

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

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO DE
SOJA EM ÁREAS TÍPICAS DE CULTIVO DE
ARROZ IRRIGADO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fabrício Azevedo Rodrigues

Santa Maria, RS, Brasil

2015

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO DE SOJA EM ÁREAS TÍPICAS DE CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO

Fabício Azevedo Rodrigues

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

Orientador: Prof. José Fernando Schlosser, Dr. Eng.

Santa Maria, RS, Brasil

2015

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

Rodrigues, Fabrício Azevedo
Avaliação de sistemas de implantação de soja em áreas típicas de cultivo de arroz irrigado / Fabrício Azevedo Rodrigues.-2015.
105 f.; 30cm

Orientador: José Fernando Schlosser
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Demanda energética 2. Glycine max 3. Oryza sativa
4. Várzea I. Schlosser, José Fernando II. Título.

© 2015

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

E-mail: fabricioazevedorodrigues@hotmail.com

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

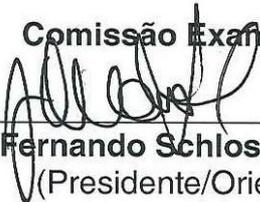
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO DE SOJA EM
ÁREAS TÍPICAS DE CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO**

elaborada por
Fabício Azevedo Rodrigues

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

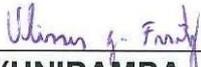
Comissão Examinadora



José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Alexandre Russini (UNIPAMPA – Campus Itaqui)



Ulisses Giacomini Frantz (UNIPAMPA – Campus Dom Pedrito)

Santa Maria, 06 de Março de 2015

Dedico este trabalho...

...aos meus pais Flavio Jesus Ferreira Rodrigues e Rosana Azevedo Rodrigues pela dedicação, educação, ensinamentos, amor, apoio e carinho. A vocês que sempre tiveram todas as suas atenções em seus filhos e mesmo diante das dificuldades sabem enfrentar os desafios proporcionando sempre o que é melhor. A vocês, meu eterno muito obrigado.

...à minha irmã Mariana Azevedo Rodrigues, pela amizade, amor, carinho, companheirismo e apoio.

...a meus avós paternos Dali Moreira Rodrigues e Guiomar Ferreira Rodrigues (*in memoriam*), pelo amor, carinho, dedicação e ensinamentos que me proporcionaram em todo o tempo que convivemos juntos, valores que carregarei para toda a vida.

...a meus avós maternos Enio Batista Azevedo (*in memoriam*) e Maria Eunice Azevedo pelo amor, atenção, dedicação, convivência e carinho, exemplos para minha vida.

AGRADECIMENTOS

À **minha família**, por todo o apoio, suporte e compreensão que tiveram durante toda a minha caminhada profissional.

À **Universidade Federal de Santa Maria**, instituição a qual me proporcionou qualificação profissional, sendo a graduação em Agronomia e o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Além disso, estes cursos me proporcionaram experiências de vida, que ajudarão na construção de minha carreira e meu futuro como profissional.

Ao **Professor Dr. José Fernando Schlosser**, pelo incentivo a desenvolver-me profissional e pessoalmente. Também pela orientação, contribuição, ensinamentos e incentivo durante o período que trabalhamos juntos e principalmente pela sua amizade.

Ao **Professor Dr. Enio Marchesan**, pela amizade, confiança, incentivo e oportunidade de trabalharmos juntos mais esta vez.

Aos colegas do Laboratório de Agrotecnologia do NEMA (Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas), **Alfran Tellechea Martini, Javier Solis Estrada, Marcelo Silveira de Farias, Gustavo Oliveira dos Santos, Helena Silva Oliveira, Juan Barbieri, Iury Rüdell, Juliane Damasceno, Luis Fernando Oliveira e Teles Tronco**. Também agradeço aos amigos **André Luis Casali, Ulisses Giacomini Frantz, Gustavo Heller Nietiedt, Rodrigo Lampert Ribas e Daniel Uhry** pelos incentivos desde que ingressei no grupo.

À colega **Letícia Frizzo Ferigolo** pela ajuda e por todo o suporte na realização deste trabalho desde sua instalação.

Aos colegas e amigos do **Grupo de Pesquisa em Arroz irrigado e Uso Alternativo de Várzeas da UFSM** no qual trabalhamos conjuntamente durante toda a condução dos experimentos.

Ao **Eltair Tólio** e **Isaias Tólio**, que acreditaram no trabalho e disponibilizaram área e a infraestrutura local necessária na propriedade no município de Formigueiro. Agradeço também a toda a equipe de **funcionários da fazenda Tólio's Farm**, pela ajuda necessária para a instalação e condução do experimento.

À todos que de alguma forma, colaboraram com este trabalho.

A vocês, meu muito obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IMPLANTAÇÃO DE SOJA EM ÁREAS TÍPICAS DE CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO

AUTOR: FABRÍCIO AZEVEDO RODRIGUES
ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER
Santa Maria, 06 de Março de 2015.

Pelas dificuldades de manejo e altos custos de implantação e condução das lavouras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, atualmente busca-se novas possibilidades, como a introdução de soja nas áreas de cultivo de arroz. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do sistema de implantação de soja através de prévia escarificação do solo, uso de microcamalhões e diferentes mecanismos sulcadores em semeadora-adubadora, utilizando-se parâmetros operacionais como a demanda energética e de custos com combustível, em dois tipos de solos tipicamente utilizados com arroz irrigado. Foi utilizado o delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC), constituído por quatro repetições. Os tratamentos são resultados da interação entre os dois fatores utilizados, sendo um deles os cinco diferentes mecanismos sulcadores, e o outro as duas condições topográficas do solo (coxilha e várzea). Para a implantação no campo foi utilizado um trator 4x2 TDA e duas semeadoras-adubadoras, uma convencional e outra com sistema formador de microcamalhões no solo. Foram coletados dados de força de tração na barra, consumo de combustível, velocidade de trabalho e patinamento das rodas motrizes, posteriormente calcularam-se os resultados indiretos do desempenho da operação de semeadura no campo. Também foi realizado um estudo envolvendo os custos necessários com combustíveis na semeadura de soja, nos dois diferentes tipos de solo com base nos preços praticados para a safra atual. Os resultados de desempenho apresentam diferenças entre os dois locais pelas características no tipo e topografia do solo. No solo de várzea com cultivo sucessivo de arroz irrigado os valores de desempenho apresentam-se menores do que o solo de coxilha utilizado com pecuária e com histórico de cultivo de arroz irrigado. Os mecanismos sulcadores também influenciam na demanda energética e o desempenho da operação no campo, sendo que quando é utilizada haste sulcadora ao invés dos discos os resultados apresentam-se superiores, independente do tipo de solo. Os custos com combustíveis na operação de semeadura são afetados pelos mecanismos sulcadores e pelo tipo de solo.

Palavras-chave: Demanda energética. *Glycine max*. *Oryza sativa*. Várzea.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

EVALUATION SYSTEM DEPLOYMENT OF TYPICAL AREAS OF SOYBEAN CROP OF RICE CROP

AUTHOR: FABRÍCIO AZEVEDO RODRIGUES
ADVISER: PROF. DR. JOSÉ FERNANDO SCHLOSSER
Santa Maria, March 06th 2015.

For the management difficulties and high costs of irrigated rice deployment in Rio Grande do Sul, currently seeks new possibilities, as the introduction of soybean in the areas of cultivation of rice. The aimed of this study was evaluate the effects of soybean deployment system with previous soil scarification, using micro ridges till planter and different mechanisms furrowers in seeders-fertilizer, using operational parameters such as energy demand and fuel costs in two soil types typically used in irrigated rice. Were used a completely randomized design, with four replicates. Treatments are results of interaction among two factors, one being the five different mechanisms furrowers, and the other two topographical conditions of the soil (landscape and lowland area). For installation in the field was used a tractor 4 x 2 FWA and two seeder-fertilizers, one with a conventional system and the other whit micro ridges till in the soil. Were collected data of force on traction bar, fuel consumption, work speed and slipping of driving wheels, after was calculated the indirect results of the performance of the seeding operation in the field. A study was also performed as the necessary cost in fuel soybean seeding in two different soil types on the basis of the prices charged for the current crop. Performance results show differences between the two locations by the difference in topography and soil type. In the soil of lowland with successive cultivation of irrigated rice performance values are smaller than the landscape soil used with livestock and with an irrigated history of rice cultivation. The Furrowers mechanisms also influence in the energy demand and the performance of the operation in the field, and when row preparation is used instead of the coulters the results presented are better, independent of the type of soil. Fuel costs in the seeding operation are affected by the furrowers mechanisms and by the type of soil.

Keywords: Energy demand. *Glycine max.* *Oryza sativa.* Lowland area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de semeadura sobre camalhões.....	25
Figura 2 - Semeadora KF 8/5-A Camalhoneira.....	26
Figura 3 - Semeadora-adubadora convencional.....	28
Figura 4 - Balanço de potências de um trator agrícola de tração simples.	33
Figura 5 - Sistema de forças que atuam em um trator com TDA.	34
Figura 6 - Sistema de forças envolvidas em condição dinâmica.....	35
Figura 7 - Patinamento parcial entre as agarradeiras do pneu e o solo.	38
Figura 8 - Vista aérea da área experimental de várzea.	47
Figura 9 - Vista aérea da área experimental de Coxilha.	48
Figura 10 - Determinação da resistência à penetração com auxílio de penetrômetro.....	52
Figura 11 - Trator MF 4291 utilizado no experimento.	54
Figura 12 - Semeadoras utilizadas: a) MF 407 M45; b) KF 8/5-A Hiper Plus Camalhoneira.....	55
Figura 13 - Determinação do peso: (A) peso total; (B) peso por eixo.	59
Figura 14 - Pesagem das semeadoras (A) MF 407; (B) KF 8/5 Hiper Plus.....	60
Figura 15 - Trator com instrumentação eletrônica.	61
Figura 16 - Transferência dos dados para um microcomputador.....	62
Figura 17 - Barra de tração com célula de carga.	62
Figura 18 - Fluxômetro.	63
Figura 19 - Sensor de roda.....	64
Figura 20 - Barra de luzes.	65
Figura 21 - Determinação da resistência ao rolamento com célula de carga.	67
Figura 22 - Determinação da profundidade de trabalho dos mecanismos sulcadores.....	68
Figura 23 - Resistência média à penetração no perfil de 0 a 40 cm das áreas experimentais: (A) Coxilha e (B) Várzea.....	71
Figura 24 - Relação entre força de tração (kN) e potência de tração (kW).	80
Figura 25 - Sistema sulcador e formador de microcamalhão.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de resistência ao rolamento para diferentes estados de solos.....	41
Tabela 2 - Análise física do solo.....	50
Tabela 3 - Conteúdo de água no solo em % nos dois locais de implantação.	53
Tabela 4 - Mecanismos sulcadores utilizados nos experimentos.	57
Tabela 5 - Caracterização das semeadoras utilizadas.	60
Tabela 6 - Tratamentos utilizados nos experimentos.	70
Tabela 7 - Índice de cone até 15 cm para os dois solos.....	72
Tabela 8 - Profundidades de atuação dos mecanismos sulcadores (cm).	73
Tabela 9 - Velocidades reais de deslocamento (km.h^{-1})	74
Tabela 10 - Força de tração em kN.....	76
Tabela 11 - Força de tração em kN por linha de semeadura.....	77
Tabela 12 - Potência em tração (kW) com diferentes mecanismos.	79
Tabela 13 - Patinação das rodas motrizes (%).	81
Tabela 14 - Capacidade efetiva de trabalho (ha.h^{-1}).....	83
Tabela 15 - Consumo horário do trator (L.h^{-1}).	84
Tabela 16 - Consumo específico de combustível (g/kW.h).....	85
Tabela 17 - Consumo operacional de combustível (L.ha^{-1}).	86
Tabela 18 - Variáveis avaliadas com semeadora Camalhoneira.	87
Tabela 19 - Custos com combustível e quantidade de produto necessária para custeio.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASAE	American Society of Agricultural Engineers
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Global Positioning System
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
Kgf	Quilograma força
kN	Quilonewton
kW	Quilowatt
N	Newton
NEMA	Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas
RS	Rio Grande do Sul
s	Segundo
SI	Sistema Internacional de unidades
TDA	Tração Dianteira Auxiliar
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise de Variância (ANOVA) das variáveis	103
--	------------

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Justificativa	17
2.	OBJETIVOS	18
2.1.	Objetivo geral	18
2.2.	Objetivos específicos	18
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1.	Áreas de cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul	19
3.2.	Fatores limitantes aos cultivos em solos de várzea	20
3.3.	Compactação e resistência à penetração em solos de várzea	21
3.4.	Rompimento de camadas compactadas	24
3.5.	Drenagem do solo	25
3.6.	Sistemas de cultivo em camalhões	23
3.7.	Semeadoras adubadoras	27
3.7.1.	Mecanismos sulcadores e demanda energética de tração	28
3.8.	Tratores agrícolas	30
3.8.1.	Potência na barra de tração	31
3.9.	Dinâmica de tração em tratores agrícolas	33
3.9.1.	Transferência de peso	33
3.9.2.	Tração	36
3.9.3.	Patinação das rodas motrizes	38
3.9.4.	Resistência ao rolamento	40
3.10.	Consumo de combustível	41
3.11.	Desempenho e custo operacional de máquinas agrícolas	43
3.11.1.	Capacidade operacional de trabalho	43
3.11.2.	Custos com combustível em operações mecanizadas	44
4.	MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1.	Caracterização dos locais do experimento	46
4.1.1.	Santa Maria - Área de várzea.....	46
4.1.2.	Formigueiro – Área de coxilha	48
4.2.	Cultura implantada	49
4.3.	Determinações realizadas para caracterização dos solos	49
4.3.1.	Análise física do solo.....	49
4.3.2.	Determinação da resistência à penetração e índice de cone.....	50
4.3.3.	Conteúdo de água no solo	52
4.4.	Caracterização do trator	54
4.5.	Caracterização das semeadoras	55
4.6.	Avaliações	58
4.6.1.	Avaliações realizadas no conjunto mecanizado.....	58
4.6.2.	Pesagem do trator teste	59
4.6.3.	Pesagem das semeadoras utilizadas nos experimentos	60
4.6.4.	Instrumentação eletrônica de aquisição e dados	66
4.6.5.	Processamento dos dados	61
4.6.6.	Força de tração	61
4.6.7.	Consumo de combustível	62
4.6.8.	Sensores das rodas motrizes	63

4.6.9.	Velocidade real de deslocamento.....	63
4.6.10.	Patinamento das rodas motrizes	64
4.6.11.	Fonte de energia do <i>datalogger</i>	65
4.6.12.	Determinação da resistência ao rolamento.....	66
4.7.	Determinações referentes à operação	67
4.7.1.	Profundidade de trabalho dos mecanismos sulcadores.....	67
4.7.2.	Determinação da capacidade operacional efetiva	70
4.7.3.	Custos com combustíveis.....	71
4.8.	Procedimentos experimentais e estatísticos	69
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1.	Resistência à penetração e índice de cone	71
5.2.	Profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores	73
5.3.	Velocidade real de deslocamento	75
5.4.	Força de tração na barra e por unidade de semeadura	77
5.5.	Potência em tração	80
5.6.	Patinamento das rodas motrizes	80
5.7.	Capacidade efetiva de trabalho	82
5.8.	Consumo de combustível	83
5.8.1.	Consumo horário e específico de combustível	84
5.8.2.	Consumo operacional de combustível.....	86
5.9.	Resultados referentes à semeadora Camalhoneira	87
5.10.	Custos com combustível	89
6.	CONCLUSÕES	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
	APÊNDICE	103

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul (RS), na atualidade, detém mais de 50% da produção nacional de arroz, todavia, devido aos altos custos de formação e implantação da lavoura arrozeira, torna-se importante gerenciar esta atividade agrícola visando maximizar o lucro, ou em anos atípicos, minimizar prováveis prejuízos. Nesse contexto, culturas de sequeiro começam a ganhar espaço nas áreas de várzea em sistema de rotação ou sucessão com a cultura do arroz irrigado.

