

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DESEMPENHO DE MECANISMOS SULCADORES EM
SEMEADORA-ADUBADORA SOBRE OS ATRIBUTOS
FÍSICOS DO SOLO EM VÁRZEA NO
COMPORTAMENTO DA CULTURA DA SOJA
(*Glycine max l*)**

TESE DE DOUTORADO

Vandro Rogerio Vizzotto

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**DESEMPENHO DE MECANISMOS SULCADORES DE
SEMEADORA-ADUBADORA SOBRE OS ATRIBUTOS
FÍSICOS DO SOLO EM VÁRZEA NO COMPORTAMENTO
DA CULTURA DA SOJA
(*Glycine max l*)**

Vandro Rogerio Vizzotto

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Arno Udo Dallmeyer

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Vizzotto, Vandro Rogerio

Desempenho de mecanismos sulcadores em semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja (*Glycine max* l). / Vandro Rogerio Vizzotto.-2014.

78 p. ; 30cm

Orientador: Arno Udo Dallmeyer

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2014

1. *Glycine max* 2. Profundidade de semeadura 3. Velocidade de emergência I. Dallmeyer, Arno Udo II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Vandro Rogerio Vizzotto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: vandrovizzotto@gmail.com

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**DESEMPENHO DE MECANISMOS SULCADORES DE SEMEADORA-
ADUBADORA SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM
VÁRZEA NO COMPORTAMENTO DA CULTURA DA SOJA
(*Glycine max l*)**

elaborada por
Vandro Rogerio Vizzotto

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Arno Udo Dallmeyer, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)

Reges Durigon, Dr. (UFSM)

Luiz Antonio Daniel, Dr. (FATEC)

Alexandre Russini, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 15 de agosto de 2014

DEDICATÓRIA

Pelos conselhos que me destes durante os sonhos, dedico a ti meu pai, Valdir A. Vizzotto (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, instituição pela qual sou Engenheiro Agrônomo, agradeço pela qualidade do ensino público e gratuito;

A Deus pela vida, saúde e tudo mais que tenho;

A CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa e financiamento dos estudos;

Ao Professor Dr. **Arno Udo Dallmeyer**, pela oportunidade, por sua orientação, amizade, confiança e incentivo, ao Professor Dr. **Jerson Vanderlei Carus Guedes**, pela oportunidade, por sua indicação, amizade e confiança, ao professor Dr. **Enio Marchesan** pela orientação, pela disponibilidade de material e também pelos conhecimentos, viabilizando a realização do trabalho e, ao professor Dr. **José Fernando Schlosser**, pela disponibilidade de material;

Aos colegas do setor de agricultura, **Alana Cristina Dorneles Wandscheer, Gerson Meneghetti Sarzi Sartori, Guilherme Pilar Londero, Ericson Avila dos Santos (*In Memoriam*), Maurício Limberger de Oliveira, Felipe Lucca Tonetto, Lucas Lopes Coelho, Eduardo Figuera, Bruno Behenck Aramburu, Isaac Aires de Castro, Damaris Sulzbach Santos Hansel, Anderson Andre Hatschback, Gabriel Donato, Luan Pierre Pott, Camille Flores Soares e Anelise Lencina** pela amizade, pelo auxílio, pelo convívio em plena harmonia durante todo o tempo em que estivemos juntos;

Aos colegas do setor de máquinas agrícolas, **Ulisses Giacomini Frantz, Daniel Uhry, Marcelo Farias e Fabricio Azevedo Rodrigues** pela amizade, pelo auxílio, pela contribuição durante o tempo em que convivemos;

Ao funcionário **Gilmar** pela ajuda e companheirismo.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, e não estão nominalmente citados.

“Siga sua felicidade, e o universo vai abrir portas para você onde só havia paredes”

Joseph Campbell

1885-1950

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

DESEMPENHO DE MECANISMOS SULCADORES DE SEMEADORA- ADUBADORA SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM VÁRZEA NO COMPORTAMENTO DA CULTURA DA SOJA (*GLYCINE MAX L*).

AUTOR: Vandro Rogerio Vizzotto

ORIENTADOR: Arno Udo Dallmeyer

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de agosto de 2014.

A soja em várzea apresenta benefícios em função da rotação de culturas e da perspectiva de renda. Um dos limitantes desta cultura em áreas de várzea é a compactação do solo. Este trabalho tem por objetivo estudar os efeitos de mecanismos sulcadores do solo sobre a profundidade de deposição das sementes, índice de velocidade de emergência, modificações nos atributos físicos do solo, alteração na força exercida na barra de tração, consumo de combustível, porcentagem de patinação do trator e rendimento de grãos. O experimento foi conduzido na safra 2012/13, na Universidade Federal de Santa Maria. O solo é um Planossolo Háplico eutrófico arênico, unidade de mapeamento Vacacaí. A semeadura foi realizada no dia 28 de novembro de 2012 com densidade de 16,7 sementes.m⁻¹. Foram realizados cinco tratamentos: T1 disco liso (DL) no corte + disco duplo na deposição do fertilizante; T2 DL + disco ondulado (DO); T3 DO + DO, T4 DL + haste sulcadora(HS) e T5 DL + HS e conjunto de rodas tapadoras. As unidades experimentais foram compostas por seis linhas espaçadas 0,5 m, com 40 m de comprimento. O delineamento foi de blocos ao acaso com cinco repetições. Em relação à profundidade de deposição de sementes a haste sulcadora apresentou maiores valores que os demais tratamentos devido a abertura provocada no momento do sulcamento. A emergência da soja foi mais rápida no tratamento com haste + conjunto de rodas tapadoras. A semeadora adubadora utilizando haste sulcadora promoveu a redução da camada compactada, maior consumo de combustível, patinação do trator e força de tração. O mecanismo tipo haste proporcionou maior capacidade de infiltração de água no solo, melhorando a drenagem e a aeração do solo e aumentando a produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Glycine max*. Profundidade de semeadura. Velocidade de emergência.

ABSTRACT

Doctor Thesis
Post-Graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

PERFORMANCE FURROW DRILLER MECHANISMS AND ITS EFFECT ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF PADDY SOIL ON THE SOYBEANS CROP DEVELOPMENT

AUTHOR: VANDRO ROGERIO VIZZOTTO

ADVISER: ARNO UDO DALLMEYER

Presentation and Date: Santa Maria, August 15, 2014.

Soybeans are very beneficial in rotation to rice in lowland areas, but one of the limiting factors on the crop in lowland areas is the soil compaction. The objective of this study was to evaluate the effect of furrow mechanisms for soybean driller on the depth of seed placement, the speed, alteration in the physical soil attributes, on the alteration of the drawbar force, on the fuel consumption and the percentage of tractor tire slip. The experiment was conducted in 2012/ 13 growing season, in Santa Maria, RS Brazil in albaqualf soil Planossolo eutrophic halico Paludalf, Vacacai unit. Soybeans were seeded in November 28, 2012 with a 16.7 seeds.m⁻¹ rate. The treatments were: T1= flat opener disc (DL) and + double disc furrow in the deposition of fertilizer; T2 = DL and + turbo disc (DT); T3 = DL + DT; T4 = DL + shank (HS) and T5 = DL + HS and set covering wheels. The experimental was arranged in a randomized block with five replications. Plots included six soybeans rows spaced by 0.5 m, with 40 m length with a total area of 120 m². Regarding the depth of deposition of the seed, shank opener showed higher values than the other treatments due to the opening caused by the same time of planting. Soybeans emerged faster with shank + set of covering wheels. The planter working in depth reduced soil compaction, increased fuel consumption, tractor tire slipping and traction demand. The shank type mechanism showed greater infiltration of water into the soil, improving drainage and soil aeration.

Key words: *Glycine max.* Planting depth. Emergency speed.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Parâmetro físico da área experimental. (Amostras destrutíveis). Santa Maria/RS, 2013.	37
Tabela 2 –	Valores médios de profundidade de semeadura (cm), variação da profundidade de semeadura (cm), índice de velocidade de emergência (IEV) e percentual de emergência (%) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.....	48
Tabela 3-	Capacidade de infiltração (CI) do solo após saturação (mm/h), infiltração acumulada (I) no período de 180 minutos (mm), nos diferentes mecanismos sulcadores. Santa Maria/RS. 2013.....	52
Tabela 4 -	Efeito da Superfície do solo mobilizada (%), profundidade de atuação do mecanismo (cm), solo mobilizado (m ³ /ha) e empolamento(m ³ /ha) nos diferentes mecanismos sulcadores. Santa Maria/RS. 2013.	53
Tabela 5 -	Valores médios de resistência do solo a penetração em MPa, realizados na linha de semeadura, a 5, a 10, a 15, a 20, e 25 cm da linha de semeadura até a profundidade de 20 cm, nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.	56
Tabela 6 -	Densidade do solo (g/cm ³), coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.....	57
Tabela 7 -	Microporosidade (%) coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.	58
Tabela 8 -	Macroporosidade (%) coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.	59
Tabela 9 -	Porosidade total (%) coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.	60
Tabela 10 -	Valores médios de força de tração, potência requerida na barra de tração, patinamento e velocidade, para cada linha, nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.....	61
Tabela 11 -	Valores médios de consumo de combustível, consumo específico e kW /linha de semeadura, nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.....	62
Tabela 12 -	Valores médios de produtividade, nos diferentes mecanismos sulcadores. Santa Maria/RS. 2013.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Esquema representativo do Tratamento 1 com sulcador de fertilizante tipo disco duplo defasado.....	34
Figura 2 -	Esquema representativo do Tratamento 2 com sulcador de fertilizante tipo disco ondulado (26 ondas).	34
Figura 3 -	Esquema representativo do Tratamento 3 com sulcador de fertilizante tipo disco ondulado (26 ondas).	35
Figura 4 -	Esquema representativo do Tratamento 2 com sulcador de fertilizante tipo haste.....	35
Figura 5 -	Esquema representativo do Tratamento 5 com sulcador de fertilizante tipo haste e rodas tapadoras de sulco em "V".....	36
Figura 6 -	Esquema representativo da infiltração da água proveniente dos anéis.....	38
Figura 7 -	Perfilômetro desenvolvido para determinar o perfil de solo mobilizado. Santa Maria/RS. 2013.....	39
Figura 8 -	Determinação da profundidade de semeadura. Santa Maria/RS. 2013.....	40
Figura 9 -	Trator instrumentado com sensores de roda, fluxômetro, GPS e central de armazenamento de dados (datalogger). Santa Maria/RS. 2013.....	42
Figura 10 -	Datalogger para armazenamento dos dados adquiridos pelos sensores. Santa Maria/RS. 2013.....	42
Figura 11 -	Sistema de engate e célula de carga para medição da força de tração (RUSSINI, 2009). Santa Maria/RS. 2013.....	43
Figura 12 -	Detalhe da roda dentada e sensor do tipo indutivo. Santa Maria/RS. 2013.....	44
Figura 13 -	GPS barra de luz. Santa Maria/RS. 2013.....	45
Figura 14 -	Caixa de proteção e ligações do fluxômetro. Santa Maria/RS. 2013.....	46
Figura 15 -	A- Sementes de soja após semeadura com mecanismo sulcador do tipo haste. B- Sementes de soja após semeadura com mecanismo sulcador do tipo disco duplo. Santa Maria/RS. 2013.....	49
Figura 16 -	Chuvvas ocorridas na fase inicial de estabelecimento da cultura da soja. Santa Maria/RS. 2013.....	50
Figura 17 -	A- cinco dias após semeadura com mecanismo do tipo haste, B- cinco dias após o início da emergência semeados com mecanismos do tipo haste e disco duplo e C- nove dias após início da emergência e após ocorrência de 30 mm de chuva semeados com mecanismos do tipo disco ondulado e haste. Santa Maria/RS. 2013.....	51
Figura 18 -	Representação gráfica da resistência mecânica média a penetração do solo da área experimental. Santa Maria/RS. 2013.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Hipótese	15
1.2	Objetivo geral.....	15
1.3	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Limitação ao uso do solo de várzea	17
2.2	Drenagem em solos de várzea.....	18
2.2.1	Drenagem subterrânea	19
2.2.2	Drenagem superficial.....	20
2.3	Semeadora - adubadora	20
2.4	Mecanismos sulcadores de solo	22
2.5	Densidade e porosidade do solo.....	24
2.6	Efeitos da compactação do solo	26
2.7	Resistência mecânica do solo à penetração	27
2.8	Práticas mecânicas de descompactação do solo	28
2.9	Velocidade de deslocamento	29
2.10	Demanda de força de tração	30
2.11	Consumo de combustível	31
2.12	Patinagem das rodas motrizes	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Análises físicas	36
3.1.1	Determinação da granulometria do solo.	36
3.1.2	Determinação da infiltração de água no solo.....	37
3.1.3	Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade	38
3.1.4	Resistência mecânica do solo à penetração	38
3.2	Avaliações da semeadura	39
3.2.1	Perfil do solo mobilizado.....	39
3.2.2	Profundidade de deposição das sementes	40
3.2.3	Índice de velocidade de emergência e percentagem de emergência.....	40
3.3	Rendimento de grãos	41

3.4	Avaliações do desempenho da semeadora adubadora	41
3.4.1	Demanda de força de tração	43
3.4.2	Sensores das rodas motrizes	43
3.4.3	Velocidade real do trator	44
3.4.4	Patinamento das rodas motrizes.....	45
3.4.5	Consumo de combustível.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5	CONCLUSÕES.....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A soja é a principal cultura de grãos no Brasil, o qual é o segundo país em produção e exportação mundial, ficando atrás somente dos Estados Unidos. Além da cultura da soja proporcionar elevada geração de divisas para a agricultura brasileira, ela possui grande papel socioeconômico e apresenta predominância de cultivo em solos de maior altitude.

No entanto, áreas de várzea começam a receber o cultivo da soja. Estas áreas, no Rio Grande do Sul, abrangem em torno de 5,5 milhões de hectares, os quais representam cerca de 20% do território gaúcho. Deste número, cerca de 3 milhões de hectares foram, em algum momento, cultivadas com arroz, mas apenas 1,1 milhão de hectares são ocupados anualmente com a cultura do arroz irrigado. Na perspectiva de uso mais intensivo e sustentável dessas áreas, a soja constitui-se numa alternativa para cultivo em pelo menos parte dessas áreas, que não estão sendo cultivadas com arroz irrigado. A cultura da soja vem apresentando elevado crescimento nas várzeas do RS, demonstrando que é possível cultivar soja em terras baixas e úmidas, antes utilizadas apenas para arroz. A soja apresenta-se como uma alternativa à lavoura de arroz, tendo em vista a necessidade de diversificação e aumento de renda ao produtor. Esta opção, faz com que a área semeada com soja aumente consideravelmente em virtude de seus benefícios. Nesse sentido, cultivaram-se em torno de 287 mil hectares na safra 2012/2013 e a perspectiva é chegar a 300 mil hectares no próximo ano, em torno de 30 % da área atualmente utilizada com arroz irrigado.

A cultura da soja proporciona benefícios ao solo, tais como a fixação biológica de nitrogênio, possibilitando uma redução de custos com adubação química do solo. Pode também, trazer benefícios para a cultura do arroz irrigado em rotação, pois permite utilizar herbicidas com diferentes mecanismos de ação daqueles utilizados na cultura do arroz irrigado, tornando possível o controle das principais plantas daninhas, entre elas o arroz-vermelho, bem como a quebra do ciclo de pragas e doenças no arroz. No entanto, devido às características comuns a diversos tipos de solos de várzeas, de serem mal drenados, possuindo baixa porosidade e por isso pouca capacidade de armazenamento de água, resistência à penetração de raízes devido à compactação subsuperficial, as culturas de sequeiro encontram dificuldades no seu estabelecimento e desenvolvimento.

A compactação do solo é caracterizada pelo aumento da densidade do solo, formando uma camada compactada. Essa situação faz com que as raízes fiquem confinadas a uma

pequena camada de solo, dependentes dos recursos como água e nutrientes ali presentes, tornando-os mais suscetíveis as variações climáticas. A compactação promove aumento da densidade e da resistência mecânica à penetração e a redução da porosidade total, especialmente pela redução da macroporosidade do solo (BOONE ; VEEN, 1994). Isto significa possibilidade de erosão, e aumento do escoamento superficial, diminuindo a disponibilidade de água para as plantas devido à redução da taxa de infiltração de água no solo; e, a alteração do fluxo de calor e de gases em virtude da redução de aeração, o que pode promover a restrição do crescimento radicular e culminar com a redução da parte aérea e da produtividade das culturas. Isto pode se tornar perceptível através das características dessas propriedades físicas do solo, e das alterações morfológicas de raízes de plantas, ocasionando a redução da produtividade das culturas.

