,75 a	299,31a
Médias	279,42	281,58	288,08	296,17	

DMS médias p/ sistemas de manejo = 24,70; DMS médias p/ profundidade = 13,23; DMS interação sistemas de manejo = 29,19; DMS interação profundidade = 26,45; CV sistemas de manejo (%) = 6,11; CV profundidade (%) = 5,27.

## 6.7 Análise química do solo

Analisando-se a Tabela 12, verifica-se que entre os sistemas de manejo, não houve significância pelo teste de F a 5% de probabilidade para os valores de pH, CTC e para os teores de P,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{+2}$ , corroborando com os resultados obtidos por Almeida et al. (2005) que não constataram diferenças entre os teores de  $\text{Ca}^{+2}$  para os diferentes sistemas de manejo estudado.

Pode-se constatar na Tabela 12 que o valor de pH diminuiu em profundidade nos sistemas de manejo SDh, SDd e CR, concordando com Sidiras e Pavan (1985), que verificaram diminuição no valor de pH da superfície (0-100 mm) para subsuperfície (100-200 mm). Falleiro et al. (2003) também verificaram maiores valores de pH na camada superficial no sistema de semeadura direta, o qual diminui em profundidade.

Verifica-se na Tabela 12 que no tratamento CC, a profundidade não influenciou significativamente nos valores de pH, mas observou-se uma tendência de redução dos seus valores. Entre os demais sistemas de manejo houve redução significativa nas maiores profundidades. Para Santos e Tomm (2003), o preparo convencional do solo com arado de discos e com preparo reduzido foram os que apresentaram maiores valores de pH na camada 0-50 mm de profundidade, quando comparados com a semeadura direta. Já nas camadas de

50-100 e 100-150 mm, os autores verificaram que os valores de pH foram superiores no preparo convencional do solo, quando comparados com aqueles obtidos nos tratamentos de semeadura direta e preparo reduzido. Na camada superior, com exceção do tratamento CC, os valores obtidos de pH foram considerados altos e para segunda camada foram considerados médios de acordo com Rajj et al. (2001), comprovando que a elevação do pH na superfície do solo foi proporcionada pela aplicação de calcário, durante vários anos, sem incorporação.

Ainda na Tabela 12, verifica-se que o nutriente P, nos valores das médias e no tratamento SDh, sofreu redução significativa em relação ao fator profundidade. Porém, constatou-se esta tendência dos valores de P para os quatro sistemas de manejo foi devido à baixa mobilidade desse nutriente no solo.

Os teores de  $K^+$  apresentaram diferenças estatisticamente significativas e foram superiores na camada de 0-200 mm, quando foram comparados com aqueles obtidos na camada de 200-400 mm de profundidade. De acordo com Rajj et al. (2001) os valores de  $K^+$  encontrados na primeira camada são classificados como de teores altos e na segunda camada, de teores médios.

Comparando os teores de  $Ca^{+2}$  trocáveis em profundidade, verifica-se na Tabela 12, que os mesmos foram maiores na camada superficial, com exceção do tratamento CC, que não apresentou diferenças estatísticas. Este resultado é atribuído ao não revolvimento do solo durante 11 anos, com aplicação superficial de  $1000 \text{ kg ha}^{-1}$  de calcário a cada dois anos. Na camada de 0-200 mm de profundidade, os teores de  $Mg^{+2}$ , foram superiores nos tratamentos SDd e CR que se diferenciaram significativamente do tratamento CC. O tratamento SDh não diferiu do tratamento CC. Na camada de 200-400 mm de profundidade os teores de  $Mg^{+2}$  não diferiram significativamente quando comparou-se os sistemas de manejos. Comparando os teores de  $Mg^{+2}$  trocáveis em profundidades, verifica-se que os maiores teores foram encontrados na camada superficial, com exceção do tratamento CC, que não diferiu estatisticamente.

Com relação aos teores de matéria orgânica (M.O.) contidos na Tabela 12, verifica-se que houve diferença significativa para os tratamentos CR e CC, sendo que os tratamentos SDh, SDd e CR foram os que apresentaram maiores valores de M.O na camada de 0-200 mm de profundidade,. Para a camada de 200-400 mm de profundidade, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Analisando os teores de M.O. em profundidade verificou-se que os valores obtidos diminuíram significativamente da camada superior para a inferior em todos os tratamentos, mesmo tendo ocorrido o revolvimento do solo no tratamento CC (Tabela 12). Resultados semelhantes foram obtidos por Falleiro et al. (2003), Santos e Tomm (2003). Os maiores teores de M.O. em superfície, devem-se, provavelmente, aos 11 anos de cultivo sob o sistema de semeadura direta com sucessão de culturas e reciclagem dos nutrientes pelas plantas. De acordo com Tomé Jr. (1997) os teores obtidos na camada de 0-200 mm e na camada de 200-400 mm de profundidade, podem ser classificados como altos e médios para o Estado de São Paulo, respectivamente.

Avaliando os valores de soma de bases trocáveis na camada de 0-200 mm de profundidade, verifica-se que o tratamento CC foi o que apresentou os menores valores, porém não diferindo estatisticamente dos tratamentos SDh e CR; para a camada de 200-400 mm de profundidade, os sistemas de manejo não diferiram entre si; com relação à soma de bases trocáveis, comparada em profundidade, verificou-se que apenas no tratamento CC os valores não diminuíram significativamente entre as camadas estudadas.

Analisando a capacidade de troca catiônica do solo observa-se na Tabela 12, que não houve efeito entre os sistemas de manejo nas duas camadas estudadas. Com relação à profundidade, verifica-se na camada de 0-200 mm, que os valores de CTC foram superiores estatisticamente em relação à camada de 200-400 mm, com exceção para o tratamento CC, que não apresentou diferença. Os maiores valores de CTC na camada superficial do solo, devem-se, provavelmente, ao maior teor de matéria orgânica apresentado nesta camada. No caso do tratamento CC, a semelhança entre os valores de CTC, em profundidade, é explicada por ter ocorrido revolvimento da leiva e homogeneização do solo em profundidade.

Considerando que há 11 anos a área vinha sendo cultivada sobre o sistema plantio direto, provavelmente, favoreceu um acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo, para aqueles menos móveis ou imóveis. De acordo com Kluthcouski, et al. (2000) e Muzilli (1983) os principais nutrientes que se acumulam na superfície são o P,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$ .

Constata-se ainda, pelos valores apresentados na Tabela 12, que os teores de nutrientes não foram fator limitante para o desenvolvimento da cultura do girassol.

**Tabela 12.** Análise química do solo após a colheita do girassol.

Profundidade (mm)	Sistema de manejos				
	SDh	SDd	CR	CC	Médias
..... <sup>1</sup> pH (CaCl <sub>2</sub> 0,01M).....					
0-200	5,68a	6,03a	5,88a	5,38	5,74a
200-400	5,10 b	5,15 b	5,28 b	5,13	5,16 b
..... <sup>2</sup> P (mg kg <sup>-1</sup> ).....					
0-200	52,25a	29,25	34,75	57,25	43,38a
200-400	19,50 b	14,50	14,25	36,50	21,19 b
..... <sup>3</sup> K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....					
0-200	5,05a	4,03a	4,85a	4,17a	4,53a
200-400	2,73 b	2,08 b	1,95 b	2,48 b	2,31 b
..... <sup>4</sup> Ca <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....					
0-200	51,75a	61,25a	59,00a	45,75	54,44a
200-400	38,75 b	37,25 b	40,00 b	42,50	39,63 b
..... <sup>5</sup> Mg <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....					
0-200	22,50ABa	24,00Aa	24,00Aa	18,50 B	22,25a
200-400	14,00 b	14,25 b	15,00 b	15,75	14,75 b
..... <sup>6</sup> M.O. (g dm <sup>-3</sup> ).....					
0-200	27,00ABa	29,25ABa	29,75Aa	24,75Ba	27,69a
200-400	18,75 b	18,75 b	18,00 b	20,75 b	19,06 b
..... <sup>7</sup> SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....					
0-200	79,25ABa	89,25Aa	88,50ABa	68,25 B	81,31a
200-400	55,00 b	53,50 b	56,75 b	60,75	56,50 b
..... <sup>8</sup> CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....					
0-200	108,00a	112,25a	114,00a	102,75	109,25a
200-400	93,75 b	89,50 b	89,50 b	100,00	93,19 b

<sup>1</sup>DMS médias p/ profundidade= 0,24; DMS interação sistemas de manejo = 0,65; DMS interação profundidade = 0,48; CV sistemas de manejo (%) = 4,32; CV profundidade (%) = 5,71.

<sup>2</sup>DMS médias p/ profundidade= 13,59; DMS interação sistemas de manejo = 37,07; DMS interação profundidade = 27,19; CV sistemas de manejo (%) = 64,15; CV profundidade (%) = 54,68.

<sup>3</sup>DMS médias p/ profundidade= 0,48; DMS interação sistemas de manejo = 1,30; DMS interação profundidade = 0,95; CV sistemas de manejo (%) = 63,29; CV profundidade (%) = 18,12.

<sup>4</sup>DMS médias p/ profundidade= 6,21; DMS interação sistemas de manejo = 16,92; DMS interação profundidade = 12,42; CV sistemas de manejo (%) = 8,97; CV profundidade (%) = 17,14.

<sup>5</sup>DMS médias p/ profundidade= 1,79; DMS interação sistemas de manejo = 4,89; DMS interação profundidade = 3,59; CV sistemas de manejo (%) = 13,51; CV profundidade (%) = 12,60.

<sup>6</sup>DMS médias p/ profundidade= 1,82; DMS interação sistemas de manejo = 4,97; DMS interação profundidade = 3,65; CV sistemas de manejo (%) = 14,37; CV profundidade (%) = 10,13.

<sup>7</sup>DMS médias p/ profundidade= 7,49; DMS interação sistemas de manejo = 20,44; DMS interação profundidade = 14,99; CV sistemas de manejo (%) = 9,93; CV profundidade (%) = 14,12.

<sup>8</sup>DMS médias p/ profundidade= 4,61; DMS interação sistemas de manejo = 12,58; DMS interação profundidade = 9,23; CV sistemas de manejo (%) = 6,38; CV profundidade (%) = 5,92.



## 6.8 Índice de qualidade do solo

Os valores dos índices de qualidade apresentados nas Tabelas 13, 14, 15 e 16 foram de 0,64; 0,68; 0,86 e 0,79 para os sistemas de manejo SDh, SDd, CR e CC, respectivamente, seguindo a metodologia de Karlen e Stott (1994). Em se tratando de qualidade do solo visando apenas à produtividade das culturas, este método permite inferir que o NVdf é um solo de boa qualidade para o sistema de produção agrícola, independentemente do sistema de manejo adotado. Utilizando-se da mesma metodologia empregada neste trabalho, Melo Filho et al. (2007) avaliaram o índice de qualidade para os horizontes subsuperficiais em um Latossolo Amarelo coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural, verificando que o valor do índice foi de 0,4620, indicando que o solo possuía baixa qualidade para produção vegetal.

Nas Tabelas 13 e 15, dentre os indicadores físicos utilizados na função principal desenvolvimento radicular-DR, verificou-se que o indicador RP (resistência à penetração), seguido do indicador Ma (macroporosidade), nos tratamentos SDh e CR, foram os que mais contribuíram para elevar o índice de qualidade do solo. Entretanto, analisando-se as Tabelas 14 e 16, nos tratamentos SDd e CC, verificou-se que ocorreu o inverso entre os mesmos indicadores. Sendo assim, é notória a sensibilidade destes indicadores ao efeito da escarificação e da aração no processo de descompactação do solo e na elevação do índice de qualidade do NVdf, o que está de acordo com Neves et al. (2004), quando avaliaram as alterações dos atributos físicos na camada superficial de um Latossolo Vermelho Distrófico, observando que a resistência do solo à penetração, foi considerada como sendo de boa performance para indicar a qualidade do solo. Porém, os resultados obtidos discordam daqueles relatados por Lima et al. (2007), quanto às dificuldades encontradas na escolha de variáveis que sejam realmente sensíveis para detectar alterações em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo.

Os atributos físicos utilizados como indicadores na função DR foram os que demonstraram maiores variações entre os sistemas de manejo, contribuindo para a diminuição dos índices de qualidade do solo nos tratamentos SDh e SDd e para o seu aumento nos tratamentos CR e CC, discordando de Costa et al. (2006), que em relação aos atributos, não verificaram no preparo convencional e no plantio direto influência na qualidade do solo.

Com relação aos atributos químicos, como a capacidade de troca catiônica, os mesmos autores verificaram que foi mais alta no solo sob plantio direto.

A função principal armazenamento de água (AA) contribuiu com 24,46; 23,89; 23,52 e 21,98% nos valores obtidos para os índices de qualidade nos sistemas de manejo CC, SDh, SDd e CR, respectivamente, mesmo tendo recebido menor ponderador (0,20). Tal situação se justifica pela facilidade de armazenamento de água, por ser um solo argiloso e com elevados teores de óxidos de ferro e de matéria orgânica, tornando um solo bem estruturado e altamente resistente a erosão (CASTRO FILHO et al., 1998; FERREIRA et al., 2002). Analisando as Tabelas 13, 14, 15 e 16, verifica-se que a função principal, suprimento de nutrientes (SN), representou 61; 58; 46 e 48% do índice de qualidade do solo para os sistemas de manejo SDh, SDd, CR e CC, respectivamente, sendo, então, a função que mais contribuiu para elevar este índice no NVdf. Este resultado foi o oposto ao obtido por Melo Filho et al. (2007) que verificaram a exigência na melhoria dos indicadores químicos da função SN, quando avaliaram o índice de qualidade para horizontes subsuperficiais em Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Nesta mesma função, analisando individualmente os indicadores, verifica-se que a CTC e a M.O. contribuíram, aproximadamente, com 61% da FP, independente do sistema de manejo adotado, isto só ocorreu por terem adquiridos maiores ponderadores, pois, com exceção do pH, os outros indicadores desta mesma função, também alcançaram, aproximadamente, os valores máximos de escores.

Pelo fato do solo utilizado no experimento ser originário de basalto e a área ter sido manejada durante 11 anos sob o sistema de semeadura direta, com aplicação de fertilizantes e sucessão de culturas para reciclagem de nutrientes é de se esperar que a fertilidade química tenha contribuído, em maior escala, na elevação do índice de qualidade deste solo.

Os índices de qualidade determinados no NVdf, permitiram inferir que a metodologia empregada teve eficiência em identificar o comportamento dos sistemas de manejo empregados neste estudo, assim como Glover et al. (2000), Hussain et al. (1999) e Karlen e Stott (1994), Souza et al. (2003), que também afirmaram que a metodologia apresentou flexibilidade e facilidade de utilização.

**Tabela 13.** Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido a semeadura direta com mecanismo sulcador tipo haste.

<sup>(1)</sup> FP	Ponderador (A)	<sup>(2)</sup> IQ	Ponderador (B)	<sup>(3)</sup> VMO	Escore padronizado (C)	(BxC)	%	$\Sigma(BxC)$ (D)	(DxA)	%	<sup>(4)</sup> Iqs
(DR)	0,40	RP	0,40	2,61	0,19	0,08	31,35	0,25	0,10	15,37	
		Ds	0,20	1,36	0,01	0,00	0,92				
		Ma	0,30	0,09	0,22	0,07	26,96				
		Al	0,10	0,10	1,00	0,10	40,77				
(AA)	0,20	Ma	0,30	0,09	0,22	0,07	8,59	0,76	0,15	23,89	0,64
		PT	0,40	0,52	0,99	0,40	51,94				
		DMP	0,30	2,29	1,00	0,30	38,96				
(SN)	0,40	pH	0,10	5,68	0,79	0,08	8,19	0,97	0,39	60,74	
		P	0,10	52,25	1,00	0,10	10,31				
		M.O.	0,30	27,00	0,99	0,30	30,71				
		CTC	0,30	108,00	1,00	0,30	30,93				
		V	0,20	73,25	0,96	0,19	19,76				

<sup>(1)</sup>FP = Função principal; <sup>(2)</sup>IQ = Indicador de qualidade; <sup>(3)</sup>VMO = Valor médio observado; <sup>(4)</sup>Iqs = Índice de qualidade do solo. (DR): desenvolvimento radicular; (AA) armazenamento de água e (SN) suprimento de nutrientes.

**Tabela 14.** Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido a semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco.

<sup>(1)</sup> FP	Ponderador (A)	<sup>(2)</sup> IQ	Ponderador (B)	<sup>(3)</sup> VMO	Escore padronizado (C)	(BxC)	%	$\Sigma(BxC)$ (D)	(DxA)	%	<sup>(4)</sup> Iqs
(DR)	0,40	RP	0,40	2,65	0,21	0,09	26,72	0,32	0,13	18,70	
		Ds	0,20	1,27	0,14	0,03	8,93				
		Ma	0,30	0,09	0,35	0,10	32,94				
		Al	0,10	0,10	1,00	0,10	31,41				
(AA)	0,20	Ma	0,30	0,09	0,35	0,10	13,03	0,80	0,16	23,52	0,68
		PT	0,40	0,51	0,99	0,40	49,68				
		DMP	0,30	2,44	1,00	0,30	37,29				
(SN)	0,40	pH	0,10	6,03	0,89	0,09	9,01	0,98	0,39	57,78	
		P	0,10	29,25	1,00	0,10	10,12				
		M.O.	0,30	29,30	1,00	0,30	30,41				
		CTC	0,30	112,50	1,00	0,30	30,50				
		V	0,20	79,25	0,98	0,20	19,95				

<sup>(1)</sup>FP = Função principal; <sup>(2)</sup>IQ = Indicador de qualidade; <sup>(3)</sup>VMO = Valor médio observado; <sup>(4)</sup>Iqs = Índice de qualidade do solo. (DR): desenvolvimento radicular; (AA) armazenamento de água e (SN) suprimento de nutrientes.

**Tabela 15.** Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido ao preparo reduzido e semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco.

<sup>(1)</sup> FP	Ponderador (A)	<sup>(2)</sup> IQ	Ponderador (B)	<sup>(3)</sup> VMO	Escore padronizado (C)	(BxC)	%	$\Sigma(BxC)$ (D)	(DxA)	%	<sup>(4)</sup> Iqs
(DR)	0,40	RP	0,40	1,40	0,74	0,29	42,71	0,69	0,28	32,37	
		Ds	0,20	1,24	0,28	0,06	8,19				
		Ma	0,30	0,11	0,81	0,24	35,29				
		Al	0,10	0,10	1,00	0,10	14,49				
(AA)	0,20	Ma	0,30	0,11	0,81	0,24	25,91	0,94	0,19	21,98	0,86
		PT	0,40	0,53	1,00	0,40	42,55				
		DMP	0,30	2,21	1,00	0,30	31,91				
(SN)	0,40	pH	0,10	5,88	0,85	0,09	8,70	0,98	0,39	45,64	
		P	0,10	34,75	1,00	0,10	10,20				
		M.O.	0,30	29,80	1,00	0,30	30,55				
		CTC	0,30	114,00	1,00	0,30	30,61				
		V	0,20	77,00	0,97	0,19	19,90				

<sup>(1)</sup>FP = Função principal; <sup>(2)</sup>IQ = Indicador de qualidade; <sup>(3)</sup>VMO = Valor médio observado; <sup>(4)</sup>Iqs = Índice de qualidade do solo. (DR): desenvolvimento radicular; (AA) armazenamento de água e (SN) suprimento de nutrientes.

**Tabela 16.** Análise do índice de qualidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico submetido ao preparo convencional e semeadura direta com mecanismo sulcador tipo disco.

<sup>(1)</sup> FP	Ponderador (A)	<sup>(2)</sup> IQ	Ponderador (B)	<sup>(3)</sup> VMO	Escore padronizado (C)	(BxC)	%	$\Sigma(BxC)$ (D)	(DxA)	%	<sup>(4)</sup> Iqs
(DR)	0,40	RP	0,40	2,40	0,37	0,15	26,85	0,55	0,22	27,72	
		Ds	0,20	1,27	0,16	0,03	5,89				
		Ma	0,30	0,12	0,89	0,27	48,94				
		Al	0,10	0,25	1,00	0,10	18,32				
(AA)	0,20	Ma	0,30	0,12	0,89	0,27	27,54	0,97	0,19	24,46	0,79
		PT	0,40	0,52	0,99	0,40	41,23				
		DMP	0,30	2,24	1,00	0,30	30,93				
(SN)	0,40	pH	0,10	5,38	0,68	0,07	7,23	0,94	0,38	47,82	
		P	0,10	57,25	1,00	0,10	10,64				
		M.O.	0,30	24,80	0,98	0,29	31,34				
		CTC	0,30	102,80	1,00	0,30	31,91				
		V	0,20	66,00	0,90	0,18	19,06				

<sup>(1)</sup>FP = Função principal; <sup>(2)</sup>IQ = Indicador de qualidade; <sup>(3)</sup>VMO = Valor médio observado; <sup>(4)</sup>Iqs = Índice de qualidade do solo. (DR): desenvolvimento radicular; (AA) armazenamento de água e (SN) suprimento de nutrientes.