A maioria dos campos utilizados com arroz irrigado no RS, atualmente está infestada com plantas daninhas de difícil controle, sendo o arroz vermelho a principal delas e isto constitui uma grande preocupação, tanto aos produtores, quanto aos pesquisadores, empresas e demais envolvidos com a cadeia produtiva do arroz. Existem muitas vantagens na introdução de culturas em sistema de rotação com o arroz irrigado, entre estas, a melhoria no controle das plantas daninhas. A introdução de outras espécies no sistema de produção de arroz pode ajudar também na quebra do ciclo de pragas e doenças, fazendo com que o próximo cultivo com arroz na mesma área, proporcione menores custos na condução da lavoura, como diminuição do uso de agrotóxicos e fertilizantes.

No contexto de rotação e sucessão de culturas em áreas de várzeas, culturas como a soja e o milho são os mais adotados pelos produtores. Além de adaptarem-se às condições de solo e clima da metade sul do RS, o momento atual remete a uma boa valorização desses produtos no mercado. A baixa rentabilidade do arroz nos últimos anos acaba por conduzir a maioria dos produtores deste cereal a procura de novas alternativas, para manterem-se na produção. A diversificação da propriedade, incorporando outros produtos para comercialização e não somente o arroz, é um desafio para a maioria dos produtores.

Tratando-se especificamente da cultura da soja, essa traz outros benefícios para a cultura do arroz, como a fixação biológica do nitrogênio atmosférico pelos rizóbios associados às raízes. Também gera a possibilidade da introdução de algumas espécies em sucessão no período de inverno. Neste caso, a soja possibilita a implantação de espécies forrageiras em áreas de várzeas, incrementando a renda da propriedade rural, permitindo o uso durante a entressafra com a pecuária, e mais especificamente, no RS a pecuária de corte em sistema extensivo de pastejo,

podendo constituir-se em mais uma alternativa de renda para áreas tipicamente utilizadas com arroz irrigado.

A implantação de culturas alternativas ao arroz irrigado, principalmente no caso da soja, permite ainda deixar o solo parcialmente preparado para a semeadura do arroz no próximo ano de cultivo. Para que isso possa ser viabilizado são necessários alguns requisitos, como realizar a colheita da soja com o solo seco ou com uma condição de baixa umidade que não proporcione a formação de rastros das máquinas nas áreas.

Devido às características dos solos de várzea, como a má drenagem, pouca porosidade do solo, presença de camada compactada ou adensada e horizonte impermeável, torna difícil uma boa implantação e estabelecimento das culturas de sequeiro nestes solos. O aumento da densidade do solo ocasiona aumento na resistência à penetração das raízes das plantas que ficam confinadas numa camada pouco espessa, explorando, por isto, um pequeno volume de solo. Como consequência disso, ocorre uma menor infiltração de água no perfil e há saturação do solo, dificultando mais a sobrevivência das espécies de sequeiro, não tolerantes ao encharcamento. Pela baixa porosidade e alta resistência à penetração na camada adensada, os limites entre o excesso e a falta de água nos solos de várzeas estão muito próximos.

Chuvas intensas e em excesso durante o ciclo das culturas de sequeiro acabam gerando deficiência de oxigênio para as raízes. No caso da soja, diminui a efetividade dos nódulos dos rizóbios fixadores do nitrogênio atmosférico. Já no caso do milho que tem sua fase mais crítica entre a germinação e o estágio de três folhas, a inundação nesta fase por mais de 24 horas pode causar grandes prejuízos às plantas, como explicado por Silva e Parfitt (2004).

Atualmente, buscam-se soluções para uma melhor adaptação das culturas de sequeiro em áreas de várzeas e típicas do cultivo de arroz. A partir destes propósitos, poderá ser melhorado o sistema de implantação de culturas de sequeiro em sucessão ao arroz irrigado. Assim, deve-se buscar soluções que possibilitem realizar dois processos imprescindíveis nos solos de várzeas, a descompactação e aumento na infiltração de água no solo, utilizando a própria semeadora. Por meio disso, poderão ser reduzidos os custos com preparo de solo e escarificação da área, viabilizando ainda mais o sistema.

A utilização de mecanismos sulcadores adaptados a uma semeadora é a alternativa que pode ser adotada. Estes podem proporcionar diferentes demandas de energia na tração e com isso alteração no custo de implantação em cada sistema. Ainda, a escarificação do solo previamente à semeadura implica em maiores custos, pois além de ser uma operação adicional, é um trabalho de elevada demanda energética resultando em maior gasto de combustível.

1.1. Justificativa

O aumento da produtividade das culturas vem associado aos avanços tecnológicos nas técnicas de manejo e também na melhoria da eficiência dos produtores. Nos mais diversos setores, a economia vive um período onde a otimização dos recursos é de fundamental importância na produção, fato que não é diferente na agricultura. Os produtores devem conhecer detalhadamente seus custos de produção, podendo assim maximizar os recursos disponíveis para seu empreendimento, visando fatores que propiciem ganho de produtividade aliado a resultados econômicos satisfatórios.

Na atualidade está sendo muito discutida a alternância ou substituição da cultura do arroz irrigado pelo cultivo de soja em áreas de várzeas. Segundo dados do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), na safra 2013/2014 o plantio de soja em áreas de várzeas ocupou em torno de 250.000 hectares. O mesmo Instituto prevê que esse número deverá chegar a 500.000 hectares em 2015. Vários são os fatores que estão contribuindo para a implantação de soja em áreas anteriormente ocupadas com arroz irrigado. Alguns dos principais fatores são: a alta infestação de plantas daninhas de difícil controle nas lavouras arrozeiras e a baixa rentabilidade apresentada pela cultura do arroz nos últimos anos.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva estudar parâmetros de desempenho em diferentes formas de implantação da cultura da soja em áreas típicas de cultivo com arroz irrigado, criando informação e conhecimento para auxiliar os agricultores nas tomadas de decisões referentes à escolha dos sistemas de semeadura de soja.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é avaliar os efeitos do sistema de implantação de soja através de diferentes mecanismos sulcadores, área previamente escarificada e uso de microcamalhões, com duas semeadoras-adubadoras adequadas a este trabalho, utilizando-se parâmetros operacionais como a demanda energética e de custos com combustível, em dois tipos de solos da região central do Rio Grande do Sul tipicamente utilizados com arroz irrigado.

2.2. Objetivos específicos

a) Medir a resistência à penetração e índice de cone nos dois tipos de solo com manejos distintos, como a prévia escarificação do solo e semeadura direta;

b) Medir o consumo de combustível do trator operando nas diferentes configurações de semeadura e tipos de solo;

c) Determinar o patinamento das rodas motrizes do trator na operação de semeadura com diferentes mecanismos sulcadores nas áreas de manejo diferenciadas;

d) Avaliar a capacidade operacional efetiva do conjunto mecanizado (trator-semeadora) operando em diferentes configurações de mecanismos sulcadores, tipos de solo e sistemas de implantação;

e) Determinar qual sistema de implantação (área escarificada, semeadura direta ou microcamalhão) proporciona os menores custos com combustível na implantação de soja em áreas típicas de cultivo de arroz irrigado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Áreas de cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul

No Rio Grande do Sul as áreas de várzeas ocupam em torno de 5,5 milhões de hectares, o que representa cerca de 20% do território gaúcho. De toda esta área, em torno de um milhão de hectares são ocupados anualmente com a cultura do arroz irrigado, mas cerca de três milhões de hectares já foram em algum momento cultivados com arroz e possuem estrutura para tal, MARCHESAN (2013). Na safra atual, segundo IRGA (2015), foi semeado em torno de 1,12 milhão de hectares com arroz irrigado. No levantamento do mesmo instituto para a safra 2013/2014 foi relatado um aumento de 9% na área de soja, em áreas de várzeas, em relação à safra anterior, que foi cultivada em pelo menos 300 mil hectares no solo gaúcho. Theisen et al. (2012), relatam que tem ocorrido expansão no cultivo de soja na metade sul do estado, e a cultura está ocupando não somente áreas de várzeas mas também áreas altas, conhecidas como coxilhas, alcançando uma marca de em torno de 700 mil hectares.

O arroz irrigado no RS é cultivado tanto em áreas de várzeas, quanto em áreas de coxilhas. Segundo Embrapa (2005), estes são solos adjacentes às várzeas, situados em patamares mais elevados com relevo suave ondulado a plano. Portanto as coxilhas estão a cotas mais elevadas e possuem melhor drenagem que as várzeas, e são típicas da formação do bioma Pampa. O cultivo de arroz é bem difundido nestas áreas, principalmente na região da Fronteira Oeste, que possui a maior área cultivada com arroz irrigado, com destaque para os municípios de Uruguaiana e Itaqui (BEUTLER et al., 2012).

O cultivo de soja em áreas de várzeas e típicas de produção de arroz irrigado está se tornando uma alternativa para a sustentabilidade do agroecossistema nestes locais (MARCHESAN et al., 2013). O principal sistema de utilização dos solos de várzea do Rio Grande do Sul baseia-se no cultivo de arroz irrigado e na pecuária de corte, que, com regime extensivo de produção, acaba apresentando baixos índices de

produtividade, o que justifica a importância da rotação com outras culturas (MACHADO et al., 1996; MARCHEZAN et al., 2002).

Sabe-se que o cultivo continuado de uma mesma espécie ou a utilização de um mesmo sistema por um longo período conduz à autolimitação, ou seja, os resultados acabam diminuindo a cada ciclo. De acordo com Thomas, Pires e Menezes (2000), a rotação de culturas nos solos de várzea é uma prática recomendada para elevar a produtividade do arroz. Com isso podem ser gerados efeitos diretos, como quebrar o ciclo de pragas, doenças e plantas daninhas, as quais prejudicam o desenvolvimento do arroz ou efeitos indiretos na melhoria das condições químicas e físicas do solo.

3.2. Fatores limitantes aos cultivos em solos de várzea

Segundo Gomes et al. (2002), solos de várzeas caracterizam-se por apresentar topografia plana, com perfil pouco profundo, e presença de um horizonte impermeável, que associado à ocorrência de uma camada compactada, próxima à superfície, dificulta o desenvolvimento de culturas de sequeiro. Esses solos hidromórficos, pelas suas características físicas, apresentam dificuldades de drenagem.

Para que as plantas possam expressar o seu potencial produtivo é preciso que o solo apresente condições favoráveis ao desenvolvimento, pois o desempenho destas está condicionado às características físicas e de estrutura. Machado et al. (1997) relata que os atributos físicos dos solos de várzeas constituem-se como os principais problemas na viabilização da implantação de culturas de sequeiro nestas áreas. A alta densidade, a baixa porosidade, a relação micro/macroporos, a baixa capacidade de armazenamento de água, a condutividade hidráulica reduzida e a baixa velocidade de infiltração de água no perfil do solo, são os principais fatores.

Na implantação de culturas de sequeiro em áreas de várzea, o efeito da compactação e adensamento é muito mais impactante e perceptível nas plantas, e se constitui como limitante para o crescimento radicular. Os valores de porosidade de aeração, que limitam um adequado crescimento radicular, nesses solos são mais elevados (BAMBERG et al., 2009). As raízes das plantas ao encontrarem uma zona de impedimento, começam a emitir sinais hormonais à parte aérea, que interrompe

seu crescimento. Assim inicia-se a brotação excessiva de raízes laterais que se mantêm confinadas em um pequeno volume de solo. Ocorrendo um aumento na resistência do solo na camada subsuperficial, as raízes não conseguem desenvolver-se satisfatoriamente em profundidade no perfil. As plantas, ao explorarem um volume reduzido de solo, ficam sujeitas à subnutrição, mesmo existindo quantidades adequadas de nutrientes. Assim, acabam ficando suscetíveis ao déficit hídrico e para sobreviver, estas plantas precisam gastar mais energia.

3.3. Compactação e resistência à penetração em solos de várzea

A resistência à penetração das raízes está estritamente relacionada com a densidade do solo. Devido ao tráfego de máquinas nas operações de preparo do solo, ocorre adensamento e uma compactação subsuperficial do solo. Nesse contexto Pedrotti et al. (2001a), citam que a intensificação do uso de máquinas e implementos agrícolas pesados, utilizados para o preparo convencional dos solos de várzea, agravam ainda mais os problemas de estrutura já existentes. Márquez (2004) complementa que a compactação do solo se intensifica por consequência do patinamento das rodas motrizes de tratores em operação.

A cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, geralmente é implantada em solos que possuem uma camada inferior de baixa permeabilidade, sendo esta muito importante por ocasião da irrigação, que na maioria das lavouras é feita com lâmina d'água em superfície (irrigação por inundação). Ainda, o cultivo continuado do arroz em uma mesma área leva à autolimitação da cultura, isto é, acaba impedindo a continuidade do cultivo devido ao aumento da infestação por plantas daninhas, especialmente o arroz vermelho. Pedrotti et al. (2001a) ainda complementam, que em estudos de avaliação da compactação de um planossolo, a camada compactada foi encontrada na profundidade de 10-20 cm. Esta é denominada popularmente como "pé-de-grade", por estar associada aos sistemas que empregam no preparo convencional do solo.

A resistência mecânica à penetração em uma área agrícola pode vir a comprometer a sua produtividade por impedir ou limitar o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, da parte aérea (PEDROTTI et al., 2001b). Para a

implantação de culturas como o milho e a soja em áreas de várzea é interessante que sejam rompidas as camadas adensadas ou compactadas impeditivas ao crescimento radicular. As variações nos valores críticos de resistência de solo à penetração das raízes estão associadas a diversos fatores, como a cultura e arquitetura das plantas, a textura do solo e o sistema de manejo empregado no solo (VIZZOTTO, 2014). Segundo Merroto e Mundstock (1999), a resistência à penetração, crítica ao desenvolvimento de raízes de diversas plantas situa-se entre 1 MPa e 3,5 MPa. De modo geral, a literatura tem admitido que o valor de 2,0 MPa tem sido aceito como limite, apesar de que as diferentes espécies de plantas apresentam competências diferenciadas para penetrar o solo (TORMENA, SILVA e LIBARDI, 1998).