O excesso hídrico durante chuvas intensas proporciona deficiência de oxigênio ao sistema radicular e a efetividade dos nódulos, além do encrostamento superficial o qual dificulta a emergência das plântulas de soja no início do ciclo.

Em função do exposto, é necessário adequar a área, principalmente quanto à drenagem, para a implantação de uma cultura de sequeiro como a soja, pois, diferentemente do arroz, não é adaptada às condições de solos permanentemente alagados, devido às suas características morfofisiológicas. Desta forma, é necessário testar sistemas de implantação que permitam obter rendimentos da soja compatíveis ao grande potencial agrícola que estes solos possuem.

Atualmente, procura-se por mecanismos que proporcionem a redução da compactação do solo logo abaixo da superfície em solos de várzea, ou seja, mecanismo de rompimento da camada compactada do solo mediante aumento da porosidade total e redução da densidade e da resistência mecânica do solo à penetração no local específico onde crescerão as raízes das plantas cultivadas.

Entretanto, o predominante uso de semeadoras equipadas com mecanismos de rompimento de solo, exclusivamente com discos, justificado pelo maior rendimento operacional, não consegue contribuir para reduzir a compactação do solo em plantio direto. No entanto, mecanismos rompedores de solo, tipo facão projetados para atuar numa camada de 12 cm de profundidade, promovem a redução da camada compactada em Latossolo Vermelho distrófico típico (FAGANELLO et al., 2009). Logo, os mecanismos rompedores do solo da semeadora, equipados com haste e discos corrugados de ações mais profundas, podem ter o mesmo desempenho em solos de várzea, ocasionando um maior desenvolvimento das raízes e conseqüentemente, um melhor aproveitamento da água e dos nutrientes em camadas

mais profundas do solo. Além disso, quando se utiliza diferentes mecanismos de abertura de sulco nas operações de semeadura, com disco liso, corrugado e haste, espera-se que ocorram diferenças nas relações solo-semente e na qualidade de semeadura. No entanto, a variabilidade espacial entre as plantas é causa da redução de produtividade de culturas agrícolas, ou seja, elevar a densidade e a uniformidade de sementes tem sido uma forma de potencializar a produtividade de grãos de soja, devido ao maior arranjo entre as plantas e estar associado ao aumento da radiação solar interceptada (KUSS et al., 2008).

Diante deste cenário, percebe-se que o estudo dos fatores que auxiliam a uniformidade de emergência, rendimento da cultura, patinamento, consumo de combustível e revolvimento do solo é de elevada importância, assim como o estudo de parâmetros físicos do solo, indicadores de compactação do solo tais como densidade, porosidade, resistência à penetração do solo e de demanda de tração em solos de várzea.

1.1 Hipótese

Se forem utilizados diferentes mecanismos sulcadores e tapadores de sulco na semeadura de soja, pode-se diminuir a camada subsuperficial compactada alterando a uniformidade de emergência e a demanda de tração, promovendo efeitos diretos no rendimento da cultura.

1.2 Objetivo geral

- Avaliar o efeito dos mecanismos sulcadores e roda tapadora de sulco na descompactação do solo, na uniformidade de emergência, demanda de tração e rendimento da cultura da soja em solos de várzea sistematizados.

1.3 Objetivos específicos

- Verificar a existência de potencial de redução da compactação nos atributos físicos do solo oriunda dos diferentes mecanismos sulcadores do solo o qual equipa a semeadora.
- Determinar se a utilização de diferentes mecanismos promovem diferença na capacidade de infiltração da água no solo.
- Mensurar as alterações na força de tração, no consumo de combustível e no patinamento do trator agrícola nos diferentes mecanismos sulcadores.
- Avaliar a influência da profundidade de deposição das sementes, o índice de velocidade de emergência e o percentual de emergência das plântulas da cultura da soja em solos de várzea sistematizados nos diferentes mecanismos sulcadores e roda tapadora de sulco.
- Identificar as possíveis diferenças no rendimento de grãos da cultura da soja nos diferentes mecanismos sulcadores e roda tapadora de sulco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Limitação ao uso do solo de várzea

Em áreas de várzea do Estado do Rio Grande do Sul é importante o benefício da rotação de culturas. Tem destaque a cultura da soja, pois uma das maiores vantagens é o controle do arroz vermelho o qual é a principal planta invasora infestante causando elevadas perdas de produtividade e qualidade nas lavouras de arroz irrigado. Entretanto, as áreas de várzea apresentam alguns fatores limitantes para o cultivo da soja, sendo o excesso hídrico o principal deles. Drenagem rápida é indispensável para o estabelecimento das culturas com alto potencial produtivo, além de trazer benefícios para todo o sistema arroz irrigado/soja, como a diminuição da toxidez de ferro e o maior controle de plantas invasoras (SCHOENTELD, 2010).

A característica dominante do solo de várzea cultivado com arroz no Rio Grande do Sul é a deficiente drenagem natural, devido à topografia predominantemente plana e as suas características físicas, as quais limitam a capacidade de armazenamento de água mesmo em períodos curtos de estiagem (EMBRAPA, 2006). Os solos de várzea apresentam relevo plano a levemente ondulado, um horizonte B impermeável e também o nível do lençol freático próximo a superfície, além de apresentar densidade natural do solo elevada, alta relação micro/macroporos e baixa taxa de infiltração (LIMA et al., 2003).

Para a utilização destas áreas de várzea, onde o estabelecimento de culturas de sequeiro encontra dificuldades de crescimento e desenvolvimento (BAMBERG et al., 2009), torna-se indispensável a drenagem, a qual favorece a aeração do solo. O alagamento do solo reduz as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, além do oxigênio ser consumido pelos microrganismos promovendo a redução do rendimento de grãos nas culturas (CRUCIANI, 1989). Logo, a drenagem deficiente está associada à falta de oxigênio, causando uma redução da respiração das raízes e do volume total destas, formação de compostos tóxicos no solo e na planta, podendo causar a morte das células e até a morte das raízes (SCOTT et al., 1989).

A melhoria das condições de drenagem, juntamente com a implantação de culturas com maior tolerância ao estresse hídrico (SILVA et al., 2001), proporciona melhores condições para a rotação e/ou sucessão de culturas com o arroz irrigado em solos de várzea.

As culturas de sequeiro apresentam tolerância ao excesso de umidade no solo por pouco tempo e o efeito varia de acordo com a fase do ciclo vegetativo (SILVA, 2004). O excesso de água no solo também é resultado direto de uma série de fatores que vão determinar o período de duração do encharcamento. Segundo Machado et al.(1996), o manejo correto dos solos de várzea é essencial para viabilizar o cultivo de sequeiro. Por isso, o estudo de cultivares de soja, que sejam menos susceptíveis ao estresse hídrico, juntamente com mecanismos de drenagem que promovam condições adequadas ao estabelecimento de cultivos sequeiro devem ganhar destaque.

Em busca de melhores alternativas de utilização dos solos de várzea, Marchezan et al. (2002) ressaltam que através da correção do microrelevo, do nivelamento da área, associado ao estabelecimento de drenos superficiais, obtêm-se melhorias no sistema de drenagem. A utilização de drenos superficiais auxilia no escoamento dessas áreas, conduzindo o excesso de água sobre a superfície do solo para drenos coletores, promovendo condições de boa drenagem para cultivos de sequeiro.

2.2 Drenagem em solos de várzea

As várzeas normalmente já possuem infraestrutura de drenagem para o arroz irrigado, no entanto, para maior eficiência no desenvolvimento das culturas de sequeiro a drenagem deve ser aprimorada (SILVA et al., 2004). Para implantação de culturas de sequeiro de forma eficiente, é importante que a umidade do solo propicie condições de germinação e emergência das plântulas na fase inicial de estabelecimento. Em vista disso, é importante que se estabeleça na zona radicular um equilíbrio na relação nutrientes-solo-oxigênio visando fornecer condições ideais para o desenvolvimento satisfatório das plantas (GOMES et al 1992).

O manejo correto dos solos de várzea é essencial para viabilizar as culturas de sequeiro (MACHADO et al., 1996). As condições ideais de um solo dependem do equilíbrio entre as fases líquida e gasosa. Quando a solução do solo começa a ocupar todo o espaço poroso, há um problema de drenagem, o qual ocasiona falta de oxigênio para o desenvolvimento das plantas. Quando a fase gasosa começar a ocupar o espaço da solução do solo, há um problema de déficit hídrico, ocasionando deficiência de água para o desenvolvimento das plantas.

A drenagem é o processo de remoção do excesso de água da superfície do solo e/ou do subsolo, possuindo duas formas: drenagem superficial do solo, que é a remoção do excesso de água da superfície do solo, para torná-lo adequado ao aproveitamento agrícola; e drenagem subsuperficial ou subterrânea, que remove o excesso de água no perfil do solo, com a finalidade de propiciar condições favoráveis de umidade, aeração e manejo agrícola (SILVA et al., 2004).

2.2.1 Drenagem subterrânea

A drenagem subterrânea consiste na eliminação do excesso de umidade da camada do solo, onde se desenvolve o sistema radicular das plantas, por meio do rebaixamento do lençol freático. Nas áreas em que o lençol freático está abaixo de 2 m, geralmente não há problema de drenagem. Em regiões úmidas e sem irrigação, podem ser desenvolvidas atividades agrícolas, com o lençol freático à profundidade de 60 cm sem muitos problemas. Contudo, em regiões áridas e semi-áridas, com irrigação e perigo de salinidade, deve-se manter o lençol freático a uma profundidade mínima de 1,8 m, a fim de evitar problemas de salinização. Segundo Silva et al. (2004), a drenagem do solo melhora sua aeração, aumenta o volume explorado pelas raízes, melhora sua estruturação, facilita a decomposição da matéria orgânica nele incorporada, remove o excesso de sais e permite sua mecanização. Em alguns casos, entretanto, a melhor solução para o problema do excesso de umidade do solo é a exploração de culturas menos susceptíveis ao excesso de umidade. Ainda segundo Silva et al. (2004), na maioria deles, a implantação de um sistema de drenagem é inevitável quando se quer explorar áreas com problemas de excesso de umidade.

Quando estuda-se drenagem, é importante que se conheça algumas características do movimento da água para os drenos e, em particular, as linhas de fluxo deste movimento. O lençol freático não é uma superfície plana, ele apresenta uma curvatura, de forma que, nas proximidades do dreno, a água se encontra mais profunda que no ponto médio entre eles. Como consequência, a faixa de solo situada sobre os drenos, encontra-se com maior índice de aeração e menos salinizada;

2.2.2 Drenagem superficial

A drenagem superficial é o escoamento de parte da água de chuva ou de irrigação a qual não se infiltra no solo, escoando sobre a superfície até alcançar um canal que a elimina da zona de exploração agrícola. Quando essa eliminação não é suficiente, ocorrem encharcamentos do solo, causando uma série de problemas de excesso de umidade. A drenagem natural das águas superficiais pode ser aprimorada por meio de obras que podem agrupar-se em duas classes distintas: a) sistematização do terreno e, b) construção de uma rede de drenagem (SILVA et al., 2004). Estas obras, que se complementam, apresentam distintas características, dependendo se a área é ou não irrigada, se o terreno é plano ou acidentado.

Segundo Silva et al. 2004, na drenagem agrícola, é evidente que o enfoque dado diz respeito, fundamentalmente, à terrenos baixos ou várzeas. Essas áreas, devido à sua situação topográfica, recebem água de pequenos cursos d'água que as percorrem, de escoamentos superficiais procedentes de terrenos elevados, e, em casos que não são raros, recebem inundações de rios que os margeiam. Devido a esses fatores, as culturas de sequeiro encontram dificuldades de estabelecimento e desenvolvimento durante o ciclo vegetativo e reprodutivo (BAMBERG et al., 2009).

A locação dos drenos superficiais deve obedecer a uma orientação de acordo com as condições topográficas do terreno, conhecendo a localização das depressões e a declividade. Os drenos devem ser locados de forma a proporcionar maior eficiência de drenagem (SILVA et al., 2004). Para construir drenos de forma eficiente é importante que o solo tenha baixa umidade, pois dará maior longevidade ao dreno (FARIAS et al., 1999).

2.3 Semeadora - adubadora

Segundo Coelho (1996), as semeadoras-adubadoras são constituídas basicamente de chassi, depósitos de sementes e de fertilizantes, mecanismos dosadores de sementes e de fertilizantes, condutores de sementes e de fertilizantes, discos de corte de resíduos e elementos sulcadores para deposição de sementes e fertilizantes. Possuem ainda, mecanismos recobridores de sementes, rodas compactadoras, rodas de controle de profundidade de

semeadura, rodas de sustentação e de acionamento dos mecanismos de transmissão e marcadores de linhas (COELHO, 1996).

Os componentes principais de uma semeadora podem ser classificados em: componentes de abertura do sulco e de controle de profundidade; componentes de dosagem de sementes e fertilizantes; componentes de condução de sementes e fertilizantes e componentes tapadores de sulco (MURRAY et al., 2006).

As configurações das semeadoras-adubadoras podem variar dependendo da região em que serão utilizadas e da cultura a ser implantada. Para utilização das semeadoras-adubadoras em sistemas conservacionistas, os componentes que podem ser variados são os discos de corte de resíduos e os elementos sulcadores para deposição de sementes e de fertilizantes (LEVIEN, 1999). As máquinas para semeadura e adubação podem ser classificadas segundo diversas características, entre elas, o tipo de engate à fonte de potência (de arrasto ou montada) e o tipo de distribuição de sementes (à lança, em linha de precisão e em linha de fluxo contínuo).

A adequação das máquinas às realidades regionais para semeadura direta é importante para solucionar problemas por ocasião de instalação das culturas como, por exemplo: compactação do solo, baixos teores de matéria orgânica, baixa fertilidade do solo, presença de invasoras e aumento do consumo energético em função de uma seleção inadequada das máquinas existentes no mercado (CASÃO JÚNIOR et al., 2000). Os fatores que afetam a semeadura podem estar relacionados com as sementes, o solo, a máquina, o clima e, até mesmo, com a forma de operação da máquina. Assim, a lavoura com dificuldade no estabelecimento da população de plantas adequadas pode ter ainda problemas devido à competição por plantas invasoras ocasionando redução na produtividade final.

A semeadura é uma das operações mais importantes dentre as necessárias para implantação das culturas, pois a eficiência das semeadoras-adubadoras é avaliada pela qualidade de trabalho que executam (AMADO et al. 2005). A qualidade de semeadura requer a obtenção de uma população de plantas de acordo com a densidade pré-estabelecida. São utilizados como parâmetros de avaliação da qualidade de semeadura, a manutenção da cobertura do solo, a profundidade de deposição, a uniformidade de emergência de plântulas e o espaçamento entre plantas. Por outro lado, a quantidade é obtida pela capacidade de trabalho por unidade de tempo, sendo os fatores que mais interferem são a largura da semeadora e a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora.

A função básica de uma semeadora-adubadora é dosar e colocar no solo as sementes e fertilizantes para a implantação das culturas (BALESTREIRE, 1990). O desempenho da mesma, a correta regulagem e operação influenciam diretamente na produtividade das

culturas. O corte eficiente dos restos culturais, a abertura do sulco e a deposição de sementes e fertilizante, em profundidades corretas e em contato com o solo, juntamente com a regularidade de dosagem de sementes, são essenciais à uma eficiente operação de semeadura.

2.4 Mecanismos sulcadores de solo

Os equipamentos de preparo do solo possuem diferentes ferramentas como, por exemplo, os mecanismos sulcadores. Estes apresentam efeitos diversos nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, nas características agrônômicas das culturas neles implantadas e, também, no desempenho das semeadoras adubadoras (FURLANI, 2000).

Sulcadores são componentes de abertura de sulco utilizados em semeadoras que estabelecem a relação entre o solo e a máquina de semeadura. Sua função principal é a abertura do sulco para deposição de fertilizantes e/ou sementes no solo, em uma profundidade adequada para cada cultura, propiciando condições ideais de germinação e desenvolvimento inicial de plantas. Existem três tipos principais de sulcadores: facões ou hastes, discos simples e discos duplos (BALASTREIRE, 1990). Para efetuar corretamente suas funções, é necessário que os sulcadores estejam em bom estado de conservação, pois desgastados, tendem a abrir sulcos irregulares, tanto no formato, como na profundidade (MACHADO et al., 1996).