### 6.9 Teor de água do solo no dia dos preparos

Os resultados dos valores médios obtidos para o teor de água no dia dos preparos do solo encontram-se na Tabela 17, em que se pode observar que não houve significância pelo teste de F a 5% de probabilidade, para os sistemas de manejo e profundidades.

**Tabela 17.** Teor de água do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no dia dos preparos.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo		
	CR	CC	Médias
0-100	295,28	294,30	294,78
100-200	293,83	299,20	296,51
200-300	275,48	294,08	284,78
Médias	288,19	295,86	

DMS médias p/ sistemas de manejo = 11,05; DMS médias p/ profundidade = 16,68; DMS interação sistemas de manejo = 19,25; DMS interação profundidade = 23,58; CV sistemas de manejo (%) = 2,91; CV profundidade (%) = 4,28.

Os valores encontrados para os teores de água estão dentro da faixa de friabilidade que é apropriada para o preparo do solo (Tabela 1). No entanto, com relação ao teor de água determinado pelo ensaio de proctor (Tabela 6) verificou-se que os valores são comprometedores à estrutura física do solo quando o preparo é realizado nestas condições.

Independentemente do teor de água existente, o solo esju76htá sempre susceptível a compactação ocasionada, principalmente, pelo tráfego das máquinas. Assim, no momento do preparo do solo, não se deve considerar, somente, a faixa de friabilidade, mas também o teor de água de máxima compactação determinado no ensaio de proctor.

### 6.10 Desempenho do trator durante o preparo do solo

Os valores das variáveis velocidade média, força média de tração, potência média de tração, patinagem do trator e capacidade de campo teórica, encontram-se na Tabela 18. Verifica-se, nesta Tabela, que não foi possível aplicar um teste de média para

comparar o desempenho dos equipamentos para preparo de solo, pois no tratamento CC, foram realizadas duas operações distintas.

**Tabela 18.** Velocidade média, força média de tração, potência média de tração, patinagem do trator e capacidade de campo teórica para os diferentes sistemas de manejo do solo.

Sistemas de manejo	Equipamentos de preparo	Largura de trabalho	Velocidade média	Força média de tração	Potência média de tração	Patinagem	Capacidade de campo teórica
		m	km h <sup>-1</sup>	kN	kW	%	ha h <sup>-1</sup>
CC	Arado de disco	1,30	3,79	14,48	15,22	8,54	0,49
	Grade leve	2,55	5,01	9,50	13,22	5,61	1,28
CR	Escarificador	2,80	2,87	41,59	32,93	22,53	0,80

Verifica-se na Tabela 18 que o escarificador foi o equipamento que exigiu do trator maior força média de tração (41,59 kN), potência média de tração (32,93 kW), patinagem (22,53%) e, conseqüentemente, menor velocidade média de trabalho (2,87 km h<sup>-1</sup>).

A capacidade de campo teórica fornece o ritmo teórico de trabalho executado, não considerando a área mobilizada no solo pelo equipamento. Equipamentos que operam com profundidades de trabalho diferentes não devem ser comparados, neste caso, o arado de disco e o escarificador, apresentaram profundidades de preparo semelhantes (Tabela 19). Mesmo apresentando menor velocidade de trabalho, a capacidade de campo teórica no tratamento CR (0,80 ha h<sup>-1</sup>), foi superior àquela obtida para o arado de disco no tratamento CC (0,49 ha h<sup>-1</sup>), devido ao fato do escarificador apresentar maior largura de trabalho (Tabela 18).

Lopes et al. (2005), utilizando-se do mesmo trator, tipo de pneu e tracionando um escarificador de sete hastes a profundidade média de 30 cm, encontraram potência inferior (22,66 kW), àquela apresentada neste estudo (32,93 kW), mesmo trabalhando a uma maior velocidade (3,18 km h<sup>-1</sup>).

Levien (1999), utilizando-se do mesmo trator, escarificador e tipo de solo, operando a profundidade média de 17,5 cm, encontrou valores inferiores para as variáveis: velocidade média (2,62 km h<sup>-1</sup>), força média de tração (38,22 kN), potência média de tração (27,78 kW) e capacidade de campo teórica (0,73 ha h<sup>-1</sup>).

Verificou-se que o valor para a capacidade de campo teórica, na operação de escarificação, foi semelhante ao encontrado por Boller (1996) de 0,81 ha h<sup>-1</sup> e inferior para velocidade de trabalho (3,72 km h<sup>-1</sup>).

Levien (1999), utilizando-se do mesmo trator e arado de quatro discos, encontrou para as variáveis: velocidade média 4,42 km h<sup>-1</sup>; força média de tração 18,60 kN; potência média de tração 22,78 kW e capacidade de campo teórica 0,69 ha h<sup>-1</sup>, valores estes superiores aos encontrados neste estudo, e confirmados por Boller (1996), para a velocidade média 4,98 km h<sup>-1</sup> e capacidade de campo teórica 0,58 ha h<sup>-1</sup>.

Com relação à operação de gradagem, os valores de velocidade média de 5,01 km h<sup>-1</sup> e capacidade de campo teórica de 1,28 ha h<sup>-1</sup> (Tabela 18), foram menores que os valores encontrados por Levien (1999), que foi de 5,87 km h<sup>-1</sup> e 1,35 ha h<sup>-1</sup>, respectivamente. Já, para os valores de força média (6,22 kN) e potência média de tração (10,10 kW), os autores obtiveram valores superiores.

Na Tabela 19, são apresentados os dados do consumo operacional e horário de combustível, profundidade média de preparo e área de solo mobilizada. Analisando-se o consumo de combustível operacional, entre os sistemas de manejo, verifica-se que não ocorreram diferenças estatísticas, mesmo observando que o tratamento CR teve uma redução de 29,27% no consumo, quando comparado ao tratamento CC.

**Tabela 19.** Valores médios do consumo operacional e horário de combustível, profundidade média de preparo e área de solo mobilizada.

Sistemas de manejo	<sup>1</sup> Consumo	<sup>2</sup> Consumo	<sup>3</sup> Profundidade	<sup>4</sup> Área de solo
	operacional	horário	média de preparo	mobilizada
	L ha <sup>-1</sup>	L h <sup>-1</sup>	mm	cm <sup>2</sup>
CC	30,75	22,50a	155	2.020,75 b
CR	21,75	17,00 b	156	4.359,00a

<sup>1</sup>DMS p/ sistemas de manejo = 9,63; CV (%) = 16,31.

<sup>2</sup>DMS p/ sistemas de manejo = 3,31; CV (%) = 7,45.

<sup>3</sup>DMS p/ sistemas de manejo = 12,63; CV (%) = 3,60.

<sup>4</sup>DMS p/ sistemas de manejo = 195,73; CV (%) = 2,73.

O consumo de combustível operacional no tratamento CC (30,75 L ha<sup>-1</sup>) foi semelhante ao obtido por Boller (1996) de 30,43 L ha<sup>-1</sup>, porém inferior ao encontrado por Levien (1999) de 33,74 L ha<sup>-1</sup>, e o consumo horário de combustível no tratamento CC (22,50 L h<sup>-1</sup>), foi inferior ao encontrado por Boller (1996) de 28,5 L h<sup>-1</sup> e Levien (1999) de 29,50 L h<sup>-1</sup>.

Na operação de cultivo reduzido (escarificador), obteve-se o menor consumo de combustível por hora de trabalho (L h<sup>-1</sup>), quando comparado com o cultivo convencional (aração seguida de gradagem), mesmo trabalhando a uma menor velocidade (2,87 km h<sup>-1</sup>). O consumo médio de combustível foi de 22,5 e 17,00 L h<sup>-1</sup>, para os tratamentos CC e CR respectivamente, com uma economia média de 5,50 L h<sup>-1</sup>, quando se utilizou o tratamento CR (Tabela 19).

O consumo horário médio durante a operação de escarificação (17,00 L h<sup>-1</sup>) foi superior ao encontrado por Furlani (2000) de 14,2 L h<sup>-1</sup> e Levien (1999) de 14,89 L h<sup>-1</sup>, isso devido a velocidade, força e potência média de tração serem superior neste estudo.

Observando os valores de profundidade média de preparo, verifica-se que não houve significância pelo teste F a 5% de probabilidade entre os tratamentos CR e CC.

Analisando a área de solo mobilizada, observou-se que o tratamento CC apresentou menor área (2.020,75 cm<sup>2</sup>), quando comparado ao tratamento CR (4.359,00 cm<sup>2</sup>), devido à maior largura de trabalho do escarificador, pois as profundidades de trabalho dos equipamentos foram semelhantes (Tabela 19).

A área de solo mobilizada pelo arado foi inferior àquelas encontradas por Siqueira (1999) e Boller et al. (1997) que foram de 3.799,00 cm<sup>2</sup> e 2.663,00 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Para o escarificador, a área de solo mobilizada foi inferior àquelas encontradas por Siqueira (1999) e Levien (1999), que foi de 6.840,00 cm<sup>2</sup> e 4.904,00 cm<sup>2</sup>, respectivamente e superior a encontrada por Boller et al. (1997) de 4.113,00 cm<sup>2</sup>.

### **6.11 Teor de água do solo no dia da sementeira**

Os valores médios dos teores de água no solo, apresentados na Tabela 20, estão dentro da faixa de friabilidade que é apropriada para a realização da operação de sementeira (Tabela 1), mas, como ocorrido durante a operação de preparo, observa-se que este



teor de água também foi comprometedor para a estrutura física do solo quando da realização da sementeira.

**Tabela 20.** Teor de água do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no dia da sementeira do girassol.

Profundidade (mm)	Sistemas de manejo				Médias
	SDh	SDd	CR	CC	
0-100	320,00A	320,00A	270,00 C b	295,00 B b	301,25 b
100-200	325,00A	320,00A	322,50A a	252,50 B c	305,00 b
200-300	310,00	315,00	320,00 a	325,00 a	317,50b
Médias	318,33A	318,33A	304,17 B	290,08 B	

DMS médias p/ sistemas de manejo = 14,87; DMS médias p/ profundidade= 9,71; DMS interação sistemas de manejo = 21,45; DMS interação profundidade = 19,42; CV sistemas de manejo (%) = 3,79; CV profundidade (%) = 3,57.

Analisando-se os valores das médias do teor de água do solo durante a sementeira do girassol, independente da profundidade, verifica-se que os tratamentos SDh e SDd apresentaram valores superiores aos tratamentos CR e CC, e que estes, não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 20).

Na camada de 0-100 mm, os tratamentos SDh e SDd foram os que apresentaram maiores teores de água, diferenciando-se dos outros sistemas de manejo. Na camada de 100-200 mm, o tratamento CC apresentou o menor teor de água, diferindo dos demais sistemas de manejo. Já na camada de 200-300 mm, os teores de água foram semelhantes entre os sistemas de manejo. Comparando-se em relação à profundidade, verifica-se que houve aumento nos valores médios do teor de água no solo para os tratamentos CR e CC, quando esta foi aumentada.

O menor teor de água nas duas primeiras camadas no tratamento CC deve-se, provavelmente, a menor cobertura vegetal presente na superfície do solo (5,83%).

## 6.12 Velocidades na operação de sementeira

Analisando-se os valores das médias apresentadas na Tabela 21, pode-se verificar que a velocidade média do conjunto trator-semeadora-adubadora apresentou

diferença estatística entre os sistemas de manejo, sendo que o tratamento SDh foi o que apresentou a menor velocidade na operação de semeadura, não diferindo do tratamento CC.

**Tabela 21.** Valores médios das velocidades na operação de semeadura ( $\text{km h}^{-1}$ ) do girassol.

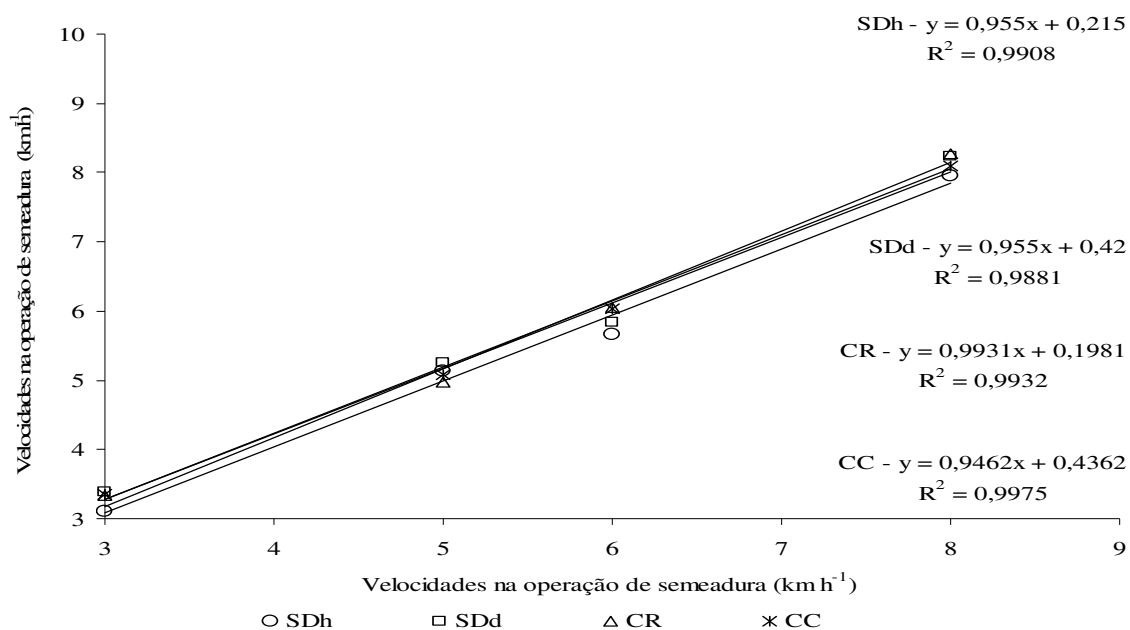
Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 $\text{km h}^{-1}$	5 $\text{km h}^{-1}$	6 $\text{km h}^{-1}$	8 $\text{km h}^{-1}$	
SDh	3,10	5,14	5,67 b	7,96 b	5,47 b
SDd	3,38	5,25	5,83ab	8,23ab	5,67a
CR	3,33	4,98	6,05a	8,28a	5,66a
CC	3,36	5,08	6,03a	8,09a	5,64ab

DMS médias = 0,17; DMS interação = 0,31; CV sistemas de manejo (%) = 2,82; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 2,87.

Comparando-se os sistemas de manejo, em relação a velocidades, verifica-se que nas velocidades pré-estabelecidas de 3 e 5  $\text{km h}^{-1}$ , não houve influencia significativa entre os tratamentos (Tabela 21).

Nas velocidades de 6 e 8  $\text{km h}^{-1}$ , os tratamentos CR e CC diferiram estatisticamente do tratamento SDh. Contudo, nota-se que, aproximando-se os valores decimais para as velocidades na operação de semeadura encontradas, verifica-se que os mesmos estão dentro do esperado pelo escalonamento das machas proposto no estudo (3; 5; 6 e 8  $\text{km h}^{-1}$ ).

Observando a Figura 11, verifica-se que os valores, encontrados para as velocidades na operação de semeadura em função das velocidades pré-estabelecidas, foram significativos pelo Teste F, a 5% de probabilidade, e que os dados se ajustaram, apresentando comportamento linear com  $R^2$  acima de 0,99.



**Figura 11.** Velocidades na operação de semeadura em função das velocidades pré-estabelecidas.

### 6.13 Força média na barra de tração

Os valores médios para a força de tração são apresentados na Tabela 22. Observa-se que os sistemas de manejo influenciaram significativamente na força de tração do conjunto trator/semeadora-adubadora e que o tratamento SDh foi o que exigiu maior força, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos. Verifica-se que, para as quatro velocidades estudadas, a força média reduziu de 24,34; 34,41 e 49,51 %, quando se comparou o tratamento SDh com os tratamentos SDd, CR e CC, respectivamente. O mesmo ocorreu com o tratamento SDd, quando comparado ao tratamento CC, superando em 20,25%.

Furlani et al. (2004), utilizando um trator marca Valmet, modelo 128-4 com potência de 90,5 kW (123,1 cv) no motor, observaram que a força média de tração exigida pela mesma semeadora, de seis linhas, com mecanismo sulcador haste, em solo semelhante ao do presente estudo, apresentou menor força de tração nos tratamentos com semeadura direta e preparo convencional, diferenciando-se significativamente do solo escarificado.

**Tabela 22.** Força média na barra de tração (kN), exigida pela semeadora-adubadora durante a semeadura do girassol.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	10,85a	10,42a	10,85a	11,00a	10,78a
SDd	8,50 b	8,54 b	8,66 b	8,97 b	8,67 b
CR	7,50 bc	7,95 bc	8,02 bc	8,60 b	8,02 bc
CC	7,13 c	7,31 c	7,47 c	6,94 c	7,21 c

DMS médias = 0,88; DMS interação = 1,05; CV sistemas de manejo (%) = 9,18; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 6,35.

No tratamento SDh, a força média de tração determinada foi de 10,78 kN (Tabela 22), valor acima do encontrado por Modolo et al. (2005), quando estudaram uma semeadora-adubadora equipada com quatro unidades de semeadura, utilizando mecanismo sulcador do tipo haste sulcadora, em sistema de plantio direto (8,08 kN).

Furlani et al. (2005b) não encontraram diferenças nos valores de força de tração na barra, na operação de semeadura, em diferentes tipos de preparo do solo. Já Furlani et al. (2004) observaram que a exigência de força de tração na semeadora-adubadora foi maior em solo preparado com escarificador do que em plantio direto.

Observando a demanda de força de tração exigida pela semeadora-adubadora onde não houve mobilização do solo anteriormente (tratamentos SDh e SDd), verificou-se que o sulcador tipo disco duplo desencontrado demandou menor esforço médio de tração do que o sulcador tipo haste. Tal fato pode ser explicado, pela maior profundidade alcançada pelas hastes na abertura dos sulcos (Tabela 28) e a alta resistência entre a haste sulcadora e o solo (Tabela 22). Resultados semelhantes foram obtidos por Andreolla e Gabriel Filho (2006), Siqueira e Casão Junior (2004), Silva (2003) e Silva (2000).

Santos et al. (2008), comparando diferentes sistemas de abertura do sulcos para deposição de adubo, verificaram que o uso do sistema tipo haste sulcadora, aumentou as exigências de força de tração na barra, quando comparado ao do tipo discos duplos.

Comparando o tratamento CC e o CR, verifica-se na Tabela 22 que os valores para as força de tração não se diferenciaram nas velocidades de 3, 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, exceto na velocidade de 8 km h<sup>-1</sup>, onde a operação de semeadura no tratamento CC exigiu menor

força de tração. De maneira geral, a menor força de tração exigida nos tratamentos CC e CR, deve se à menor demanda de esforços exigida pelos mecanismos sulcadores do tipo discos duplos defasados para adubos, em solo antes mobilizado pelo arado ou escarificador.

Os valores de força da tração na barra tiveram comportamento constante para os sistemas de manejo estudados, sendo que nenhum ajuste foi estatisticamente significativo para os valores obtidos com o aumento na velocidade de trabalho da semeadora. O mesmo comportamento foi observado por Coelho (1988), Cortez et al. (2005), Lanças e Benez (1988), Rahman e Chen (2001) e Silva et al. (2000b) que não encontraram aumento proporcional da força de tração devido ao aumento na velocidade de operação da semeadora.

Ao estudar a cultura do milho safrinha sob plantio direto, Silveira et al. (2005c) não encontraram diferenças estatisticamente significativas para a força de tração na barra devido ao aumento das velocidades na operação de semeadura. Já Furlani et al. (2008), Mahl (2006) e Silva (2000b) constataram que houve aumento nos valores de força de tração na maior velocidade na operação de semeadura.

Cepik et al. (2005) verificaram que a maior velocidade na operação de semeadura influenciou no aumento da força de tração quando se utilizou sulcador tipo haste em solo na condição friável.