Verneti Junior et al. (2009), afirmam que a cultura da soja, por apresentar um sistema radicular pivotante, é muito afetada pela presença de camadas compactadas, e que normalmente ocorrem em solos de várzeas. Estes, testando a sucessão de culturas por cinco anos nesses solos, observaram que tanto no primeiro, quanto no segundo ano de cultivo, a produção de grãos da soja alcançou níveis destacados. Isto ocorreu devido à escarificação realizada antes da instalação do experimento, e que os efeitos devem ter perdurado durante as safras. Assim Gomes et al. (2002), afirmam que a descompactação do solo, quando realizada com baixos teores de água, favorece a produtividade da soja.

Drescher et al. (2012), avaliando a resistência a penetração em um Latossolo, concluiu que, em suas avaliações houve aumento nos valores de resistência à penetração até aproximadamente 15 cm de profundidade. Abaixo dessa camada, os resultados mantiveram-se aproximadamente constantes, apresentando redução a partir dos 36 cm. Os mesmos autores afirmam em seus estudos, que a utilização de semeadora com haste sulcadora e disco de corte foi eficaz na redução da resistência do solo à penetração mecânica, especialmente na camada de 7-15 cm. Esse comportamento pode ser considerado benéfico para a melhoria da estrutura do solo, uma vez que essa camada coincide com aquela de maior restrição ao crescimento radicular. Desta forma, os resultados obtidos sustentam a hipótese de que o emprego de elementos sulcadores, do tipo haste, projetada para atuar junto à camada compactada em semeadoras de plantio direto, apresenta potencial para diminuir os efeitos da compactação superficial do solo.

3.4. Rompimento de camadas compactadas

Para as culturas de sequeiro, a oxigenação do solo é um fator limitante para o seu bom desenvolvimento e produção. Portanto as práticas de descompactação do solo muitas vezes são necessárias para se obter sucesso nos cultivos. Camara e Klein (2005) citam que a operação de descompactação do solo tem por objetivo aumentar a porosidade, reduzir a densidade e elevar a estabilidade de seus agregados. Especificamente no caso dos solos cultivados com arroz irrigado, estes apresentam uma camada de solo compactada próximo à superfície, e uma camada impermeável logo abaixo. Esta camada compactada precisa ser vencida pelas plantas de sequeiro para que haja um bom aprofundamento das raízes em busca de água e nutrientes.

Os problemas gerados pela compactação do solo afetam não somente as plantas, mas também influenciam o desempenho das máquinas e implementos agrícolas (BELLÉ, 2013). A operação de descompactação do solo geralmente é uma operação de alto custo, devido principalmente aos grandes esforços de tração de implementos destinados a este fim, o que ocasiona grandes consumos de combustível. Márquez (2004) cita que para os escarificadores atuarem com eficiência devem trabalhar a uma profundidade de aproximadamente 10 cm além da camada compactada que se deseja romper.

Para o rompimento de camadas compactadas são utilizados escarificadores ou subsoladores. De acordo com Boller (2001), a escarificação é uma operação de mobilização do solo até uma profundidade máxima de 0,30 m, e realizada com implemento dotado de hastes denominado escarificador. Por sua vez, a subsolagem é uma operação também de descompactação, só que em maiores profundidades que ultrapassam 0,30 m. Segundo este mesmo autor, os subsoladores são equipamentos mais robustos e reforçados que os escarificadores, possuindo hastes com maior espaçamento, portanto conseguem penetrar no solo em maiores profundidades.

Toda a operação de preparo de solo é dependente das condições de umidade. Nesse sentido, Machado et al. (1997), relatam que essas condições são importantes nas operações, pois sua variação regula a intensidade com que se manifestam as forças físicas de adesão e coesão, que atuam no interior do solo. E ainda, entre os

fatores que podem influenciar a relação máquina-solo, está a velocidade de deslocamento.

3.5. Drenagem do solo

A drenagem consiste na remoção do excesso de água presente no solo permitindo a sua aeração, e com isso favorece o crescimento e desenvolvimento de plantas não tolerantes ao encharcamento (SILVA e PARFITT, 2004). A prática da drenagem é muito comum nas áreas de várzeas, até mesmo anteriormente a implantação da cultura do arroz. De acordo com a Embrapa (2005), em solos cultivados com arroz irrigado, a rede que viabiliza a retirada da água é tão importante quanto à rede de distribuição. Para a realização da semeadura dentro da época recomendada é preciso que seja feito o preparo do solo antecipadamente, permitindo boas condições para implantação da cultura.

Segundo Silva e Parfitt (2004), no Rio Grande do Sul, normalmente, as áreas de várzeas já possuem uma infraestrutura montada para o cultivo de arroz irrigado, sendo composta por canais de irrigação, drenos, estrutura viária, etc.. Entretanto, tendo em vista a maior exigência em drenagem para as culturas de sequeiro, essa estrutura precisa ser adequada. Assim a melhoria nos sistemas de drenagem superficial serve para que se propicie melhores condições aos cultivos alternativos ao arroz neste ambiente (SILVA e PARFITT, 2004). Estes mesmos autores citam que dentre as diversas espécies produtoras de grãos, o milho, o sorgo e a soja são as principais opções para a produção em áreas de várzeas em rotação com o arroz irrigado.

As condições de umidade do solo em excesso podem ocasionar grandes danos às plantas, pois uma condição de saturação do solo é adversa para a maioria das plantas cultivadas. Estas situações remetem ao fato de deficiência de oxigênio no solo, com isso comprometendo o transporte de nutrientes através do sistema radicular, tornando as plantas mais suscetíveis à deficiência nutricional e também doenças fúngicas. Silva et al. (2004), relatam que a extensão de danos da saturação do solo depende de alguns fatores, como, a duração do período de inundação, o

estádio de desenvolvimento da planta, a espécie cultivada e as condições ambientais, como temperatura e conteúdo de dióxido de carbono.

3.6. Sistemas de cultivo em camalhões

O cultivo em áreas de várzeas com culturas de sequeiro como o milho e a soja, podem necessitar outros requisitos além de uma boa drenagem superficial. Nesse contexto o sistema de cultivo em camalhões ou sistema sulco-camalhão, pode ser utilizado para facilitar a drenagem ou possibilitar o uso de irrigação superficial. Márquez (2001) define os camalhões como sulcos paralelos formando um leito de sementeira elevado, proporcionando que o sistema radicular das plantas permaneça em um local mais alto quando a umidade for excessiva. O mesmo autor complementa que na parte superior do camalhão a temperatura do solo é maior do que na base, com isso possibilitando uma germinação mais rápida das sementes.

De acordo com Silva et al. (2007), a rede de drenos existente nas áreas de várzeas na maioria das vezes não é suficiente para retirar o excesso de água. O sistema sulco-camalhão (Figura 1) consiste na estruturação da lavoura para a irrigação por sulcos, obtendo-se, ao mesmo tempo a drenagem e o cultivo das plantas sobre os camalhões formados entre os sulcos.



Figura 1 - Sistema de sementeira sobre camalhões.

Para a construção dos camalhões, Silva et al. (2006) citam que podem ser utilizadas máquinas especiais conhecidas como camalhoneiras, equipadas com sulcadores de hastes do tipo “pé-de-pato”, ou com sistemas de discos. Ainda podem ser utilizadas máquinas configuradas para elaborar canteiros, as denominadas encanteiradoras de enxadas rotativas com formatador de canteiros. Segundo Silva et al. (2008), para áreas muito planas podem ser construídos camalhões de base larga, estes consistem na construção de camalhões largos e em sequência. Os camalhões de base larga podem ser construídos com arados de aiveca, arados de discos ou aplainadoras (plainas niveladoras).

Atualmente no Brasil, existe uma empresa que fornece semeadoras para cultivo de soja e milho em áreas de várzeas (Figura 2), e que constrói camalhões simultaneamente à operação de semeadura. As máquinas são disponibilizadas em três modelos comerciais. Os camalhões são construídos por meio de hastes com aivecas presas ao chassi da máquina e cada camalhão construído comporta duas linhas de semeadura distanciadas 0,50 m uma da outra.



Figura 2 - Semeadora KF 8/5-A Camalhoneira.

3.7. Semeadoras-adubadoras

A semeadura é o processo de deposição das sementes no solo agrícola previamente preparado ou não, que possibilite a germinação e a emergência das plantas (MÁRQUEZ, 2004). A semeadura é a atividade mais importante na implantação das culturas no campo. Este processo deve ser executado com extrema atenção, pois é a partir deste que se garante a germinação para estabelecer o estande inicial de plantas, o que pode determinar o potencial produtivo da lavoura.

Segundo Márquez (2001), a distribuição das sementes no solo e o recobrimento das mesmas, feito pelas semeadoras mecânicas, superam em precisão a mão do homem. Delafosse (1986) define as semeadoras como máquinas construídas para semear grãos com eficiência em quantidades e profundidades desejadas.

Vale (2007) designa semeadora como máquinas destinadas a dosar e colocar no solo as sementes. Ainda complementa que o termo semeadora-adubadora é utilizado para aquelas máquinas que tem em sua função dosar e colocar no solo numa mesma operação as sementes e os fertilizantes. E estes tem a necessidade de serem depositados em profundidades adequadas e com o devido fechamento do sulco.

De acordo com a ABNT (1994), a classificação das semeadoras é segundo a forma de distribuição de sementes, estas podem ser de precisão ou de fluxo contínuo. As semeadoras de precisão são máquinas que distribuem as sementes no sulco de semeadura uma a uma ou agrupadas, em linha e intervalos regulares de acordo com a densidade estabelecida. Já as semeadoras de fluxo contínuo são as máquinas que distribuem de forma contínua as sementes, principalmente sementes miúdas que requerem menores espaçamentos entre si.

As semeadoras (Figura 3) são basicamente constituídas por ferramentas acopladas a um chassi. Siqueira (2007) cita que as linhas das semeadoras de plantio direto são constituídas por unidade de corte de palha, mecanismos de abertura de sulco para fertilizantes, sistemas de abertura de sulcos para sementes, sistema de controle de profundidade dos sulcos de sementes e sistema cobridor e compactador de solo sobre as sementes. Atualmente são diversos os modelos e tamanhos de

semeadoras ofertadas pelo mercado, podendo ser variável o número de componentes e de acessórios disponíveis em cada máquina.



Figura 3 – Semeadora-adubadora convencional.

3.7.1. 3.7.1. Mecanismos sulcadores e demanda energética de tração

A abertura de sulcos para a colocação dos fertilizantes e das sementes no solo é realizada por meio de sulcadores. Estes elementos podem ser de vários tipos, como, de discos duplos, de discos ondulados ou hastes sulcadoras. Em relação aos discos duplos, as hastes alcançam uma maior profundidade de trabalho, causando mobilização do solo, exigindo maior esforço de tração e conseqüentemente maior potência necessária para a tração.

Na região Sul do Brasil, a maioria das áreas utilizadas com culturas de grãos ocorre integração lavoura-pecuária, com isso há uma maior probabilidade da ocorrência de solos compactados. Juntamente com a entrada da pecuária na estação de inverno, ocorre maior frequência nas precipitações, aumentando a umidade do solo. Nesse sentido, Márquez (2004), complementa que o pastoreio animal em condições úmidas do solo é grande causador de compactação. Estes fatores favorecem a compactação do solo, prejudicando o desenvolvimento radicular e demandando maior potência para tracionar implementos de ação no solo. Assim, de acordo com Veruschka e Filho (2006), estudando a demanda de potência de

semeadoras em áreas de integração lavoura-pecuária, concluíram que o pisoteio de animais nessas áreas altera as características físicas do solo, sendo esse efeito mais acentuado em condições de pastejo com solo úmido. Segundo os autores, a força de tração, a potência requerida na barra de tração pela semeadora e a potência necessária no motor do trator foram maiores quando foi utilizado o mecanismo sulcador tipo haste. Enquanto isso a velocidade de deslocamento foi maior quando se utilizou o mecanismo sulcador de discos.

Tratando-se de mecanismos para abertura de sulco de semeadura em sistema de plantio direto, Silva (2003), cita que o uso de hastes sulcadoras permite a deposição do fertilizante a maiores profundidades. Isso pode estimular o aprofundamento das raízes, tendo em vista que os nutrientes, em semeadura direta, tendem a se concentrar na superfície do solo e, desse modo, minimizar os efeitos da compactação sobre o crescimento das plantas. Arf et al., (2008) complementam que o uso de haste sulcadora, propicia condições mais adequadas para o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, permitindo às plantas explorar um maior volume de solo.

Porém, o emprego de hastes sulcadoras, em substituição aos discos, aumenta o requerimento de força de tração e o consumo de combustível, diminuindo a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora, comparado o mesmo número de linhas. Segundo Santos, Volpato e Tourino (2008) ao compararem uma semeadora convencional, trabalhando sobre solo previamente preparado, concluem que, a demanda de tração é maior para as de plantio direto considerando semeadoras de mesma capacidade.

Neto et al. (2004), trabalhando em área de plantio direto com três velocidades de deslocamento (5,6; 8,3 e 10,8 km.h⁻¹) e três coberturas de solo, verificaram que a força de tração foi maior para a velocidade de 10,8 km.h⁻¹, o consumo horário de combustível não diferiu em função do tipo de cobertura do solo, somente em função da velocidade, sendo maior na velocidade de 10,8 km.h⁻¹ e menor em 5,6 km.h⁻¹.

Modolo et al. (2004) estudando duas velocidades (5,2 e 8,4 km.h⁻¹), concluíram que o incremento na velocidade de deslocamento aumentou a potência média na barra de tração. Entretanto, a variação da velocidade de deslocamento não influenciou os parâmetros: força de tração média na barra, profundidade de semeadura e uniformidade de distribuição de sementes.

Bortolotto et al. (2006), em experimentos com uma semeadora de nove linhas comparando velocidades de deslocamento (4,7 a 7,2 km.h⁻¹) em semeadura de soja, observou que a demanda de força de tração total e demanda de força de tração por linha foi maior nas velocidades mais altas.

A operação de semeadura no sistema plantio direto utilizando hastes sulcadoras pode apresentar alguns problemas. Siqueira (2007), cita que podem ocorrer deficiências quanto à cobertura e compactação de solo sobre as sementes. As hastes mais largas abrem demasiadamente o sulco, reduzindo a cobertura vegetal sobre o terreno e prejudicando a implantação e estabelecimento das culturas em função de maiores perdas de água por evaporação. Hastes mais estreitas constroem sulcos menores e mantêm mais palha na linha.