Bertol et al. (1997) explicam que, em relação ao controle de invasoras e cobertura do solo, é comprovadamente eficaz quando utiliza-se sulcadores que proporcionem menor largura de sulco, protegendo a linha de semeadura de possíveis invasoras e da competição por elas gerada com a cultura estabelecida.

Segundo Balastreire (1990) os facões ou hastes são normalmente utilizados em terrenos que já sofreram preparo e livre de tocos, pedras ou restos de cultura sobre a superfície. A haste promove um maior rompimento do solo nos sulcos de semeadura, ocasionando sulcos mais profundos e resultando em maior área de solo mobilizado, se comparado com os demais tipos de sulcadores. Também resulta em maior profundidade de deposição de fertilizante (FEY et al., 2001) e de sementes e menor número de sementes expostas (SILVA et al., 2000). Outro fator é o aumento da incidência de plantas daninhas e a possibilidade de falhas no aterramento do sulco.

Casão Júnior et al., (2000), avaliando semeadoras-adubadoras, constataram que hastes sulcadoras com ângulo de ataque com 20° e espessura da ponteira de 2 cm, têm apresentado

bons resultados, pois segundo Casão Júnior et al., (1998), isto evita que as semeadoras equipadas com este mecanismo, dependam somente da transferência de peso da máquina para promover a penetração dos discos de corte dos resíduos e dos sulcadores (para deposição dos fertilizantes e das sementes) no solo. Outro fator de destaque, é que estes promoveram preparo localizado, atingindo boas profundidades (0,08 a 0,15 m).

Em estudos realizados por Portella et al., (1997), os sulcadores do tipo facão depositaram as sementes no solo em maior profundidade do que os sulcadores com discos duplos. Em solos úmidos, ocorre o contrário, indicando problemas de embuchamento ou aderência de solo ao facão.

Oliveira et al., (1986) utilizando dois modelos de sulcadores tipo haste, com diferentes geometrias, constataram que mais do que o tipo de haste, é importante a correta regulagem de profundidade e escolha do teor de água no solo apropriado à operação de semeadura. A menor profundidade de trabalho (7,5 cm) apresentou menores larguras de sulco e menor área de solo mobilizado.

Dallmeyer et al., (1986) analisando oito configurações de linhas de semeadura, como facas rotativas, discos duplos e sulcadores do tipo cinzel, com e sem disco de corte de resíduos, e sulcadores de adubo e sementes do tipo discos simples, discos duplos e hastes sulcadoras, concluíram que o aumento na velocidade de operação tendeu a diminuir as diferenças entre os mecanismos testados e a diminuir o volume de solo mobilizado, sendo que os maiores volumes foram obtidos com o sulcador do tipo cinzel.

Os sulcadores de discos simples são utilizados em terrenos onde podem existir restos de cultura, ou até mesmo pequenas pedras ou raízes, sendo mais utilizados em culturas de inverno (BALASTREIRE, 1990).

Os sulcadores de discos duplos aliam a capacidade de trabalhar em terrenos com restos de cultura (BALASTREIRE, 1990) a uma boa abertura de sulco. Os discos duplos apresentam uma menor mobilização do solo e menor incidência de plantas invasoras em relação aos demais sulcadores e, apresentam ainda, menores falhas no fechamento do sulco e na ocorrência de erosão (ARAUJO et al., 2001). Quando ocorre período de estiagem, o disco duplo apresenta emergência de plantas inferior as hastes. Em função da resistência dos solos, os discos duplos não conseguem aprofundar e as sementes, sendo depositadas próximas do fertilizante. Além disso, os discos apresentam maiores exigências de manutenção e são de custo mais elevado (SIQUIERA; CASÃO JUNIOR, 2004).

2.5 Densidade e porosidade do solo

A densidade e a porosidade do solo são propriedades relacionadas as alterações no volume do solo e, dessa forma, altamente relacionadas com a compactação do solo. Essas propriedades possibilitam a verificação do efeito de sistemas de manejo sobre a estrutura do solo (REICHERT et al., 2007).

A densidade do solo expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume do solo. No volume de solo, é incluído o volume de sólidos e o de poros do solo. Assim, sempre que houver modificação do espaço poroso haverá alteração da densidade do solo. Dessa forma, a densidade fornece informações à respeito do estado de conservação de um solo, sobretudo sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e suscetibilidade do solo aos processos erosivos, sendo largamente utilizados na avaliação da compactação e/ou adensamentos do solo (GUARIZ et al.; 2009).

O aumento da densidade é atribuído ao adensamento natural da estrutura do solo, decorrente da ausência total ou parcial do revolvimento (VEIGA et al., 2008), além da compactação promovida pelo manejo, como a ocasionada pelo tráfego de máquinas, devido ao curto período de tempo com umidade do solo propícia às operações mecanizadas (TARAWALY et al.; 2004), ou do pisoteio de animais sobre o solo e da ação da água de percolação no perfil do solo, transportando partículas dispersas (KOCHHANN; DENARDIN, 2000).

Todavia, independente do processo responsável pela compactação, o aumento da densidade do solo pode resultar em efeitos nocivos ao desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, ao crescimento e ao rendimento das culturas. Assim, para desenvolver estratégias de ação e identificação de camadas compactadas, mostra-se interessante a determinação de valores de densidade limitantes ou restritivos ao desenvolvimento das culturas. Entretanto, esta não é uma tarefa fácil, uma vez que esse atributo apresenta ampla variação de solo para solo, dificultando o estabelecimento de valores limitantes similares para diversos tipos e classes de solo. Gerad et al.; (1982) afirmam que o valor de densidade do solo, considerado crítico ao crescimento das raízes, diminui com o aumento no teor de argila do solo.

Dessa forma, para um mesmo valor de densidade, um solo argiloso pode estar muito compactado, enquanto que para um solo de textura mais arenosa, esse valor pode indicar solo

solto e descompactado (BEUTLER et al., 2008). Nesse sentido, uma primeira aproximação para a definição de limites críticos para identificar camadas de solo compactadas aplicadas para as condições do sul do Brasil, considera como limitante a densidade do solo de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos com mais de 55% de argila, $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos entre 20 e 55% de argila e, $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos com menos de 20% de argila (REINERT et al., 2001).

Valores críticos foram propostos por Michelon (2005), que agrupou os solos em sete faixas de teor de argila assim descritos 0-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-70 e superior a 70%, com valores seguintes, 1,60; 1,55; 1,50; 1,45; 1,40; 1,35 e $1,30 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

A densidade do solo apresenta uma relação inversa com a porosidade, assim, considerando-se um mesmo solo, um aumento na densidade reflete a diminuição do espaço poroso do solo. A porosidade total do solo representa o volume total de poros, todavia, não fornece informações sobre a distribuição dessa porosidade (HILLEL, 1980). Dessa forma, visando uma melhor caracterização da porosidade, costuma-se fazer uma divisão em classes conforme o tamanho dos poros, sendo a mais frequente a classificação em macroporos e microporos. Por essa classificação, a classe dos macroporos corresponde aos poros esvaziados à tensão de 6 kPa, e com diâmetro maior que 0.05 mm (RICHARDS, 1965). Os poros dessa classe estão situados nos espaços interagregados e são responsáveis pela infiltração de água, trocas gasosas com a atmosfera e é onde ocorre o desenvolvimento radicular das plantas. Os microporos, por sua vez, são capilares intra-agregados com diâmetro menor que 0.05 mm, responsáveis pela retenção da água no solo, sendo que quanto menor o diâmetro dos poros, maior a força de retenção da água (HILLEL, 1980).

Durante o processo de compactação, a estrutura do solo é modificada, sendo os macro-agregados destruídos (TAVARES FILHO et al., 1999). Assim, ocorre uma redução do tamanho de poros e, os poros maiores, responsáveis pela aeração do solo, diminuem e são substituídos por poros menores, principalmente pelos que retém água (REICHERT et al., 2007). Isso acontece porque os poros de maior diâmetro (macroporos) são menos resistentes e se deformam, formando poros de menor diâmetro, os quais são mais resistentes suportando pressões maiores. Como reflexo disso, o decréscimo da porosidade de aeração pode ser 1,5 a 2 vezes maior que o decréscimo no espaço poroso total (BOONE & VEEN, 1994).

Em síntese, solos com camadas compactadas apresentam redução da porosidade total e da macroporosidade e aumento da microporosidade e da densidade do solo (KLEIN & LIBARDI, 2002). Como consequência, o aumento da microporosidade favorece a retenção de água no solo (REICHERT et al., 2007), ao mesmo tempo que compromete o transporte de ar e água (TORMENA et al., 1998).

2.6 Efeitos da compactação do solo

A compactação do solo é causada pelo rearranjo de suas partículas sólidas resultando no aumento da densidade e na diminuição da porosidade (MORAES et al., 1995). O teor de água no solo no momento em que ocorre a compactação é fator determinante da sua intensidade. Qualquer que seja a operação agrícola, desde que efetuada com solo com teores de água inadequados, incidirá em deterioração de seus atributos físicos (BOENI, 2000).

Para Soane e Ouwerkerk (1994), as modificações de importância agrônômica que ocorrem em solos compactados são consequência dos seguintes fatores: aumento da resistência mecânica do solo à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e de nutrientes. Assim, em determinado tempo e local, um desses fatores pode afetar negativamente na germinação, na emergência, no crescimento e na produtividade das culturas.

O estado de compactação do solo depende de vários fatores, dentre os quais, destacam-se as características originais de cada solo e as práticas de manejo empregadas. Deste modo, o fato de não observar compactação do solo, após longo período de cultivo, pode ser atribuído ao adequado manejo empregado nestas áreas (GOEDERT et al., 2002).

A compactação afeta inicialmente os macroporos estabelecendo, assim, inadequada difusividade dos gases do solo. Entre os impactos decorrentes da compactação do solo, resultam-se as alterações no volume e distribuição do tamanho dos poros e consequentemente nos fluxos de gases. Assim, o volume de macroporos, responsáveis pela aeração e pela drenagem interna do solo, é reduzida, podendo ocorrer incremento no volume de meso e microporos, responsáveis pela retenção de água em média a altas tensões (REICHERT et al., 1997). Em síntese, solo compactado ou adensado apresenta redução da porosidade total e da macroporosidade (KLEIN & LIBARDI, 2002).

Souza et al., (1994) afirmam que cultivos não adaptados ao excesso de água no solo exigem um mínimo de 10% de espaço aéreo para desenvolvimento satisfatório. Para Reichardt, (1990), o milho (*Zea mays*) exige um mínimo de 12 a 15% de espaço aéreo, o tomate (*Lycopersumesculento*) de 4 a 5% e para o arroz irrigado (*Oriza sativa*) estes valores não ultrapassam 0,5%, complementa que valores menores reduzem drasticamente a produção das culturas. Pedrotti et al., (1996), em casa de vegetação, estudaram o desenvolvimento radicular em função de três níveis de densidade de um planossolo (1,3; 1,6 e 1,9 g/cm³) e

observaram que arroz irrigado e de sequeiro, soja e milho foram sensíveis ao aumento da densidade do solo, ocorrendo maior ramificação das raízes.

O processo diagnosticado como compactação tem sido associado, negativamente, ao crescimento das raízes e ou movimento vertical de água. A compactação excessiva pode impedir o crescimento radicular, limitar a absorção de nutrientes e o rendimento das culturas (BICKI; SIEMENS, 1991). Outro fator importante é a falta de oxigênio que em poucos minutos pode interromper o crescimento radicular, devido a baixa macroporosidade e ao excesso de água, ou por ambos. Contudo, as raízes voltam a crescer logo que o surgimento do oxigênio é restabelecido (SILVA, 2004).

A compactação do solo em várzea está relacionada a estas características devido a uma camada adensada, localizada entre 5 e 15 cm da superfície do solo, configurando uma das principais causas limitantes da maximização do rendimento das plantas cultivadas nestes solos com excessão do arroz irrigado.

Os efeitos da compactação da camada superficial do solo afetam a taxa de infiltração da água e a capacidade de retenção, o conteúdo de água disponível às plantas, a aeração do solo, com efeitos deletérios ao pleno desenvolvimento das espécies cultivadas (BARCELOS et al., 1999), além de reduzir a disponibilidade de nutrientes às plantas e elevar a resistência à penetração, com conseqüente aumento da demanda da força de tração das semeadoras e limitação do pleno desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

2.7 Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração é realizada mediante o uso de um penetrômetro (BORGES et al., 2004). A resistência mecânica pode variar devido a diversos atributos do solo como: textura, porosidade, estrutura, estabilidade de agregados e teor de água (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Isso reflete o comportamento do solo quanto a compactação, conteúdo de água, granulometria e tipo de argila. Com o uso do penetrômetro, é possível identificar a presença ou não de compactação do solo, o grau da compactação e a profundidade da camada compactada no perfil do solo e, com estas informações, definir a forma mais adequada de manejo para realizar a descompactação. Outro fator importante é a influência no crescimento das raízes (TORMENA; ROLOFF, 1996). Assim, o aumento da resistência do solo à penetração de raízes resulta em deformações e restrições ao crescimento

normal destas, induzindo à deficiência hídrica, devido a menor capacidade de explorar camadas mais profundas de solo (KLEIN; BOLLER, 1995).

A densidade do solo e a resistência à penetração estão estreitamente associadas, mostrando ser um bom indicador da compactação do solo. Tormena et al., (1998), ao analisar a resistência à penetração de um Latossolo Roxo sob plantio direto e convencional, verificaram que quanto menor a umidade volumétrica do solo maior a resistência à penetração, cujo fato eles atribuíram ao menor efeito lubrificante da água ao redor das partículas em solos com menor teor de umidade. Nesse sentido, Mendes (1989) verificou que a compactação reduziu a penetração das raízes de soja e milho em mais de 15% quando a umidade do solo diminuiu em 30% do potencial de saturação. Verificou ainda, reduções na densidade e comprimento de raízes de soja e milho em 70% do valor máximo, quando a resistência à penetração do solo passou de 1,6 para 1,8 MPa.

A resistência à penetração, crítica ao desenvolvimento de raízes de diversas plantas situa-se entre 1 MPa e 3,5 MPa (MERROTO; MUNDSTOCK, 1999). A variação desses valores críticos está associada a diversos fatores como a cultura e arquitetura de planta, textura do solo e sistema de manejo empregado no solo. Contudo, o valor de 2 MPa tem sido, geralmente, utilizado como um valor de resistência à penetração limitante (NESMITH, 1987).

2.8 Práticas mecânicas de descompactação do solo

A descompactação do solo com o uso de implementos sulcadores aumenta a porosidade, diminui a densidade do solo e a resistência à penetração de raízes, aumentando a permeabilidade e reduzindo o encharcamento em terreno planos, e ao mesmo tempo, rompe as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas (KOCHHANN; DENARDIN, 2000).

Quando o solo apresenta características de compactação é necessário que se utilize medidas curativas. Mas, retornar às condições iniciais do solo pode acarretar em custo elevado e tempo para realização da operação mecanizada, principalmente quando se utiliza equipamentos descompactadores que atuam em profundidade. No entanto a intervenção deve ser feita somente quando for necessário, e, em profundidade e umidade adequada (MACHADO et al., 1997).

A descompactação na camada superficial de solo pode ser realizada utilizando semeadoras compostas com mecanismos de facões ou hastes próximos ao disco de corte, que fazem a intervenção da descompactação do solo na linha de semeadura, permitindo o melhor desenvolvimento das plantas cultivadas (DRESCHER, 2011). Outro fator importante durante o processo de descompactação é garantir a qualidade de semeadura, proporcionando distribuição em quantidade e profundidade desejadas, para garantir população uniforme de plantas na lavoura.

Para garantir uniformidade na semeadura, o formato e as características dos facões ou haste são muito importantes. Facões ou hastes mais largas mobilizam mais o solo em relação a facões mais estreitos e ainda retiram os restos de cultura da linha de semeadura. Outro fator importante é o surgimento de parede espelhada nas laterais do sulco de semeadura que pode prejudicar o desenvolvimento das raízes (DRESCHER, 2011)

Os mecanismos sulcadores do tipo haste ou facões têm se generalizado como alternativa para romper camadas compactadas do solo. Entretanto, os facões ou hastes exigem maior esforço de tração, consumo de combustível e possibilitam um corte do solo em maior profundidade do que os mecanismos com disco (FAGANELO et al., 2009). A importância de se escolher adequadamente o mecanismo sulcador das semeadoras é ressaltada por Koakoski et al. (2007), os quais, comparando semeadora equipadas com facão e semeadora equipadas com discos, verificaram que quando foi usado o mecanismo sulcador do tipo facão, obteve-se, em média, maior porosidade do solo, menores valores de resistência à penetração do que o disco duplo, especialmente na faixa localizada de 10 a 15 cm de profundidade.