#### **6.14 Resistência específica operacional**

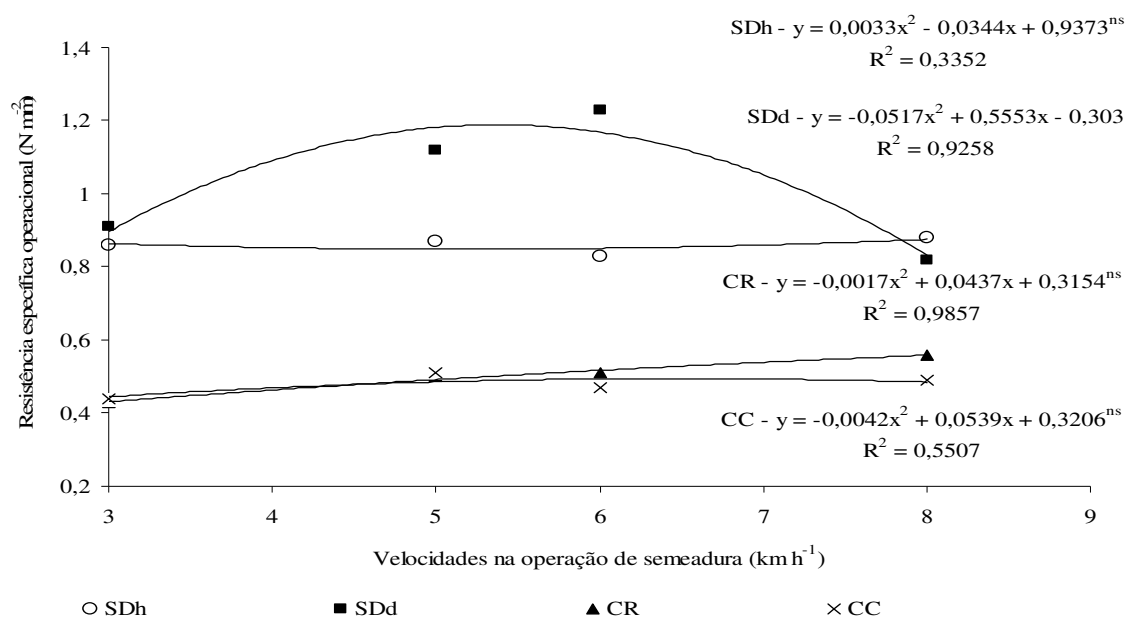
Na Tabela 23, verifica-se que o solo sob o sistema de semeadura direta (SDh e SDd), exigiu maior esforço de tração por área mobilizada quando comparado aos tratamentos CR e CC.

**Tabela 23.** Valores médios da resistência específica operacional ( $\text{N mm}^{-2}$ ) durante a semeadura do girassol.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 $\text{km h}^{-1}$	5 $\text{km h}^{-1}$	6 $\text{km h}^{-1}$	8 $\text{km h}^{-1}$	
SDh	0,86a	0,87a	0,83 b	0,88a	0,86a
SDd	0,91a	1,12a	1,23a	0,82ab	1,02a
CR	0,43 b	0,50 b	0,51 c	0,56 bc	0,50 b
CC	0,44 b	0,51 b	0,47 c	0,49 c	0,48 b

DMS médias = 0,17; DMS interação = 0,27; CV sistemas de manejo (%) = 22,27; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 19,96.

Para o tratamento SDh, o que contribuiu para o aumento nos valores de resistência específica operacional foi a maior exigência por força de tração pelas hastes da semeadora-adubadora, e para o tratamento SDd, a menor área mobilizada do solo pelo disco duplo da semeadora-adubadora. Pelo fato do solo já ter sido mobilizado previamente, as menores forças de tração na barra da semeadora-adubadora e as maiores áreas mobilizadas no tratamento CR e CC reduziram os valores de resistência específica operacional (Tabela 23).

**Figura 12.** Resistência específica operacional em função das velocidades na operação de semeadura.

Os valores da resistência específica operacional em função das velocidades na operação de semeadura são apresentados na Figura 12. Verifica-se que houve efeito das velocidades apenas no tratamento SDd, onde obteve-se um ajuste significativo para equação de regressão quadrática com coeficiente de determinação de 0,93.

No tratamento SDd, verificou-se que o valor da resistência específica operacional aumentou até atingir a velocidade de 5,37 km h<sup>-1</sup>, diminuindo a partir daí. Como a força de tração não sofreu o efeito das velocidades no tratamento SDd, é evidente que a variação da resistência específica operacional foi influenciada pela área mobilizada (Figura 12).

### 6.15 Potência média na barra de tração

Os valores das médias da potência na barra de tração da semeadora foram maiores no tratamento SDh, seguido do tratamento SDd, o qual não diferiu significativamente do tratamento CR. O sistema de manejo no tratamento CC foi o que exigiu menor potência média na barra de tração do conjunto trator-semeadora (Tabela 24).

**Tabela 24.** Potência média na barra de tração (kW) exigida pela semeadora-adubadora durante a semeadura do girassol.

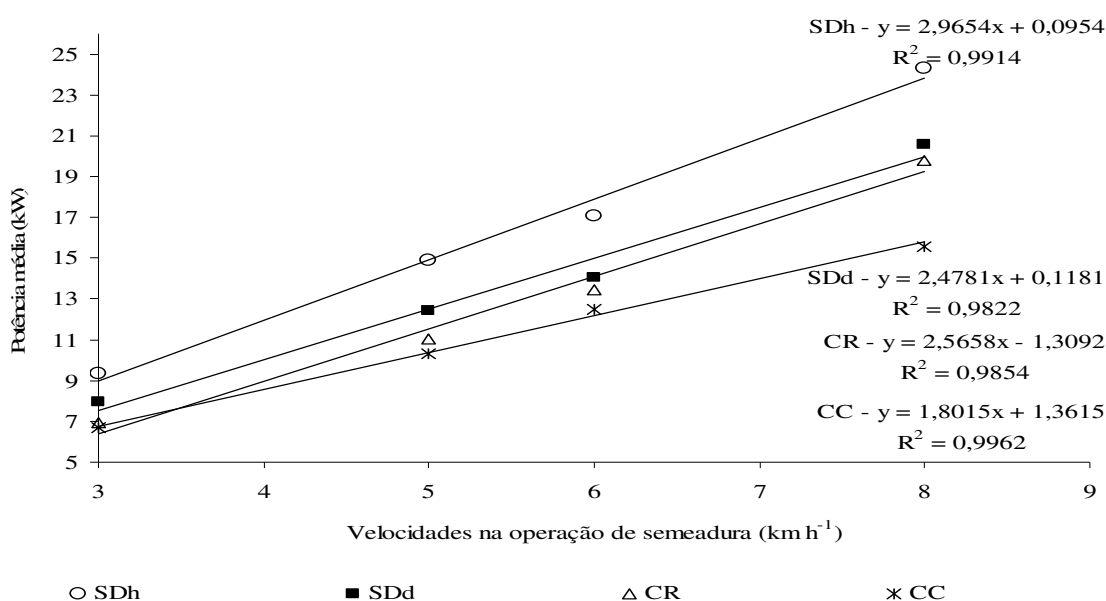
Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	9,33a	14,89a	17,09a	24,31a	16,41a
SDd	7,97ab	12,45 b	14,03 b	20,54 b	13,75 b
CR	6,94 b	11,01 bc	13,47 b	19,79 b	12,81 b
CC	6,66 b	10,32 c	12,51 b	15,59 c	11,27 c

DMS médias = 1,44; DMS interação = 1,98; CV sistemas de manejo (%) = 9,60; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 7,65.

Comparando os valores de potência média na barra de tração, dentro de cada velocidade, verificou-se, que no tratamento SDh, o conjunto apresentou os maiores valores de potência média e se diferenciou estatisticamente dos demais tratamentos, com exceção, do tratamento SDd, na velocidade de 3 km h<sup>-1</sup>. O tratamento CC foi o que obteve a menor potência média na barra de tração, não diferindo do tratamento SDd nas velocidades de 3 e 6 km h<sup>-1</sup>, e do tratamento CR, nas velocidades de 3, 5 e 6 km h<sup>-1</sup> (Tabela 24).

Ao avaliar os efeitos das velocidades médias na operação de semeadura sobre os valores de potência média entre os sistemas de manejo (Figura 13), verifica-se que houve significância estatística para as equações de regressão linear a 5% de probabilidade. O tratamento SDh foi o que exigiu maior potência entre as velocidades de 3 a 8  $\text{km h}^{-1}$ , seguido dos tratamentos SDd, CR e CC. Ressalta-se que as equações foram ajustadas para coeficientes de determinação acima de 0,97.

Na Figura 13 verifica-se que os valores de potência líquida no motor do trator, calculados através da relação entre os maiores valores de potência média exigida na barra de tração, utilizando a maior velocidade na operação de semeadura a 8  $\text{km h}^{-1}$  e o menor valor de rendimento entre a barra de tração e o motor (0,40; para solo solto), desprezando as condições de superfície do solo entre os tratamentos, foram de: 33,35; 27,92; 26,90 e 22,08 kW, para os tratamentos SDh, SDd, CR e CC, respectivamente. Constatou-se que um trator de potência líquida no motor de 33,35 kW, poderia tracionar a semeadora de quatro linhas.



**Figura 13.** Potência média na barra de tração em função das velocidades na operação de semeadura.

Observa-se, na Figura 13, que o aumento na velocidade do conjunto trator/semeadora-adubadora exigiu uma maior potência do trator, pois a força de tração foi praticamente constante, independente da velocidade trabalhada. Os mesmos resultados foram



obtidos por Oliveira (1997) com o aumento na velocidade de deslocamento de 5,0 para 7,0 km h<sup>-1</sup>, trabalhando em dois tipos de solo e por Bortolotto et al. (2006), na implantação da cultura da soja, quando verificaram que a potência média foi maior com o aumento na velocidade de 4,7 para 7,2 km h<sup>-1</sup>.

### 6.16 Consumo horário e operacional de combustível

Ao avaliar os valores das médias, verifica-se que os sistemas de manejo não influenciaram no consumo horário de combustível, para as diferentes velocidades na operação de semeadura (Tabela 25). Os valores das médias do consumo horário de combustível foram inferiores ao encontrado por Levien et al. (1999), para o mesmo tipo de solo e sistemas de manejo. Os autores encontraram valores de 13,0; 12,9 e 12,3 litros por hora de óleo diesel, para semeadura em solo preparado pelo método convencional, reduzido e plantio direto, respectivamente.

**Tabela 25.** Valores médios do consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>) durante a semeadura do girassol.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	8,02	10,55	10,91	12,87 b	10,58
SDd	8,77	10,90	10,79	13,04 b	10,88
CR	8,91	11,15	12,11	14,72a	11,72
CC	8,89	10,61	11,98	12,54 b	11,00

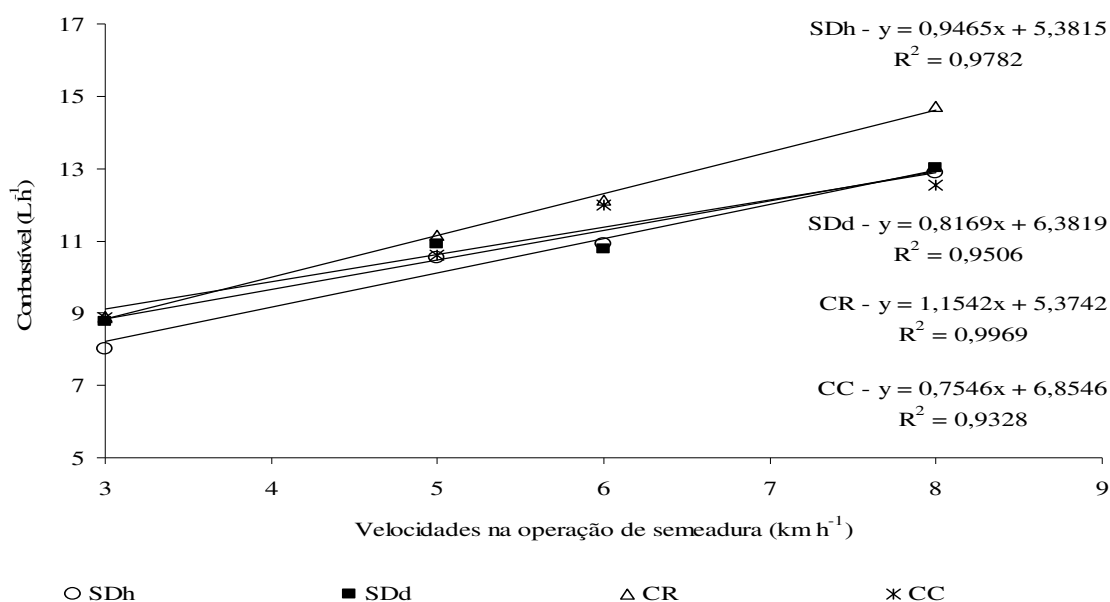
DMS médias = 1,33; DMS interação = 1,41; CV sistemas de manejo (%) = 10,88; CV velocidades de semeadura (%) = 6,70.

Ao comparar os sistemas de manejo, para cada velocidade, observa-se que nas velocidades de 3, 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, o consumo horário de combustível do trator não foi influenciado pelos sistemas de manejo (Tabela 25).

Na velocidade de 8 km h<sup>-1</sup>, o tratamento CR apresentou o maior consumo horário de combustível, diferenciando-se dos demais manejos, vindo a confirmar o trabalho apresentado por Furlani et al. (2004).

Ao contrário do apresentado por Mahl (2006), Santos et al (2008) e Silva (2003) não houve maior consumo de combustível quando foi utilizado mecanismo sulcador do tipo haste na semeadura direta. Ratificando os dados apresentados por Camilo et al. (2004), não houve maior consumo de combustível quando utilizado o mecanismo sulcador do tipo disco duplo na semeadura direta.

Ao avaliar a Figura 14, observa-se que o consumo horário de combustível foi diretamente proporcional ao aumento na velocidade, para os quatro sistemas de manejo, apresentando uma tendência linear e significativa a 5% de probabilidade, o que está de acordo com os dados obtidos por Camilo et al. (2004), Cortez et al. (2005), Furlani et al. (2005b), Mahl (2006).



**Figura 14.** Consumo horário de combustível em função das velocidades na operação de semeadura.

À medida que se eleva a velocidade na operação de semeadura verifica-se que o consumo horário de combustível, em ordem decrescente, nos sistemas de manejo CR, SDh, SDd e CC, acrescentaram para cada quilômetro percorrido por hora, um consumo de 1,15; 0,95; 0,82 e 0,75 L h<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 14). Tal fato é explicado porque o aumento da velocidade na operação de semeadura exigiu maior potência do conjunto

trator-semeadora e maior consumo de combustível. Resultados semelhantes foram obtidos por Furlani (2008), Mahl (2006), Mahl (2002) e Oliveira (1997).

Ao observa-se os valores das médias, apresentados na Tabela 26, verifica-se que os sistemas de manejo não influenciaram no consumo operacional de combustível durante a operação de semeadura, discordando dos resultados obtidos por Furlani et al. (2004), que encontraram diferenças significativas e um consumo de 9,3; 7,6 e 7,1 L ha<sup>-1</sup> de diesel, no preparo escarificado, no convencional e na semeadura direta, respectivamente.

O consumo operacional de combustível não foi influenciado pelos sistemas de manejo do solo nas velocidades de 3, 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, sendo que, somente a 8 km h<sup>-1</sup>, o tratamento CR proporcionou maior consumo, diferenciando do tratamento CC (Tabela 26).

**Tabela 26.** Valores médios do consumo operacional de combustível (L ha<sup>-1</sup>) durante a semeadura do girassol.

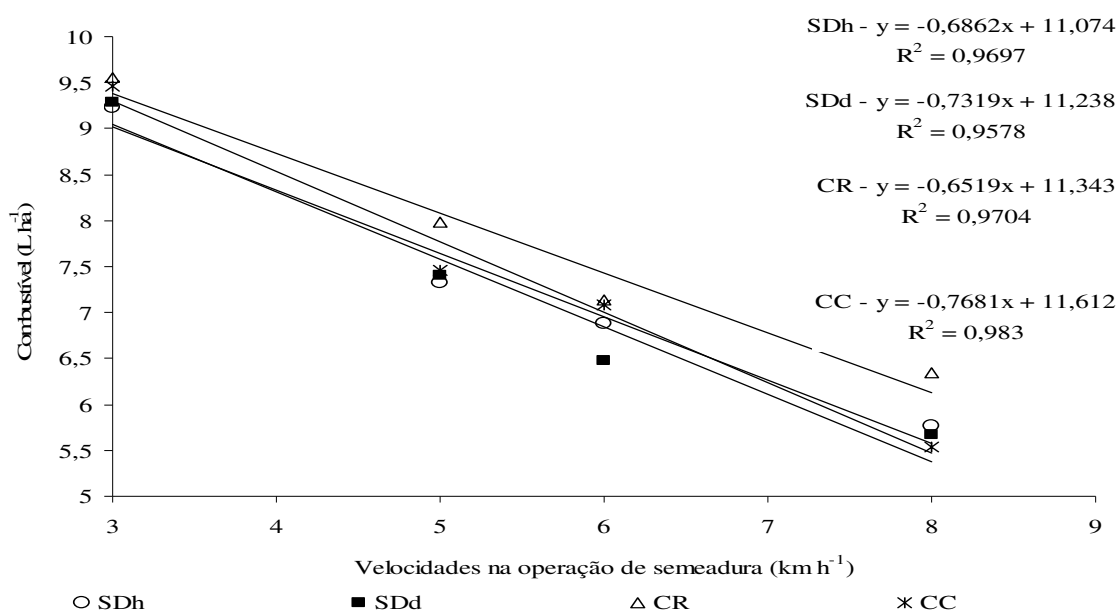
Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	9,24	7,32	6,88	5,76ab	7,29
SDd	9,29	7,41	6,48	5,67ab	7,21
CR	9,56	7,99	7,14	6,34a	7,76
CC	9,46	7,46	7,09	5,54 b	7,39

DMS médias = 0,74; DMS interação = 0,74; CV sistemas de manejo (%) = 8,99; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 5,20.

O consumo operacional de combustível foi inversamente proporcional ao aumento na velocidade para os quatro sistemas de manejo, apresentando uma tendência linear decrescente e significativa a 5% de probabilidade, (Figura 1), corroborando com os dados apresentado por Mahl (2006) e discordando daqueles obtidos por Cortez et al. (2005). Já Furlani et al. (2005a) não encontraram diferenças significativas.

Na Figura 15, verifica-se ainda, que à medida que aumentou a velocidade na operação de semeadura, para cada quilômetro percorrido por hora, houve redução no consumo operacional de combustível em ordem decrescente de 0,77; 0,73; 0,69 e 0,65 L ha<sup>-1</sup>, para os sistemas de manejo CC, SDd, SDh e CR, respectivamente.

O maior consumo, em L ha<sup>-1</sup>, nas velocidades mais baixas nos quatro sistemas de manejo, se justifica pela redução da capacidade operacional do conjunto, em relação às maiores velocidades.



**Figura 16.** Consumo operacional de combustível em função das velocidades na operação de semeadura.

### 6.17 Capacidade de campo teórica

Os sistemas de manejo influenciaram significativamente nos valores das médias da capacidade de campo teórica, apresentando o menor valor no tratamento SDh, o qual não diferiu do tratamento CC (Tabela 27).

Como a capacidade de campo teórica é uma variável dependente da largura do equipamento e da velocidade de trabalho e utilizando-se de um mesmo equipamento para os diferentes manejos, fica evidente a dependência da velocidade para definir quantos hectares foram semeados por hora de trabalho. Neste caso, não houve significância para a capacidade de campo teórica entre os sistemas de manejo, nas velocidades de 3 e 5 km h<sup>-1</sup>.

Para as velocidades de 6 e 8 km h<sup>-1</sup>, ocorreram efeitos estatisticamente significativos entre os sistemas de manejo. O tratamento SDh, na velocidade de 6 km h<sup>-1</sup>, apresentou menor capacidade de campo teórica, porém não diferiu estatisticamente do tratamento SDd; na velocidade de 8 km h<sup>-1</sup> o tratamento SDh não diferiu dos tratamentos SDd e CC (Tabela 27).