Reis et al. (2004) complementam que, a necessidade de utilizar hastes sulcadoras, ou facões, para romper a camada superficial e penetrar no solo aumenta a exigência de tração das semeadoras de plantio direto. As hastes promovem maior mobilização do solo nos sulcos de semeadura, em relação aos discos duplos, elevando a incidência de plantas daninhas e a ocorrência de erosão, porém são mais baratas e exigem menor pressão para penetração no solo. Os mesmos autores citados anteriormente complementam que, quando se utilizam diferentes mecanismos de abertura de sulco, são esperadas diferenças na relação solo-semente e na qualidade da semeadura. E ainda, pela diversidade dos tipos de solos encontrados no país, é muito difícil que uma máquina possibilite em todos os casos, uniformidade e um bom contato solo-semente.

3.8. Tratores agrícolas

O trator é uma máquina complexa e também versátil, podendo ser utilizada em várias operações até mesmo em áreas urbanas, como no transporte de reboques, comboios, depósitos de líquidos, entre outros. No campo, os tratores já tem sua função bem reconhecida, executando atividades desde preparo do solo para o plantio, e até em alguns casos acionando máquinas especiais para a colheita. A utilização do trator, dentro da propriedade agrícola, é muito diversificada, e busca-se uma otimização no seu desempenho, pois o tráfego demasiado é um fator negativo para o

solo agrícola, podendo causar compactação e aumento no consumo de energia (VALE et al., 2011).

Segundo Gabriel Filho et al. (2010) uma das principais funções dos tratores agrícolas é transformar a energia contida no combustível e fornecê-la, através da barra de tração, para tracionar máquinas e implementos agrícolas. Já, segundo Schlosser (2001), um trator pode ser definido como uma unidade móvel de potência, em que se acoplam implementos e máquinas com diversas funções, tendo suas características voltadas para o uso nas operações agrícolas.

Vários são os fatores que afetam o desempenho operacional dos tratores, e conseqüentemente a força de tração. Yanai et al. (1999), citam que a pressão de insuflagem, a carga sobre o rodado motriz, o tipo de construção do rodado, a configuração da banda de rodagem, a superfície e condição do solo, são exemplos de fatores que contribuem para o rendimento dessas máquinas.

Há uma série de fatores que estão ligados ao rendimento do trator na barra de tração. Em primeiro lugar está a potência disponível no motor, em seguida, o peso incidente em suas rodas motrizes, o tipo de engate do implemento que está utilizando e a superfície do solo que se está trabalhando. Além da relação solo-pneu, que através do patinamento é responsável pelo consumo de uma parte muito importante desta potência disponível no eixo das rodas motrizes e que é perdida (SCHLOSSER, 1996).

3.8.1. 3.8.1. Potência na barra de tração

A quantidade de trabalho realizada por uma máquina em uma unidade de tempo é definida como potência (MIALHE, 1980). O mesmo autor cita que para se determinar a potência desenvolvida ou requerida na barra de tração de um trator em uma operação devem ser conhecidos dois elementos: a força de tração na barra e a velocidade. A potência no sistema internacional de unidades (SI) é expressa em quilowatts (kW), mesmo que tecnicamente esteja muito difundido o cavalo vapor (cv) (MÁRQUEZ, 1990). A relação entre a distância percorrida e o tempo gasto resulta na velocidade, portanto a potência é expressa pela seguinte equação (equação 1):

$$\text{Potência} = \text{Força} \times \text{Velocidade}$$

(1)

Em trabalhos a campo com máquinas agrícolas, Frantz (2011) cita que a determinação da potência de tração pode ser realizada por meio da medição do esforço de tração, por meio de instrumentações eletrônicas de aquisição em tempo real de dados como esforço de tração, patinamento e velocidade de avanço.

Linares, Catalán e Méndez (2006) relatam que a potência que o motor fornece para equilibrar a potência requerida para cada condição de trabalho do trator se decompõe da seguinte maneira (equação 2):

$$N = N_t + N_\delta + N_k + N_B$$

(2)

Onde:

N - potência subministrada pelo motor;

N_t - potência perdida na transmissão;

N_δ - potência perdida por patinamento das rodas motrizes;

N_k - potência perdida para vencer a resistência ao rolamento;

N_B - potência que está disponível na barra de tração.

Considerando a equação anterior e observando o caminho da potência do motor em um trator operando com implemento na barra de tração, primeiramente há redução de potência pelo efeito da relação de transmissão. Em segundo a resistência ao rolamento do local que se trafega, que produz uma força tangencial ao deslocamento das rodas e por fim o patinamento acaba por reduzir a velocidade de deslocamento.

Sabe-se que nos tratores a potência do motor não é transmitida integralmente às rodas, pois durante este caminho ocorrem muitas perdas. A primeira perda que ocorre está na diminuição da rotação do motor pela transmissão. Nesse caminho há perdas por atrito e contato entre engrenagens que, segundo Márquez (1990), podem variar de 7 a 13%. As perdas variam de acordo com cada tipo de transmissão, Linares, Catalán e Méndez (2006), relatam que podem variar de 10 a 15%. Para

transmissões hidrostáticas as perdas são maiores do que em transmissões mecânicas, pelo fato de ocorrer perda de carga hidrodinâmica. No caminho até a obtenção da potência líquida na barra de tração ainda ocorrem perdas pelo efeito da resistência ao rolamento e o patinamento dos rodados. A Figura 4 ilustra como ocorre o balanço de potência em um trator agrícola de tração simples, considerando uma potência do motor de 85,5 cv e resultando em 54,8 cv de potência de tração.

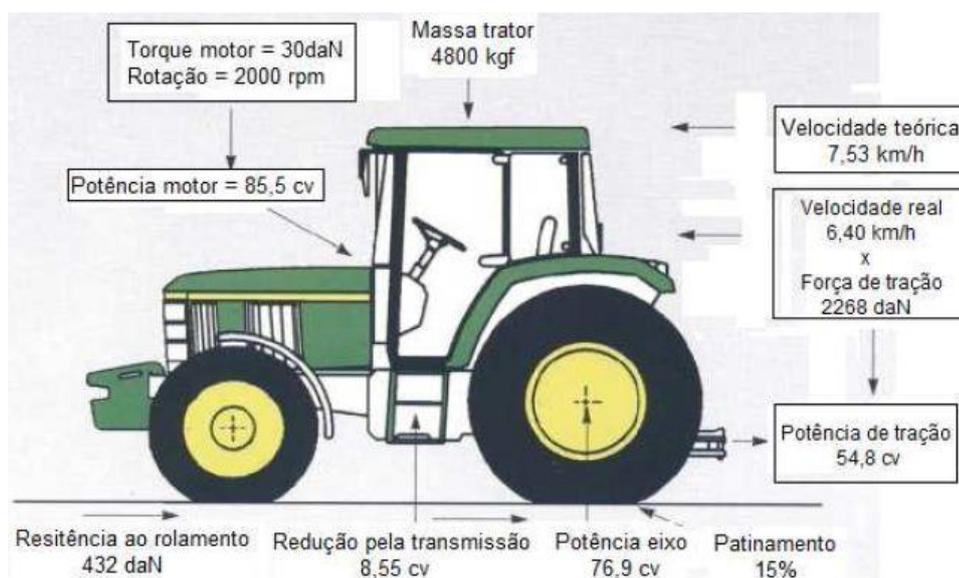


Figura 4 - Balanço de potências de um trator agrícola de tração simples.

Fonte: Adaptado de Márquez (2012).

3.9. Dinâmica de tração em tratores agrícolas

3.9.1. Transferência de peso

De acordo com Linares, Catalán e Méndez (2006), transferência de peso é a diminuição do peso de um eixo em benefício de outro. Quando a força na barra tem inclinação, o peso dinâmico, ou seja, a transferência de peso aumenta pela componente vertical da força de tração. Os mesmos autores citam que os fatores que

influenciam na transferência de peso do eixo dianteiro para o traseiro são os seguintes:

- Força de tração exercida na barra;
- Altura da barra de tração ou do ponto de engate;
- Distância entre eixos do trator;
- Ângulo de inclinação da força de tração.

O peso dinâmico sobre os eixos se modifica continuamente em função das condições de trabalho. Schlosser (1996) relata que quando o trator está em movimento e exerce uma força de tração na barra é estabelecido um equilíbrio dinâmico entre as forças aplicadas e as resistências produzidas. A capacidade de tração depende de que o solo resista às forças tangenciais, e esta capacidade é função do peso total do trator.

Conforme Márquez (2012), nos tratores, o torque produzido no motor chega multiplicado às rodas traseiras em função da relação de transmissão. Esse torque aplicado nas rodas exerce uma força tangencial que encontra apoio no solo e permite vencer a resistência ao rolamento fazendo o trator avançar realizando um esforço de tração. Ainda conforme o autor, a carga dinâmica do conjunto trator-implemento e o esforço de tração permitem montar um polígono de forças com as reações do solo nas rodas dianteiras e traseiras. Na Figura 5 pode ser visualizado o polígono das forças envolvidas.

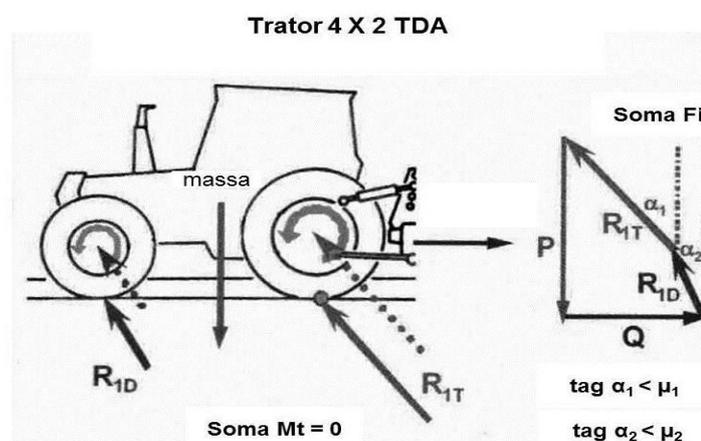


Figura 5 - Sistema de forças que atuam em um trator com TDA.

Fonte: Adaptado de Márquez (2012).

O cálculo da distribuição de peso pode ser feito por meio de equações de equilíbrio das forças e dos momentos. Esses componentes de força e momentos da condição dinâmica de um trator exercendo tração na barra podem ser visualizados na Figura 6.

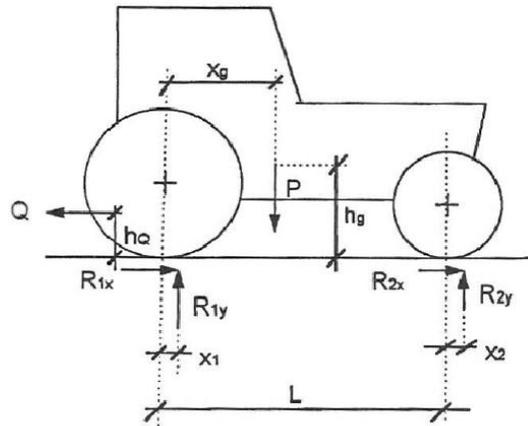


Figura 6 - Sistema de forças envolvidas em condição dinâmica

Fonte: Linares et al. (1996).

A dinâmica do sistema de forças de um trator durante a realização de uma força de tração pode ser demonstrado através de equações. Conforme Linares et al. (1996), as equações (3 a 6) para o cálculo da transferência de peso entre os eixos na condição dinâmica em tração são:

$$\sum F=0 \begin{cases} P=R_{1y} +R_{2y} \\ Q=R_{1x}+R_{2x} \end{cases}$$

Equilíbrio de forças (3)

$$\sum Mo=0$$

$$P \cdot X_g - R_{1y} \cdot X_1 - R_{2y} \cdot (L+X_2) - Q \cdot h_Q = 0$$

Equilíbrio de momentos (4)

$$\begin{cases} R_{2y} = \frac{P \cdot X_g}{L} - \frac{M_K}{L} - \frac{Q \cdot h_Q}{L} \\ R_{1x} = \frac{P \cdot (L - X_G)}{L} + \frac{M_K}{L} + \frac{Q \cdot h_Q}{L} \end{cases}$$

Reação das forças verticais (5)

$$M_K = R_{1y} \cdot X_1 + R_{2y} \cdot X_2$$

Resistência ao rolamento (6)

Em que:

P - peso do trator

Q - força horizontal de tração

L - distância entre eixos

R_{1x} e R_{x2} - reações horizontais do solo

R_{1y} e R_{2y} - reações verticais do solo

hg - altura do centro de gravidade

X_g - abscissa do centro de gravidade

h_Q - altura do ponto de engate

M_k - resistência ao rolamento

ΣF - resultante das forças

ΣM_o - resultante dos momentos

3.9.2. Tração

A tração, segundo Mialhe (1980), é definida como uma força proveniente da interação existente entre um dispositivo de autopropulsão como a roda, e o meio no qual está agindo este dispositivo. Os rodados convertem o movimento de rotação do motor em movimento linear. Ainda, de acordo com o mesmo autor, a tração dos tratores depende fundamentalmente das características dos rodados e do solo agrícola, devendo ser suficiente para que vença a resistência oferecida para a

movimentação, bem como, deslocar a carga imposta à barra de tração nas velocidades requeridas para o trabalho.

Através da barra de tração se desenvolve a força exigida pelos implementos por meio da transferência de energia do motor para os rodados. A transmissão amplia o torque do eixo motriz do trator e este, através do raio da roda, transforma em força disponível na barra de tração, isto é, a força de tração resultante da interação do trator com o meio, sendo gerada no motor, chegando ao solo pelos rodados. Segundo a norma da ASAE D497.4 (2003) o desempenho na barra de tração de um trator depende, principalmente, da potência do motor, da distribuição de peso sobre os rodados, da altura e posição dos engates e da superfície do solo.

O trator ainda assim necessita de aderência ao terreno para conseguir tracionar, esta, é uma variável que depende da pressão exercida pelos rodados que, por sua vez depende da carga total, que é a parte do peso que está sobre o eixo ou os eixos motrizes, como também da natureza e condição da zona de contato roda-solo. A carga total, também denominada de peso aderente, depende da distribuição de peso do trator, condicionada pelo projeto e por suas condições de trabalho. No caso de tratores com tração nas rodas traseiras, é a parte do peso que fica sobre o eixo traseiro em operação.

Nos tratores de dois eixos motrizes, com tração dianteira auxiliar (TDA), todo o peso é considerado aderente, pois os dois eixos exercem tração. Segundo Márquez (1990), a relação peso/potência é um fator que influencia diretamente no desempenho dos tratores em trabalho no campo. Schlosser (1996), conclui que para utilizar a máxima potência do motor de um trator tentando obter a sua máxima eficiência de tração (por exemplo, em uma operação de preparo do solo, dentro da faixa dos 5 a 6 km.h^{-1}) é necessário que se estabeleça uma relação peso-potência adequada, que pode ser aproximadamente 80 kg.kW^{-1} .