2.9 Velocidade de deslocamento

A produtividade das culturas agrícolas e a qualidade de semeadura são fortemente influenciadas pela velocidade de deslocamento em semeadoras de precisão (IVANCÁN et al., 2004). Velocidades mais elevadas aumentam a capacidade operacional do equipamento, reduzindo custos operacionais, porém podem comprometer o sucesso da semeadura. A uniformidade de distribuição longitudinal de sementes é uma das características que mais contribuem para uma população adequada de plantas e, conseqüentemente, para melhoria da produtividade das culturas (KURACHI et al., 1989). Silva et al. (2000) verificaram que o aumento da velocidade de deslocamento acarretou uma diminuição significativa da cobertura

do solo e que não houve influência significativa da velocidade sobre a área de solo mobilizado.

Viera; Reis (2001) citam que a velocidade ideal de semeadura é aquela em que o sulco é aberto e fechado com pouco revolvimento do solo, permitindo distribuir as sementes e insumos com espaçamentos e profundidades constantes. Em relação a profundidade, Casão Junior et al., (2000) observaram redução da profundidade de semeadura com o aumento da velocidade 4,5 para 8,0 Km.h⁻¹. Todavia Mahl (2004) não observou efeito da velocidade na variável profundidade de semeadura.

Na distribuição da população de plantas de milho não são encontradas diferenças da velocidade até 7,7 km.h⁻¹. (MELLO et al., 2003). À medida em que a velocidade de deslocamento aumenta ocorre a redução de plantas (LOPES et al., 1999).

2.10 Demanda de força de tração

Força de tração pode ser definida como uma força na direção do deslocamento, gerada por um trator na barra de tração (ASAE, 1996). Segundo a Asae (2003), o desempenho na barra de tração de um trator depende, inicialmente, da potência do motor, da distribuição do peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates da barra e superfície do solo. A força de tração, mais especificamente a das semeadoras-adubadoras, é dependente de variáveis como solo, e o próprio implemento entre outras. No que se refere à variável solo, destaca-se: a distribuição do tamanho dos agregados; a textura; o teor de umidade; a densidade do solo; a estrutura e os efeitos da declividade, da vegetação e dos resíduos de culturas anteriores (FAGANELLO, 1989). O implemento pode influir no esforço de tração conforme o tipo de ferramenta usada, as características do metal que está em contato com o solo, a superfície em contato com o solo, a curvatura, a forma e as condições da superfície da ferramenta onde a força é aplicada. Outras variáveis que podem influir são a largura e a profundidade do sulco, além da velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora (FAGANELLO, 1989).

O requerimento de força de tração na barra por linha de semeadura está na faixa de 1,1 a 2,2 kN. Entretanto, a demanda de força de tração pode aumentar dependendo do tipo e quantidade de restos culturais presentes na área, e também de outras atividades como o rompimento da camada compactada se existente nestes solos (ASAE, 1996). Comparando-se com a semeadura convencional, que trabalha sobre o solo previamente preparado, pode-se

concluir que, para semeadoras-adubadoras de mesma capacidade, a necessidade de tração será bem maior para as de semeadura direta (SANTOS et al., 2008). Quando aumenta-se a velocidade de deslocamento proporciona-se um aumento da força de tração requerida na barra de tração, podendo interferir na capacidade de campo efetiva da semeadora-adubadora (SANTOS, 2010).

O mecanismo tipo haste utilizado para abertura de sulcos para a deposição de fertilizante aumenta as exigências de força de tração na barra, e potência por haste nas semeadoras, quando comparado ao sistema de abertura de sulcos do tipo disco duplo para as áreas de coxilha (SANTOS et al., 2008).

2.11 Consumo de combustível

O consumo de combustível pode ser influenciado por fatores como as condições de solo, tipo de regulagem dos equipamentos e semeadura, velocidade e profundidade de trabalho, dimensão e formato da área a ser trabalhada, habilidade do operador, potência do trator e patinagem das rodas (SILVA, 1992). Esse consumo de combustível do trator agrícola engloba um dos custos mais elevados nas operações mecanizadas. Os métodos diretos permitem a determinação dos fatores que otimizam os seus desempenhos, tais como: capacidade operacional e eficiência e consumo de combustível (CORDEIRO, 2000). A mensuração da quantidade de combustível consumido, segundo Mialhe (1996), constitui-se um dos mais importantes aspectos da avaliação do rendimento de um trator. O consumo pode ser expresso de duas maneiras: em relação ao tempo ($L.h^{-1}$; $Kg.h^{-1}$, etc) e em relação ao trabalho mecânico desenvolvido (consumo específico= $g.cv/h$; $g.kW/h$, etc). O consumo horário é obtido por leitura direta dos instrumentos de mensuração e são expressos em $Kg.h^{-1}$ ou $L.h^{-1}$.

O consumo médio de combustível pelo trator, equipado com a semeadora-adubadora, segundo Lopes et al., (1999), que avaliaram o uso de diferentes tipos de pneus variando a lastragem (que é a presença, ou não, de água no interior dos pneus) e as quatro velocidades diferentes, mostra que a condição de lastragem dos pneus com água reduziu o consumo de combustível. O consumo de combustível deles, quando variada a lastragem e a velocidade, variou de $8,5 L.h^{-1}$ (com água no interior do pneu, e com a menor velocidade trabalhada) até $16,3 L.h^{-1}$ (sem água no interior do pneu, e com a maior velocidade). A medida que se

aumentou a velocidade, ocorre redução significativa do consumo operacional de combustível e aumento da capacidade de campo efetiva (MAHL et al., 2004).

2.12 Patinagem das rodas motrizes

A patinagem das rodas motrizes está diretamente relacionada à diminuição da força de tração e ao aumento no consumo de combustível. Segundo Asae (2003), o valor do patinamento, no qual se obtém a máxima eficiência de tração, deve ser entre 8 e 10% para solos sem mobilização, 11 a 13% em solos mobilizados e de 14 a 16% em solos arenosos.

A profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores interferem na patinagem dos rodados do trator em todos os estados de umidade do solo (CEPIK et al., 2005). Segundo Oliveira (1997), a patinagem pode ser diferente em cada tipo de solo, independentemente da velocidade e do tipo de cobertura vegetal predominante. Em experimento realizado em solo arenoso, proporcionou maior valores de patinagem dos rodados em comparação ao solo argiloso (MAHL et al., 2007). Conforme Mahl et al., (2005), o aumento da velocidade contribui para o aumento da patinagem, (MAHL et al., 2007), pois verificou-se que quando aumenta a velocidade de 5,5 para 10,1 Km/h, aumenta, também, o índice de patinagem em 16,6%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2012/13 em uma área de várzea do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria. A área está situada na região da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul (RS), onde o clima é caracterizado, segundo a classificação de KÖPPEN, como subtropical úmido (Cfa), sem estação seca, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (MORENO, 1961). O solo é classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2006).

Foi utilizado, no experimento, uma semeadora-adubadora pantográfica com sistema de acoplamento de arrasto para plantio direto, com rodas compactadoras e rodas limitadoras de profundidade. A semeadora-adubadora possuía 6 linhas de cultivo e espaçamento entre linhas de 0,50 m. Os dosadores de sementes foram do tipo disco alveolado horizontal de polietileno com 90 alvéolos de 8 mm de diâmetro. Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator agrícola com potência na rotação nominal de 79 kW a rotação de 2.000 rpm, e com tração dianteira auxiliar (TDA).

A semeadura foi realizada no dia 28 de novembro de 2012, onde se utilizou sementes de soja (*Glycine max* L) da cultivar BMX Força RR com grupo de maturação 6.2 e crescimento indeterminado. A densidade de semeadura foi de 16,7 sementes por metro. As sementes foram tratadas com Fipronil (250 g/L) e Carbendazin + Thiram (15% + 35%), na dose de 200 mL 100 kg⁻¹ de semente e homogeneizadas em um tratador de sementes. Também, foram inoculadas com estipes de *Bradyrhizobium japonicum* (225 mL 50 kg⁻¹ de semente). A adubação de base foi realizada conforme a indicação da análise de solo.

O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com cinco repetições. As unidades experimentais foram compostas por 6 linhas espaçadas 0,5 m, com 40 m de comprimento contabilizando uma área útil de 120 m². Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação entre médias foi realizado pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Os mecanismos sulcadores para a realização do experimento, que constituíram os tratamentos, estão dispostos abaixo.

Tratamento 1 – Disco de corte da palha liso de 470 mm de diâmetro e sulcador de fertilizante tipo disco duplo defasado, com 400 e 390 mm de diâmetro, conforme Figura 1.

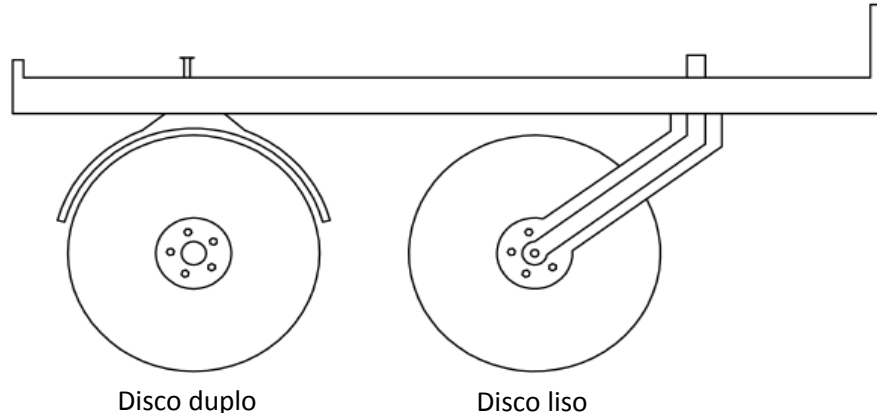


Figura 1 - Esquema representativo do Tratamento 1 com sulcador de fertilizante tipo disco duplo defasado.

Tratamento 2 – Disco de corte da palha liso de 470 mm de diâmetro e sulcador de fertilizante tipo disco ondulado (26 ondas) de 470 mm de diâmetro.

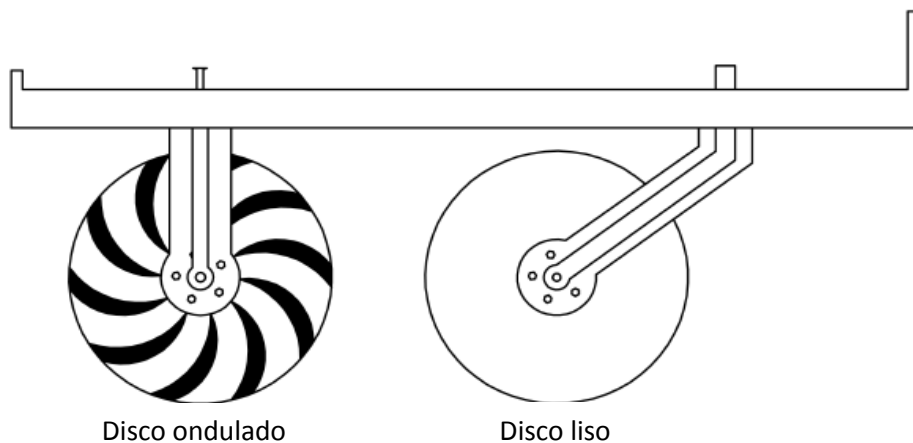


Figura 2 - Esquema representativo do Tratamento 2 com sulcador de fertilizante tipo disco ondulado (26 ondas).

Tratamento 3 – Disco de corte da palha ondulado (26 ondas) de 470 mm de diâmetro e sulcador de fertilizante tipo disco ondulado (26 ondas) de 470 mm de diâmetro.

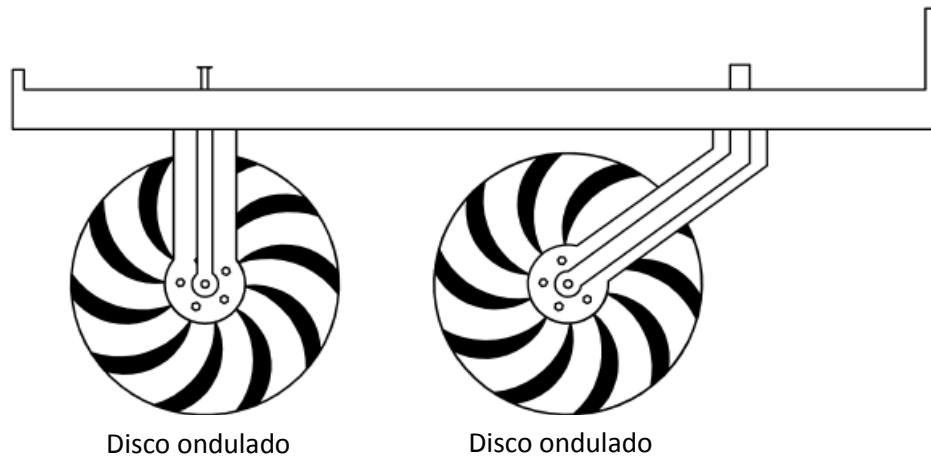


Figura 3 - Esquema representativo do Tratamento 3 com sulcador de fertilizante tipo disco ondulado (26 ondas).

Tratamento 4 – Disco de corte da palha liso de 470 mm de diâmetro e sulcador de fertilizante tipo haste com 415 mm comprimento, e 1,27 m de largura, e 2,57 m de largura da ponteira, com ângulo de ataque de 14° .

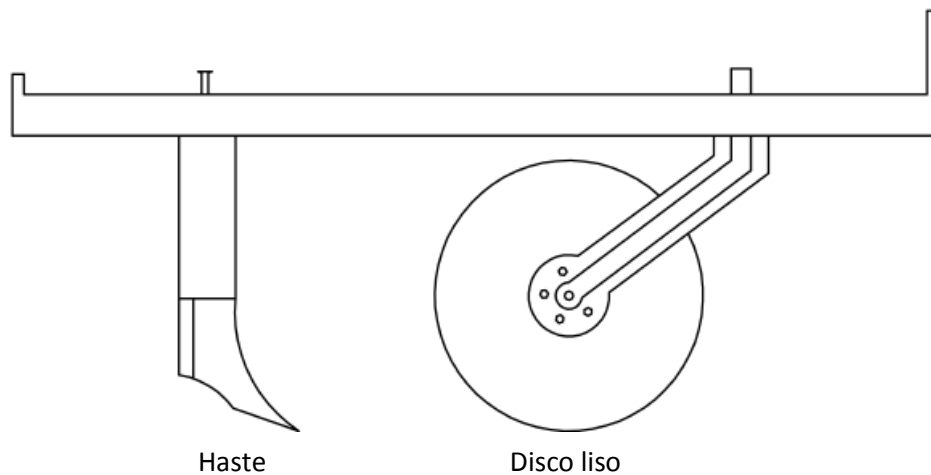


Figura 4 - Esquema representativo do Tratamento 4 com sulcador de fertilizante tipo haste.

Tratamento 5 – Disco de corte da palha liso de 470 mm de diâmetro e sulcador de fertilizante tipo haste com 415 mm comprimento, e 1,27 mm de largura, e 2,57 m de largura da ponteira, com ângulo de ataque de 14° e rodas tapadoras de sulco em "V". O uso das hastes sulcadoras causa uma desuniformidade no solo, então as rodas tapadoras tem a função de emparelhar o solo deixando um ambiente melhor para a deposição das sementes.

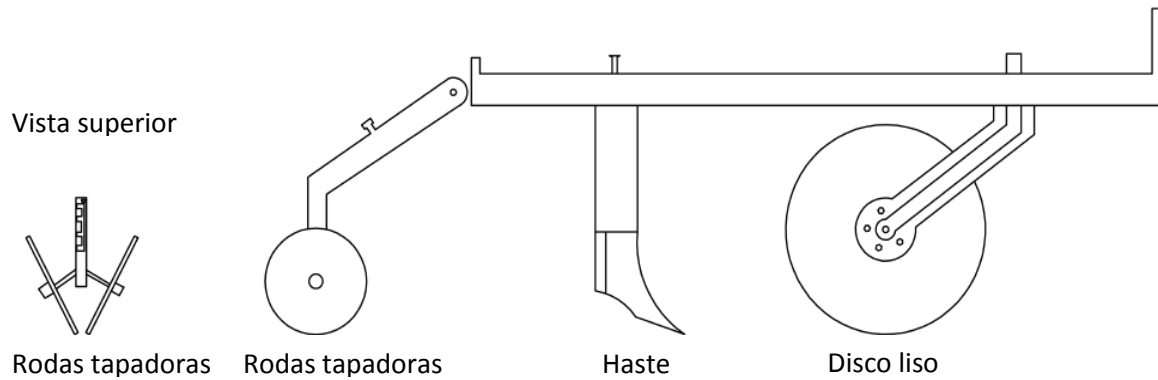


Figura 5 - Esquema representativo do Tratamento 5 com sulcador de fertilizante tipo haste e rodas tapadoras de sulco em "V".