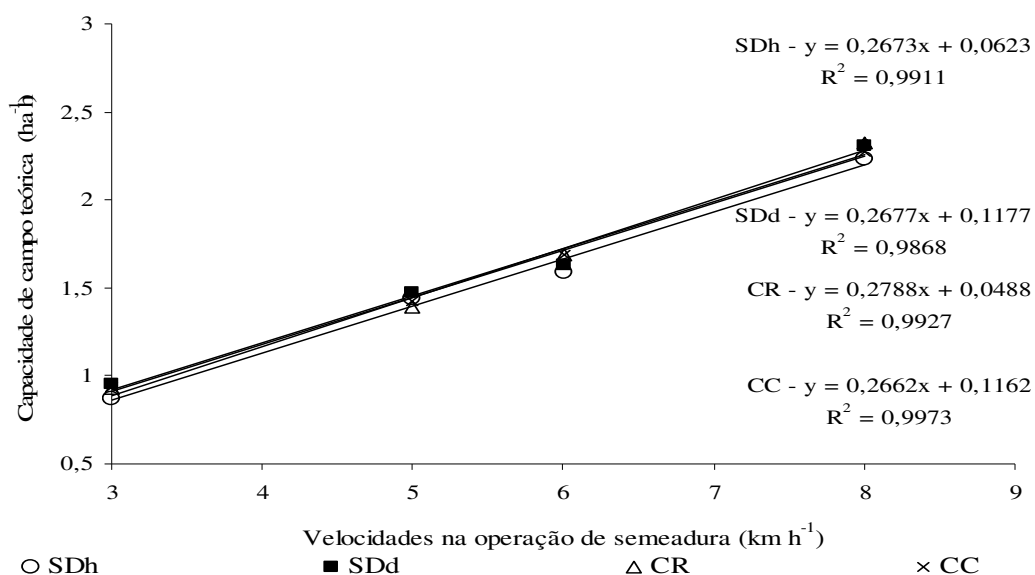
**Tabela 27.** Valores médios da capacidade de campo teórica ( $\text{ha h}^{-1}$ ) durante a semeadura do girassol.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 $\text{km h}^{-1}$	5 $\text{km h}^{-1}$	6 $\text{km h}^{-1}$	8 $\text{km h}^{-1}$	
SDh	0,87	1,44	1,59 b	2,23 b	1,53 b
SDd	0,95	1,47	1,63ab	2,31ab	1,59a
CR	0,93	1,39	1,69a	2,32a	1,59a
CC	0,94	1,42	1,69a	2,27ab	1,57ab

DMS médias = 0,05; DMS interação = 0,09 CV sistemas de manejo (%) = 2,71; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 2,88.

Por meio da análise de variância, foi possível verificar que houve significância, pelo teste de F a 5% de probabilidade, do fator velocidade na capacidade de campo teórica, para os diferentes sistemas de manejo (Figura 16).

Na Figura 16 verifica-se que as regressões se ajustaram linearmente para os valores de velocidades na operação de semeadura em função da capacidade de campo teórica, para os quatro sistemas de manejo e que tais semelhanças entre as variáveis se devem ao fato de serem diretamente proporcionais e derivadas do tempo.



**Figura 16.** Capacidade de campo teórica em função das velocidades na operação de semeadura.

### 6.18 Profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes

Na Tabela 28 são apresentados os valores da profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes.

Ao analisar os valores das médias, verifica-se que o tratamento SDd foi o sistema de manejo que proporcionou a menor profundidade do sulco, diferenciando-se, estatisticamente, dos demais tratamentos. A menor profundidade do sulco, no tratamento SDd, é explicada pela utilização do mecanismo sulcador tipo disco, o qual não tem a mesma facilidade de penetração no solo que o mecanismo sulcador tipo haste em camada que não tenha sofrido nenhum tipo de preparo anteriormente, o que está de acordo com Andreolla e Gabriel Filho (2006) e Righes et al. (1990). Não houve influência das velocidades estudadas na profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes nos quatro sistemas de manejo.

**Tabela 28.** Valores médios da profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes (mm).

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	107,50a	96,25b	102,50a	105,00a	102,81a
SDd	87,50 b	82,50 c	83,75 b	83,75 b	84,38 b
CR	110,00a	111,25a	110,00a	115,00a	111,56a
CC	110,00a	102,50ab	108,75a	110,00a	107,81a

DMS médias = 9,82; DMS interação = 10,99; CV sistemas de manejo (%) = 8,76; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 5,68.

### 6.19 Profundidade de semeadura

A profundidade de semeadura do girassol apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo do solo, conforme pode ser verificado na Tabela 29.

No momento da semeadura, procurou-se diminuir a pressão dos mecanismos da semeadora nas áreas mobilizadas, mas mesmo assim, observou-se maior profundidade de semeadura no tratamento CC, indicando a necessidade de outro tipo de ajuste na regulagem da semeadora para manter a uniformidade de semeadura.

**Tabela 29.** Valores médios da profundidade de semeadura (mm).

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	50,6	40,3	41,3	42,3	43,6 b
SDd	42,3	42,9	45,9	41,9	43,3 b
CR	45,3	39,8	44,7	46,1	43,9 b
CC	50,4	50,3	49,5	59,8	50,2a

DMS médias = 6,12; DMS interação = 12,27; CV sistemas de manejo (%) = 12,26; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 14,69.

A maior profundidade de semeadura, apresentada no tratamento CC, em relação aos outros sistemas de manejo, deveu-se à regulagem da semeadora para essa condição de superfície, sendo que o mesmo efeito foi observado por Levien (1999) durante a semeadura do milho (Tabela 29).

Ao comparar-se as profundidades de semeadura entre os tratamentos SDh e SDd, onde apenas os tipos de mecanismos sulcadores se diferenciam, não foram observadas diferenças significativas. Este resultado está de acordo com Portella et al. (1997), que não encontraram diferença significativa entre os dois mecanismos. Por outro lado, discordam dos dados obtidos por Camilo et al. (2004), que verificaram no mecanismo sulcador tipo disco duplo, maiores valores de profundidade de semeadura, do que no mecanismo sulcador tipo haste. Já Koakoski et al. (2007) e Silva (2000) verificaram que o mecanismo rompedor do tipo haste proporcionou maior profundidade de deposição de sementes.

Na Tabela 29, verificou-se que onde foi utilizado o mecanismo sulcador tipo disco duplo no tratamento CC, foi onde também se observou a maior profundidade de semeadura, favorecendo uma maior população de plantas (Tabela 31). Este fato opôs-se ao obtido por Righes et al. (1990), que avaliando mecanismos sulcadores para abertura do sulco verificaram que onde se utilizavam discos duplos em relação às hastes, houve redução na porcentagem de emergência de sementes de soja, atribuindo isto à redução da profundidade de semeadura.

As velocidades na operação de semeadura não influenciaram na profundidade de semeadura do girassol para os quatro sistemas de manejo, corroborando com os dados obtidos por Camilo et al. (2004), que não encontraram influência da velocidade de avanço do trator na profundidade de semeadura.

## 6.20 Área do solo mobilizada

Ao avaliar os sistemas de manejo, verifica-se que a área do solo mobilizada, pelos mecanismos sulcadores da semeadora, foi menor no tratamento SDd, dentro das velocidades 5, 6 e 8 km h<sup>-1</sup> (Tabela 30). Na menor velocidade (3 km h<sup>-1</sup>) os tratamentos SDh e SDd não se diferenciaram entre si.

**Tabela 30.** Valores médios da área mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora (mm<sup>2</sup>).

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	12.941,75bc	12.794,25a	13.016,75a	12.562,00a	12.828,69 b
SDd	9.332,25 c	8.345,75 b	7.371,25 b	11.386,50 b	9.108,94 c
CR	18.675,25a	15.906,00a	16.526,00a	16.241,25a	16.837,13a
CC	16.745,50ab	14.316,00a	15.890,75a	14.543,50a	15.373,94ab

DMS médias = 2.800,44; DMS interação = 1.117,20; CV sistemas de manejo (%) = 18,74; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 16,51.

Observando os valores das médias, verifica-se que o tratamento CR apresentou maior área mobilizada, porém não se diferenciou estatisticamente do tratamento CC.

Comparando os mecanismo sulcadores tipo haste com o de tipo disco, nos tratamentos SDh e SDd, verificou-se que o tratamento SDh proporcionou maior área de solo mobilizada, confirmando os resultados obtidos por Coelho (1998), Faganello (1989) e Righes et al. (1990).

Os valores da área de solo mobilizada no tratamento SDh foram superiores aos encontrados por Modolo et al. (2005), quando compararam mecanismos sulcadores tipo haste para plantio direto (Tabela 30).

Os sistemas de manejo CR e CC ocasionaram maiores áreas de solo mobilizada na linha de semeadura. Isto ocorreu, porque antes da mobilização do solo na linha de semeadura, o mesmo já havia sido desagregado pelos órgãos ativos dos equipamentos de preparo. Mesmo assim, este fato não impediu que fossem avaliadas as áreas mobilizadas



desses tratamentos. É importante considerar que o limite inferior de profundidade para a retirada de solo foi obtido com a visualização dos resíduos de adubo no sulco de semeadura.

As velocidades na operação de semeadura não influenciaram na área de solo mobilizada para os quatro sistemas de manejo e também, nenhuma regressão foi significativa para explicar o efeito das velocidades na operação de semeadura. Os resultados apresentados discordam daqueles obtidos por Mahl (2006), que encontrou aumento da área de solo mobilizada na maior velocidade de operação de semeadura, e concordam com os obtidos por Silva et al. (2001), que não encontram efeito das velocidades na área de solo mobilizada.

### **6.21 População de plantas**

Analisando os efeitos dos sistemas de manejo na população inicial de plantas, 21 dias após emergência, verifica-se que os valores das médias e nas velocidades de 3 e 8 km h<sup>-1</sup> não foram significativos pelo teste de F a 5% de probabilidade (Tabela 31).

O tratamento SDh foi o que apresentou menor população inicial de plantas nas velocidades de 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, porém não diferiu significativamente dos tratamentos SDd e CR. Tal fato deve ter ocorrido devido o tratamento SDh ter permitido um menor contato direto do solo mobilizado com a semente. Nas mesmas velocidades, o tratamento CC foi o que proporcionou maior população, porém não diferiu significativamente dos tratamentos SDd e CR.

As médias da população de plantas, obtidas no tratamento SDh, apresentaram uma redução de 4,0; 6,0 e 14,0%, quando comparadas aos tratamentos SDd, CR e CC, respectivamente.

A maior população de plantas, obtida no tratamento CC, está associada a maior profundidade de semeadura (Tabela 29).

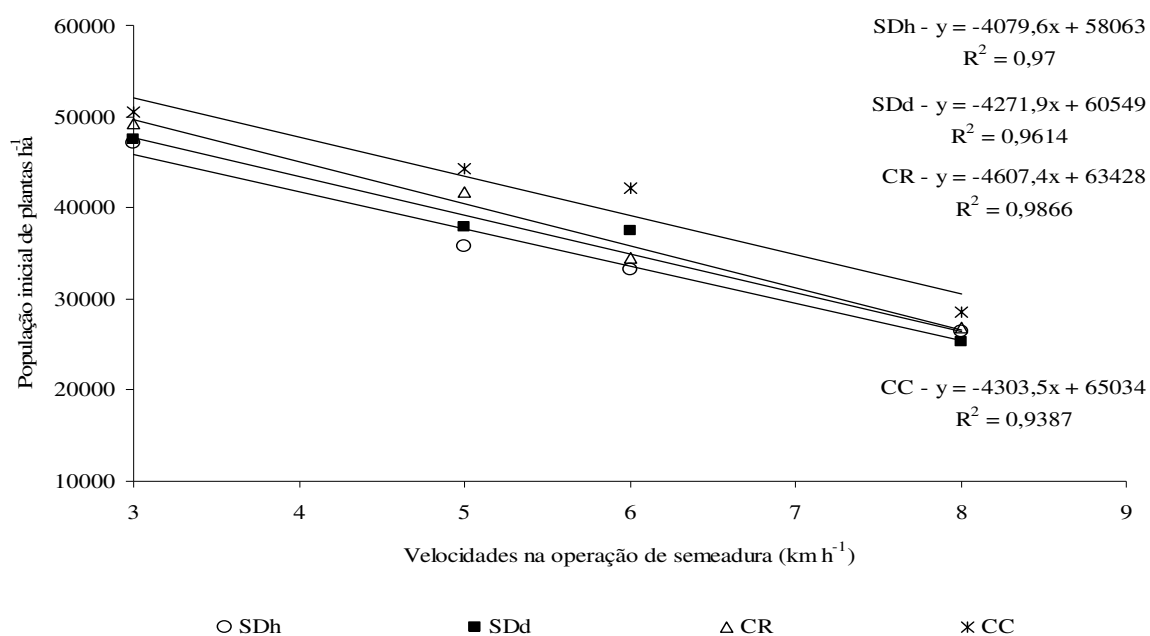
**Tabela 31.** População inicial de plantas ( $n^{\circ}$  de plantas  $ha^{-1}$ ) em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 $km\ h^{-1}$	5 $km\ h^{-1}$	6 $km\ h^{-1}$	8 $km\ h^{-1}$	
SDh	47.142,75	35.714,25 b	33.214,50 b	26.428,75	35.625,06
SDd	47.499,75	37.857,25ab	37.500,00ab	25.357,25	37.053,56
CR	49.285,50	41.785,50ab	34.493,00ab	26.785,75	38.087,44
CC	50.535,75	44.210,50a	42.142,75a	28.571,25	41.365,06

DMS média = 5.873,56 e DMS interação = 7.833,26; CV sistemas de manejo (%) = 13,99; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 10,81.

As velocidades na operação de semeadura influenciaram significativamente na população inicial de plantas de girassol. Verifica-se na Figura 17, que o número de plantas diminuiu à medida que se aumentou a velocidade, apresentando um ajuste linear significativo para os quatro sistemas de manejo estudados.

A redução do número de plantas, devido ao aumento na velocidade, também foi observado por Fey e Santos (2000), Furlani et al. (1999), Garcia et al. (2006), Mahl (2006) e Silva et al. (2000a). Este efeito não foi constatado por Fey et al. (2000) e Mahl et al. (2004).

**Figura 17.** População inicial de plantas em função das velocidades na operação de semeadura.

Na Figura 17, verifica-se que aumentos de um quilômetro por hora na velocidade de operação de semeadura, implicaram reduções de 7,03; 7,06; 7,26 e 6,62%, na população inicial de plantas, para os sistemas de manejo SDh, SDd, CR e CC, respectivamente.

Segundo Nagaoka e Nomura (2003), a utilização de semeadoras-adubadoras de plantio direto, em altas velocidades, poderá abrir sulcos maiores, revolver faixas mais largas e dificultar a compressão do solo pela roda compactadora, comprometendo a germinação e a emergência das sementes e a população de plantas.

Analisando os efeitos dos sistemas de manejo na população final de plantas, verificou-se que dentro das velocidades de 3 e 8 km h<sup>-1</sup>, o teste de F a 5% de probabilidade não foi significativo (Tabela 32).

Pelos valores das médias, verifica-se que o tratamento CC foi o que promoveu maior população final de plantas e diferiu estatisticamente do tratamento SDh. Nas velocidades de 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, o tratamento SDh foi o que apresentou menor população de plantas, porém não diferiu significativamente dos sistemas de manejo SDd e CR.

**Tabela 32.** População final de plantas (nº de plantas ha<sup>-1</sup>) em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	42.678,50	32.142,75 b	28.571,25 b	22.499,75	31.473,06 b
SDd	43.928,50	33.750,00 b	34.642,75ab	21.785,00	33.526,75ab
CR	47.857,00	37.500,00ab	29.470,25 b	22.752,00	34.395,00ab
CC	48.571,00	41.428,75a	37.500,00a	24.107,25	37.901,75a

DMS média = 5.777,28 e DMS interação = 7.603,47; CV sistemas de manejo (%) = 15,24; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 11,63.

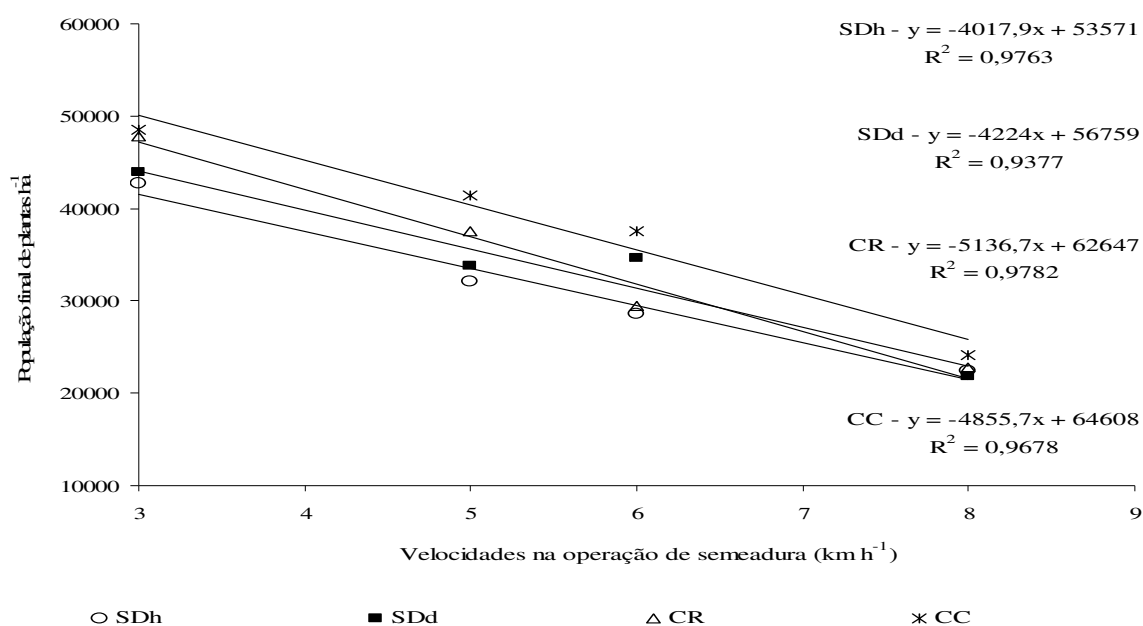
Siqueira (1999), estudando tipos de preparo na cultura do milho, verificou que a população de plantas foi maior quando se utilizou o escarificador.

As médias da população de plantas, obtidas no tratamento SDh, quando comparadas aos tratamentos SDd, CR e CC, apresentaram redução de 6,0; 8,0 e 17,0%, respectivamente (Tabela 32).

A semeadora foi regulada para liberar, em média, 3,47 sementes por metro. Considerando o poder germinativo das sementes de 90%, esperava-se obter uma

população inicial de aproximadamente 44.614 plantas  $\text{ha}^{-1}$  e uma população final estimada de 40.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . De acordo com os resultados apresentados, constatou-se que na menor velocidade na operação de semeadura, a população final de plantas foi superior àquela estimada. Para as demais velocidades, com exceção do tratamento CC, na velocidade de 5  $\text{km h}^{-1}$ , os sistemas de manejo apresentaram populações de plantas inferiores ao estimado.

Na Figura 18, observa-se que a população final de plantas foi inversamente proporcional ao aumento na velocidade de operação de semeadura, para os quatro sistemas de manejo, apresentando uma tendência linear decrescente e significativa a 5% de probabilidade, com coeficientes de determinações ( $R^2$ ) elevados. Como observado por Santos et al. (2003), isto foi provocado, por falhas durante o enchimento dos orifícios dos discos dosadores, à medida que se aumentava a velocidade na operação de semeadura.



**Figura 18.** População final de plantas em função das velocidades na operação de semeadura.

Furlani et al. (1999), estudando tipos de preparo do solo e de velocidades para a operação de semeadura, na cultura do milho, verificaram que quando a velocidade passou de 3 para 5  $\text{km h}^{-1}$ , a população final de plantas foi menor e, segundo os autores, isto pode ter ocorrido devido ao maior número de sementes danificadas pelos

mecanismos dosadores. Neste estudo, foi avaliada a qualidade das sementes em laboratório, após as mesmas terem sido passadas pelos mecanismos dosadores e não foram constatados danos comprometedores nas mesmas.

## 6.22 Distribuições de plantas

A uniformidade de semeadura e distribuição de plantas são fatores fundamentais para o cultivo de girassol com alta produção (SILVEIRA et al., 2005a). Analisando os resultados, apresentados na Tabela 33, para a percentagem de plantas com espaçamentos duplo, aceitável e falho, observa-se que não foi encontrada significância pelo teste de F a 5% de probabilidade, entre os sistemas de manejo.

**Tabela 33.** Valores médios da percentagem (%) de plantas com espaçamento duplo, aceitável e falho em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo do solo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
	<sup>1</sup> Percentagem (%) de plantas com espaçamento duplo				
SDh	24,25	20,25	16,00	14,50	18,75
SDd	18,50	18,00	14,00	9,75	15,06
CR	23,25	14,25	13,25	7,50	14,56
CC	22,00	14,00	17,50	7,00	15,13
	<sup>2</sup> Percentagem (%) de plantas com espaçamento aceitável				
SDh	61,25	59,25	51,50	46,75	54,69
SDd	60,75	51,50	52,25	46,00	52,63
CR	67,00	61,00	55,75	49,50	58,31
CC	66,50	69,25	54,50	46,75	59,25
	<sup>3</sup> Percentagem (%) de plantas com espaçamento falho				
SDh	14,50	20,50	32,50	38,75	26,56
SDd	20,75	30,50	33,75	44,25	32,31
CR	9,75	24,75	31,00	43,00	27,13
CC	11,50	16,75	28,00	46,25	25,63

<sup>1</sup>DMS média = 9,63 e DMS interação = 13,48; CV sistemas de manejo (%) = 54,94; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 44,58.