Outro item que é capaz de ajudar a aumentar a aderência são as agarradeiras dos pneus, uma vez que incrementam o coeficiente de aderência ao apoiar-se em um solo mais consistente, mesmo quando o peso aderente é o mesmo. Quando a garra penetra completamente no solo sem que ocorra a limitação da superfície de contato roda-solo, é onde se consegue a maior eficiência (GEE-CLOUGH, MCALLISTER e EVERNDEN, 1977).

Quando se aumenta a força de tração torna-se necessário adicionar mais peso sobre o trator para se evitar o patinamento, mas isto só poderá ser feito até certo nível

que não prejudique a estrutura do trator, também não comprometa a estrutura do solo e não aumente demais a resistência ao rolamento (SCHLOSSER, 1996).

Outros fatores que interferem na força de tração exercida e no desempenho dos tratores em condições de trabalho em campo são os tipos de superfícies em que se trafega. O solo exerce um papel muito importante no desempenho, pois as variações na textura, no grau de umidade e na cobertura podem influenciar muito as condições de trafegabilidade, resistência ao rolamento e alterações na potência disponível na barra de tração. Nesse contexto, Gabriel Filho et al. (2004), concluíram que em áreas com cobertura vegetal, a capacidade do trator em desenvolver a tração é afetada, pois há alteração na interação do rodado com o solo.

3.9.3. Patinamento das rodas motrizes

O patinamento de uma roda motriz é a variação da velocidade de avanço da roda em relação a uma condição de velocidade de referência estabelecida. A velocidade nas condições de referência é chamada de velocidade teórica, e a desenvolvida nas condições de trabalho é denominada velocidade real (LINARES, CATALÁN e MÉNDEZ, 2006). A Figura 7 demonstra o patinamento oriundo da interação pneu-solo.

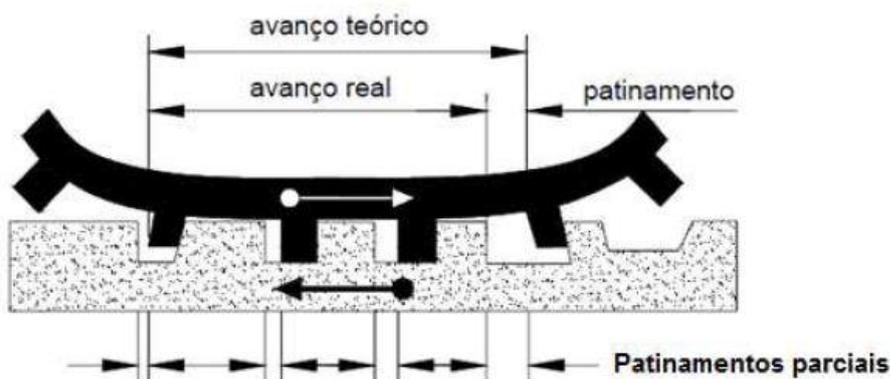


Figura 7 - Patinamento parcial entre as agarradeiras do pneu e o solo.

Fonte: adaptado de Schlosser (2006).

Segundo Márquez (2012), a propulsão do veículo somente se produz quando o esforço cortante que a roda aplica não supera o limite de resistência do solo, mas em qualquer caso há uma perda de deslocamento, que cresce à medida que os esforços horizontais aumentam para a mesma carga vertical.

O solo é o ponto de apoio da força tangencial que o torque na roda produz nas agarradeiras dos pneus (MÁRQUEZ, 1990). Se este ponto de apoio suporta a carga sem se romper, o trator avançará. Caso contrário, o patinamento fará com que o avanço do trator seja cada vez menor a ponto de chegar a parar seu movimento real de avanço. As rodas ao seguirem girando a uma determinada velocidade angular, irão romper a camada superficial e penetrar no solo.

Segundo Schlosser (2004), estudando diferentes relações cinemáticas em um trator em condições de solo firme e solo preparado, concluiu que, na condição de solo firme quando se utilizou a menor relação cinemática dinâmica coincidiu com os menores valores de patinamento. E ainda, o mesmo autor relata que na condição de solo macio, os menores patinamentos ocorreram nas condições dos tratamentos de menor porcentagem de peso nas rodas dianteiras e maiores raios estáticos, portanto maiores valores de relação cinemática. O patinamento das rodas motrizes pode ser determinado por meio da equação 7, descrita por Linares, Catalán e Méndez (2006):

$$\delta = \frac{V_t - V_r}{V_t} \quad (7)$$

Onde:

δ - é o patinamento (%);

V_t - é a velocidade teórica do eixo dianteiro/traseiro (km.h^{-1});

V_r - é a velocidade real do eixo dianteiro/traseiro (km.h^{-1}).

A ASAE EP496.2 (2003) idealiza que os patinamentos para solos sem mobilização devem ficar entre 8 a 10%, para solos revolvidos entre 11 e 13% e, em solos arenosos entre 14 e 16%. Ainda, Jenane et al. (1996), afirmam que, o menor consumo de combustível é obtido quando o patinamento está entre 10 e 30% para

tratores com tração dianteira auxiliar, isto dependendo da superfície do solo encontrada. Schlosser (1996), relata, baseado em estudos experimentais, que a máxima eficiência de tração de um pneu em superfícies duras é alcançada com valores de patinamento entre 8 e 15%.

3.9.4. Resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento é função do afundamento das rodas do veículo ao deslocar-se sobre o solo. Por exemplo, sabe-se que quando se tem que empurrar um reboque desengatado em um solo duro este se move com facilidade, mas em um solo lavrado com as rodas aprofundadas é mais difícil (MÁRQUEZ, 1990). No mesmo sentido Neujahr e Schlosser (2001), definem a resistência ao rolamento como a força despendida para vencer a histerese do pneu e a deformação do solo na zona de interação, e que representa a diferença entre a força de tração total e o que é exigido na barra de tração pelo implemento. Esta força está sempre presente no deslocamento de tratores mesmo em qualquer superfície, e é aumentada quando se transita em condições de solo solto, revolvido ou terrenos lamacentos.

De acordo com Linares, Catalán e Méndez (2006), para o trator avançar primeiramente deve vencer a resistência ao rolamento, e para poder tracionar algum implemento o motor fornece um torque as rodas e estas, a transformam em uma força tangencial, na qual o solo deve suportar sem romper-se dentro de certos limites. Se não há potência suficiente para que o torque das rodas permita vencer a resistência ao rolamento, ou se o solo não tiver resistência suficiente, o trator não avançará.

A resistência ao rolamento é expressa pela equação (8):

$$R_{TK} = P \cdot k \quad (8)$$

Onde:

R_{TK} - é a resistência ao rolamento expresso em kg ou N;

P - é o peso do trator em kg ou N e;

k - é o coeficiente de resistência ao rolamento.

Tabela 1 - Coeficientes de resistência ao rolamento para diferentes estados de solos.

Estado do solo	Coeficientes*
Estrada em bom estado	0,02 a 0,04
Estrada de terra firme	0,03 a 0,05
Estrada de terra	0,04 a 0,06
Campo nativo	0,06 a 0,10
Resteva seca	0,08 a 0,10
Terra lavrada	0,10 a 0,20
Areia	0,15 a 0,30

*O valor da resistência ao rolamento é obtido multiplicando o peso aderente do trator pelo coeficiente de solo em que se transita.

Fonte: Adaptado de Márquez (2012).

3.10. Consumo de combustível

O combustível é a fonte de energia para os tratores se locomoverem, exercerem a tração de implementos e acionarem máquinas agrícolas. Em motores de combustão interna, é a partir da combustão da mistura ar + combustível que é desencadeado todo o processo de conversão da energia química do combustível. Também há perda de parte dela e desenvolvimento das várias potências provenientes desse processo. Sendo assim, a mensuração da quantidade de ar e principalmente de combustível consumida pelo motor constitui um dos aspectos mais importantes na avaliação do rendimento do motor, ou seja, o seu desempenho térmico convertido em energia (MIALHE, 1996).

Ainda conforme o mesmo autor, a quantidade de combustível consumido por um motor pode ser expresso de duas maneiras;

- Em relação ao tempo: consumo horário ($L \cdot h^{-1}$, $kg \cdot h^{-1}$, etc.);
- Em relação ao trabalho mecânico desenvolvido: consumo específico ($g/cv \cdot h$, $g/kW \cdot h$, etc.).

De acordo com MACMILLAN (2002), o consumo de combustível é um parâmetro adequado para representar o desempenho de um motor, mas não permite uma comparação entre motores de tamanhos diferentes. Para isso, é conveniente calcular o consumo de combustível por kW de potência desenvolvida pelo motor. Para obtermos o consumo específico de combustível de um motor primeiramente precisamos conhecer seu consumo horário. A partir desse dado e da potência desenvolvida pelo motor podemos realizar o cálculo por meio da equação 9 a seguir descrita por Mialhe (1996):

$$C_e = \frac{(C_h \cdot 1000)}{P} \quad (9)$$

Onde:

C_e - consumo específico em g/kW.h;

C_h - consumo horário em kg.h⁻¹ e;

P - potência em kW.

Um dos pontos críticos para reduzir os custos de operação de tratores é a diminuição do consumo de combustível. Isso é possível mediante a adequação do conjunto trator-implemento, já que ao redor de 30% dos custos de utilização de um trator correspondem ao combustível (MÁRQUEZ, 2012). Kichler et al. (2011), concluem que o desempenho dos equipamentos e a eficiência no campo são variáveis que podem ser melhoradas para minimizar o consumo de combustível, e assim reduzir os custos de produção das culturas.

Segundo Correa et al. (1999), a quantidade de combustível consumida durante a implantação de culturas agrícolas é dependente de alguns fatores, dentre eles, a adequação e condição do conjunto trator-implemento, potência do motor, profundidade da operação, tipo e condição de solo, tempo de manobras e do número de operações agrícolas adotadas no processo de produção.

3.11. Desempenho e custo operacional de máquinas agrícolas

O estudo das operações agrícolas e do desempenho de máquinas a campo visa racionalizar o emprego das máquinas e implementos nas operações agrícolas (MIALHE, 1974). A escolha das máquinas para uma propriedade, independente de seu tamanho, deve ser realizada de forma racional, adequando-se ao programa de produção e às características econômicas do empreendimento e do mercado (GABRIEL FILHO et al., 2000).

No contexto de custos operacionais com máquinas Márquez (2012) relata que a previsão dos custos de utilização das máquinas agrícolas é difícil e isso se deve à diversidade das condições de trabalho que a agricultura exige. Apesar disso, o levantamento dos custos é imprescindível para não colocar em perigo a economia da atividade agrícola. Em função dos custos dos combustíveis, e necessidade de diminuir o consumo de energia, torna-se necessária a busca por formas de gerenciamento das atividades agrícolas, e principalmente do uso das máquinas agrícolas (FRANTZ et al., 2014).

3.11.1. Capacidade operacional de trabalho

Segundo Mialhe (1974), designa-se capacidade operacional de máquinas e implementos agrícolas, a quantidade de trabalho que estes são capazes de executar na unidade de tempo. Constitui em uma medida de intensidade do trabalho desenvolvido na execução de operações agrícolas. O estudo das operações agrícolas, levando-se em conta a capacidade de trabalho e a eficiência de campo, visa racionalizar o emprego das máquinas, implementos e ferramentas na execução dos trabalhos (SILVEIRA et al., 2006). A capacidade de campo, de acordo com ASAE (2000), pode ser efetiva ou teórica.

Efetiva: quantidade atual de área ou cultivo processada num determinado tempo. Segundo Mialhe (1974), esta representa a capacidade básica da máquina, ou seja, é a capacidade medida no campo durante um intervalo de tempo (equação 10).

$$\text{CCE} = \text{Área trabalhada} / \text{Unidade de tempo} \quad (10)$$

Teórica: é a taxa de desempenho obtido se uma máquina executa sua função com 100% do tempo a uma determinada velocidade operacional que usa 100% de sua largura teórica. Esta é obtida pelo produto da largura de trabalho da máquina pela sua velocidade de deslocamento (equação 11).

$$\text{CCT} = \text{Largura} \times \text{Velocidade} \quad (11)$$

As unidades que representam as capacidades, tanto efetivas quanto teóricas, de cada máquina dependem de como foram medidos os parâmetros, estes podem ser em m² por segundo, m² por minuto, hectares por hora, etc.

As duas capacidades relatadas anteriormente diferem-se entre si pelo fator campo. A utilização parcial da largura pelo efeito da sobreposição entre passadas e o uso de velocidades inferiores às que teoricamente poderiam ser desenvolvidas, caracterizam o fato de a capacidade efetiva ser menor que a capacidade de campo teórica, podendo estas serem no máximo iguais (MIALHE, 1974).

3.11.2. Custos com combustível em operações mecanizadas

A maioria das decisões quanto ao manejo de áreas e máquinas agrícolas requer um conhecimento preciso dos custos. Ter um registro adequado de todos os custos envolvidos com operações e com o trabalho é indispensável na administração de uma empresa agrícola (HUNT, 1983).

Segundo Márquez (2012), os custos de operação de tratores estão condicionados pelo tipo de operação que se realiza. Quando o implemento demanda alta porcentagem de potência do motor do trator os custos de manutenção e reparos aumentam. Se o nível de carga que é demandado pelo implemento é baixo a eficiência na utilização do combustível é menor. Cañavate e Hernanz (1989) complementam que o consumo de combustível é um custo variável ou operacional que depende diretamente da quantidade utilizada pela máquina.

Devido aos aumentos sucessivos no preço dos combustíveis derivados do petróleo nos últimos anos, torna-se necessária a economia e o uso racionado desses recursos em benefício da lucratividade. Também a disponibilidade de mão de obra no meio rural, diminuindo a cada ano, acaba por ser um agravante para a sustentabilidade no agronegócio. Ao tratar de sistemas de cultivo para implantação de culturas, estes apresentam relações de custos e desembolsos diferentes. Fernandes, Silveira e Rinaldi (2008), avaliando o custo energético em quatro diferentes sistemas de implantação de milho (plantio direto, cultivo mínimo, preparo reduzido e sistema convencional) concluíram que o sistema plantio direto foi o que consumiu a menor quantidade de combustível em relação aos demais. Isso se explica devido ao número reduzido de operações no solo, menor uso de implementos e menos entradas de máquinas na área, resultando em menor gasto energético.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização dos locais do experimento

O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 2013/2014 em duas áreas agrícolas com histórico anterior de cultivo com arroz irrigado, no estado do Rio Grande do Sul, sendo as duas localizadas na região Central. Uma das áreas para a realização do experimento foi caracterizada como uma área de várzea, localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, no bairro Camobi, em Santa Maria - RS. O outro local de implantação foi caracterizado como uma área de “coxilha”, e localizava-se no município de Formigueiro - RS, próximo à BR 392 e RS 149.