As avaliações na área experimental foram compostas de análises físicas do solo, avaliações da semeadura e avaliação do desempenho da semeadora-adubadora.

3.1 Análises físicas

3.1.1 Determinação da granulometria do solo.

A composição granulométrica da fração fina foi determinada pelo método da pipeta no laboratório de física do solo da UFSM. Foram coletadas amostras deformadas de solo nas profundidades de 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 e 15 - 20 cm. Para determinar a composição granulométrica.

Baseado na Tabela 1 e utilizando o diagrama de repartições de classes texturais para classificação granulométrica de solo foi constatado que o mesmo encontra-se na classe franco-argilosa.

Tabela 1 - Parâmetro físico da área experimental em %. (Amostras destrutíveis). Santa Maria/RS, 2013.

Parâmetro	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-15	15-20
Textura				
Arreia grossa	8,13	8,33	7,68	5,71
Arreia fina	19,90	21,46	19,80	19,85
Silte	35,51	35,57	34,95	35,45
Argila	36,46	34,64	37,57	38,99

3.1.2 Determinação da infiltração de água no solo.

A infiltração de água no solo foi determinada por meio do método dos duplos anéis concêntricos. Em cada parcela, foi realizado 1 teste de infiltração de água no solo. O anel maior e menor possui, respectivamente, 48 e 30 cm de diâmetro, sendo 35 cm de altura. Os mesmos foram inseridos no solo de forma que ficassem concêntricos. Os anéis possuem uma das suas bordas afiadas para facilitar a sua introdução no solo e evitar a desestruturação deste solo no local, e a outra borda possui um reforço para suportar os golpes que são necessários na ocasião de sua introdução no solo. O anel maior foi introduzido a 15 cm, no interior do solo, e o menor a 20 cm (linha de semeadura está localizada no centro do anel).

Para a medição do volume de água infiltrada, foi mantido uma lâmina de água de 30 a 50 mm no cilindro interno e a infiltração da água deve ser medida com uma régua no cilindro interno (BRANDÃO et al., 2006). As observações de infiltração acumulada com o tempo foram computadas e convertidas em taxas de infiltração correspondente.

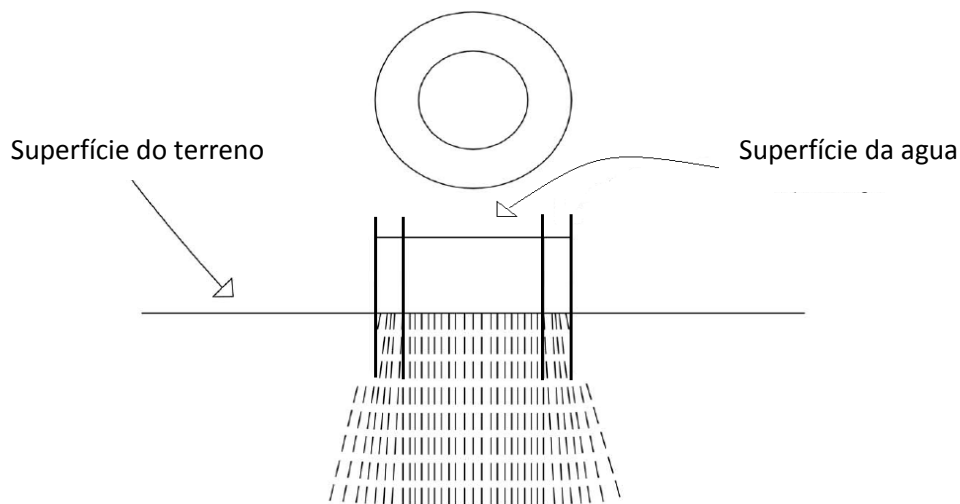


Figura 6 - Esquema representativo da infiltração da água proveniente dos anéis.

3.1.3 Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade

Para avaliar a profundidade de compactação foi utilizada a técnica do anel volumétrico associado à mesa de tensão, com 60 cm de coluna de água, seguindo as técnicas descritas por Oliveira (1987). As amostras foram coletadas nas camadas de 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 e 15 - 20 cm de profundidade, com um cilindro de 4 cm de altura e 5,08 cm de diâmetro, extraindo 2 amostras por parcela a cada profundidade e em 2 épocas. As épocas foram antes da semeadura e outra no estágio R5 de desenvolvimento da cultura da soja. A primeira coleta foi realizada de forma aleatória na parcela e a segunda foi sobre a linha de semeadura.

3.1.4 Resistência mecânica do solo à penetração

A medição da resistência mecânica do solo à penetração foi efetuada com o uso de um penetrômetro utilizado para determinação do grau de compactação de uma determinada camada de solo. Foi utilizado um penetrômetro digital da marca Falcker modelo PLG 1020, que atingiu até uma profundidade determinada de 40 cm. Foram realizadas 5 amostras por

parcela antes da semeadura para caracterizar a área, e outra logo após a semeadura (no centro da linha de rompimento do solo, a 5cm, a 10cm, a 15cm, a 20cm e 25cm).

3.2 Avaliações da semeadura

3.2.1 Perfil do solo mobilizado

Este método baseia-se na utilização de um perfilômetro (ALLMARAS et al., 1966), que é um dispositivo equipado com varetas verticais com 1 cm de diâmetro e espaçadas em 2,5 cm de distância entre si. Foi instalado sempre na mesma cota e local, permitindo determinar a variação do nível da superfície do solo. A primeira avaliação antes da semeadura serviu para determinar o perfil original do solo; após a semeadura determinou-se o novo perfil, que vai detectar o "empolamento". Após, retira-se cuidadosamente o solo mobilizado pelos mecanismos sulcadores, para determinar o volume de solo mobilizado.



Figura 7 - Perfilômetro utilizado para determinar o perfil de solo mobilizado. Santa Maria/RS. 2013.

3.2.2 Profundidade de deposição das sementes

A avaliação da profundidade de deposição de sementes foi realizada com o auxílio de uma régua graduada e de uma espátula metálica. Foi aberta uma pequena trincheira ao lado da linha de semeadura até encontrar as sementes, e mediu-se a profundidade de deposição das mesmas. Estas medidas foram realizadas 10 vezes em três linhas ao acaso em cada parcela.



Figura 8- Determinação da profundidade de semeadura. Santa Maria/RS. 2013.

3.2.3 Índice de velocidade de emergência e percentagem de emergência

O índice de velocidade de emergência das sementes a campo foi determinado pelo meio da contagem das plântulas emergidas a cada dia, a partir do dia em que a primeira plântula emergiu até a não ocorrência de emergência, sendo este valor utilizado para caracterizar a percentagem de emergência. O índice de velocidade de emergência foi avaliado em um comprimento de 4 metros por parcela. Para determinação do índice de velocidade de emergência de plântulas, foi utilizando a fórmula proposta por Edmund & Drapala (1958), esse calculo é apresentado pela equação 1.

$$M = \frac{[(N_1.G_1) + (N_2.G_2) + \dots + (N_n.G_n)]}{(G_1 + G_2 + \dots + G_n)} \quad (1)$$

em que,

M: número médio de dias para a emergência das plântulas soja;

N_1 : número de dias entre a semeadura e a primeira contagem de plântulas;

G_1 : número de plântulas emergidas na primeira contagem;

N_2 : número de dias entre a semeadura e a segunda contagem de plântulas;

G_2 : número de plântulas emergidas entre a primeira e a segunda contagem;

N_n : número de dias entre a semeadura e a última contagem de plântulas;

G_n : número de plântulas emergidas entre a penúltima e a última contagem.

3.3 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos foi determinado pela colheita de 3 linhas por 4m de comprimento no centro da parcela, totalizando uma área de 6,0 m².

3.4 Avaliações do desempenho da semeadora adubadora

Os parâmetros para determinar o desempenho da semeadora adubadora avaliada foram: demanda de força de tração, consumo de combustível e patinação dos rodados do trator para os diferentes mecanismos sulcadores da semeadora adubadora. Foi instalado no trator uma instrumentação eletrônica pertencente ao Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas (NEMA) da UFSM desenvolvida por Russini (2009). Este esquema, ilustrada na Figura 9, adquire dados em tempo real, em um intervalo de aquisição, que podem ser regulados por meio de *software*, utilizado na interface com a unidade de armazenamento, que estava configurado para adquirir dados a cada dois segundos.

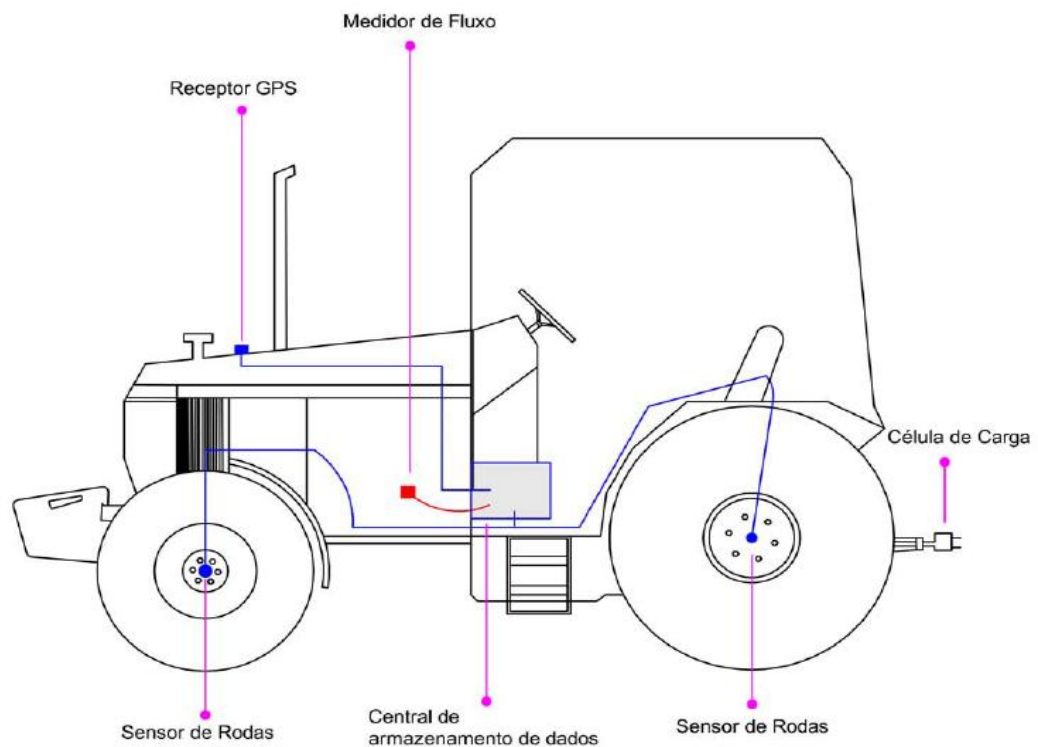


Figura 9 - Trator instrumentado com sensores de roda, fluxômetro, GPS e central de armazenamento de dados (*datalogger*). Santa Maria/RS. 2013.

Os dados dos sensores instalados no trator foram transmitidos e armazenados em um datalogger da marca *Campbell Scientific* modelo CR 1000, conforme Figura 10.



Figura 10 - Datalogger para armazenamento dos dados adquiridos pelos sensores. Santa Maria/RS. 2013.

Para a realização do processamento dos dados, os mesmos foram descarregados para o *notebook* por meio de um cabo, que faz a ligação física entre a porta serial de padrão DB-9 de saída dos dados do *datalogger* com a porta USB (Universal Serial Bus) do computador. Logo em seguida, os dados foram descarregados através de um *software* específico (PC 400W®) que permitiu a comunicação eletrônica com o *datalogger*, gerando um arquivo texto que pode ser aberto por qualquer software de planilhas eletrônicas, como exemplo o *Microsoft Excel*®.

3.4.1 Demanda de força de tração

A força de tração demandada pelos diferentes mecanismos sulcadores da semeadora foi medida diretamente pela instrumentação através de célula de carga de 75 kN (Figura 11). Os sinais elétricos gerados foram convertidos e armazenados no *datalogger*. No entanto, os valores de tração obtidos e armazenados pela célula de carga são em unidades de kgf, devendo serem transformados em newton (N), que é a unidade adotada pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), multiplicando os valores de kgf por 9,81.



Figura 11 - Sistema de engate e célula de carga para medição da força de tração (RUSSINI, 2009). Santa Maria/RS. 2013.

3.4.2 Sensores das rodas motrizes

Foram utilizadas quatro rodas dentadas de 32 dentes, acoplados ao rodado motriz, presas a um extensor fixado ao aro do trator (Figura 12). Cada uma dessas rodas dentadas

possui um sensor indutivo capaz de verificar a frequência pela passagem dos dentes da engrenagem no sensor, conforme a rotação da mesma. Essa frequência foi utilizada para que se pudesse calcular a velocidade da roda. Para tal velocidade, foi realizado um cálculo baseado na frequência e no período da roda, esse calculo é apresentado pela equação 2:

$$V_{roda} = (\text{Freq} \times \text{Per} \times 3,6) / n \quad (2)$$

em que:

V_{roda} = velocidade da roda em km.h^{-1} ;

Freq = frequência captada pelo sensor;

Per = perímetro da roda em metros;

n = número de dentes da engrenagem.



Figura 12 - Detalhe da roda dentada e sensor do tipo indutivo. Santa Maria/RS. (RUSSINI 2009).

3.4.3 Velocidade real do trator

A obtenção do valor da velocidade real do trator é realizada por um receptor de sinais de satélites GPS (*Global Position System*), conectado diretamente a uma barra de luzes, de marca Trimble modelo AG 150 (Figura 13).



Figura 13 - GPS barra de luz. Santa Maria/RS. 2013.

3.4.4 Patinamento das rodas motrizes

A medida do patinamento das rodas motrizes foi obtida através de cálculo baseado nos dados de velocidade do trator e velocidade das rodas. Para a determinação do patinamento, a instrumentação utilizou a metodologia desenvolvida por Gabriel Filho et. al (2004), em que a patinagem média (S) é obtida através da equação 3.

$$S=[1-(V_r/V_t)] \times 100 \quad (3)$$

Em que:

V_r = velocidade média obtida pelo receptor GPS, em km.h^{-1} ;

V_t = velocidade média da roda, em km/h , obtida pela equação anterior (V_{roda}).

3.4.5 Consumo de combustível

Para obter o consumo de combustível, foi utilizado um fluxômetro de marca Oval M-III modelo LSF 41 (Figura 14), que fornece um número de pulsos do volume de combustível

que passa pelo mesmo. A partir desses dados, o programa realiza o cálculo do consumo de combustível em $L.h^{-1}$.

Para a medida do consumo de combustível, foi utilizado um fluxômetro composto por duas engrenagens, onde uma delas possui um ímã que sensibiliza o sensor indutivo a cada volta (1 mL de volume deslocado) gerando um pulso, o qual foi armazenado no *datalogger*.



Figura 14 - Caixa de proteção e ligações do fluxômetro. Santa Maria/RS. (RUSSINI, 2009).

O consumo de combustível foi calculado pela equação 4.

$$C_s = \text{Pul} \cdot 1,8 \quad (4)$$

Onde:

C_s é o consumo de combustível $L.h^{-1}$.

Pul são os pulsos gerados pelo fluxômetro.

Segundo Russini (2009), neste tipo de medição podem ser utilizados dois sensores, sendo que um deles mede a quantidade de combustível que entra na bomba injetora e o outro mede o retorno de combustível depois de passar pelo bico injetor. No entanto, a sistemática utilizada neste trabalho foi outra, na qual o retorno dos bicos injetores é colocado depois do tubo de saída do fluxômetro, após uma válvula de retenção, forçando o motor a consumir este excedente e, assim, não o contabilizando novamente. Deste modo, apenas a quantidade de combustível realmente utilizado pelo motor passa pelo fluxômetro.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância, e as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. A análise estatística foi realizada utilizando o programa sasm-agri.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na fase inicial de implantação da cultura da soja em várzea, a regulagem da profundidade de semeadora-adubadora é fator importante para uniformidade de emergência. A regulagem utilizada no experimento foi a mesma para todos os mecanismos sulcadores.