<sup>2</sup>DMS média = 8,81 e DMS interação = 16,66; CV sistemas de manejo (%) = 14,20; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 15,55.

<sup>3</sup>DMS média = 12,96 e DMS interação = 16,58; CV sistemas de manejo (%) = 42,05; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 31,19.

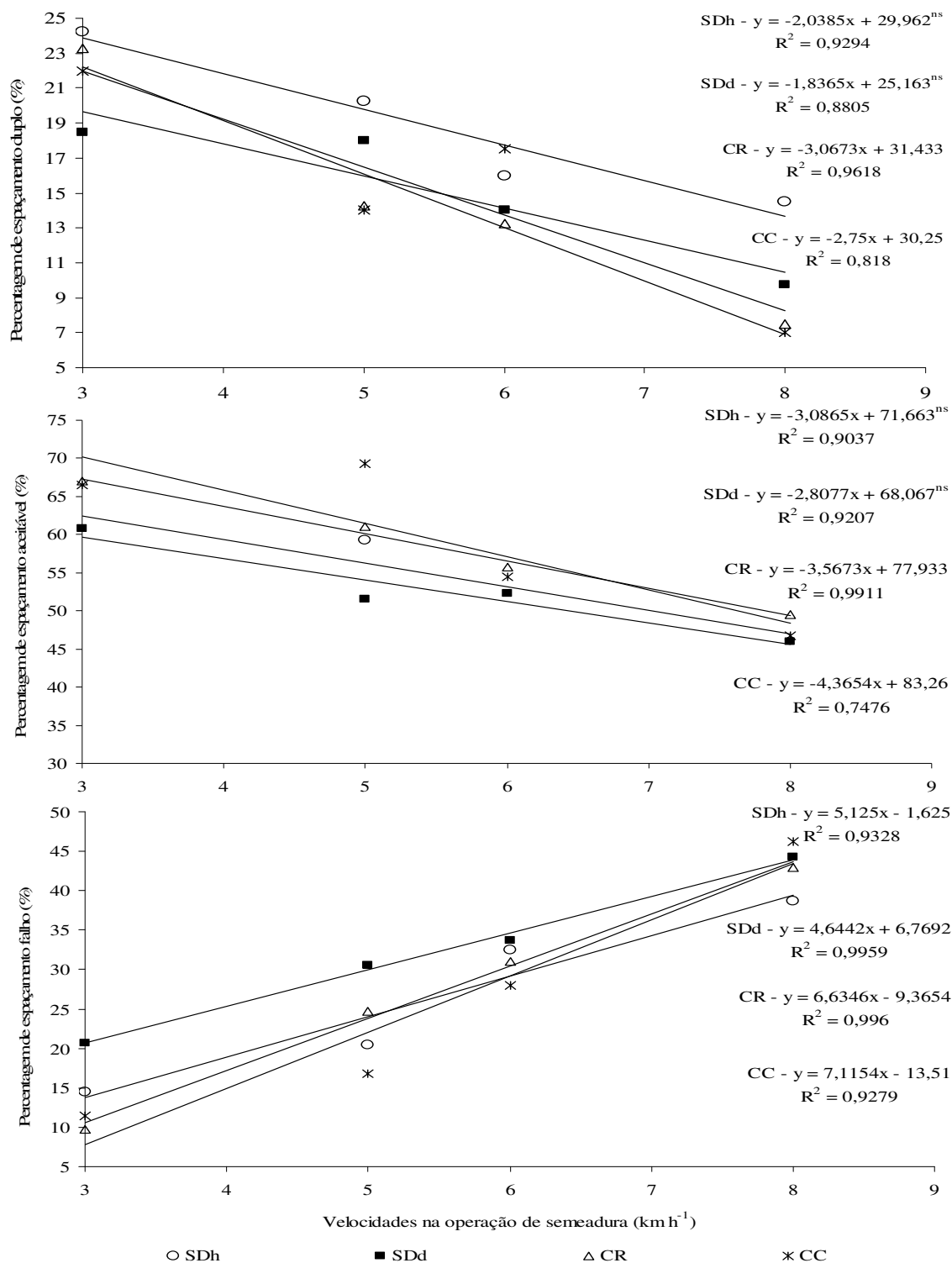
Constata-se que os sistemas de manejo, dentro das velocidades 3, 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, proporcionaram uma percentagem de plantas com espaçamentos aceitáveis, acima de 50% e abaixo de 75%, o que de acordo com Tourino e Klingensteiner (1983), são considerados como regulares. Já para a velocidade de 8 km h<sup>-1</sup>, a percentagem de plantas com espaçamentos aceitáveis apresentou-se abaixo de 50%, sendo considerados como insatisfatório.

Na Tabela 33, verifica-se que os valores para percentagem de plantas com espaçamentos aceitáveis estão abaixo de 70%, independente da velocidade estudada, podendo-se afirmar que o mecanismo dosador disco horizontal não teve uma boa eficiência quanto à distribuição de sementes nas condições de superfície de solo promovida pelos sistemas de manejo.

Para ser caracterizado como espaçamento aceitável foi atribuída à faixa de 0,144 a 0,432 m. Analisando-se a percentagem de plantas com espaçamentos aceitáveis, independente da análise estatística, observou-se que onde o solo foi mobilizado durante o preparo, como nos tratamentos CR e CC, os valores percentuais de plantas com espaçamentos aceitáveis foram maiores (Tabela 33).

Devido a não uniformidade das sementes de girassol, a utilização de semeadora de precisão com disco perfurado, dificultou na escolha do disco apropriado, na uniformidade de semeadura e a distribuição de sementes pode ter sofrido comprometimento. A não uniformidade no espaçamento das plantas, também pode estar associada à alteração do percurso das sementes dentro do tubo condutor até que as mesmas fossem liberadas ao solo. Isto porque durante o processo de queda livre, atua uma componente vertical de velocidade por causa da aceleração da gravidade e uma componente horizontal, decorrente da velocidade de avanço da semeadora, a qual foi alterada em decorrência das diferentes velocidades estudadas.

Os efeitos das velocidades não influenciaram significativamente, pelo teste de F a 5% de probabilidade, nos espaçamentos duplos e aceitáveis para os sistemas de manejo SDh e SDD, conforme pode ser observado na Figura 19.



**Figura 19.** Percentagem de plantas com espaçamento duplo, aceitável e falho em função das velocidades na operação de semeadura.

Para os sistemas de manejo CR e CC houve redução linear e significativa para os espaçamentos duplos e aceitáveis, quando se aumentou a velocidade na operação de semeadura. Fey e Santos (2000), Mahl (2006), Mahl et al. (2004), Mantovani et al. (1992) e Portella et al. (1998) verificaram redução linear e significativa para os espaçamentos aceitáveis.

Na Figura 19, observa-se que a percentagem de espaçamentos falhos foi diretamente proporcional ao aumento da velocidade, para os quatros sistemas de manejo, apresentando um ajuste linear e significativa a 5% de probabilidade, o que está de acordo com os dados obtidos por Camilo et al. (2004), Cortez et al. (2005), Furlani et al. (2005b), Mahl (2006) e Modolo et al. (2004).

### 6.23 Alturas das plantas

Comparando a altura das plantas entre os sistemas de manejo, verifica-se que não houve significância pelo teste F a 5% de probabilidade, para os valores das médias e dentro de cada velocidade (Tabela 34).

**Tabela 34.** Altura das plantas (cm) em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	145,25	138,50	145,19	148,88	144,45
SDd	144,69	137,63	141,13	141,81	141,31
CR	135,88	138,56	137,25	142,06	138,44
CC	135,25	138,88	144,19	142,31	140,16

DMS média = 10,68 e DMS interação = 19,27; CV sistemas de manejo (%) = 6,86; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 7,17.

As alturas das plantas em função das velocidades na operação de semeadura não apresentaram significância pelo teste de F ( $P < 0,05$ ) para os sistemas de manejo estudados. Apesar de nenhuma equação ser significativa, observou-se uma tendência das plantas serem mais altas com o acréscimo das velocidades na operação de semeadura, o que se deve à menor competição entre as plantas com a redução da população.



Os valores referentes ao tempo necessário para atingir o ponto de inflexão da curva de crescimento das plantas são apresentados na Tabela 35. Observa-se que os sistemas de manejo influenciaram significativamente no número de dias necessários para que as plantas atingissem a metade do crescimento máximo.

Analisando-se os valores das médias, verifica-se que o tratamento SDh foi o que apresentou o menor tempo necessário para que a planta atingisse a metade do crescimento máximo, diferenciando-se significativamente do tratamento SDd.

**Tabela 35.** Tempo necessário (dias) para atingir o ponto de inflexão da curva de crescimento das plantas.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	35,32 b	36,68a	35,67a	35,68 b	35,83 b
SDd	39,07a	38,10a	37,21a	38,91a	38,32a
CR	36,84ab	38,99a	36,26a	38,26ab	37,59ab
CC	38,84a	38,66a	38,24a	37,03ab	38,19ab

DMS média = 2,37 e DMS interação = 3,06; CV sistemas de manejo (%) = 5,73; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 4,28.

Na velocidade de 3 km h<sup>-1</sup>, verifica-se que o tratamento SDh atingiu o ponto de inflexão em menor tempo, diferenciando-se significativamente dos tratamentos SDd e CC. Para as velocidades de 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, não foram constatadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo e na velocidade de 8 km h<sup>-1</sup>, obteve-se o mesmo comportamento apresentado para as médias (Tabela 35).

As velocidades na operação de semeadura não influenciaram no tempo necessário (dias) para atingir o ponto de inflexão da curva de crescimento das plantas e que nenhuma regressão foi significativa para explicar tal efeito.

### 6.24 Diâmetro do caule

Observando os valores das médias e dentro das velocidades 5 e 6 km h<sup>-1</sup>, verifica-se que não houve diferença significativa pelo teste de F a 5% de probabilidade para o diâmetro do caule das plantas (Tabela 36). Mesmo não sendo estatisticamente diferente, o tratamento SDh foi o que apresentou maior diâmetro do caule, podendo tal efeito, como já citado para outras variáveis, estar relacionado com a menor população das plantas encontrada nesse tratamento.

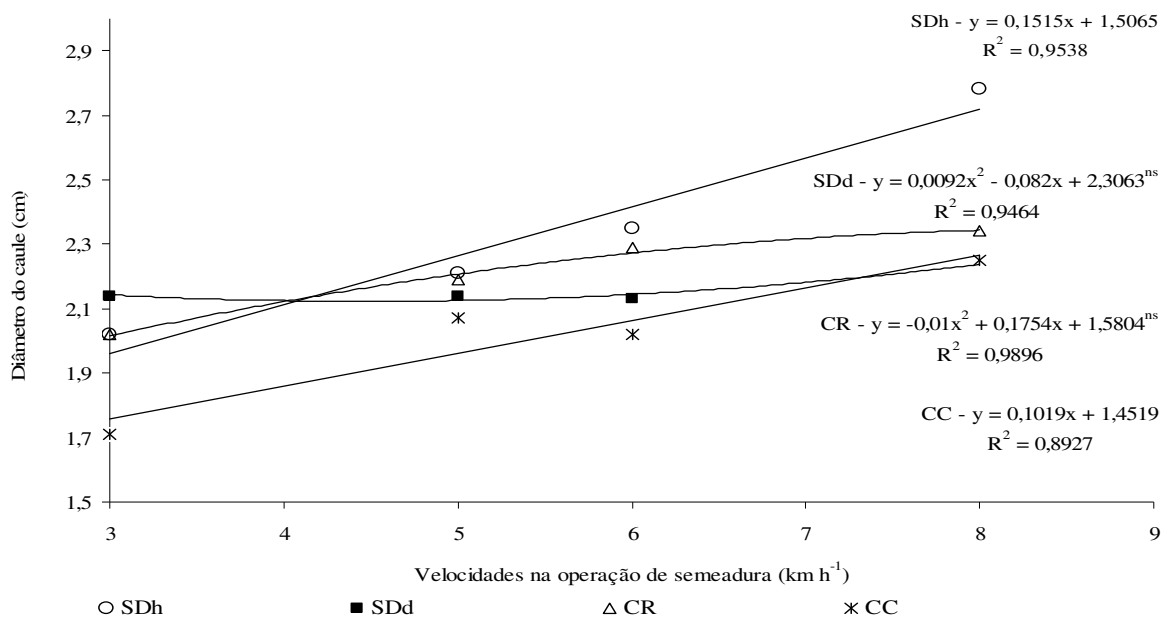
Analisando os efeitos dos sistemas de manejo, dentro das velocidades, verificou-se que a 3 km h<sup>-1</sup>, o tratamento SDh apresentou maior diâmetro do caule e se diferenciou apenas do tratamento CC. Já na velocidade de 8 km h<sup>-1</sup>, o tratamento SDh foi o que apresentou maior diâmetro do caule, diferenciando-se estatisticamente dos tratamentos SDd e CC (Tabela 36).

**Tabela 36.** Diâmetro do caule das plantas (cm) em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	2,02a	2,21	2,35	2,78a	2,38
SDd	2,14ab	2,14	2,13	2,24 b	2,16
CR	2,02ab	2,19	2,29	2,34ab	2,21
CC	1,71 b	2,07	2,02	2,25 b	2,01

DMS média = 0,43 e DMS interação = 0,46; CV sistemas de manejo (%) = 17,76; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 11,02.

Na Figura 20, verifica-se que os sistemas de manejo SDh e CC proporcionaram acréscimo no diâmetro do caule das plantas à medida que se elevou as velocidades na operação de semeadura, apresentando uma tendência linear crescente e significativa a 5% de probabilidade. Observa-se que os sistemas de manejo SDd e CR não apresentaram ajustes significativos.



**Figura 20.** Diâmetro do caule das plantas (cm) em função das velocidades na operação de semeadura.

### 6.25 Massa seca da parte aérea

Comparando-se os valores das médias de massa seca da parte aérea por planta, entre os sistemas de manejo, verificou-se que o tratamento SDd foi o que apresentou maior massa, porém não se diferenciou estatisticamente dos tratamentos SDh e CR (Tabela 37).

Analisando os sistemas de manejo, dentro de cada velocidade, observou-se que, nas velocidades de 3 e 5 km h<sup>-1</sup>, o tratamento SDd foi o que apresentou maior massa seca da parte aérea por planta, não se diferenciando estatisticamente dos tratamentos SDh e CR. Para a velocidade de 6 km h<sup>-1</sup>, o tratamento SDd foi o que apresentou maior massa seca da parte aérea, não diferindo dos tratamentos SDh e CC. Na maior velocidade, o tratamento SDh foi o que apresentou maior massa seca, diferenciando-se dos tratamentos SDd e CC (Tabela 37).

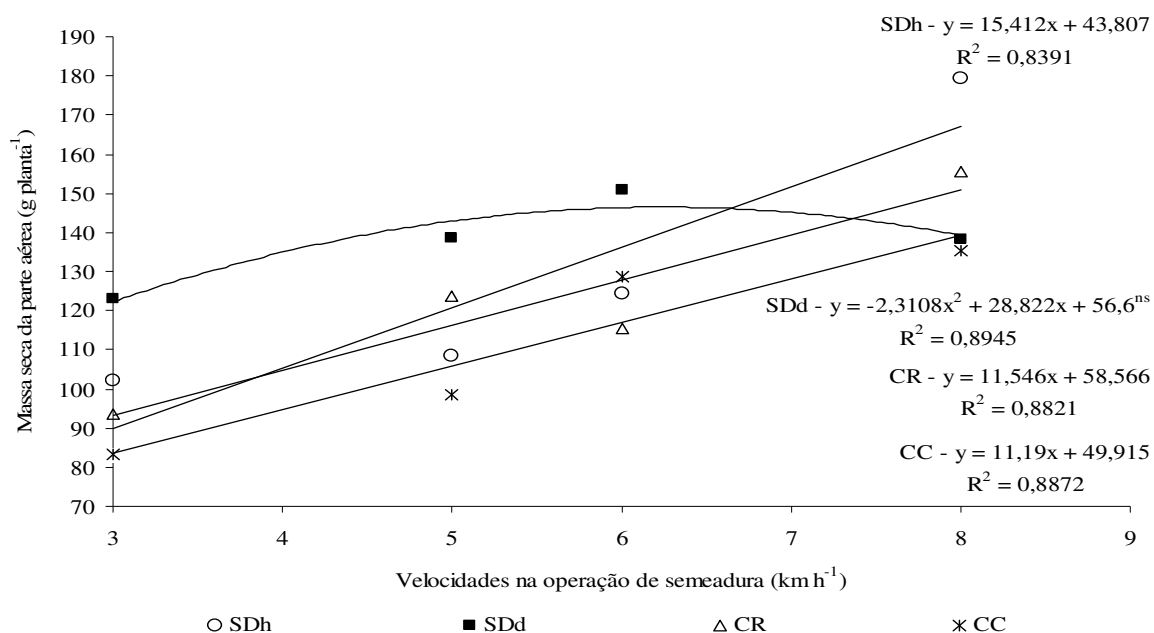
**Tabela 37.** Massa seca da parte aérea (g por planta<sup>-1</sup>) na fase de maturação fisiológica R 9 em função do sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	102,25ab	108,50ab	124,32ab	179,23a	128,58ab
SDd	123,15a	138,53a	150,75a	138,40 b	137,71a
CR	93,70ab	123,78ab	115,38 b	155,42ab	122,07ab
CC	83,20 b	98,55 b	128,75ab	135,35 b	111,46 b

DMS média = 200,68 e DMS interação = 34,05; CV sistemas de manejo (%) = 14,99; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 14,30.

Observando a Figura 21, verifica-se que o aumento das velocidades na operação de semeadura promoveu acréscimo nos valores de massa seca da parte aérea por planta, apresentando ajuste linear, com exceção do tratamento SDd, que não apresentou nenhum modelo de regressão significativo.

O aumento da massa seca da parte aérea por planta, em função das velocidades, pode ser explicado pela menor população de plantas apresentada nas maiores velocidades na operação de semeadura, o que ocasionou menor competição por luz, água, nutrientes e maior crescimento das plantas.



**Figura 21.** Massa seca da parte aérea (g por planta<sup>-1</sup>) na fase de maturação fisiológica R 9 em função das velocidades na operação de semeadura.

## 6.26 Diâmetro de capítulo

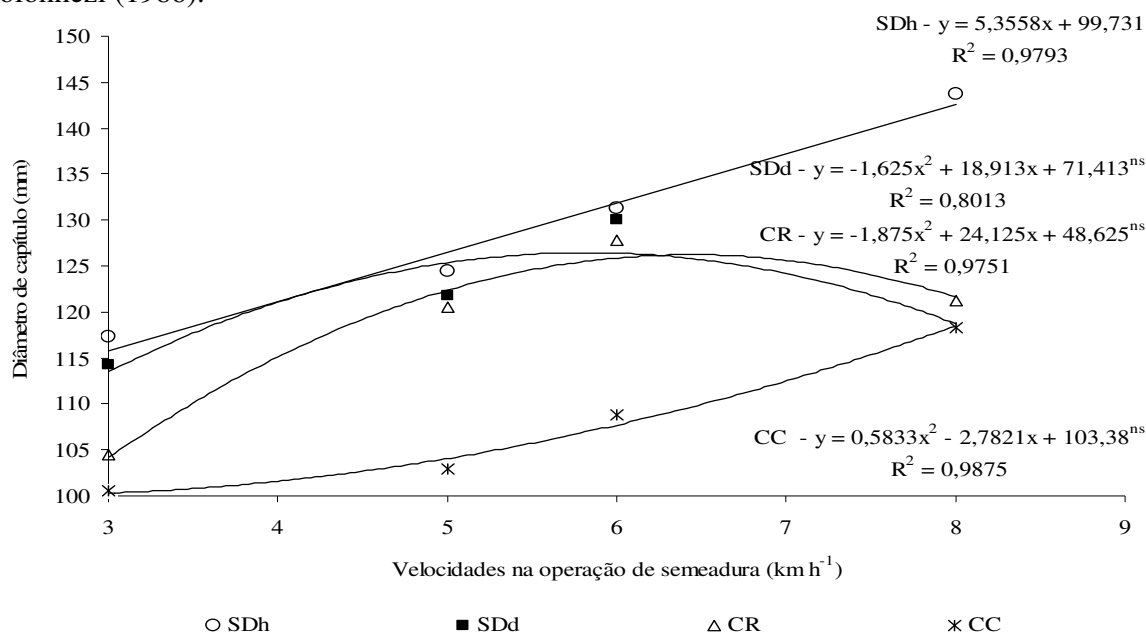
Analisando os resultados apresentados na Tabela 38, referentes aos valores de diâmetro de capítulo, verifica-se que os sistemas de manejo estudados não apresentaram significância pelo teste de F ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 38.** Diâmetro de capítulo (mm) em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	117,25	124,50	131,25	143,75	129,19
SDd	114,25	121,75	130,00	118,00	121,06
CR	104,50	120,50	127,75	121,25	118,50
CC	100,50	103,00	108,75	118,25	107,56

DMS média: 26,72 e DMS interação: 26,42; CV sistemas de manejo (%) = 18,80; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 11,65.