A escolha das duas áreas para implantação deste experimento se deu pelas características distintas dos locais, incluindo características físicas e topográficas do solo, e também por características das regiões de cultivo de arroz do estado. Um fator importante e decisivo na escolha destes locais foi a representatividade das duas áreas, pois a primeira (várzea) é onde estão contidas a maioria das áreas cultivadas com arroz irrigado no RS. Já a segunda área (coxilha) apresenta características semelhantes que remetem à região de maior produção de arroz irrigado no estado, a região da Fronteira Oeste. Portanto, buscou-se com a realização deste experimento uma melhor representatividade na implantação da cultura de soja, que está ganhando espaço nas áreas tipicamente utilizadas com arroz irrigado e nas próprias áreas de coxilhas da metade sul do RS.

4.1.1. Santa Maria - Área de várzea

No dia 07 de novembro do ano de 2013 foi implantado o experimento na área de várzea pertencente ao Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da UFSM. Esta se localiza no município de Santa Maria, na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. O solo predominante na área é

classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2006). Suas características são textura média, relevo plano a suavemente ondulado e são solos mal a imperfeitamente drenados, encontrados comumente nas várzeas dos rios desta região (REINERT et al., 2007).

O clima da região enquadra-se na classificação climática “Cfa” de Köppen-Geiger, como clima subtropical úmido, possuindo temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e a temperatura no mês mais frio entre - 3 e 18 °C (MORENO, 1961).

A área onde foi realizado o experimento era sistematizada em nível e possuía uma cobertura de azevém implantada no outono, sendo realizada a dessecação no mês de agosto. Após a dessecação não foi realizado mais nenhum tipo de preparo de solo, sendo que somente foi realizada a escarificação das parcelas que possuíam este tratamento. A Figura 8 ilustra a área onde foi realizado o experimento.



Figura 8 - Vista aérea da área experimental de várzea.

Fonte: Google Earth, acesso em: 26 de fevereiro de 2014.

4.1.2. Formigueiro – Área de coxilha

Neste local o experimento foi implantado durante todo o dia 05 de novembro do ano de 2013, em uma área de coxilha com histórico de cultivo de arroz irrigado, mas atualmente utilizada com pecuária de corte, da Cabanha Tólio's Farm pertencente à família Tólio. A área está situada na região da Depressão Central, no município de Formigueiro – RS, na localidade de Encruzilhada. O clima do local possui as mesmas características do município descrito anteriormente, visto que as áreas estão somente a aproximadamente 60 quilômetros de distância. O solo do local é classificado como Planossolo Háplico eutrófico típico e pertence à unidade de mapeamento São Gabriel (EMBRAPA, 2006). Estes são solos que apresentam características de textura argilosa, relevo suave ondulado e são imperfeitamente drenados (REINERT et al., 2007). A Figura 9 indica o local de realização do experimento na propriedade.



Figura 9 – Vista aérea da área experimental de Coxilha.

Fonte: Google Earth, acesso em: 01 de outubro de 2014.

4.2. Cultura implantada

Este trabalho de pesquisa estava inserido dentro de um projeto desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Arroz irrigado e Uso Alternativo de Várzeas da UFSM. O conjunto de parâmetros de avaliação, relacionados ao desempenho do conjunto mecanizado está apresentado, enquanto que os parâmetros relacionados ao desenvolvimento de plantas, desde sementeira, tratamentos culturais e colheita, ficaram a cargo de outro pesquisador.

Nos dois locais de realização do trabalho foi implantada soja da cultivar BMX Tornado, de ciclo precoce, grupo de maturação 6.2 e hábito de crescimento indeterminado. Essa cultivar é recomendada para a região sul, com época de sementeira preferencial no mês de novembro.

Antes de iniciar os trabalhos de implantação da soja no campo, a sementeira-adubadora foi regulada para a densidade de 14 sementes por metro linear, descontado o poder germinativo (PG). A profundidade de deposição das sementes foi regulada na ocasião da sementeira, de acordo com condição de umidade do solo. A adubação de base foi de acordo com os resultados da análise química do solo realizada previamente e foi igualmente efetuada no momento da sementeira.

4.3. Determinações realizadas para caracterização dos solos

4.3.1. Análise física do solo

Para a caracterização das áreas onde o experimento foi instalado, coletaram-se amostras de forma aleatória para realização da análise física do solo. Estas foram coletadas nas profundidades de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m. As amostras foram analisadas pelo Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Rurais da UFSM. Os resultados da análise física para os dois locais de implantação do experimento encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise física do solo.

	Profundidade (m)	
	0 - 10	10 - 20
	Várzea (%)	
Argila	22,4	27,8
Areia	22,0	20,4
Silte	55,6	51,8
	Coxilha (%)	
Argila	31,8	40,3
Areia	28,7	21,8
Silte	39,5	37,9

4.3.2. Determinação da resistência à penetração e índice de cone

O índice de cone é a medida da resistência do solo à penetração. De acordo com Linares, Catalán e Méndez (2006), a resistência à penetração de uma determinada profundidade é o quociente da força necessária para introduzir uma ponta cônica até esta profundidade e a área da base do cone (equação 12).

$$RP_z = \frac{F_z}{A_c} \quad (12)$$

Onde:

RP_z – Resistência à penetração na profundidade z;

F_z – Força para introduzir a ponta cônica até a profundidade z;

A_c – Área da base do cone.

Já o índice de cone é calculado da seguinte forma (equação 13):

$$Cl_z = \frac{\sum_0^z RP}{n} \quad (13)$$

Onde:

Cl_z – Índice de cone na profundidade z ;

n – Número de leitura de força até a profundidade z ;

RP – Resistência à penetração.

Witney (1988) propôs uma classificação qualitativa do solo a partir do índice de cone e previu o desempenho do trator em tração de acordo com as condições de solo. Os dados de desempenho são estimados em quatro condições de campo: boa, média, pobre e má.

A boa condição é equivalente ao terreno de pastagem com solo duro e seco com índice de cone em torno de 2000 kPa e o recalque dos pneus não é visível. A condição média representa um terreno de palhada pós-colheita seco, no qual podem ser notados sulcos rasos nos rastros dos pneus com índice de cone de 400 kPa. A condição pobre é encontrada com uma condição de terreno com palhada pós-colheita úmida, no qual se formam sulcos profundos nos rastros dos pneus, e são esperadas algumas dificuldades para tração, sendo o índice de cone em torno de 250 kPa.

Por último, a má condição representa as piores condições para trabalhos pesados de tração que, embora desaconselhável, é inevitável. Normalmente operações difíceis são de preparo de solo após a colheita com solo muito molhado, ou também colheita em condições de solo encharcado, o que é comum de visualizar nas áreas de várzeas com cultivo de arroz irrigado. O índice de cone é inferior a 150 kPa.

A resistência à penetração foi mensurada por meio de um penetrômetro, marca Falker modelo PLG1020, com capacidade de armazenamento de até 2.000 medições. Foi utilizado o cone tipo 2 de 12,83 mm de diâmetro. As amostras de resistência à penetração foram coletadas a partir da medição no perfil do solo de 0 a 0,40 m de profundidade a partir da superfície. O índice de cone foi calculado a partir das medições da resistência à penetração do solo. As amostragens foram feitas em seis

locais diferentes com três repetições por ponto e realizada nas áreas antes e após a escarificação (Figura 10).



Figura 10 - Determinação da resistência à penetração com auxílio de penetrômetro.

4.3.3. Conteúdo de água no solo

Também foi determinado o conteúdo de água do solo na ocasião dos experimentos, tanto na área escarificada quanto na sem preparo, pois de acordo com Busscher et al. (1997) o conteúdo de água do solo interfere na resistência à penetração. Na área de várzea, a escarificação das parcelas que receberam este tratamento foi realizada 20 dias antes da semeadura, portanto houve um adensamento natural do solo sem intervenções mecânicas após a escarificação. Na área de coxilha, por limitações de tempo e recursos, a escarificação das parcelas compostas por este tratamento foi realizada momentos antes da semeadura, necessitando de uma operação de gradagem leve nas parcelas apenas para quebrar os agregados maiores do solo.

Segundo Witney (1988), a força de coesão do solo deve ser considerada na resistência à penetração, pois esta é diretamente proporcional ao teor de argila e inversamente proporcional ao conteúdo de umidade. A determinação da umidade do

solo foi realizada através do método gravimétrico. Este método consiste primeiramente em pesagem da amostra úmida, seguido de secagem da amostra de solo em estufa com temperatura de 105 – 110°C por um período até atingir peso constante, e após é realizada uma nova pesagem do solo seco. O procedimento para o cálculo da umidade do solo foi feito conforme EMBRAPA (1997) (equação 14).

$$U_g = 100 (A - B) / B \quad (14)$$

Onde:

U_g - umidade gravimétrica (%);

A - peso da amostra úmida (g);

B - peso da amostra seca (g).

Dentro das áreas experimentais foram coletadas amostras de solo com auxílio de uma pá de corte, com sub-amostras na profundidade de 0 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,30 m, conforme a Tabela 3. As amostragens representam uma profundidade maior do que a penetração dos mecanismos sulcadores da semeadora e das hastes do escarificador.

Tabela 3 – Conteúdo de água no solo em % nos dois locais de implantação.

Profundidade (m)	Várzea	Coxilha
Área escarificada		
0 – 10	10,57	20,17
10 – 20	19,58	27,26
20 – 30	22,60	27,49
Semeadura direta		
0 – 10	16,68	18,42
10 – 20	20,20	19,81
20 – 30	21,64	28,32

4.4. Caracterização do trator

Para a realização dos experimentos foi utilizado um trator da marca Massey Ferguson, modelo MF 4291, com tração dianteira auxiliar (TDA), ano de fabricação 2012 com aproximadamente 100 horas de uso (Figura 11). No trator, montou-se uma instrumentação eletrônica de aquisição de dados pertencente ao NEMA, desenvolvida por RUSSINI (2009). Este trator possui um motor ciclo Diesel de 4 tempos turbo aspirado, 4 cilindros, da marca Perkins, modelo 1104 A – 44 T com 4400 cm³ de volume e potência de 77,2 kW (105 cv) a 2200 rpm na norma ISO TR14396, segundo o fabricante.

O trator estava equipado com pneus do tipo R2 indicados ao trabalho em solos úmidos, e que configuram a maioria dos tratores utilizados em áreas de cultivo de arroz irrigado. Estes eram das medidas 23.1 – 30 R2 no rodado traseiro e 14.9 – 24 R2 no rodado dianteiro, ambos dianteiros e traseiros, eram de construção diagonal. A pressão interna dos pneus foi fixada em 133,33 kPa (20 lb/pol²) para os rodados dianteiros e traseiros.

A transmissão do trator é do tipo mecânica, composta por 12 marchas à frente e 4 marchas à ré. Esta possui duas alavancas, sendo que em uma delas selecionam-se as marchas (1, 2, 3 e ré), e na outra o grupo (reduzida ou direta) e o regime (baixa ou alta).



Figura 11 - Trator MF 4291 utilizado no experimento.

4.5. Caracterização das semeadoras

Para a realização dos experimentos foram utilizadas duas semeadoras de precisão (Figura 12).

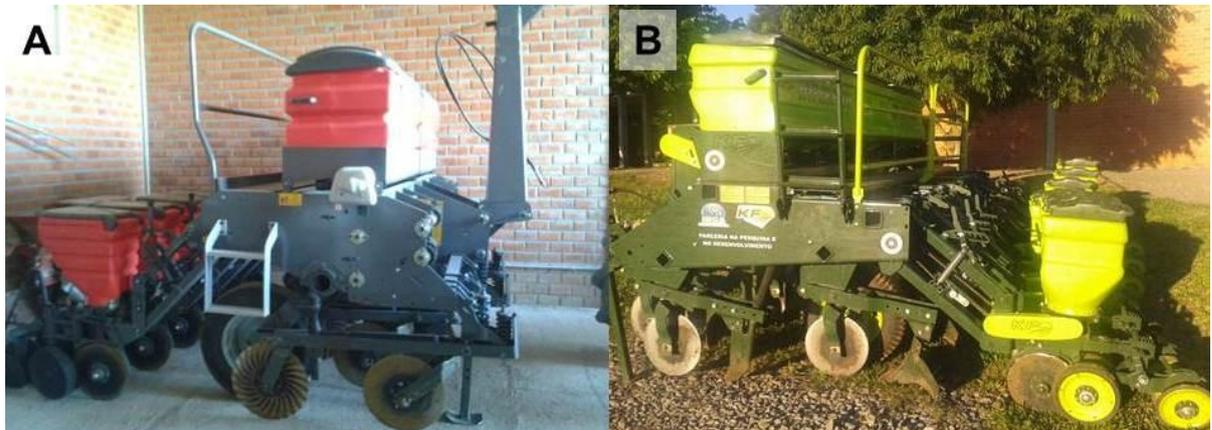


Figura 12- Semeadoras utilizadas: a) MF 407 M 45; b) KF 8/5-A Hiper Plus Camalhoneira.

Utilizou-se uma semeadora-adubadora da marca Massey Ferguson, modelo MF 407 M 45, composta por seis linhas de semeadura com sistema pantográfico e espaçamento entre linhas de 0,50 m. Os mecanismos de distribuição das sementes na semeadora são acionados de maneira mecânica por meio de engrenagens e correntes ligadas às rodas, e as sementes distribuídas por disco horizontal alveolado.

As linhas desta semeadora foram configuradas de acordo com cada tratamento realizado, ou seja, os mecanismos de abertura de sulcos de fertilizantes eram variados conforme previsto. Utilizaram-se três tipos diferentes de mecanismos de abertura de sulcos de fertilizantes e a partir destes, executadas as variações. Os mecanismos usados foram os seguintes: haste sulcadora, discos duplos e discos de 12 ondulações. Esta semeadora contava com sistema de abertura de sulco de sementes por disco duplo desencontrado e ainda com rodas limitadoras de profundidade e mecanismos compactadores do tipo em “V”.

Em um tratamento, utilizando haste sulcadora, foi acoplado logo atrás desta um sistema de roda tapa-sulco, previamente desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Arroz Irrigado e Uso Alternativo de Várzeas. O sistema passa por processo de testes, validação e patenteamento para posterior fabricação e distribuição pelo fabricante da semeadora. O desenvolvimento desse sistema surgiu da necessidade de uma melhor deposição de sementes no leito de semeadura, pois tem por finalidade diminuir os efeitos do espelhamento do solo, quebra dos agregados maiores de solo e fechamento de galerias que podem ser formadas após a passagem da haste sulcadora. Essas características ocorrem em solos com elevadas quantidades de silte em sua composição, combinado com o teor de umidade. O sistema visa favorecer o contato semente-solo, pois logo após a passagem da haste pode ficar o sulco aberto de toda a profundidade necessitando seu fechamento. Após a passagem da haste abrindo o sulco para fertilizantes, ocorre uma nova abertura de sulco somente para as sementes, pelos discos duplos que irão proporcionar uma profundidade mais uniforme.