Na Tabela 2, são apresentadas as médias de profundidade de semeadura, observando-se que houve diferença significativa no tratamento T4, no qual a haste sulcadora originou uma maior profundidade média na deposição das sementes sobre os demais tratamentos. Para os demais tratamentos não houve diferença entre os mecanismos sulcadores.

Tabela 2 - Valores médios de profundidade de semeadura (cm), variação da profundidade de semeadura (cm), índice de velocidade de emergência (IEV) e percentual de emergência (%) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Tratamentos	Profundidade (cm)	Variação da profundidade de semeadura (cm)	IEV	Emergência (%)
T1	3,65 b	1 a 6,2	4,41b	52,36 b
T2	3,47 b	1,5 a 6,5	13,22 b	87,37 a
T3	3,48 b	0,4 a 6,5	8,79b	68,81 b
T4	4,89 a	1 a 19,2	16,77 b	93,95 a
T5	3,95 b	2 a 8	21,36 a	98,14 a
CV (%)	8,97		16,06	10,53

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

As diferenças constatadas foram devido ao efeito causado pelos diferentes tipos de sulcadores em relação a profundidade.

A profundidade das sementes no tratamento com haste ficou em média com 4,89 cm, os demais tratamentos ficaram entre 3,95 a 3,47 para haste + rodas tapadoras e disco duplo, respectivamente. Dados semelhantes foram encontrados por Levien et al. (2011), estudando a profundidade de sementes de milho, onde o sulcador tipo haste foi em torno de 1 cm mais

profundo do que os discos duplos. É possível observar também o efeito positivo do tratamento T5 (haste + rodas tapadoras) que, além de apresentar uma profundidade das sementes mais próxima aos demais tratamentos, apresentou uma menor variação nessa profundidade. No mecanismo sulcador tipo haste, foram encontradas sementes em 1 até 19,2 cm de profundidade, enquanto que no sulcador tipo haste + rodas tapadoras foram encontrados de 2 a 8 cm. Em estudos realizados por Koakoski et al. (2007), em Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa, o mecanismo facão proporcionou maiores profundidades de deposição das sementes em relação ao mecanismo do tipo disco duplo.

Conforme pode-se observar na Figura 15 - A, ocorre uma maior variabilidade da profundidade de semeadura encontrada, onde algumas sementes em função das galerias provocadas no solo pela passagem do mecanismo sulcador do tipo haste. Esta profundidade pode causar desuniformidade no momento da emergência, devido ao maior gasto de energia para essas plântulas chegarem até a superfície, pois, segundo Cepik et al., (2007) aumentos na profundidade de semeadura podem retardar a emergência da cultura da soja e reduzir o estande de plantas. A Figura 15 - B, mostra a uniformidade da profundidade de semeadura realizada com mecanismo sulcador do tipo disco duplo, confirmando melhor distribuição.



Figura 15 - A- Profundidade das sementes de soja após semeadura com mecanismo sulcador do tipo haste. B- Profundidade das sementes de soja após semeadura com mecanismo sulcador do tipo disco duplo. Santa Maria/RS. 2013.

Em relação ao IEV (Tabela 2), houve diferença significativa para o tratamento T5. Para os demais tratamentos não houve diferença entre os mecanismos sulcadores. Estes

resultados demonstram que com o mecanismo sulcador do tipo haste + rodas tapadoras ocorreu uma emergência mais rápida, apresentando índice de 21,36 enquanto que os demais mecanismos apresentaram 16,77; 13,22; 8,79 e 4,41, dados referentes a T4; T2, T3 e T1, respectivamente. O mecanismo sulcador do tipo haste apresentou elevado número de plântulas emergidas nos primeiros dias, contudo em função de algumas sementes terem localizado-se em maiores profundidades devido ao efeito das galerias deixadas pelo mecanismo sulcador, o mecanismo obteve um IEV menor. Os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram IEV menor devido aos efeitos causados pelo clima conforme Figura 10. Logo após a semeadura, ocorreram vários dias com o solo saturado prejudicando o IEV para esses tratamentos. O percentual de emergência foi superior para T5, T4 e T2 diferindo-se dos demais sulcadores. Observa-se que, em função da ocorrência das chuvas frequentes, houve um favorecimento da emergência dos mecanismos tipo haste, conforme Figura 16, principalmente devido a maior capacidade de infiltração da água no solo em função do rompimento da camada compactada existente no local.

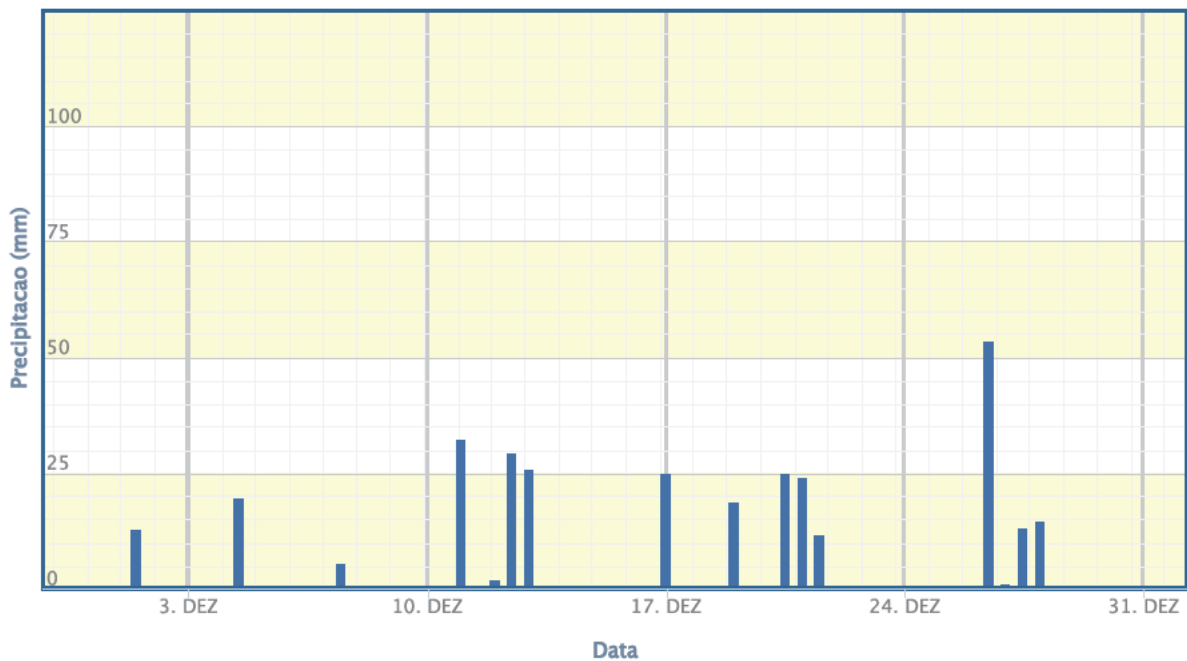


Figura 16 - Chuvas ocorridas na fase inicial de estabelecimento da cultura da soja. Santa Maria/RS. 2013.

Pode-se observar na Figura 17 – A, que após cinco dias da sementeira com mecanismo tipo haste e haste + rodas tapadoras, já havia plântulas com o sistema radicular a 20 cm de profundidade, chegando na profundidade de atuação do mecanismo sulcador, demonstrando a importância do solo descompactado para o desenvolvimento do sistema radicular.



Figura 17 - A- cinco dias após sementeira com mecanismo T4, B- cinco dias após o início da emergência sementeira com mecanismos T4 e T1 e C- nove dias após início da emergência e após ocorrência de 30 mm de chuva sementeira com mecanismos T3 e T4. Santa Maria/RS. 2013.

Na Figura 17 - B, cinco dias após o início da emergência, e na Figura 17 – C, nove dias após início da emergência, pode-se observar o efeito do mecanismo sulcador tipo haste sobre a uniformidade de emergência e sobre o efeito do ano chuvoso no estabelecimento da cultura da soja em várzea com solo compactado. Ainda na Figura 17 - C, é possível observar que o mecanismo tipo haste, após chuva de 30 mm, está sem água na superfície do solo, enquanto que o mecanismo tipo disco ondulado está com lâmina de água sobre a superfície do solo. A capacidade de infiltração após o solo saturado e a infiltração acumulada após 180 minutos com lâmina da água sobre a superfície do solo é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Capacidade de infiltração (CI) do solo após saturação (mm/h), infiltração acumulada (I) no período de 180 minutos (mm), nos diferentes mecanismos sulcadores. Santa Maria/RS. 2013.

Tratamentos	CI (mm/h)	I (mm)
T1	1,73 b	13,39 b
T2	1,93 b	17,45 b
T3	1,62 b	17,45 b
T4	3,41 a	27,58 a
T5	3,25 a	27,00 a
CV %	26,58	22,50

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Observa-se que houve diferença significativa para os tratamentos T4 e T5 em relação aos demais tratamentos para a infiltração acumulada em 180 minutos. Nos mecanismos sulcadores do tipo haste a infiltração acumulada foi de 27,58 e 27,00 mm para haste e haste + rodas tapadoras respectivamente, demonstrando o motivo de não existir água na superfície do solo após 30 mm de chuva. A média dos tratamentos com o mecanismo tipo haste comparada com a média dos demais tratamentos, revela um aumento na infiltração acumulada em 69,06%.

Quanto à capacidade de infiltração após saturação do solo (Tabela 3), também houve diferença significativa para os tratamentos T4 e T5 em relação aos demais tratamentos. A infiltração variando de 3,41 mm/h a 3,25 mm/h para haste e haste + rodas compactadoras, respectivamente. A média dos tratamentos com o mecanismo tipo haste comparada com a média dos demais tratamentos, revela um aumento na infiltração após a saturação do solo de 89,20 %. Isso demonstra que o efeito sulcador das hastes pode trazer benefícios que, além de drenar a área de várzea mais rapidamente, pode armazenar mais água no solo e conseqüentemente ocasionar um maior desenvolvimento das plantas. Este efeito também foi observado por Brandão et al., (2006), ou seja, quanto maior a densidade do solo, menor foi a taxa de infiltração de água devido a redução tanto da porosidade total quanto da macroporosidade do solo. Em outros estudos, Lorensi (2011), monitorando sete áreas de várzea, encontrou maior taxa de infiltração em plantio direto na cidade de Cacequi, onde infiltrou 2,25 mm/h. O oposto foi registrado no sistema de preparo convencional em

Cachoeira do Sul o qual infiltrou 0,39mm/h. A infiltração da água no solo relaciona-se diretamente com os níveis de erosão, pois, quanto maior a infiltração, menor a taxa de escoamento superficial da água (VIEIRA, 1995).

Os resultados referentes às avaliações de campo com o perfilômetro estão apresentados na Tabela 4. Em relação à superfície de solo mobilizado, houve diferença significativa para os tratamentos com haste em relação aos demais. Os mecanismos sulcadores do tipo haste tiveram como resultado uma maior superfície mobilizada do solo. A mobilização da superfície do solo foi de 69,76 e 60,84 % para haste e haste + rodas tapadoras, respectivamente e de 41,82; 37,26 e 32,40 para disco ondulado (T2), ondulada + ondulado (T3) e disco duplo (T1), respectivamente. A elevada mobilização da superfície solo causada pelas hastes ocorre devido ao levantando de leivas, torrões e blocos de solo após a passagem do mecanismo sulcador, causando um aumento em 75,72% da superfície mobilizada dos tratamentos com haste (T4 e T5) quando comparada com os tratamentos com disco (T1; T2 e T3). Esses dados estão de acordo com Mion & Benez (2008), pois os últimos verificaram que a haste promove maior mobilização do solo, e, segundo Coelho (1998), além de maior mobilização, também apresentam maior demanda energética, ocasionado por esse esforço de tração que ocasionou o maior volume de solo mobilizado.

Tabela 4 - Efeito da Superfície do solo mobilizada (%), profundidade de atuação do mecanismo (cm), solo mobilizado (m^3/ha) e empolamento(m^3/ha) nos diferentes mecanismos sulcadores. Santa Maria/RS. 2013.

Trat.	Superfície mobilizada %	profundidade cm	Solo mobilizado $m^3 \cdot ha^{-1}$	Empolamento $m^3 \cdot ha^{-1}$
T1	32,40 b	4,74 b	85,92 b	21,12 b
T2	41,82 b	6,17 b	115,02 b	31,38 b
T3	37,26 b	5,46 b	95,25 b	20,73 b
T4	69,76 a	16,92 a	229,52 a	90,00 a
T5	60,84 a	16,55 a	196,72 a	75,04 a
CV %	18,67	8,97	19,18	33,00

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Observa-se na Tabela 4 que os mecanismos sulcadores apresentam diferença entre si para profundidade. Os mecanismos sulcadores com haste obtiveram maior profundidade de sulco do que os mecanismos com disco. A profundidade média do sulco dos mecanismos com haste foi de 16,92 cm e 16,55 cm para haste (T4) e haste + rodas tapadoras (T5), respectivamente. Para os mecanismos sulcadores com discos foi 6,17 cm; 5,46 cm e 4,74 cm para disco ondulado; disco ondulado + ondulado e disco duplo, respectivamente. Em outra situação, em solos Latossolo Vermelho Eutrófico com textura argilosa, a profundidade média do sulco atingida pela haste foi de 12 cm, e pelo disco duplo foi de 5 cm, segundo Andreolla, Gabriel Filho (2006). A leitura utilizada pelo perfilômetro nem sempre consegue medir a profundidade total de atuação dos mecanismos, devido ao tamanho da base da haste do perfilômetro, que está em contato com o solo, pois os mecanismos certamente atuaram e podem atuar em profundidades maiores.

O volume de solo mobilizado foi influenciado pelos mecanismos e representa a quantidade de solo revolvido após a passagem da semeadora-adubadora. Houve elevação da mobilização do solo e diferença significativa para o tratamento com hastes em relação aos demais. Os tratamentos com hastes apresentaram uma mobilização de 115,86 % maior do que os tratamentos com discos. Enquanto, que os tratamentos com haste resultaram em mobilização de 229,52 e 196,72 m³.ha⁻¹ para haste e haste + rodas tapadoras, respectivamente, os tratamentos com discos resultaram em 115,02; 95,25 e 85,95 m³.ha⁻¹ para disco ondulado; disco ondulado + ondulado e disco duplo, respectivamente. Dados semelhantes foram encontrados em solos Argissolo Vermelho distrófico típico. Cepik et al., (2010), trabalhando com haste em profundidades menores, em torno de 11,3 cm em média, encontrou valores de solo mobilizado que variaram de 134,3 a 219,3 m³/ha conforme a quantidade de matéria seca/ha a qual variou de 0 a 6 t/ha, respectivamente. Em solos com problemas de erosão, quando os valores de solo mobilizado forem elevados, pode haver perdas de solo pela erosão, causada pela ocorrência de precipitação após a operação de semeadura, principalmente em áreas declivosas (DIAS, 2009).

Para cálculo do empolamento houve diferença significativa para os tratamentos com haste em relação aos demais. Os tratamentos T4 e T5 em média apresentaram um empolamento superior em 238,05 % em relação as médias dos tratamentos T1; T2 e T3. Isso ocorreu devido ao maior volume de solo mobilizado pelos tratamentos com haste, melhorando a capacidade de infiltração e aeração do solo.

Como se pode observar na Figura 18, o comportamento na camada superficial do solo pode ser atribuído à existência de maior concentração de matéria orgânica, maior atividade

biológica e maior intensidade de ciclos de umedecimento e secagem do solo, além da ação dos mecanismos sulcadores do solo das semeadoras e das grades utilizadas para preparo do solos de várzea. Por outro lado, em camadas mais profundas de 8 a 18 cm está sujeito as cargas aplicadas na superfície como a compactação por tráfego de máquinas, pé de grade, menor intervalo dos ciclos de umedecimento e secagem. Para sucesso no estabelecimento e desenvolvimento das culturas de sequeiro é imprescindível que se utilize práticas de manejo que resultem na mobilização dessa camada.