Na Figura 22, observa-se que aumentando a velocidade na operação de semeadura no tratamento SDh, ocorreu maior diâmetro de capítulo e a regressão apresentou ajuste linear crescente. Tal fato pode ser explicado pela menor população de plantas encontrada nas maiores velocidades, o que ocasionou a diminuição da competição por fatores bióticos e abióticos e o aumento do crescimento individual das plantas, o que está de acordo com Bolonhezi (1986).



**Figura 22.** Diâmetro de capítulo (mm) em função das velocidades na operação de semeadura.

Verifica-se, ainda, na Figura 22, que para os demais sistemas de manejo, não houve significância das velocidades pelo teste de F a 5% de probabilidade.

### 6.27 Massa de mil aquênios

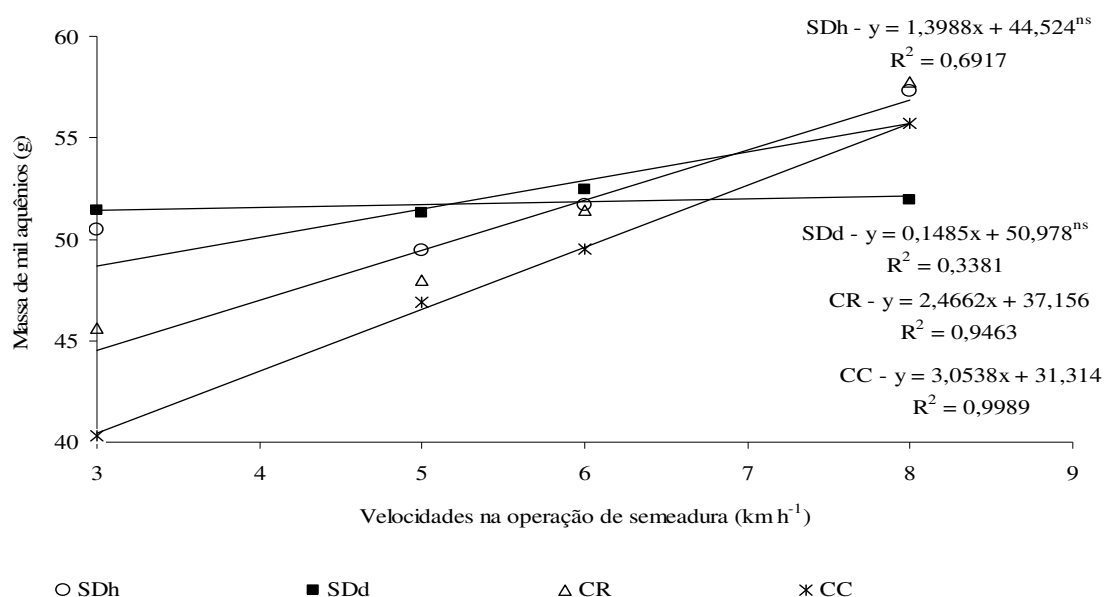
Na Tabela 39, são apresentados os valores da massa de mil aquênios (g) em função dos sistemas de manejo. Verifica-se que na velocidade de 3 km h<sup>-1</sup>, houve significância para os valores da massa de mil aquênios e os sistemas de manejo se diferenciaram significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os tratamentos SDh e SDd foram os que apresentaram maiores valores quando comparados ao tratamento CC, e este, não se diferenciou estatisticamente do tratamento CR. Observa-se que para as demais velocidades, os sistemas de manejo não se diferenciaram significativamente.

**Tabela 39.** Massa de mil aquênios (g) em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	50,46a	49,45	51,67	57,29	52,22
SDd	51,44a	51,30	52,46	51,98	51,79
CR	45,65ab	47,99	51,46	57,78	50,72
CC	40,35 b	46,89	49,49	55,71	48,11

DMS média: 6,30 e DMS interação: 9,59; CV sistemas de manejo (%) = 11,26; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 9,93.

Analisando a Figura 23, observa-se que a massa de mil aquênios em função das velocidades foi estatisticamente significativa nos tratamentos CR e CC, apresentando ajuste linear com acréscimo na massa de mil aquênios quando se aumentou a velocidade na operação de semeadura. Assim, torna-se evidente que o efeito das velocidades na massa de mil aquênios, nos tratamentos CR e CC, estão relacionados com uma menor população de plantas. Bolonhezi (1986) também verificou um decréscimo na massa de mil aquênios com o aumento do número de plantas por área.



**Figura 23.** Massa de mil aquênios em função das velocidades na operação de semeadura.

### 6.28 Massa de um capítulo

Os sistemas de manejos não apresentaram significância estatística com relação à massa de um capítulo, entretanto, independente da análise estatística, verificou-se que o tratamento SDh foi o que apresentou maior valor, superando os tratamentos SDd, CR e CC em 7,3; 13,4 e 19,2 %, respectivamente (Tabela 40).

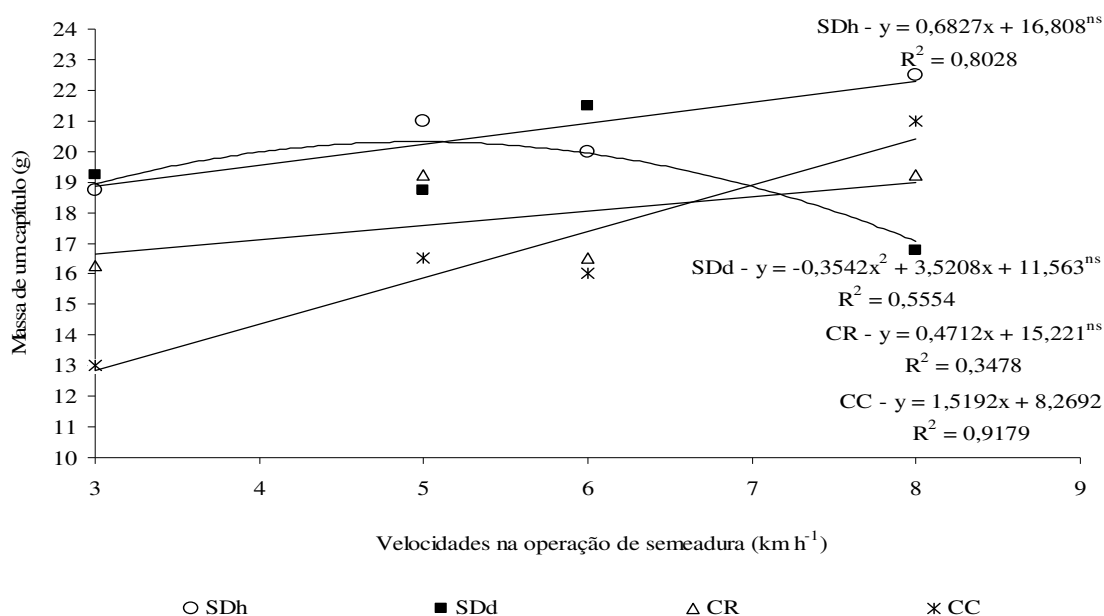
**Tabela 40.** Valores médios da massa de um capítulo (g) em função dos sistemas de manejo.

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	18,75	21,00	20,00	22,50	20,56
SDd	19,25	18,75	21,50	16,75	19,06
CR	16,25	19,25	16,50	19,25	17,81
CC	13,00	16,50	16,00	21,00	16,62

DMS média: 5,69 e DMS interação: 6,95; CV sistemas de manejo (%) = 27,85; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 19,69.

Analisando os dados da Figura 24, verifica-se que o tratamento CC foi o único sistema de manejo que sofreu influência da velocidade de semeadura, ajustando-se a

um modelo linear com acréscimo de 1,52 g na massa de um capítulo, à medida que se aumentou a velocidade em 1 km h<sup>-1</sup>.



**Figura 24.** Massa de um capítulo em função das velocidades na operação de semeadura.

### 6.29 Teor de óleo nos aquênios

Analisando os resultados, apresentados na Tabela 41, para o teor de óleo nos aquênios, verificou-se que houve significância estatística entre os sistemas de manejo nas velocidades de 3 e 6 km h<sup>-1</sup>. Na velocidade de 3 km h<sup>-1</sup>, o tratamento SDd foi o que apresentou maior teor de óleo nos aquênios, não se diferenciando estatisticamente do tratamento CR que, concomitantemente, também não se diferenciou dos tratamentos SDh e CC. Na velocidade de 6 km h<sup>-1</sup>, o tratamento SDd foi o que apresentou maior teor de óleo nos aquênios, não apresentando diferença em relação aos tratamentos CR e CC. Observou-se que o tratamento SDh foi o que apresentou menor teor de óleo, não diferindo estatisticamente do tratamento CC.

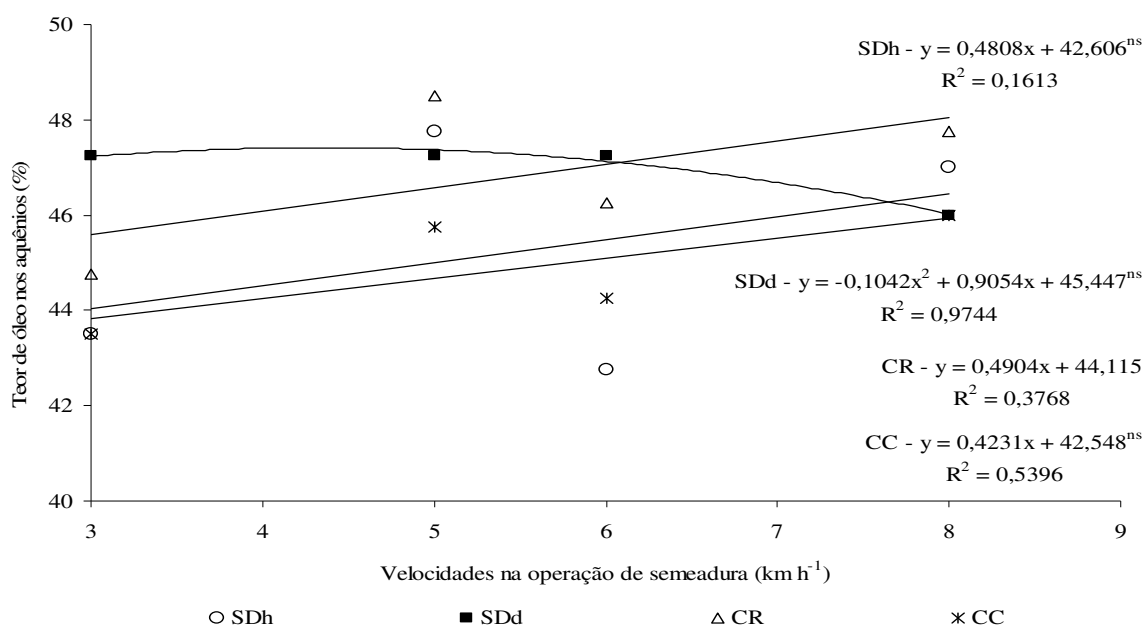


**Tabela 41.** Valores médios do teor de óleo nos aquênios (%).

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 km h <sup>-1</sup>	5 km h <sup>-1</sup>	6 km h <sup>-1</sup>	8 km h <sup>-1</sup>	
SDh	43,50 b	47,75	42,75 b	47,00	45,25
SDd	47,25a	47,25	47,25a	46,00	46,94
CR	44,75ab	48,50	46,25a	47,75	46,81
CC	43,50 b	45,75	44,25ab	46,00	44,88

DMS média: 2,11 e DMS interação: 3,31; CV sistemas de manejo (%) = 4,15; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 3,77

Observando o efeito das velocidades na operação de semeadura no teor de óleo nos aquênios, verifica-se que somente no tratamento CR houve significância pelo teste de F a 5% de probabilidade, sendo ajustado um modelo linear, com um baixo coeficiente de determinação 0,38 (Figura 25).

**Figura 25.** Teor de óleo nos aquênios (%) em função das velocidades na operação de semeadura.

### 6.30 Produtividade de aquênios do girassol

Após a colheita dos capítulos, trilhagem e pesagem dos aquênios (Tabela 42) foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de

manejo, sendo que as maiores produtividades ocorreram nos tratamentos SDh (1.311,69 kg ha<sup>-1</sup>) e SDd (1.183,00 kg ha<sup>-1</sup>).

Fernandes et al. (2007), estudando os efeitos dos tratamentos SDh, SDd e CR, em um Nitossolo Vermelho Distroférico, no cultivo do girassol verificaram que os valores de produtividade de aquênios não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo utilizados.

Na Tabela 42, verifica-se que os tratamentos CC (1.038,31 kg ha<sup>-1</sup>) e CR (1.046,75 kg ha<sup>-1</sup>) foram os que proporcionaram menores produtividades de aquênios, e não se diferenciaram estatisticamente entre si. Possamai et al. (2001), verificaram que o sistema de semeadura direta foi o que proporcionou maior produtividade de grãos, quando foram estudados diferentes tipos de preparo do solo no cultivo de milho safrinha.

De maneira geral, observando-se os valores das médias (Tabela 42), independente da análise estatística, verificou-se que houve um decréscimo na produtividade de aquênios na seguinte ordem: SDh, SDd, CR e CC. Constatou-se, porém, que o inverso ocorreu para a variável população de plantas, justificando, assim, que o número de plantas foi um fator limitante para o desenvolvimento e produtividade do girassol. Tal fato pode estar relacionado à maior competição entre plantas por água e luz, nas maiores populações, pois em relação aos nutrientes, o solo não apresentava nenhuma forma de limitação que pudesse comprometer o desenvolvimento da cultura do girassol.

Silva et al. (1997) e Wendt et al. (2005), estudando sistemas de manejo do solo (convencional e plantio direto), na cultura do girassol, concluíram que o rendimento de aquênios de girassol não foi afetado pelos diferentes sistemas de manejo. Botta et al. (2006) verificaram que no preparo com subsolagem, obteve-se maior produtividade nos dois anos consecutivos, seguido do preparo com escarificação, que não se diferenciou do convencional. Costa et al. (2003) verificaram que o rendimento das culturas de soja (18 safras) e milho (4 safras) foi de 42 e 22% superior no plantio direto quando comparado ao preparo convencional, respectivamente.

**Tabela 42.** Valores médios de produtividade de aquênios do girassol ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Sistemas de manejo	Velocidades na operação de semeadura				Médias
	3 $\text{km h}^{-1}$	5 $\text{km h}^{-1}$	6 $\text{km h}^{-1}$	8 $\text{km h}^{-1}$	
SDh	1.309,75a	1.371,25a	1.321,50a	1.244,25a	1.311,69a
SDd	1.260,75a	1.294,50ab	1.143,50 b	1.033,25 b	1.183,00ab
CR	1.172,25ab	1.156,00 bc	959,00 c	899,75 b	1.046,75 bc
CC	1.068,25 b	1.126,00 c	1.054,50 bc	906,50 b	1.038,81 c

DMS média: 141,70 e DMS interação: 166,58; CV sistemas de manejo (%) = 11,21; CV velocidades na operação de semeadura (%) = 7,64.

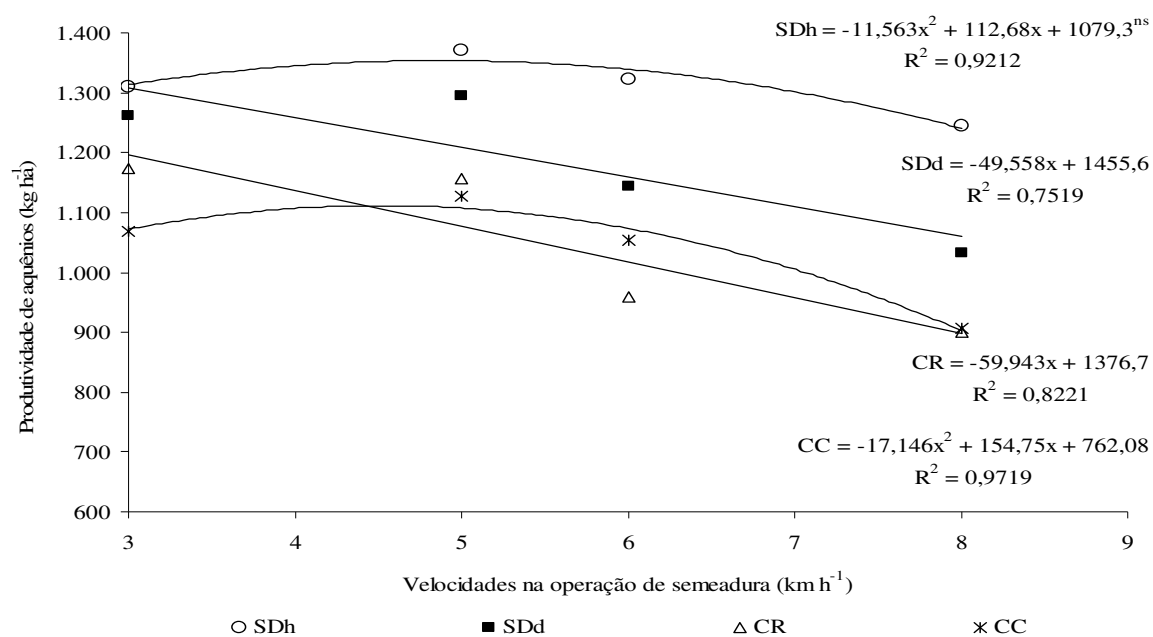
No tratamento SDh, o aumento da velocidade na operação de semeadura não influenciou significativamente na produtividade de aquênios, mesmo ocorrendo uma redução de 90% na população de plantas quando comparadas a menor e a maior velocidade (Figura 26). Sendo assim, pode-se afirmar que a competição entre plantas foi menor à medida que se aumentou a velocidade, devido à menor densidade de plantas na linha de semeadura, permitindo um maior desenvolvimento das plantas.

A semeadura do girassol foi realizada na época recomendada para o Estado de São Paulo e, mesmo assim, a produtividade ficou abaixo da média nacional que é de  $1.405,00 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que deve ter ocorrido devido à baixa precipitação (168,3 mm) e também, à má distribuição das chuvas, os quais não coincidiram com os estádios fenológicos de florescimento pleno e enchimento de aquênios, comprometendo o desenvolvimento da cultura. Lopes et al. (2007) verificaram que o atraso na época de semeadura do híbrido Hélio 358, promoveu redução na produtividade de aquênios.

Klein et al. (2002) e Mello et al. (2003) afirmaram que nem sempre o aumento na velocidade causa diminuição na produtividade de grãos. Fey et al. (2000) também relataram que o aumento da velocidade na operação de semeadura de milho não afetou a produtividade de grãos.

Na Figura 26, verifica-se que o aumento na velocidade na operação de semeadura, nos tratamentos SDd e CR, influenciaram significativamente na produtividade de aquênios e os modelos se ajustaram linearmente a 5% de probabilidade e, para cada  $1 \text{ km h}^{-1}$  acrescido da velocidade na operação de semeadura, a produtividade foi reduzida em 49,56 e 59,94  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Furlani et al. (1999), estudando diferentes velocidades na operação de semeadura na cultura do milho, verificaram que a produtividade de grãos foi

maior na menor velocidade (3 km h<sup>-1</sup>). No tratamento CC, o aumento na velocidade na operação de semeadura influenciou significativamente e se ajustou a um modelo quadrático, no qual a velocidade de 4,51 km h<sup>-1</sup> foi a que proporcionou maior produtividade de aquênios.



**Figura 26.** Produtividade de aquênios do girassol (kg ha<sup>-1</sup>) em função das velocidades na operação de semeadura.

## 7 CONCLUSÕES

O Nitossolo Vermelho Distroférico é um solo de boa qualidade para o sistema de produção agrícola, independentemente do sistema de manejo adotado.

Os indicadores físicos, resistência à penetração e macroporosidade, aumentam o índice de qualidade nos sistemas de manejo CR e CC, quando comparados à SDh e SDd.