A segunda semeadora utilizada na realização de somente um tratamento na área de Várzea foi da marca KF, modelo KF 8/5-A Hyper Plus Camalhoneira. Pela característica da máquina ter sido desenvolvida para trabalho em áreas de várzeas e também pelas dificuldades em realizar um segundo experimento em outra área a não ser na UFSM, esta semeadora não foi deslocada até Formigueiro na área de coxilha.

Esta era composta de oito linhas de semeadura com sistema pantográfico e distanciadas 0,50 m. No campo, na instalação do experimento, foram levantadas duas linhas da máquina e retirado um sistema formador de microcamalhão, assim trabalhado somente com seis para igualar o número de unidades de semeadura da semeadora convencional.

A máquina Camalhoneira possibilita a formação de microcamalhões no solo simultaneamente à semeadura por meio de discos e hastes com aivecas posicionadas entre duas linhas de plantio. A semeadora KF foi utilizada na sua configuração original, específica para a semeadura de milho e de soja em áreas de várzea. As linhas estavam compostas por disco de corte de palha e haste sulcadora para deposição de fertilizantes e sistema de disco duplo para abertura de sulco e deposição de sementes, além de rodas limitadoras de profundidade e compactadoras em “V”.

Optou-se por utilizar as duas semeadoras para poder realizar uma comparação dos parâmetros avaliados entre uma semeadora convencional, porém com diferentes configurações de mecanismos sulcadores de fertilizantes, e uma máquina específica para a semeadura de soja em áreas de várzeas (Camalhoneira). A semeadora Camalhoneira ainda passa por testes em todas as regiões orizícolas do estado. Atualmente, o fabricante, juntamente com o IRGA, são os responsáveis pelos testes e adaptação da máquina com culturas implantadas nas áreas de cultivo de arroz, porém ainda não existem relatos de trabalhos científicos avaliando a demanda energética envolvida na tração nem comparações de custos relativos, somente à operação de semeadura utilizando esta máquina.

Na Tabela 4 estão descritos e ilustrados os diferentes mecanismos sulcadores utilizados nos experimentos.

Tabela 4 – Mecanismos sulcadores utilizados nos experimentos.

(Continua)

MECANISMOS SULCADORES	
Disco liso duplo	
Haste sulcadora	
Haste sulcadora + tapa-sulco	

(Conclusão)

Disco 12 ondulações	
Disco liso duplo	
*Haste sulcadora e formador de microcamalhão - Semeadora Camalhoneira	

* Mecanismo utilizado apenas na área de várzea.

4.6. Avaliações

4.6.1. Avaliações realizadas no conjunto mecanizado

Foram realizadas determinações no trator e nas semeadoras, sendo algumas delas anterior aos testes, como pesagem e determinação do avanço cinemático das rodas do trator. Durante as operações de campo, através de uma instrumentação eletrônica pertencente ao NEMA, foram obtidos os dados referentes às seguintes variáveis: consumo de combustível do trator, força de tração exercida, patinamento das rodas motrizes e velocidade de deslocamento durante a operação de semeadura.

4.6.2. Pesagem do trator teste

Foi determinada a distribuição de peso por eixo e o peso total do trator anteriormente ao experimento, para que se pudessem realizar as adequações necessárias. Para realizar a pesagem utilizou-se um conjunto de balanças de plataformas individuais da marca Toledo, modelo BPV-830 com capacidade máxima para 30.000 kg, que pesam individualmente cada ponto de apoio. A pesagem é necessária para manter uma adequada distribuição de peso e obter uma boa eficiência de tração. Para tratores 4x2 TDA na faixa de 75 a 150 kW de potência, recomenda-se uma distribuição estática de peso de 40% para o eixo dianteiro e 60% para o eixo traseiro, resultando na distribuição dinâmica 30 e 70%, respectivamente (MÁRQUEZ, 2012).

O peso total do trator, já com a instrumentação montada, foi de 5670 kg, o que resultou em uma relação massa/potência de 54 kg.cv^{-1} ou $73,44 \text{ kg.kW}^{-1}$. Ainda pesou-se individualmente cada eixo para a determinação da distribuição estática, e o resultado foi de 3280 kg no eixo traseiro e 2390 kg no eixo dianteiro. Os resultados indicaram uma distribuição estática de 42,2% do peso sobre o eixo dianteiro e 57,8% sobre o traseiro. O trator estava lastrado com um conjunto de dez pesos metálicos dianteiros de 35 kg cada um e também lastro hidráulico nas quatro rodas com aproximadamente 40% da capacidade (Figura 13).

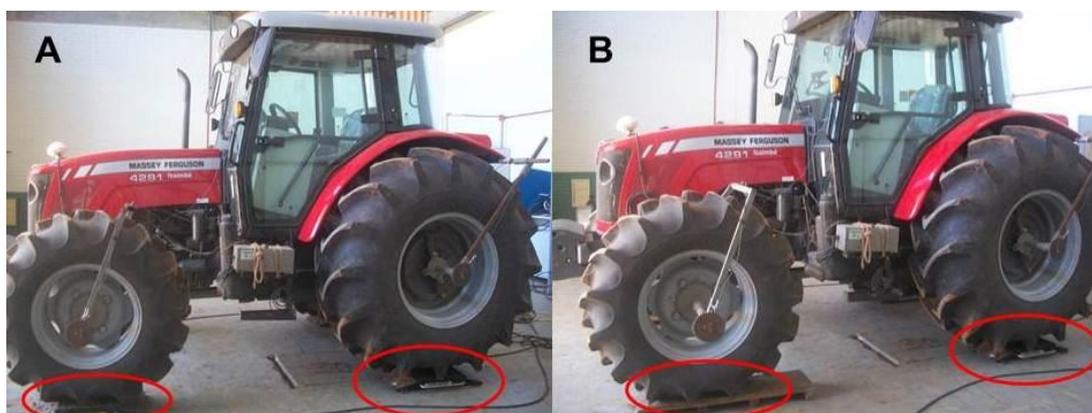


Figura 13 - Determinação do peso: (A) peso total; (B) peso por eixo.

4.6.3. Pesagem das semeadoras utilizadas nos experimentos

As duas semeadoras utilizadas nos experimentos foram pesadas no Laboratório de Agrotecnologia. Os procedimentos foram executados com os mesmos equipamentos utilizados para a pesagem do trator, ou seja, o mesmo conjunto de balanças de plataformas. A semeadora convencional foi pesada utilizando a configuração de discos ondulados e a Camalhoneira em sua configuração original com haste sulcadora. A Figura 14 ilustra a realização desta determinação e os valores obtidos na pesagem estão demonstrados na Tabela 5.



Figura 14 - Pesagem das semeadoras (A) MF 407; (B) KF 8/5 Hiper Plus

Tabela 5 – Caracterização das semeadoras utilizadas.

Semeadora	Peso em vazio (kg)	Número de linhas	Espaçamento (m)
MF 407 M45	2210	6	0,5
KF 8/5 – A Hiper Plus	3870	8	0,5

4.6.4. Instrumentação eletrônica de aquisição de dados

A instrumentação eletrônica adquire dados de consumo de combustível do trator, força de tração exercida, patinamento das rodas motrizes e velocidade de deslocamento em tempo real (Figura 15). O intervalo de aquisição pode ser configurado por meio de um *software*, sendo que para o presente trabalho foi utilizado em um intervalo de 2 segundos.

Os dados dos sensores instalados no trator são transmitidos e armazenados em *datalogger* da marca *Campbell Scientific*, modelo CR 1000.

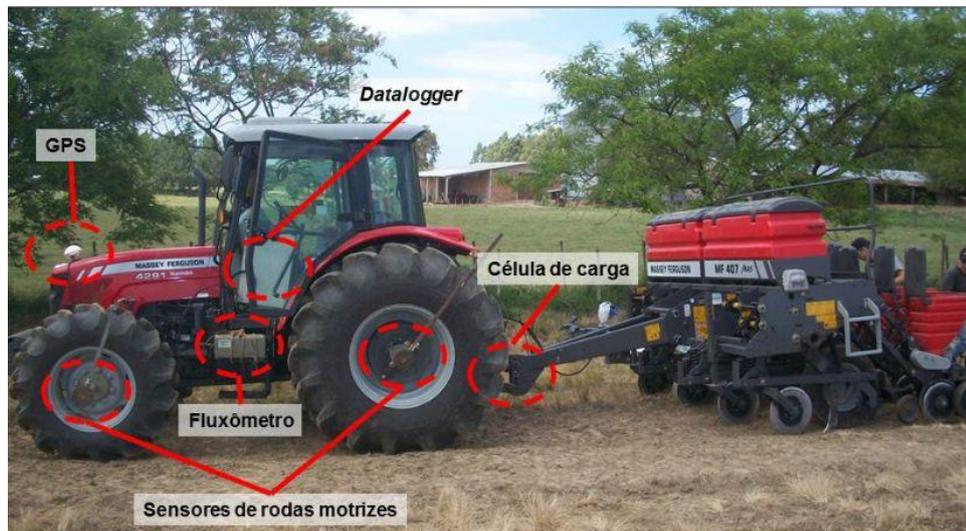


Figura 15 - Trator com instrumentação eletrônica.

4.6.5. Processamento dos dados

Após a aquisição dos dados no campo, é executado o procedimento de descarregamento dos dados em microcomputador (Figura 16), por meio de um *software* específico (PC400W[®]). Este *software* permite a comunicação eletrônica com o *datalogger* e gera um arquivo texto que pode ser aberto por qualquer *software* de planilhas eletrônicas, como por exemplo, o Microsoft Office Excel[®].



Figura 16 – Transferência dos dados para um microcomputador.

4.6.6. Força de tração

A força de tração demandada, na ocasião dos testes, foi registrada por uma célula de carga (Figura 17) acoplada entre o trator e a semeadora. Esta célula de carga tem capacidade para 100 kN, e gera pulsos elétricos (mV) em igual intensidade ao esforço exercido e que são convertidos pelo *software* para kN ou kgf.



Figura 17 – Barra de tração com célula de carga.

4.6.7. Consumo de combustível

Para se obter o consumo de combustível, utilizou-se um fluxômetro marca FLOW MATE (Oval M-III) modelo LSF 41 (Figura 18), 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 horário de combustível em $L.h^{-1}$.



Figura 18 – Fluxômetro.

4.6.8. Sensores das rodas motrizes

Na medição da velocidade de deslocamento das rodas motrizes, foram utilizadas quatro rodas dentadas, de 32 dentes cada, fixadas por meio de extensores, em cada uma das rodas do trator. Nas rodas dentadas acompanhava um sensor do tipo indutivo (Figura 19) capaz de verificar a frequência pela passagem dos dentes da engrenagem no sensor, conforme a rotação da mesma. Essa frequência é utilizada para se verificar a velocidade da roda, o que é feito por um cálculo baseado na frequência e no perímetro da roda, a equação 15 utilizada para o cálculo é apresentada a seguir:

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

(15)

Onde:

V_{roda} - velocidade da roda (km.h^{-1});

Freq - frequência captada pelo sensor (Hz);

Per - Perímetro da roda (m);

n - número de dentes da engrenagem.



Figura 19 – Sensor de roda.

4.6.9. Velocidade real de deslocamento

A aquisição do valor da velocidade real do trator foi realizada por um receptor de sinais de satélite GPS (*Global Positioning System*) conectado diretamente a uma barra de luzes, marca Trimble, modelo AG 150 (Figura 20) e esta ao *datalogger*.



Figura 20 – Barra de luzes.

4.6.10. Patinamento das rodas motrizes

A medida do patinamento das rodas motrizes foi obtida por cálculo baseado nos dados de velocidade do trator e velocidade das rodas. Para a determinação do patinamento, a instrumentação utiliza a metodologia desenvolvida por Gabriel Filho et al. (2004), em que o patinamento médio (S) é obtido pela equação (16) a seguir:

$$S = [1 - (Vr/Vt)] \cdot 100 \quad (16)$$

Onde:

Vr - velocidade média do trator obtida pelo receptor GPS (km.h⁻¹);

Vt - velocidade média da roda (km.h⁻¹).

4.6.11. Fonte de energia do datalogger

A alimentação elétrica do *datalogger* provém de uma bateria do tipo chumbo ácido selada com capacidade máxima de corrente de $7,5 \text{ A.h}^{-1}$ e tensão de saída de 12V.

4.6.12. Determinação da resistência ao rolamento

Para a obtenção dos valores de resistência ao rolamento, foi utilizada uma célula de carga instalada no trator teste conectada a outro trator por meio de uma corrente metálica. As medições foram realizadas nas diferentes condições de trabalho encontradas, semeadura direta e área previamente escarificada.

O trator teste ficava deslocado lateralmente da linha central de deslocamento do outro trator para que não houvesse coincidência dos rastros por onde se deslocavam os rodados dos dois tratores. Com o uso do dispositivo de armazenamento de dados (*datalogger*) foi realizado o registro instantâneo através das leituras das cargas, representando os valores reais de resistência ao rolamento do trator teste, que estava com o motor ligado, as alavancas de marchas na posição de neutro e com o bloqueio do diferencial acionado. Na Figura 21 pode ser visualizada a determinação da resistência ao rolamento com o auxílio de outro trator, sendo no detalhe a união dos dois por corrente e uma célula de carga.



Figura 21 - Determinação da resistência ao rolamento com célula de carga.

4.7. Determinações referentes à operação

4.7.1. Profundidade de trabalho dos mecanismos sulcadores

Durante a implantação dos experimentos foi realizada a medição de profundidade de trabalho dos mecanismos sulcadores no solo. Foi determinada com réguas e trenas graduadas, medindo-se a partir da superfície do solo até o fundo do sulco. Primeiramente era feita uma abertura no solo no sentido transversal à linha de semeadura (trincheira) e depois de identificada a profundidade total do sulco, era realizada a medição (Figura 22).

As regulagens prévias nas semeadoras foram comuns para todos os mecanismos e as diferenças observadas na profundidade remetem a característica de cada mecanismo sulcador.



Figura 22 - Determinação da profundidade de trabalho dos mecanismos sulcadores.

4.7.2. Determinação da capacidade operacional efetiva

A capacidade operacional efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada e o tempo gasto no deslocamento do conjunto trator-semeadora na parcela, conforme Mialhe (1974) por meio da equação 17.

$$CE = \frac{Au}{\Delta t} * 0,36$$

(17)

Onde:

CE – Capacidade operacional efetiva (ha.h⁻¹);

Au – Área útil da parcela (m²);

Δt - tempo gasto no deslocamento na parcela (s)

0,36 – Fator de conversão.

4.7.3. Custos com combustíveis

Neste trabalho, a partir dos dados de desempenho do conjunto mecanizado trator-semeadora, buscou-se fazer um levantamento do custo desembolsado com óleo diesel, simulando condições reais de trabalho no campo.