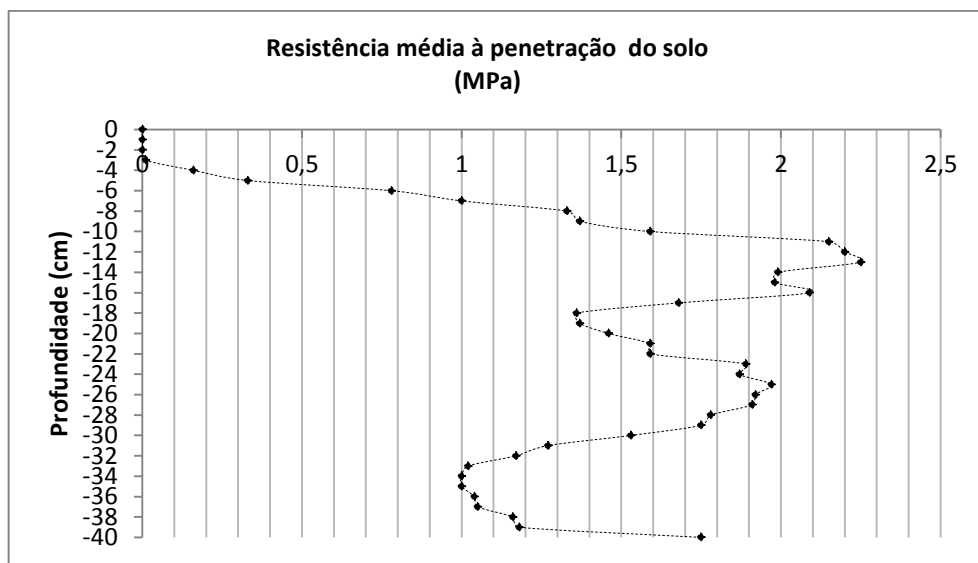


Figura 18 - Representação gráfica da resistência mecânica média a penetração do solo da área experimental. Santa Maria/RS. 2013.

Na Tabela 5, a medida da resistência do solo à penetração foi determinada da linha de semeadura em direção as entre linhas, ou seja na linha de semeadura, 5, 10, 15, 20 e 25 cm. Ao analisar as médias da resistência do solo a penetração na camada de 0 a 20 cm de profundidade, observa-se que há diferença significativa entre os tratamentos com haste (T4 e T5) e demais mecanismos sulcadores para todas as distâncias, com excessão dos dados a 25 cm da linha de semeadura , onde observou-se não haver diferença estatística.

Tabela 5 - Valores médios de resistência do solo a penetração em MPa, realizados na linha de semeadura, a 5, a 10, a 15, a 20, e 25 cm da linha de semeadura até a profundidade de 20 cm, nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Distância da linha de semeadura (cm).	Tratamentos					CV %
	T1	T2	T3	T4	T5	
0	1,05 a	0,89 a	1,15 a	0,22 b	0,27 b	34,08
5	1,14 a	1,25 a	1,51 a	0,48 b	0,49 b	25,59
10	1,31 a	1,46 a	1,48 a	0,66 c	0,74 bc	19,03
15	1,24 a	1,42 a	1,43 a	0,72 b	0,81 b	15,37
20	1,28 a	1,25 a	1,54 a	0,90 b	0,87 b	14,42
25	1,28 a	1,54 a	1,40 a	1,16 a	1,18 a	19,71

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na linha, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Os mecanismos com haste (T4 e T5) apresentaram um menor esforço a resistência à penetração, demonstrando que a atuação desses mecanismos em profundidade pode diminuir a resistência à penetração do equipamento no solo entre as linhas de cultivo, possibilitando, assim, um maior desenvolvimento radicular. Outros autores verificaram que o aumento da profundidade de atuação das hastes sulcadoras das semeadoras-adubadoras, pode romper, de forma localizada, as camadas compactadas dos solos (CONTE et al., 2009, REIS et al., 2006). A descompactação do solo é uma medida que também pode estimular o desenvolvimento radicular e reduzir os efeitos da compactação sobre a produtividade, enquanto a recuperação física por processos biológicos está em andamento (DEBIASE et al., 2010).

Ao analisar a Tabela 6, observa-se o efeito da profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores do solo sobre a densidade do solo realizada antes da semeadura e no estágio R5 de desenvolvimento da cultura da soja. Para os mecanismos com discos (T1, T2 e T3), observa-se que na camada de 0 – 5 e 5 -10 cm houve diferença significativa na densidade após a passagem dos mecanismos sulcadores comparando a coleta antes e após a semeadura. Nas demais profundidades 10 – 15 e 15 – 20 cm, não houve diferença para esses tratamentos, pois não atingiram tal profundidade assim como o efeito do desenvolvimento do sistema radicular da cultura da soja não exerceu trabalho de reduzir a densidade do solo.

Tabela 6 - Densidade do solo (g/cm^3), coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Profundidade (cm)	Épocas	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
0 – 5	antes	1,44 a	1,45 a	1,44 a	1,50 a	1,45 a
	depois	1,26 b	1,23 b	1,27 b	1,29 b	1,34 b
5 – 10	antes	1,61 a	1,55 a	1,57 a	1,53 a	1,61 a
	depois	1,48 b	1,44 b	1,49 b	1,25 b	1,32 b
10 – 15	antes	1,56 a	1,57 a	1,56 a	1,56 a	1,59 a
	depois	1,55 a	1,50 a	1,57 a	1,27 b	1,24 b
15 – 20	antes	1,62 a	1,60 a	1,61 a	1,56 a	1,62 a
	depois	1,65 a	1,55 a	1,60 a	1,35 b	1,37 b

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, comparando antes e depois dentro da mesma profundidade, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Nos tratamentos T4 e T5 (haste e haste + rodas tapadoras), pode-se observar que em todas as profundidades (0 -5, 5 – 10, 10 – 15 e 15 -20) houve diferença significativa comparando as coletas antes da semeadura e em R5, demonstrando o efeito causado pelos mecanismos sulcadores tipo haste que, atuando em profundidade, diminuem a densidade do solo. A densidade do solo elevada influencia diretamente as relações de energia existentes entre as hastes sulcadoras usadas no sistema de semeadura direta e o solo. Um solo mais compactado requer demanda maior de energia para realizar a tração da semeadora-adubadora, o que ocasiona efeitos não desejáveis, como o maior consumo de combustível, aumento da patinagem do trator, maior desgastes dos mecanismos e implementos agrícolas, acarretando redução na vida útil dos mesmos (ROSA, 2007) e, conseqüentemente, elevando os valores de depreciação, reduzindo, assim, os lucros do sistema agrícola. Além desses fatores, a profundidade do sulco de semeadura é reduzida à medida que aumenta a compactação do solo. Estudando o efeito da compactação animal em solos de várzea (Planossolo Háptico eutrófico arênico) na profundidade de 0-10 cm Vizzotto et al., (2000) observaram que antes do início do pastejo a densidade do solo era de $1,38 \text{ g/cm}^3$ e após o final do pastejo era de $1,48 \text{ g/cm}^3$. Se analisarmos a média da área experimental de 0-20 cm de profundidade tem-se $1,55 \text{ g/cm}^3$ de densidade do solo, isso demonstra que a densidade do

solo está elevada, ou seja, maior que a ds citada anteriormente após o pastejo. Se comparadas as médias dos tratamentos com mecanismos sulcadores do tipo haste (T4 e T5) tem-se 1,30 g/cm³, com isso pode-se identificar uma elevada redução da ds na linha de semeadura indicando uma melhoria nas condições físicas do solo, o que pode contribuir para o cultivo de soja em várzea. Ou seja, este efeito de redução da densidade pode diminuir a resistência do solo à penetração pelas raízes, melhorando o ambiente para o desenvolvimento destas.

A microporosidade é responsável pelo armazenamento da água e nutrientes no solo disponíveis para as plantas e pode interferir no desenvolvimento das mesmas se for afetada a capacidade de retenção de água no solo (BARCELOS, 1999). Ao analisar a Tabela 7, observa-se que, para todos os tratamentos não houve diferença significativa em relação às épocas para às diferentes profundidades. Da mesma forma Drescher et al., (2011) observaram que a microporosidade apresentou baixa resposta às intervenções com aração e escarificação. Isso foi atribuído por Silva; Kay (1997 apud Drescher et al., 2011, p.1719) ao fato de a microporosidade do solo ser fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciado pelo aumento da densidade do solo, justificando assim a ausência de resposta.

Tabela 7 - Microporosidade (%) coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Profundidade (cm)	Épocas	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
0 – 5	Antes	35,06 a	35,55 a	35,02 a	35,23 a	35,10 a
	Depois	36,11 a	39,56 a	36,24 a	35,43 a	35,17 a
5 – 10	Antes	34,18 a	34,30 a	33,88 a	33,98 a	34,53 a
	Depois	34,77 a	34,90 a	34,28 a	33,24 a	35,09 a
10 – 15	Antes	34,13 a	34,66 a	33,70 a	33,38 a	34,56 a
	Depois	34,78 a	35,24 a	34,48 a	34,14 a	34,60 a
15 – 20	Antes	34,60 a	34,33 a	34,40 a	34,29 a	33,75 a
	Depois	33,73 a	34,82 a	34,63 a	35,14 a	35,96 a

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, comparando antes e depois dentro da mesma profundidade, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 8 são apresentados os dados referentes a macroporosidade que é responsável pela aeração do solo. A macroporosidade do solo pode afetar a taxa de infiltração e as trocas gasosas no solo, causando efeitos de redução de desenvolvimento das plantas cultivadas (BARCELOS, 1999).

Nos tratamentos com haste (T4 e T5), observa-se que em todas as profundidades (0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 e 15 - 20), houve diferença significativa comparando as coletas antes da semeadura e em estágio R5, demonstrando o efeito rompedor do mecanismo sulcador tipo haste que, atuando em profundidade aumenta a macroporosidade do solo. Dados semelhantes foram encontrados por Drescher et al., (2011) utilizando disco de corte + facão em Latossolos Vermelho distrófico humico. Segundo Souza et al., (1994) a percentagem de macroporos não deve ser inferior a 10 % para permitir uma adequada aeração do solo, proporcionando bom desenvolvimento das plantas. Esse comportamento também foi observado por Drescher et al., (2011), onde utilizaram mecanismo sulcador do tipo disco liso + facão para plantio direto o qual alterou os atributos físicos do solo, não apenas no aumento da porosidade total e macroporosidade, mas também na diminuição da densidade e mostrou-se mais efetivo que intervenções mecânicas como aração e escarificação.

Tabela 8 - Macroporosidade (%) coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Profundidade (cm)	Épocas	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
0 - 5	antes	8,23 b	8,22 a	8,39 a	7,63 b	7,84 b
	depois	12,94 a	12,88 a	12,23 a	12,68 a	12,50 a
5 - 10	antes	5,52 b	5,74 b	5,44 b	5,86 b	5,24 b
	depois	10,11 a	10,64 a	7,84 a	15,11 a	14,43 a
10 - 15	antes	5,18 b	5,49 a	5,71 a	4,89 b	5,29 b
	depois	7,48 a	7,96 a	6,73 a	15,33 a	16,76 a
15 - 20	antes	4,84 a	5,07 a	4,98 b	4,68 b	4,78 b
	depois	7,00 a	7,74 a	7,01 a	11,89 a	11,68 a

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, comparando antes e depois dentro da mesma profundidade, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 9 apresenta-se a porosidade total que é a soma dos macroporos e os microporos, resultando na capacidade de armazenamento de água, nutrientes e trocas gasosas que o solo possui. Em áreas de várzea, a compactação superficial pode ser causada pelas características do solo, pisoteio animal ou até mesmo pelo tráfego de máquinas.

Na porosidade total do solo (Tabela 9), observa-se o aumento significativo para os mecanismos com haste (T4 e T5) nas diferentes épocas para todas as profundidades, demonstrando o efeito causado pelo mecanismo sulcador tipo haste. Assim, dependendo da necessidade de redução dessa camada compactada, a mesma pode ser realizada através do uso das semeadoras-adubadoras. Nesta intenção Casão Junior et al., (2000), utilizaram semeadora-adubadora para reduzir a compactação do solo e salienta que é importante efetuar a regulagem em profundidade logo abaixo a essa camada compactada para que haja sucesso na melhoria das condições físicas do solo.

Tabela 9 - Porosidade total (%) coletados em duas épocas (antes da semeadura e sobre a linha de semeadura no estágio de R5 da cultura da soja) e em diferentes profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15 - 20 cm) nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Profundidade (cm)	Épocas	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
0 – 5	antes	43,29 b	43,78 b	43,41 b	42,87 b	42,94 b
	depois	49,05 a	52,44 a	48,47 a	48,12 a	47,68 a
5 – 10	antes	39,71 b	40,04 b	39,32 b	39,84 b	39,78 b
	depois	44,89 a	45,55 a	42,12 a	48,35 a	49,53 a
10 – 15	antes	39,32 b	40,15 a	39,41 a	38,27 b	39,86 b
	depois	42,27 a	43,21 a	41,22 a	49,47 a	51,37 a
15 – 20	antes	39,45 a	39,41 a	39,39 a	38,97 b	38,54 b
	depois	40,74 a	42,57 a	41,65 a	47,04 a	47,65 a

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, comparando antes e depois dentro da mesma profundidade, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Observa-se, na Tabela 10, que os tratamentos apresentaram diferença entre si para força de tração e as maiores demandas de força de tração ocorreram nos tratamentos com haste sulcadora que atuam em maiores profundidades, onde esta localizada a camada

compactada. A força de tração média demandada pelo tratamento T4 (haste) foi de 4,96 kN e T5 (haste + rodas tapadoras) de 4,82 kN, estes valores são elevados em função alta ds do solo conforme Tabela 6, concordando com Conte et al., (2009) em que haste sulcadora atuando em profundidade de 0,15 m em Latossolo Vermelho distroférico com integração lavoura pecuária com 0,10 m de altura da pastagem apresenta força de tração de 4,87 kN/ linha. Da mesma forma, Casão Júnior et al., (1998) verificaram que o sulcador tipo facão apresenta maior força de tração e essa força aumenta em função da profundidade de atuação do sulcador.

Os tratamentos T1; T2 e T3 apresentaram 1,41 kN; 1,74 kN e 1,40 kN, respectivamente não diferindo entre si. Nesse sentido, outros autores constataram que o uso do sistema de abertura de sulco tipo haste aumenta a exigência de força de tração, em relação ao sistema de abertura de sulco tipo disco duplo (SANTOS et al., 2008). A média dos tratamentos com mecanismo do tipo haste (T4 e T5) apresentou em relação à média dos tratamentos com mecanismo tipo disco (T1; T2 e T3) um aumento na força de tração de 223,84 % em função do esforço para romper a camada compactada do solo. Silva & Benez (2005) observaram que semeadora-adubadoras equipadas com haste sulcadora, podem demandar 97,4% mais força na barra de tração do que se fossem equipadas com sulcador tipo disco duplo.

Tabela 10 - Valores médios de força de tração, potência requerida na barra de tração, patinamento e velocidade, para cada linha, nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Tratamentos	Força de tração (kN)	Potência de tração (kW)	Patinamento (%)	Velocidade (km/h)
T1	1,41 c	2,08 c	4,30 b	5,29
T2	1,74 c	2,54 b	4,99 b	5,25
T3	1,40 c	2,07 c	3,62 b	5,30
T4	4,96 a	6,01 a	21,12 a	4,36
T5	4,82 b	5,83 a	21,16 a	4,36
CV (%)	1,97	2,76	9,85	1,22

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Araújo et al., (1998) identificaram que, na região oeste do Paraná, a compactação superficial do solo constitui forte restrição para o plantio direto, no qual o uso de sulcadores tipo haste nas semeadoras se generalizou como alternativa para rompê-la. As hastes formam o sulco de semeadura com maiores profundidades do que os discos duplos, com consequente aumento da mobilização do solo, esforços de tração e exigência de potência nos tratores (ARAÚJO et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2000). Desta forma, quanto à potência requerida na barra de tração, a mesma foi maior nos tratamentos com haste (T4 e T5) do que nos tratamentos com discos (T1, T2 e T3).

Na Tabela 10 estão os dados referentes a velocidade e patinamento. A velocidade de deslocamento nas áreas que foram manejadas com mecanismos sulcadores do tipo discos (T1, T2 e T3) foi maior que a dos tratamentos com mecanismos sulcadores do tipo hastes (T4 e T5), sendo estatisticamente diferentes. A condição de marcha e a rotação inicial do motor foi a mesma para todos os mecanismos, ocorrendo aumento de 17,58 % na velocidade de deslocamento dos mecanismos do tipo discos (T1, T2 e T3) em relação aos mecanismos do tipo hastes (T4 e T5). A patinação ocorreu ao contrário, apresentando aumento de 4,3 % para disco duplo e 21,12 % para haste. Isto demonstra que à medida que os mecanismos sulcadores atuam em maior profundidade ocorre redução da velocidade e aumento da patinação, ou seja para romper a camada com semeadora equipada com sulcadores do tipo haste vai ocorrer uma diminuição da capacidade operacional.