Os indicadores químicos são os que mais contribuem para elevar o índice de qualidade do NVdf.

A semeadura direta com mecanismo sulcador tipo haste foi o tratamento que exigiu maior força e potência média de tração na barra do conjunto trator-semeadora-adubadora.

A variação da velocidade na operação de semeadura não proporciona aumento nos valores da força de tração média na barra do conjunto trator-semeadora-adubadora.

O consumo horário e o operacional de combustível, não são influenciados pelos sistemas de manejo e são direta e inversamente proporcionais ao aumento da velocidade de trabalho, respectivamente.

A profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes é menor no tratamento SDd e independe da velocidade empregada na operação de semeadura.

O sistema de manejo aração seguido de gradagem promove maior profundidade de semeadura quando comparado aos demais tratamentos e a variação na velocidade de trabalho, não interfere na profundidade de semeadura.

O tratamento SDh é o sistema de manejo recomendado para a implantação da cultura e o desenvolvimento do híbrido comercial de girassol Hélio 358.

O aumento da velocidade na operação de semeadura compromete a população de plantas e, conseqüentemente, o desenvolvimento da cultura.

## 8 REFERÊNCIAS

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.

ALMEIDA, J. A. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, p. 437-445, 2005.

ALMEIDA, F. S. de. Herbicidas residuais em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 4, p. 595-601, 1992.

AMABILE, R. F.; GUIMARÃES, P.; FARIAS NETO, A. L. de. Análise de crescimento de girassol em Latossolo com diferentes níveis de saturação por bases no Cerrado. Brasília, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 219-224, 2003.

ANDREOLLA, R. M. V.; GABRIEL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura-pecuária. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p.768-776, 2006.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v. 68, p. 1945-1962, 2004.

ARAÚJO, A. G. *Estimativa e classificação da compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas através da modelagem nebulosa*. 2004. 224 f. Tese (Doutorado em Sistemas Digitais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ARAÚJO, A. G. et al. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) em solos argilosos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 226-237, 1999.

ARAUJO, Q. R.; PAIVA, A. Q. Conservação do solo e da água na região cacauceira da Bahia. In: SEMANA DO FAZENDEIRO, 28., 2006, Uruçuca; BA. Agenda da 28ª *Semana do Fazendeiro*. Ilhéus, BA: CEPLAC, CEPEC, 2006. v. 2, p.251-257.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.) *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America. 1996. p. 123-141. (SSSA Special publication, 49).

BALASTREIRE, L. A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 307p.

- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, n. 23, p. 687-694, 1999.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil structure: classification and genesis. In: BAYER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. *Soil physics*. New York: John Wiley, 1973. p. 130-177.
- BENEZ, S. H. *Estudo do cultivo mínimo na cultura do milho (Zea mays L.) em solo Podizólico Vermelho Amarelo var. Lavras*. 1972. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.
- BERNER, P. G. M. *Variabilidade espacial de propriedades de um cambissolo sob sistemas de manejo de cana-de-açúcar em Campos dos Goytazazes*. Rio de Janeiro, 1995. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Faculdade Federal do Rio de Janeiro, 1995.
- BERTOL, O. J.; FISCHER, I. I. Semeadura direta versus sistemas de manejo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 87-96, 1997.
- BOGNOLA, I. A. et al. *Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, em Latossolo Vermelho-escuro sob plantios de E. dunnii*. Campinas: EMBRAPA, NMA, 1998. 3 p. (Comunicado técnico, 4).
- BOLLER, W.; GAMERO, C. A.; PEREIRA, O. J. Avaliação de diferentes sistemas de preparo e de condições de cobertura do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 52-63, 1997.
- BOLLER, W. *Avaliação de diferentes sistemas de manejo do solo visando a implantação da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. 1996. 272 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.
- BOLLER, W.; GAMERO, C. A.; PEREIRA, O. J. Avaliação de diferentes sistemas de manejo e de condições de cobertura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25.; CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1996, Bauru. *Anais...* Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996.
- BOLONHEZI, A. C. *Comportamento do girassol (Helianthus annuus L.) em diferentes espaçamentos e populações de plantas, cultivado em fileiras orientadas nas direções Norte-Sul e Leste-Oeste*. 1986. 87 f. Dissertação (Mestrado em agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1986.

- BONEL, B. et al. Efecto de la Labor de escarificado sobre un Argiudol Vertico bajo siembra directa continua. *Revista Latinoamericana en Ciencias de la Agricultura y Ambientales*, Santiago, v. 31, n. 3, p. 187-196, 2004.
- BORGES, J. R. et al. Resistência à penetração de um Gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 83-86, 2004.
- BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 122-130, 2006.
- BOTTA, G. F. et al. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil and Tillage Research*, v. 91, p. 164-172, 2006.
- BRANQUINHO, K. B. *Semeadura direta da soja (Glycine max L.) em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo do milho (Pennisetum glaucum (L) R. Brow)*. 2003. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- BROCH, D. L.; BORGES, E. P.; PITOL, C. Integração agricultura-pecuária: uma tecnologia que traz bons resultados. In: *GUIA para plantio direto*. Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2000. p.79-85.
- BUZATTI, W. J. S.; MUNDSTOCK, C. M. Efeito da subsolagem sobre o crescimento e rendimento do girassol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 18, n. 2, p. 261-266, 1994.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- CAMARGO, O. A de; ALLEONI, L. R. F. O Solo e a Planta. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C2/Comp2.htm>>. Acesso em: 30 jan. 2008.
- CAMILO, A. J. et al. Influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto do feijão. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 203-211, 2004.
- CANARACHE, A. Peneytometer: a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil and Tillage Research*, v. 16, p. 51-70, 1990.
- CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.



- CAROLINO DE SÁ, M. A. et al. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1825-1834, 2000.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.
- CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (2 ed.). *Encyclopedia of soil science*. New York, Marcel Dekker, 2006. p. 1412-1415.
- CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of finoamy sands. *Canadian Journal Soil Science*, v. 70, p. 425-433, 1990.
- CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado. *Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP*, Botucatu, n. 1, 1983. 95 p.
- CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISH, R. Desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 3, p. 523-532, 2000.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R. Metodologia para avaliação de semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1999. 1 CD-ROM.
- CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol: origem e histórico do girassol. In: LEITE, R. M. V. B de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, de C. *Girassol no Brasil*. Londrina: EMBRAPA Soja, 2005. p. 16-42.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCH, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CASTRO NETO, P. *Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas*. 2001. 155 f. Tese (Livre Docência em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- CAVALIERI, K. M. V. et al. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.

CECONI, D. E. et al. Influência do Uso do Solo nas principais propriedades físicas na Microbacia Hidrográfica do Lajeado Biguá, Alecrim - RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 31., 2007, Gramado - RS. *Resumos expandidos...* Gramado, 2007. 1 CD ROM.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 447-457, 2005.

CHAILA, S. Metodos de evaluacion de malezas para estudios de poblacion y control. *Malezas*. v. 14, n. 2, p. 1-78, 1986.

COELHO, J. L. D. *Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo*. 1998. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; VOLK, L. B da S. Indicadores de qualidade do solo: uma abordagem conceitual e ilustrativa com ênfase nos aspectos de erosão hídrica e de mecanização tratorizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. *Palestras*, Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD ROM.

COLET, M. J. *Alteração de atributos físicos de um solo, sob pastagem degradada, submetido à escarificação*. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/GirassolSerieHist.xls>>. Acesso em: 18 dez. 2007.

COPETTI, E. Plantadoras: distribuição de sementes. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, n. 18, p. 14-17, 2003.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 2, p. 203-209, 2002.

CORTEZ, J. W. et al. Avaliação de uma semeadora - adubadora em plantio direto para a cultura da soja. *Engenharia na Agricultura*, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 268-276, 2005.

COSTA, B. J.; OLIVEIRA, S. M. *Produção de biodiesel*. Instituto Tecnológico do Paraná, 2006. (Dossiê técnico).

- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M G. Qualidade de solo submetido a dois sistemas de cultivo: preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, p. 1185-1191, 2006.
- COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e manejo convencional. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.
- CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2002.
- CRUZ, A. C. R. et al. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.
- DALL'AGNOL, A. D.; VIEIRA, O. V.; LEITE, R. M. V. B. de C. Origem e histórico do girassol. In: LEITE, R. M. V. B de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, de C. *Girassol no Brasil*. Londrina: Soja, 2005. p. 1-12.
- DALLMEYER, A. U. Opções na semeadura. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 6-9, 2001.
- DEL COLLE, R. *Desemulsificação de emulsões estáveis de água e óleo de girassol por processo de filtração tangencial* 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- DERPSCH, R. et al. *A escarificação como alternativa de preparo e conservação do solo*. Londrina: IAPAR; GTZ, 1984. 24 p.
- DERPSCH, R. Importância da cobertura do solo e do manejo conservacionista. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO, 1.; SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO NO PLANALTO, 3., 1984, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: PIUCS/UPF, 1984. p. 153-66.
- DEXTER, A. R.; ZOEBISCH, M. A. Degradation: critical limits of soil properties and irreversible degradation. In: LAL, R. *Encyclopedia of soil science*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2006. p. 411-1415.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Part 1. *Geoderma*, v. 120, p. 201-214, 2004.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soils and Tillage Research*, v. 11, p. 199-238, 1988.
- DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, v. 88, p. 119-127, 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds). *Methods for assessing soil quality*. SSSA Special publication, Madison, WI, n. 49, p. 25-37, 1996.

DUFRANC, G. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análises do solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Indicações técnicas para o cultivo do girassol*. Londrina, 1983. 40 p. (Documentos, 3).

ESHEL, G. et al. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v. 68, p. 736-743, 2004.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de manejo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, 2003.

FEY, E.; SANTOS, S. R. Efeito da velocidade de semeadura sobre a população de plantas, distribuição longitudinal e produção de grãos de milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD-ROM.

FEY, E.; SANTOS, S. R.; FEY, A. Influência da velocidade de semeadura sobre a produtividade de milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD-ROM.

FERNANDES, L. A. et al. Manejo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 9, p. 247-254, 1998.

FERNANDES, J. C. F. et al. Efeito de preparos do solo e doses de boro no desenvolvimento do girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 31., 2007 Gramado-RS. *Resumos expandidos...* Gramado: SBCS, 2007. 1 CD ROM.

FERREIRA, D. F. *Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0*. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, Lavras Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG.

- FERREIRA, L. et al. Tipos de dispersante, formas de agitação e suas relações com a erodibilidade de solos com altos teores de óxidos de ferro. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 26, n. 2, p. 342-353, 2002.
- FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S. *Física do solo*, Lavras, UFLA, Departamento de Ciência do Solo; CAPES/PROIN, 1997. 63 p.
- FERRERAS, L. A. et al. Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 1, p. 161-170, 2001.
- FIGUEIREDO, P. R. A de. *Otimização do desempenho de uma máquina de manejo mínimo de solo*. 1991. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.
- FURLANI, C. E. A. et al. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 345-352, 2008.
- FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; ROUVERSON, P. da S. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de manejo do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 458-464, 2005a.
- FURLANI, C. E. A.; ROUVERSON, P. da S.; REIS, G, N dos. Exigências de uma semeadora-adubadora de precisão variando a velocidade e a condição da superfície do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 4, p.920-923, 2005b.
- FURLANI, C. E. A et al. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do manejo do solo e do manejo da cobertura de inverno. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.
- FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R. Semeadora-adubadora de fluxo contínuo: desempenho operacional em função de diferentes condições de manejo e coberturas do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 60-67, 2002.
- FURLANI, C. E. A. *Efeito do manejo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.)*. 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- FURLANI, C. E. A. et al. Características da cultura do milho (*Zea mays* L.) em função do tipo de manejo do solo e da velocidade de semeadura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 177-186, 1999.
- GADANHA JUNIOR, C. D. et al. *Máquinas e implementos agrícolas do Brasil*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468 p.

- GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L. G. *Máquinas agrícolas: ensaio e certificação*. Piracicaba: CNPq-PADCT; TIB, FEALQ, 1996. p. 463-514.
- GAMERO, C. A. et al. Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- GAMERO, C. A. *Enxada rotativa: desempenho em função do tipo de lâmina, do número de pares de lâminas por flange, da rotação do rotor e da velocidade de deslocamento*. 1991. 227 f. Tese (Livre Docência em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.
- GARCIA, L. C. et al. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 520-527, 2006.
- GERMINO, R. *Atuação de forças em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras para plantio direto*. 2004. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 80, p. 29-45, 2000.
- GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; DECKERS, J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*; v. 87, p. 163-174, 2006.
- GREGORICH, E. G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal Soil Science*, v. 74, p. 367- 385, 1994.
- GREGORICH, E. G. Quality. In: LAL, R. *Encyclopedia of soil science*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2006. p. 1388-1391.
- GUIMARÃES, H. T. C. A.; SCHNEIDER, P. R.; SPATHELF, P. Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no sul do Brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 143-152, 2002.
- GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soil to excessive compaction. *Advances in Soil Sciences*, v. 6, p. 65-100, 1987.
- HECKLER, J. C. Sorgo e girassol no outono inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 517-5120, 2002.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. Manejo e conservação do solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro e Pesquisa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). *Algodão: informações técnicas*. Dourados, 1998, 167 p. (Circular técnica, 7).

HUSSAIN, I. et al. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in Southern Illinois. *Soil and Tillage Research*, v. 50, p. 237-249, 1999.

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S.; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 523-530, 2006.

IMHOFF, S. C. *Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos*. 2002. 94 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

IMHOFF, S. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981. v. 1, 126 p. (Escala 1:500.000).

KAISER, D. R. et al. Influência da compactação adicional e da escarificação na resistência do solo e no desenvolvimento radicular e produtividade do trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 30., 2005, Recife, PE: *Resumos expandidos...* Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, p. 4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, *Soil Science Society of America/American Society of Agronomy*, 1994. p.53-71. (SSSA Special Publication, 35).

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 1, n. 5, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A et al. Efeito da velocidade na semeadura direta de soja. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 75-82, 2002.

KLEIN, V. A. *Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo*. 1998. 150 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998.

- KIEHL, J. E. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1979. 264 p.
- KOAKOSKI, A. et al. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 5, p. 725-731, 2007.
- KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.
- KURACHI, S. A. H. et al. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaio e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. *Bragantia*, Campinas, v. 48, n. 2, p. 62-249, 1989.
- LACERDA, N. B.; ZERO, V. M.; BARILLI, J. Efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 686-695, 2005.
- LAFLEN, J. M.; AMENIYA, A.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.
- LANÇAS, K. P.; BENEZ, S. H. Influência da velocidade de subsolagem no consumo de combustível e na área mobilizada do solo. *Energia na Agricultura*, Botucatu, n. 1, v. 3, p. 25-30, 1988.
- LANÇAS, K. P.; SANTOS, C. A. Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo. In: BALBUENA, R. H.; BENEZ, S. H.; JORAJURIA, D., Eds. *Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito latinoamericano*. La Plata, p. 570-576, 1998.
- LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI: Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, 1994. p. 37-51. (SSSA Special publication, 35).
- LEITE, R. M. V. B. *Avaliação de danos e efeito de variáveis ambientais na mancha de alternaria (Alternaria helianthi) em girassol*. 2002. 107 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- LEONEL, C. L. et al. Relação da compactação do solo com a cultura do amendoim. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 70-81, 2007.
- LEPSCH, I. F. *Manual de levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.



- LEVIEN, R.; GAMERO, C. A.; FURLANI, E. A. Manejo convencional e reduzido em solo argiloso em diferentes condições de cobertura de inverno. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, SP, v. 23, n. 2, p. 277-289, 2003.
- LEVIEN, R.; GAMERO, C. A. Semeadura de milho em diferentes manejos e condições de cobertura do solo: primeiro ano de implantação. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 82-97, 2000.
- LEVIEN, R. *Condições de cobertura e método de manejo do solo para a implantação da cultura do milho (Zea mays L.)*. 1999. 305 f. Tese (Doutorando em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1999.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Sciences*, v. 1, p. 277-294, 1985.
- LIEPIC, J. et al. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. *Soil and Tillage Research*, v. 19, p. 307-317, 1991.
- LIMA, C. L. R de; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R de. Qualidade Física do Solo: Indicadores Quantitativos. *Informações Técnicas*. Pelotas. Embrapa Clima Temperado, 2007. 25 p. (EMBRAPA Clima Temperado - documento 196).
- LIMA, C. L. R de. et al. Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 409-414, 2004.
- LOPES, A. et al. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu da lastragem e da velocidade de trabalho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 366-370, 2005.
- LOPES, P. V. L. et al. Influência da época de sementeira na produtividade de genótipos de girassol no oeste da Bahia. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol, 27., /Simpósio Nacional sobre a cultura do girassol, 5., 2007, Uberaba. *Anais...*, 2007, v. 292, p. 130-132.
- MAGLEBY, R. S.; SCHERTZ, D. L. Conservation tillage chalks up steady gains. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v. 67, n. 1, p. 6-14, 1988.
- MAIA, J. C. de S. *Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo*. 1999. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- MAHL, D. *Desempenho operacional de semeadora em função de mecanismos de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho*. 2006. 143 f. Tese (Doutorando em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2006.

- MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.
- MAHL, D. *Desempenho de semeadoras-adubadoras de milho (Zea mays L.) em sistema de plantio direto*. 2002, 160 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- MAHL, D. et al. Distribuição longitudinal e 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., Foz do Iguaçu, 2001. *Anais...* Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/UNIOESTE, 2001. 1CD ROM.
- MANTOVANI, E. C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F. E. C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 12, p. 1579-1686, 1992.
- MARQUES, M. C. Clima, solo, conservação do solo e da calagem. In: BRINHOSI, O. *Cultura do girassol*. Botucatu: UNESP, FCA, 1994. p. 26-52.
- MARIA, I. C. de; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.
- MAZIERO, J. V. G et al. Efeito da patinação da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo. *Bragantia, Campinas*, v. 56, n. 1, p. 1-11, 1997.
- MAZUCHOWSKI, J. Z.; DERPSCH, R. *Guia de manejo do solo para culturas anuais mecanizadas*. Curitiba: ACARPA, 1984. 65 p.
- MELLO, A. J. R. et al. Produtividade de híbridos de milho em função da velocidade de semeadura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 479-486, 2007.
- MELO FILHO, J. F de; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L da S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 1599-1608, 2007.
- MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. H. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho (*Zea mays* L.) em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 563-567, 2003.
- 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.

MELLO PRADO, R.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M de. Sistemas de manejo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 37, n. 12. p. 1795-1801, 2002.

MERCANTE, E. et al. Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 424-428, 2005.

MIALHE, L. G. Ensaio e certificação de tratores. In: MIALHE, L. G. *Máquinas agrícolas: ensaio e certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1996. cap. 8, p. 385-462.

MILLER, D. E. Effect of subsoiling and irrigation regime on dry bean production in the Pacific Northwest. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v. 51, p. 784 - 787, 1987.

MIRANDA, E. E. V de. Modelagem e mapas de capacidade suporte de carga de solos cultivados com cana-de-açúcar. 2006. 97 f. Tese (Doutorando em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z de. *Experimentação agrônômica: dados não-balanceados*. Botucatu: Unesp, 1BB, 2006. 32 p.

MITSUIKI, C. *Efeito de sistemas de manejo de solo e do uso de microorganismos eficazes nas propriedades físicas do solo, produtividade e qualidade de batata*. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

MODOLO, A. J. et al. Força de tração necessária em função do número de linhas de semeadura utilizadas por uma semeadora-adubadora de precisão. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 465-473, 2005.

MODOLO, A. J. et al. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 298-306, 2004.

MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L. Effects of long-term monoculture on aggregate stability of soils in the São Paulo State, Brazil. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION (ISCO), 15., 2008, *Abstracts ....* Budapest, Hungary, 2008. p. 213.

- MORAES, M. H. et al. Effects of long-term management systems on soil quality.. In: International Soil Conservation Organization Conference (ISCO), 12, 2002, *Proceedings ....* Pequim: Tsinghua University Press. v. 2, p. 187-192.
- MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. *Bragantia*, Campinas, v. 54, n. 2, p. 393-403, 1995.
- MORETI, D. et al. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 167-175, 2007.
- MÜLLER, M. M. L. *Influência do monocultivo na cana-de-açúcar e nas propriedades físicas e químicas de um Nitossolo vermelho e um Neossolo Quartizarênico*. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.
- NAGAOKA, A. K.; NOMURA, R. H. C. Tratores: semeadura. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, n. 18, p. 24-26, 2003.
- NASH, H. M.; SELLES, F. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil and Tillage Research*, v. 34, p. 61-76, 1995.
- NEVES, C. M. N. et al. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região Noroeste do estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, 2004.
- NEVES JUNIOR, A. F. *Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia*. 2005. 65 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- NISSEN, T. M.; WANDER, M. M. Quality, soil and water. In: LAL, R. (Ed.). *Encyclopedia of Soil science*. Marcel Dekker: New York, 2006, p. 1082-1087.
- NOGUEIRA, J. B. *Mecânica dos solos: ensaio de laboratório*. São Carlos: USP, Escola de Engenharia de São Carlos, 1995. 248 p.
- NOVAK, L. et al. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 12, p. 1587-1595, 1992.