Tabela 11 - Valores médios de consumo de combustível, consumo específico e kW /linha de semeadura, nos diferentes tratamentos. Santa Maria/RS. 2013.

Tratamentos	Consumo (L.h ⁻¹)	Consumo (L.ha ⁻¹)	Consumo específico (g.kW.h)	Linha de semeadura (kW)
T1	8,97 b	5,65 b	627,57 a	6,49 c
T2	9,89 b	6,28 b	567,00 a	7,01 b
T3	8,74 b	5,47 b	614,79 a	6,41 c
T4	17,10 a	13,07 a	414,73 b	12,09 a
T5	16,74 a	12,80 a	418,22 b	11,91 a
CV (%)	4,96	5,07	6,45	1,38

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

Conforme Tabela 11, o consumo médio de combustível litros/hora ($L.h^{-1}$), litros/hectare ($L.ha^{-1}$) e consumo específico ($g.kW.h$) mostrou diferença significativa entre os tratamentos. Se comparadas as médias dos tratamentos com disco (T1, T2, e T3) com as médias dos tratamentos com haste (T4 e T5), observa-se que houve um aumento no consumo de 83,91 % em $L.h^{-1}$ e de 123,18 % em $L.ha^{-1}$ e redução de 31 % para consumo específico nos tratamentos com mecanismos sulcadores do tipo hastes, em função do maior volume de solo mobilizado e maior profundidade de trabalho com explicado anteriormente na Tabela 4. Concordando com Coelho, (1998) em que os sulcadores tipo hastes apresentam maior esforço de tração, conseqüentemente, resultam na maior demanda energética. Assim, para utilizar semeadora tipo haste haverá maior consumo de combustível em várzea.

Na Tabela 11, a potencia em kW/linha de semeadura foram de 12,09 e 11,91 para haste e haste + rodas tapadoras, respectivamente e para os kW/linha apresentaram 6,49; 7,01 e 6,41 para disco duplo, disco ondulado e disco ondulado + ondulado, respectivamente. Os mecanismos de abertura de sulco tipo haste aumentam a exigência de kW/linha em relação aos demais tratamentos. Logo, este fator é muito importante para o dimensionamento das máquinas para os locais onde haja a necessidade de usar estes mecanismos sulcadores, pois vão requerer em alguns casos quase o dobro de kW/linha, em função das características destes solos de várzeas..

Tabela 12 - Valores médios de produtividade, nos diferentes mecanismos sulcadores. Santa Maria/RS. 2013.

	Tratamentos					CV (%)
	T1	T2	T3	T4	T5	
Produtividade (kg/ha)	2897,9 b	3305,3 ab	3372,4 a	3510,3 a	3535,4 a	6,58

T1= disco duplo; T2= disco ondulado; T3= ondulado + ondulado; T4= haste e T5= haste + rodas tapadoras.

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na horizontal, não diferem significativamente, pelo teste de tukey, a 5 % de probabilidade.

A produtividade de grãos da soja (Tabela 12) apresenta diferença significativa em função dos tratamentos com o mecanismo sulcador, principalmente o disco duplo, em relação aos demais tratamentos. Nos tratamentos com discos em função da elevada precipitação pluviométrica devido ao acúmulo de água na superfície do solo, saturando o mesmo, causou

dificuldades no estabelecimento inicial, após a fase crítica de estabelecimento da cultura da soja, as chuvas foram normais durante o ciclo de cultivo. Observa-se que a medida em que os mecanismos sulcadores foram atuando em maior profundidade houve maior produtividade da soja em várzea, com isso, certamente o trabalho em profundidade promoveu maior desenvolvimento radicular, armazenamento de água e disponibilidade de nutrientes.

5 CONCLUSÕES

Os mecanismos sulcadores do tipo haste diminuíram a densidade do solo e aumentaram a macroporosidade e porosidade total na linha de cultivo.

Os mecanismos sulcadores do tipo haste proporcionaram maior superfície de solo mobilizado, profundidade, volume de solo mobilizado e empolamento em solos de várzea.

A semeadora-adubadora equipada com mecanismo sulcador do tipo haste, atuando em profundidade, promove redução na camada compactada entre as linhas de cultivo em solos de várzea.

O mecanismo sulcador do tipo haste apresentou maior capacidade de infiltração de água no solo, aumentando os macroporos e produzindo efeito similar a de drenos.

A força de tração e a potência requerida na barra de tração foram maiores quando se utilizou o mecanismo sulcador do tipo haste, enquanto a velocidade de deslocamento foi menor.

O consumo de combustível e o patinamento do trator aumentaram influenciadas pela haste sulcadora da semeadora-adubadora.

O mecanismo sulcador do tipo haste proporcionou maior profundidade de deposição das sementes.

As rodas tapadoras de sulco diminuem a profundidade de semeadura e a variação da profundidade de sementes e apresenta um melhor IEV em solos de várzea.

O mecanismo tipo haste proporcionou a maior produtividade de grãos demonstrando que é viável cultivar soja com os mesmos em solos de várzea compactados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLMARAS, R. R. et al. **Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage.** Washington U. S Dpto of Agric., 1966. 22p. (Conservation Research Report, 7).

AMADO, M.; TOURN, M. C.; ROSATTO, H. Efecto de la velocidad de avance sobre la uniformidad de distribución y emergência de maíz. In: BARBOSA, O. A. (ed.). **Avances em Engenharia Agrícola.** 2003-2005. San Luis: CADIR 2005, 2005. p. 77-81.

AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE EP 496.2 FEB03.** Agricultural Machinery Management. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 366-372. 2003.

AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE Standards:** standards engineering practices data. 43. Ed. Niles Road, 1996. 414 p.

ANDREOLLA, V. R. M. GABRIEL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema de integração lavoura-pecuária. Engenharia Agrícola., Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 768-776, set/dez. 2006.

ARAÚJO, A. G. CASÃO JUNIOR, R. SIQUEIRA, J. R. Máquinas para semear. **Cultivar Máquinas**, n. 2, mar/abr, 2001.

ARAÚJO, A. G. et al. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycynemax L.*) e milho (*Zeamays L.*) em solos argilosos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.2, p. 226-237, mai/ago., 1999.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JUNIOR, R.; MEDEIROS, G.B.; CASTRO FILHO, C.; DORETTO, M.; BERTÉ, A.; CAVIGLIONE, J.H.; FIGUEIREDO, P.R.A. Identificação das restrições para expansão do plantio direto na região da represa de Itaipu. In: ENCONTRO LATINO

AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1998, Pato Branco. *Anais...* Pato Branco: Instituto Agrônômico do Paraná, 1998. 1 CD-ROM

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 307 p.

BAMBERG, A. L. et. al. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, 2009.

BARCELOS, A. A., CASSOL, E. A., DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999.

BERTOL, O. J.; AMADO, T. J. C.; SCHLOSSER, J. F.; REINERT, D. J. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condição de preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 257-62, 1997.

BEUTLER, A. N. et al. Densidade do solo relativo e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista Biologia e Ciência da Terra**, João Pessoa, PB, v. 8, n. 2, p. 27-36, jul/dez., 2008.

BICKI, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop responses to wheel traffic soil compaction. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph v. 34, n. 3, p. 909-913, 1991.

BOENI, M. **Comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus do trator**. 2000. 99f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BOONE, F. R.; VEEN, B. W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B. D., OUWERKERK, C. van., eds. Soil compaction in crop production. Netherlands. Elsevier, 1994. p. 1-21.

BORGES, J. R. et al. Resistência à penetração de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 10. n. 1, p. 83-86, jan/mar., 2004.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

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

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

CEPIK, C. T. C.; OZTURK, I.; WAY, T. R. Effects of various planters on emergence seed distribution uniformity of sunflower and seed distribution uniformity of sunflower. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23, n. 1, p. 57-61, 2007.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R. CONTE, O. Força de tração e mobilização do solo por haste sulcadora de semeadura-adubadora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 5, p. 561-566. 2010.

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. 447-57. 2005.

COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação de máquinas para semeadura. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiros", 1996. p. 55-70.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 1998. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1254-1261, 2009.

CORDEIRO M. A. L. **Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento**. Botucatu, UNESP-FCA, 2000. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia – AC Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na Agricultura**. São Paulo – Nobel, 4. ed., 1989.

DALLMEYER, A. U.; RIGHES, A. A.; POZZERA, J.; FERREIRA, O. O.; SILVEIRA, T. C.; SILVEIRA, D. R.; FARRET, I. S. Mobilização do solo por mecanismos de semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1986. p. 156-66.

DEBIASE, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612. 2010.

DIAS, V. O. de. **Desempenho de dois protótipos de semeadoras-adubadoras para plantio direto**. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DRESCHER, M. S; et. al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1713-1722, 2011.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. L. The effects of temperature, sand and soil acetone on germination of okra seed. **Proceedings of American Society Horticulture Science**, Alexandria, v. 71, p. 428-34, 1958.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, p. 412, 2006.

FAGANELLO, A. **Avaliação de sulcadores para semeadura direta**. Santa Maria: UFSM, 1989. 77f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.

FAGANELLO, A.; DENARDIN, J. E.; HOCHHANN, R. A.; SATTTLER, A. **Efeito de elementos rompedores de solo em semeadoras para plantio direto na resistência do solo a tração mecânica**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 21 p. html. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 69).

FARIAS, R. T de. FOLLEGATTI, M. V. Drenagem superficial de solos argilosos do norte do Paraná. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v. 3, p. 178-182, 1999.

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

FURLANI, C. E. A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu, 2000. 218f. (Tese Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. de L.; MODOLO, A. J.; SILVEIRA, J. C. M. da Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de coberturas vegetais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, set/dez. 2004.

GERARD, C. J.; SEXTON, P.; SHAW, G. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agronomy Journal*, Madison, v. 74, p. 875-879, 1982.

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

GOMES, A. da S. et al. Rotação de culturas em áreas de várzea e plantio direto de arroz. **Embrapa**, Doc. 89, Pelotas, RS, 2002.

GOMES, A. da S. et al., Solos de várzea: uso e manejo. In: **Solos e irrigação**: UFRGS; FEDERACITE, Porto Alegre, p. 64-69, 1992.

GUARIZ, H. R. et al. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Cruz Alta, RS, v. 4, n. 2, p. 3293-3296, nov., 2009.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physical**. New York, Academic Press. 1980. 413 p.

IVANCAN, S.; SITO, S.; FABIJANIC, G. Effect of precision on the intra-row seed distribution for parsley drill operating speed. *Biosystems Engineering*, Londres, v, 89, n. 3, p. 373-376, mar. 2004.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:857-867, 2002.

KLEIN, V. A. BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, p. 395-398, set/dez., 1995.

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, maio, 2007.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo, Embrapa-CNPT, 2000. 36p.

KURACHI, S. A. H. et al. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamentos de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantina**, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

KUSS, R. C. P. et al. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

LEVIEN, R. Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zeamays L.*) Botucatu, UNESP, 1999. 305f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

LEVIEEN, R; FURLANI, C. E. A. GAMERO, C. A.; CONTE, O.; CAVICHIOLI, F. A. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, 2011.

LIMA, C. L. R. et al. **Estabilidade de agregados de um planossolo sob sistemas de manejo.** **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 199-205, 2003.

LOPES, A. et al. Efeito do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura em características agrônômicas na cultura do milho (*Zeamays L.*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, 1999. Pelotas, **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. CD Rom.

LORENSI, R. P. Relação entre atributos do solo e uso da água em arroz irrigado. 2011. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MACHADO, R. L. T. et al. Efeito da escarificação sobre alguns parâmetros físicos de um Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 519-523, 1997.

MACHADO, R. L. T. et al. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 2, n. 3, p. 175-178, 1996

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H. Demanda energética de semeadora-adubadora de plantio direto em função de elementos de corte, velocidade e tipo de solo. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, v. 22, n. 3, p. 15-36, 2007.

MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 150-157, 2004.

MAHL, D. et al. Influência do aumento da velocidade na operação de semeadura da cultura do tremoço em sistemas de plantio direto. In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 8., 2005, Villa de Merlo. **Anais...** San Luiz. 2005. 1 CD-ROM.

MARCHEZAN, E. et al. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. **Ciência Rural** [online]. 2002, v. 32, n. 2, pp. 303-308. ISSN 0103-8478.

MELLO, L.M.M et al. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, p. 563-567, 2003. [[Links](#)]

MENDES, R. C. A. Restrições físicas ao crescimento radicular num Latossolo muito argiloso. 1989. 81f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Nacional de Brasília, Brasília, DF.1989.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. 722p.

MICHELON, C. J. **Qualidade física dos solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil Central**. 2005. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.

MION, R. L.; BENEZ, S. H. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1594-1600, set./out. 2008.

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**, v. 54, p. 393-403, 1995.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, p. 41, 1961.

MURRAY, J. R.; TULLBERG, J. N.; BASNET, B. B. **Planters and their Components: types, attributes, functional requirements, classification and description**. ACIAR Monograph n° 121. University of the Queensland, Australia, 2006. 178p.

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

OLIVEIRA, L. B. de (Coord.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1987. Não paginado.

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. 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1997.

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

PEDROTTI, A.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo: como evitá-la. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 50-52, dez. 1996.

PORTELLA, J. A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 17, p. 71-78, 1997.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. & REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, A. P. & KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61:877-883, 1997.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. & REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, A. P. & KAY, B. D. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. v. 5. p. 40-134.

REINERT, D. J. REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas do solo em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M. & CERETTA, C. A. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul.** Santa Maria, RS, 2001, 165 p.

REIS, A. V. dos; FORCELLINI, F. A. Identificação de requisitos de clientes para o projeto de um dosador de precisão para sementes miúdas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 309-320, jan./abr. 2006.

REIS, E. F. dos; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ARAÚJO, E. F. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 12, p. 212-221, 2004.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of in soil. In: BLACK, C. A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison, American Society for testing and materials, 1965.770p. (Agronomy, 9).

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; RODRIGUES, B. O.; LLANILO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3. p. 321-344, 2005.

ROSA, D. P. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação**. 2007. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RUSSINI, A. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para a avaliação do desempenho de tratores agrícolas**. 2009. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

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 Agrotécnica**. Lavras, v. 32, n. 2, p. 540-546, mar./abr., 2008.

SANTOS, P. M. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator**. 2010. 161f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SCHOENFELD, R. **Sistemas de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em Planossolo haplico**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- Porto Alegre, 2010.

SCOTT, H. D, ÂNGULO, J. DANIELS, M. B. et al., Flood Duration effects on soybean growth and yueld. In: **AgronomyJournal**, v.81, p.631-636. 1989.

SILVA, C. A. S. et al., **Drenagem Superficial para Diversificação do Uso de Várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004, 10 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 40).

SILVA, C.A.S. et al., **Manejo da água para as culturas do milho, sorgo e soja em solos hidromórficos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001, 46 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 26).

SILVA, D. B. Efeito da profundidade de plantio sobre o trigo irrigado na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26. P. 769-773, 1992.

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 Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, 2000.

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.

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.

SOANE, B. D., OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B. D., OUWERKERK, C. van., eds. **Soil compaction in crop production**. Netherlands. Elsevier, 1994. P. 1-21.

SOUSA, R. O.; PAULETTO, E. A.; GOMES A. Sistemas de cultivos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: Conferência Internacional de Arroz Irrigado para a América Latina e para o Caribe, e Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz, 1994, Goiânia – GO. **Anais**. Goiânia: EMBRAPA/CNPAF, 1994. v.1. p. 151-168.

TARAWALY, M. A. et al. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of Rhodic Ferralsol in western Cuba. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 95-103, apr., 2004.

TAVARES FILHO, et al. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 393-399, 1999.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, O. F. Dinâmica da resistência a penetração de um solo sob PD. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, O. F. SÁ, J. C. M. Propriedade física do solo sob plantio direto, influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 301-309, mar/abr., 1998.

VEIGA, M. da et al. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1437-1446, jul./aug., 2008.

VIEIRA, M. J. Comportamento físico de solos em plantio direto. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 1995. Ponta Grossa, PR. **Anais...** Ponta Grossa, Fundação ABC, 1995, p. 75-85.

VIEIRA, L. B.; REIS, E. F. Máquinas para o plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 43-48, 2001.

VIZZOTTO, V. R. MARCHEZAN, E. SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, 2000.