- OLIVEIRA, M. L. *Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em duas classes de solo com diferentes tipos de cobertura vegetal*. 1997. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- PALMEIRA, P. R. T. et al. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Brasília, v. 23, p. 189-195, 1999.
- PELEGRINI, B. *Girassol: uma planta solar que das Américas conquistou o mundo*. São Paulo: Ícone, 1985. 117 p.
- PEREIRA, E. S. *Avaliações qualitativas e quantitativas das plantas daninhas na cultura da soja submetidas aos sistemas de plantio direto e convencional*. 1996. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1996.
- PIRES, J. C. Cultura do girassol (*Helianthus annuus*. L.) introdução, botânica e melhoramento. In: BRINHOSI, O. *Cultura do girassol*. Botucatu, UNESP/FCA, 1994. 25 p.
- PORTAL DO BIODIESEL BRASIL. Disponível em: <<http://www.biodieselbrasil.com.br>>. Acesso em: 20 mai. 2007.
- PORTA, C. J.; LÓPEZ, A. R. M.; ROQUERO L. C. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente clasificación*. 2. ed. Ediciones Mundi-Prensa. 1999. 849 p.
- PORTELLA, J. A. *Semeadoras para plantio direto*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 252 p.
- PORTELLA, J. A.; SATTER, A.; FAGANELLO, A. Efeito da velocidade de trabalho de semeadoras sobre o desempenho de mecanismos dosadores de sementes do tipo disco alveolado horizontal, na semeadora de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Lavras. *Anais...* Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998, v. 3, p. 43-45.
- PORTELLA, J. A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e milho em semeadura direta no Sul do Brasil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 7, n. 2, p. 7-78, 1997.
- PORTELLA, J. A.; SATTLER, A.; FAGANELLO, A. Desempenho de elementos rompedores de solo sobre o índice de emergência de soja e de milho em plantio direto do sul do Brasil. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 209-217, 1997.
- POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C. Sistemas de manejo do solo para o cultivo do milho safrinha. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 2, p. 79-82, 2001.
- RAHMAN, S.; CHEN, Y. Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil, *Soil and Tillage Research*, v. 58, p. 19-29, 2001.

- RAIJ, B. van. et al. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RALISCH, R. *Análise comparativa do desempenho de três equipamentos de manejo de solo na descompactação de um Latossolo Roxo*. Botucatu, 1999. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.
- REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.
- REIS, E. F dos et al. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 777-786, 2006.
- REIS, E. F dos et al. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 212-221, 2004.
- REIS, A. V dos; ALONÇO, A. dos S. Comparativo sobre a precisão funcional de vários mecanismos dosadores estudados no Brasil entre os anos de 1989 e 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 30., 2001, Foz do Iguaçu: *Resumos expandidos...* Foz do Iguaçu: SBCS, 2001. 1 CD-ROM.
- REIS, A. V dos. Erros na semeadura. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, n. 2, p. 3-12, 2001.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. *Propriedades físicas do solo*. Apostila de material didático. Santa Maria, 2006.
- REINERT, D. J. et al. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em Solo Podzólico Vermelho Amarelo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 19-25, 1984.
- REZENDE, J. de O. *Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo*. Salvador, BA: SEAGRI/SPA, 2000. 117 p. (Serie estudos agrícolas 1).
- RIBON, A. A. et al. Densidade e resistência à penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v. 25, n. 1, p. 13-17, 2003.
- RIGHES, A. A.; DALLMEYER, A. U.; SILVEIRA, D. R. *Semeadura direta: comparação entre diferentes mecanismos sulcadores*. São Paulo: NSI/MA, 1990. 100 p. (Monografia).
- RODRIGUES, J. G. L.; GAMERO, C. A. Demanda energética e capacidade de campo efetiva em diferentes sistemas de manejo do solo. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 55-62, 2006.
- RODRIGUES, R. A. F. *Efeitos de tipos de manejos nos seus atributos físicos do solo e nas características fenológicas e produtividades do arroz de terras altas irrigado por aspersão*.

2001. 75 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2001.

ROMIG, D. E. et al. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 50, p. 229–236, 1995.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SAAD, A. M. Uso do tensiômetro de faixas em pivô central. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso4.htmh>>. Acesso: 08 ago. 2007.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H. Manejo periódico do solo II: consumo energético e desagregação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus: *Anais...* Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p. 1722-1731.

SANGOI, L.; KRUSE, N. D. Comportamento de cultivares de girassol em diferentes épocas de semeadura no planalto Catarinense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 1, p. 81-91, 1993.

SANTANA, M. B. et al. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, p. 1-12, 2006.

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 2, p. 540-546, 2008.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n.3, p. 477-486, 2003.

SANTOS, S. R. et al. Espaço livre entre orifícios de discos dosadores e sementes de milho na eficiência de semeadura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 300-308, 2003.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Características da porosidade de um argiloso vermelho amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 112-123, 2001.

SCHIMANDEIRO, A. et al. Distribuição longitudinal de plantas de milho (*Zea mays* L.) na região dos Campos Gerais, Paraná. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 977-980, 2006.

SENGIZ, E. *Roteiros de aulas práticas: solos e adubação*, 16 f. Curso de zootecnia, Maringá-Paraná, 2005.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo roxo distrófico sob plantio direto e manejo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 8, p. 265-68, 1984.

SILVA, A. P da; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

SILVA, A. J. N da; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, p. 921-930, 2006.

SILVA, A. R. B. et al. 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, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, J. G da; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M da. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 7-12, 2000a.

SILVA, M de L. O. et al. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 1, p. 200-205, 2007.

SILVA, M. de L. O. *Aplicações de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol*. 2005. 128 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

SILVA, P. R. A. BENEZ, S. H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 76-82, 2005.

SILVA, P. R. A. *Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (Zea mays L.) no sistema de plantio direto*. 2003, 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.



SILVA, P. R. F da; WEDT, W.; ROCHA, A. B da. Manejo do solo e adubação na cultura do girassol em sucessão à aveia-preta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 6, p. 641-647, 1997.

SILVA, S. L. *Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento*. 2000. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SILVA, S. de L. et al. Demanda energética em sistema de semeadura direta em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. 2000. *Anais...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000b, 1CD-ROM.

SILVA, V. R.; REECHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 795-801, 2000c.

SILVEIRA, J. C. M. et al. Semeadura e manejo da cultura de girassol. In: LEITE, R. M. V. B de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, de C. *Girassol no Brasil*. Londrina: Soja, 2005a. 392 p.

SILVEIRA, J. C. M. et al. Força de tração e potência de uma semeadora em duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de sementes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 125-128, 2005b.

SILVEIRA, J. C. M.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 13, n. 4, p. 256-267, 2005c.

SINGH, R. C.; SINGH, G.; SARASWAT, D. C. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. *Biosystems Engineering*, v. 92, n. 4, p. 429-428, 2005.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R. *Trabalho no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema plantio direto*. Curitiba: SENAR, PR, 2004. 88 p.

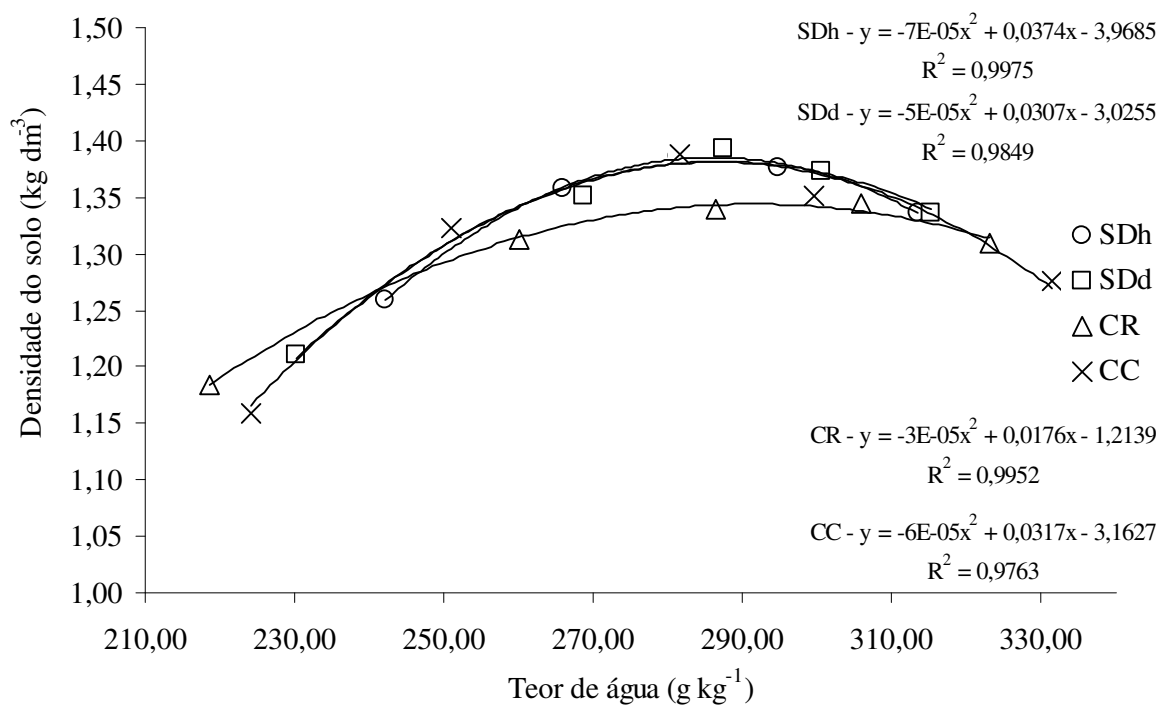
SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. Plantadoras de plantio direto: ângulo ideal. *Cultivar Máquinas*, Pelotas, v. 2, n. 13, p. 30-32, 2002.

SIQUEIRA, R. et al. Variabilidade da demanda energética de hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras diretas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA

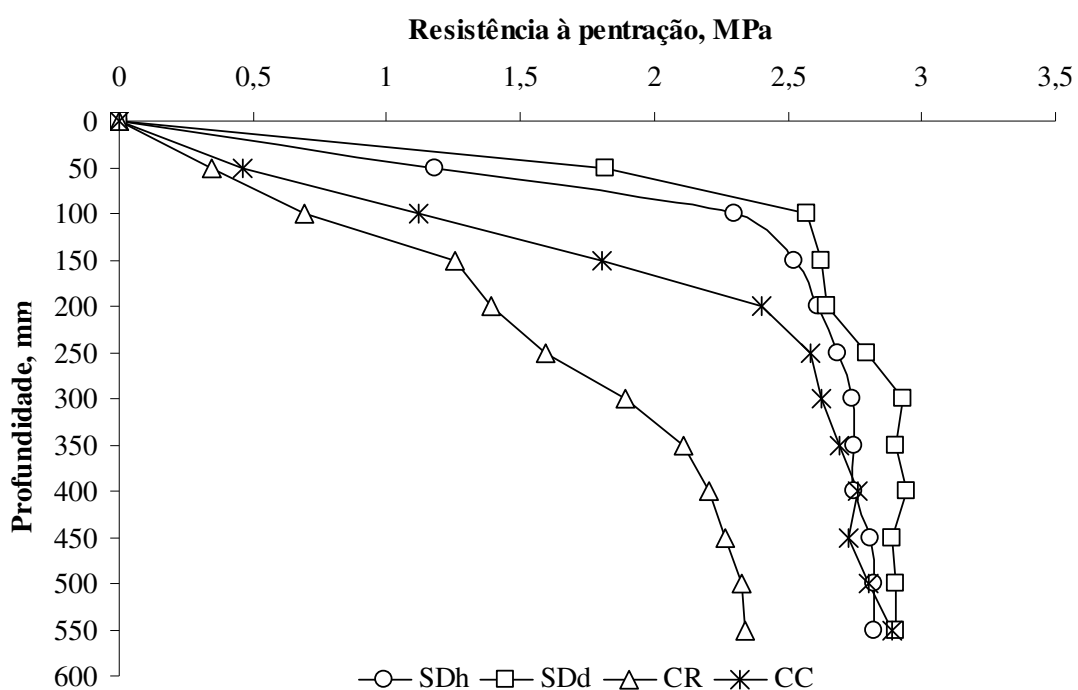
- AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola; UNIOESTE, 2001. 1 CD ROM.
- SIQUEIRA, R. *Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo*, 1999. 191 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- SIQUEIRA, N. S. *Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho*, 1995. 78 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- SOUTO, L. S. *Resposta da cultura da mamona à fertilização com lodo de esgoto*. Botucatu, 2007. 75 f Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- SOUZA, A. P. et al. Comparação entre índice de erosividade e a perda do solo medida em campo no momento do evento pluviométrico em ambiente agrícola serrano – Paty do Alferes / RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 30., 2005, Recife-PE. *Resumos expandidos...* Recife, 2005. 1 CD ROM.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; SOUZA, L. F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos de Tabuleiros Costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto. *Trabalhos apresentados...* Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.
- SOZA, E.; BOTTA, G.; TOURN, M. Direct sowing of wheat (*Triticum aestivum* L.): implantation efficiency with relation of soil compaction in the moment of sowing. *Journal Agrociencia*, n. 2, p. 121-128, 2003.
- STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P da M. Efeitos do sistema de manejo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999.
- STURNER, S. L. K. et al. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo do solo na cultura do fumo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 30., Recife-PE. *Resumos expandidos...* Recife, 2005. 1 CD ROM.
- STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

- TAYLOR, H. M.; BURNETT, E. Influence of soil strength on root growth habits of plants. *Soil Science*, Baltimore, v. 98, p. 174-180, 1964.
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.
- TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de manejo do solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.
- TORRES, E.; SARAIVA, O. F. *Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja*. Londrina: Soja, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23).
- TOURINO, M. C. C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadora-adubadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 8., 1983, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1983, v. 2, p. 103-16.
- TRITIN, C. G.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, V. C. Demanda energética por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 1, p. 127-131, 2005.
- UNGER, P. W. *Sunflower*. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Eds.) Irrigation of agricultural crops. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 775-794. (Agronomy, 30).
- VASQUEZ, E. V.; DE MARIA, I. C. Influencia del laboreo sobre la rugosidad del suelo y la retención de agua en un Ferrasol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. *Resumo expandido...* Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD ROM.
- WANDER, M. M.; BOLLERO, G. A. Soil Quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v. 63, p. 961-971, 1999.
- WALLACE, A. Interactions of water stress and aluminum stress in barley and sunflower cultivars. *Journal of Plant Nutrition*. New York, v. 13, n. 3/4, p. 425-436, 1990.
- WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.
- WENDT, V. et al. Produção do girassol em dois sistemas de semeadura em função da adubação verde de inverno associada a doses de NPK. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 4, p. 617-621, 2005.
- ZILL, J. E. et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.

APÊNDICE



**Apêndice 1.** Curvas de compactação do solo, após a colheita do girassol.



**Apêndice 2.** Resistência do solo à penetração (MPa), na camada 0-500 mm de profundidade, após a colheita do girassol.

**Apêndice 3.** Resumo da análise de variância para as variáveis, velocidades de semeadura, força na barra de tração, área mobilizada, resistência específica operacional, potência na barra de tração, consumo horário, consumo operacional e capacidade de campo teórica durante a semeadura do girassol.

Fatores	Variáveis							
		km h <sup>-1</sup>	kN	N mm <sup>-2</sup>	kW	L h <sup>-1</sup>	L ha <sup>-1</sup>	ha h <sup>-1</sup>
	GL	-----Quadrado Médio-----						
<sup>1</sup> SM	3	0,15*	37,38*	1,16*	74,52*	3,73 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,01*
Bloco	3	0,03 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,18*	2,34 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Erro (a)	9	0,02	0,63	0,03	1,69	1,44	0,44	0,00
<sup>2</sup> V	3	64,51*	0,49 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	419,81*	58,70*	35,69*	5,07*
SM x V	9	0,006*	0,32 <sup>ns</sup>	0,04*	4,86*	1,01*	0,14*	0,00*
Erro (b)	36	0,02	0,30	0,02	1,07	0,55	0,15	0,00

<sup>1</sup>Sistemas de manejo; <sup>2</sup>Velocidade de semeadura

**Apêndice 4.** Resumo da análise de variância para as variáveis, profundidade do sulco para deposição dos fertilizantes, profundidade de semeadura, área mobilizada pelos mecanismos sulcadores da semeadora durante a semeadura do girassol.

Fatores	Variáveis			
		mm	mm	mm <sup>2</sup>
	GL	-----Quadrado Médio-----		
Sistemas de Manejo (SM)	3	2325,39	1,76	183331244,68
Bloco	3	319,14	0,19 <sup>ns</sup>	52509447,52
Erro (a)	9	79,21	0,31	6432626,75
Velocidades (V)	3	107,68	0,39 <sup>ns</sup>	7496022,59 <sup>ns</sup>
SM x V	9	26,09 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	5329917,50 <sup>ns</sup>
Erro (b)	36	33,29	0,44	4992592,51

<sup>1</sup>Sistemas de manejo; <sup>2</sup>Velocidade de semeadura

**Apêndice 5.** Resumo da análise de variância para as variáveis, população inicial, população final, espaçamento duplo, espaçamento aceitável, espaçamento falho e altura das plantas.

Fatores	GL	Variáveis da planta					
		População inicial	População final	Espaçamento duplo	Espaçamento aceitável	Espaçamento falho	Altura das plantas
-----Quadrado Médio-----							
<sup>1</sup> SM	3	95269677,73 <sup>ns</sup>	115033536,93 <sup>ns</sup>	59,79 <sup>ns</sup>	153,77 <sup>ns</sup>	144,19 <sup>ns</sup>	102,76 <sup>ns</sup>
Bloco	3	3527813,35 <sup>ns</sup>	419964222,56 <sup>ns</sup>	39,94 <sup>ns</sup>	192,19 <sup>ns</sup>	191,23 <sup>ns</sup>	373,11 <sup>ns</sup>
Erro (a)	9	28296851,13	27376721,17	76,06	63,73	137,69	95,48
<sup>2</sup> V	3	12980,46*	14430,44*	409,79*	867,73*	2421,85*	80,54 <sup>ns</sup>
SM x V	9	14439974,77 <sup>ns</sup>	21064040,88 <sup>ns</sup>	21,31 <sup>ns</sup>	42,60 <sup>ns</sup>	51,15 <sup>ns</sup>	41,73 <sup>ns</sup>
Erro (b)	36	16906249,42	15928935,52	50,08	76,47	75,78	99,15

<sup>1</sup>Sistemas de manejo; <sup>2</sup>Velocidade na operação de semeadura

**Apêndice 6.** Resumo da análise de variância para as variáveis, tempo ponto de inflexão, massa seca da parte aérea, diâmetro de capítulo, massa de mil aqüênios, massa de um capítulo, teor de óleo nos aqüênios, produtividade de aqüênios.

Fatores	GL	Variáveis da planta						
		Tempo ponto de inflexão	Massa seca da parte aérea	Diâmetro de capítulo	Massa de mil aqüênios	Massa de um capítulo	Teor de óleo nos aqüênios	Produtividade de aqüênios
-----Quadrado Médio-----								
<sup>1</sup> SM	3	0,38 <sup>ns</sup>	1952,41 <sup>ns</sup>	1275,09 <sup>ns</sup>	54,48 <sup>ns</sup>	45,64 <sup>ns</sup>	17,94*	267506,96*
Bloco	3	0,04 <sup>ns</sup>	1257,31 <sup>ns</sup>	230,47 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	64,52 <sup>ns</sup>	14,44*	23938,21 <sup>ns</sup>
Erro (a)	9	0,15	350,73	501,29	32,58	26,59	3,65	16471,53
<sup>2</sup> V	3	0,41*	7534,59*	903,18*	225,57*	26,02 <sup>ns</sup>	24,10*	1483389,04*
SM x V	9	0,06 <sup>ns</sup>	983,04 <sup>ns</sup>	138,78 <sup>ns</sup>	32,58 <sup>ns</sup>	17,97 <sup>ns</sup>	6,37*	10036,53 <sup>ns</sup>
Erro (b)	36	0,06	319,41	192,38	25,33	13,29	3,01	7646,18

<sup>1</sup>Sistemas de manejo; <sup>2</sup>Velocidade na operação de semeadura