Para a remuneração dos custos de implantação, estes são calculados para serem pagos apenas com o produto colhido. Através dos dados de consumo de combustível e capacidade operacional foi elaborado um cálculo com valores baseados no preço do produto (soja) e no preço do diesel praticado na safra 2014/2015. Para isso foi adotado o preço de R\$ 2,60 o litro de diesel, baseado em distribuidores de combustíveis de Santa Maria, e considerando o preço da soja praticado na região central do Rio Grande do Sul em R\$ 58,00 o saco de 60 kg, na data de realização dos cálculos.

4.8. Procedimentos experimentais e estatísticos

O delineamento estatístico utilizado para este experimento foi inteiramente casualizado (DIC), constituído por quatro repetições. Onde os tratamentos são resultados da interação entre os dois fatores utilizados, sendo um deles os cinco diferentes mecanismos sulcadores (disco ondulado, haste sulcadora com tapa-sulco, haste sulcadora, disco duplo e disco duplo em área escarificada), e o outro fator foram as duas condições de solo (coxilha e várzea), caracterizando um arranjo experimental 5x2x4. As comparações são realizadas entre os mecanismos sulcadores e os tipos de solos, sendo que os resultados referentes à semeadora Camalhoneira não são apresentados com análise estatística, somente é feita uma comparação com a semeadora convencional utilizando haste sulcadora em um item separado.

A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA) (APÊNDICE A), e utilizado teste de comparações de médias (Tukey), ao nível de 5% de probabilidade de erro.

As unidades experimentais tanto na área de coxilha quanto na área de várzea tinham a mesma dimensão da semeadora convencional na largura (3,0 m), já o

comprimento das parcelas era de 70,0 m, correspondendo a uma passada de semeadora. Os tratamentos dos experimentos estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Tratamentos utilizados nos experimentos.

TRATAMENTO	COXILHA	VÁRZEA
T1	Disco ondulado	Disco ondulado
T2	Haste + tapa sulco	Haste + tapa sulco
T3	Haste	Haste
T4	Disco duplo	Disco duplo
T5	Disco duplo (Escarificado)	Disco duplo (Escarificado)
-	-	Camalhoneira

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resistência à penetração e índice de cone

A figura 23 ilustra o comportamento da variável resistência do solo à penetração obtida nas duas áreas.

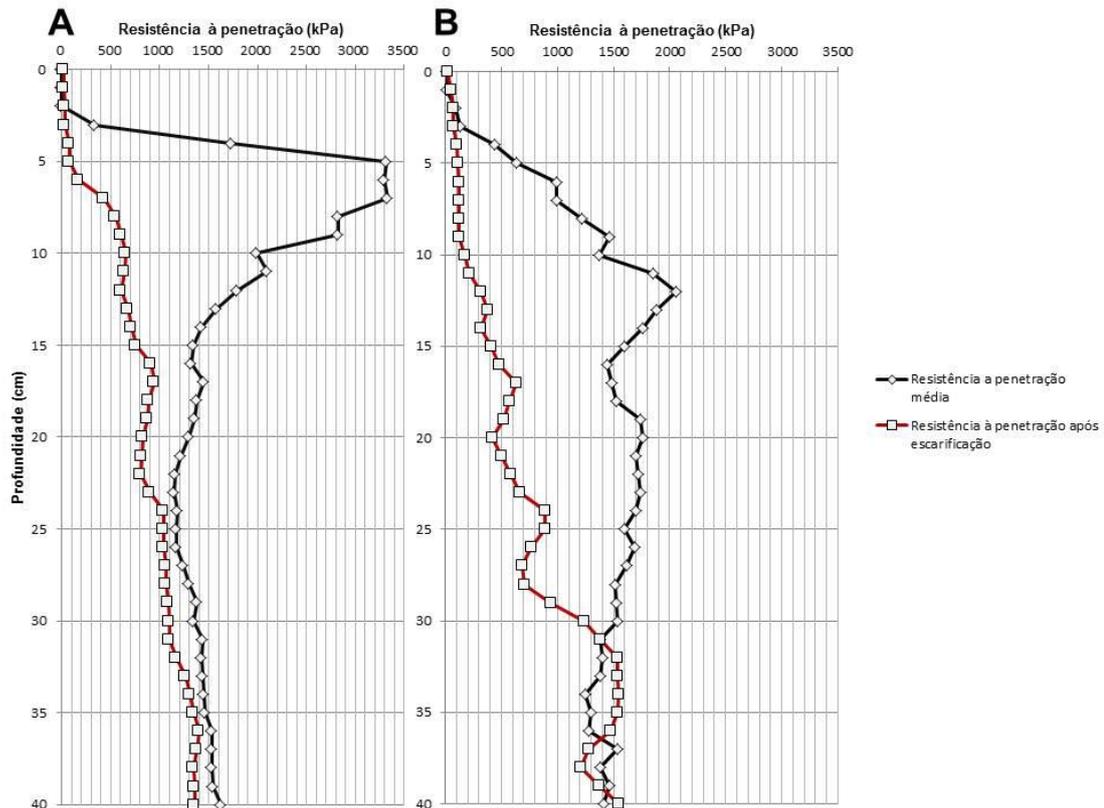


Figura 23 - Resistência média à penetração no perfil de 0 a 40 cm das áreas experimentais: (A) Coxilha e (B) Várzea.

Baseado nos resultados obtidos para os dois locais foi calculado o índice de cone. De acordo com Liljedahl et al. (1996), para equações de tração o índice de cone de até 15 cm tem produzido as melhores correlações para máquinas, com

recalque dos pneus no solo de até 7,5 cm. Na Tabela 6 a seguir estão os resultados encontrados referentes ao índice de cone dos solos.

Tabela 7 – Índice de cone até 15 cm para os dois solos.

	Coxilha	Várzea
Semeadura direta	1721,81	993,63
Área escarificada	352,87	152,02

As áreas onde tradicionalmente é cultivado o arroz irrigado são solos de baixa permeabilidade de água ao longo do perfil. Nesses solos geralmente são relatados problemas de trafegabilidade de máquinas e também dificuldade para realização do preparo, quando úmidos. Muitas vezes o preparo do solo é realizado em condições que prevalecem a alta umidade ou mesmo o solo saturado.

O preparo do solo para a cultura do arroz em condições de elevada umidade acaba resultando na quebra dos agregados e destruição dos macroporos. Conseqüentemente, ocorre um aumento da densidade do solo e resistência à penetração, originando efeitos negativos sobre o desenvolvimento de culturas de sequeiro. Essa desestruturação afeta as relações solo - ar - água e podem ocorrer limitações ao sistema radicular e alterações na absorção de nutrientes e água (LIMA et al., 2006).

As duas áreas de realização dos experimentos apresentam características diferentes em vista do seu uso atual. A área de coxilha atualmente sendo utilizada com pecuária e sem trabalhos de preparo de solo, apresenta um adensamento de uma camada mais superficial que a área de várzea. Nesta outra, a camada mais adensada encontra-se a profundidade comum de atuação de grades niveladoras e plainas que realizam preparo de solo. Este resultado está de acordo com Borges et al. (2004), onde, avaliando a compactação de um Gleissolo em área de várzea submetido a diferentes manejos de preparo por três anos, encontrou os maiores valores de resistência à penetração na camada de 0 a 20 cm em solo manejado sob sistema convencional.

5.2. Profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores

Na Tabela 7, estão apresentadas as profundidades médias de atuação dos diferentes mecanismos sulcadores utilizados.

Em geral para todos os mecanismos utilizados, as profundidades maiores foram alcançadas no experimento realizado em Várzea. A ocorrência disso é devido às características físicas do solo e da resistência à penetração.

Tabela 8 - Profundidades de atuação dos mecanismos sulcadores (cm).

MECANISMO	PROFUNDIDADE (cm)	
	Coxilha	Várzea
Disco ondulado	5,6	7,5
Haste + tapa sulco	15,0	16,5
Haste	18,0	19,2
Disco duplo	6,0	7,5
Disco duplo (Escarificado)	9,5	10,0
Camalhoneira	-	15,0

Entre os mecanismos sulcadores nos tratamentos com haste sulcadora obteve-se maior profundidade de atuação, sendo explicado pelas características desse mecanismo de abertura de sulco como formato e angulação de ataque ao solo. Esse resultado concorda com Mahl (2006) que constatou maior aprofundamento do mecanismo haste sulcadora em relação ao sistema disco duplo em semeadura de milho. Este autor ainda complementa que este comportamento é esperado porque hastes sulcadoras são projetadas para atuar a maiores profundidades.

5.3. Velocidade real de deslocamento

Ao iniciar a implantação do experimento no campo o primeiro tratamento foi com haste sulcadora, portanto foram testadas duas marchas para escolher a velocidade de trabalho. Constatou-se que na marcha 3ª reduzida baixa imprimia uma velocidade de 5,5 km.h⁻¹, o trator não conseguia tracionar satisfatoriamente a semeadora, então foi escolhida a marcha 2ª reduzida alta, que teoricamente desenvolveria uma velocidade de 4 km.h⁻¹, segundo informação do fabricante do trator.

As diferenças nas velocidades são atribuídas ao tipo de mecanismo sulcador e tipo de solo, visto que, foi utilizada a mesma marcha e mesma rotação no motor do trator nos dois experimentos. Nos tratamentos utilizando os discos, tanto disco duplo quanto ondulado, as velocidades foram mais elevadas que nos tratamentos onde foi utilizado haste sulcadora.

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados obtidos para velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora utilizando os diferentes mecanismos sulcadores nos dois tipos de solo.

Tabela 9 - Velocidades reais de deslocamento (km.h⁻¹)

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	4,01 aA	3,56 aB	12,64%
Haste + Tapa Sulco	3,02 cA	2,88 bA	4,86%
Haste	2,95 cA	2,73 bB	8,06%
Disco Duplo	3,86 abA	3,74 aA	3,21%
Disco Duplo (Escarificado)	3,64 bA	3,56 aA	2,25%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.¹ Diferença percentual entre os locais.

A diferença entre a velocidade teórica e as velocidades reais observadas em cada tratamento se deve a queda de rotação do motor, em função da demanda de tração na barra e pelo efeito do patinamento. Nessa situação, quando diminui a rotação do motor devido às sobrecargas, o motor utiliza sua reserva de torque, que é a diferença entre o torque máximo e o torque na rotação que proporciona a potência máxima. Por consequência disso, acaba diminuindo sua velocidade e aumentando o torque produzido no motor e que chega até os rodados.

Ao comparar os dois tratamentos utilizando discos duplos, semeadura direta e área escarificada, verifica-se uma redução na velocidade de aproximadamente 5% em média para os dois locais (5,7% na coxilha e 4,82% na várzea). Esses resultados concordam com valores encontrados por Mahl (2002), que verificou redução na velocidade deslocamento de semeadoras de 3,6%, trabalhando em solo sob plantio direto e solo com antecedente escarificação. Furlani et al. (2005) também obtiveram resultados semelhantes em semeadura de milho em área escarificada, onde foi constatada uma redução de 5,4% na velocidade de deslocamento em relação à semeadura direta.

Os valores das velocidades são diferentes para o mesmo mecanismo sulcador em função das distintas superfícies de solo, escarificada previamente e semeadura direta. Esses resultados são diferenciados pelos valores de resistência ao rolamento nas duas superfícies, em que, na área previamente escarificada ocorreu um maior recalque dos pneus do trator e da semeadora, sendo necessário maior dispêndio de energia por parte do motor para o deslocamento do conjunto, resultando em velocidade menor quando comparado ao sistema de semeadura direta.

5.4. Força de tração na barra e por unidade de semeadura

Na variável força de tração demandada pela semeadora, os resultados mostram que a maior demanda ocorreu quando se utilizou o mecanismo sulcador do tipo haste, independente do tipo de solo. Estes resultados são semelhantes com os obtidos por Andreolla e Filho (2006), os quais indicam que a força de tração requerida por uma semeadora, foi maior utilizando haste sulcadora operando em

área de plantio direto de integração lavoura-pecuária. A Tabela 10 apresenta os valores de força de tração obtidos na área de coxilha e de várzea.

Tabela 10 – Força de tração em kN.

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	12,08 dA	11,32 bA	6,71%
Haste + Tapa Sulco	34,74 bA	33,23 aA	4,54%
Haste	39,78 aA	35,63 aB	11,65%
Disco Duplo	13,04 cdA	9,40 bB	38,72%
Disco Duplo (Escarificado)	16,06 cA	11,81 bB	36,00%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

¹ Diferença percentual entre os locais.

Os resultados obtidos utilizando os mecanismos sulcador do tipo haste e a sua adaptação com sistema tapa-sulco na área de várzea, não diferiram estatisticamente. A profundidade alcançada pelo sistema de haste com tapa-sulco foi inferior do que quando se utilizou somente a haste sulcadora, isso se explica por este ser um sistema fixo. O sistema de roda tapa-sulco limitou a profundidade das hastes nos dois tipos de solo, ocasionando uma redução na demanda energética.

A redução na força de tração utilizando sistema haste + tapa-sulco foi maior na área de coxilha, apresentando diferença significativa entre ambos os valores. Este resultado pode ser explicado pela característica física do solo, o qual possui maior resistência à penetração e esforço cortante, motivo pelo qual a força de tração foi 12,67% superior utilizando somente a haste sulcadora neste local. Também a profundidade de atuação explica esse valor, pois, nesse contexto, Conte et al. (2007) concluiu em trabalho variando profundidade de atuação da haste sulcadora em Latossolo Vermelho que, de 12 cm para 15 cm houve aumento de 120% na força de tração. Na comparação do sistema tapa-sulco, entre os dois locais, verificou-se apenas 4,54% de redução nos valores.

Para os tratamentos onde foram utilizados os discos, os valores de força de tração foram menores que os tratamentos anteriores, independente do local. Para o experimento em várzea, os resultados obtidos com discos ondulados e discos duplos, tanto em área escarificada quanto em semeadura direta, não diferem estatisticamente entre si.

Na área de coxilha houveram diferenças nos resultados encontrados entre os tipos de discos. Os discos ondulados diferiram dos discos duplos entre os sistemas, semeadura direta e escarificado, devido ao fato da profundidade de trabalho alcançada ser inferior na semeadura direta. Discos ondulados comparados com discos lisos duplos tem uma maior área de contato com o solo, e pode ser verificado por uma maior resistência à penetração neste solo próximo da superfície, o que dificultou ainda mais a penetração deste sistema.

Andreolla e Filho (2006) relatam que em solos com efeito de pisoteio de gado a compactação é encontrada até os 5 cm iniciais. Isso é justamente o que foi verificado neste experimento, onde os valores mais elevados de resistência à penetração estão na faixa de 5 a 7 cm na área de coxilha, o que contribui para menor penetração de sistemas utilizando discos.

Neste contexto, a tendência dos resultados encontrados nos dois locais está de acordo com Santos et al. (2008) e Levien et al. (2011), onde, este último, testando dois tipos de sulcadores (haste e discos duplos) encontraram valores de demandas de esforço de tração superiores quando utilizados sulcadores do tipo haste.

Os valores obtidos referentes à força de tração requerida por linha de semeadura estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Força de tração em kN por linha de semeadura.

(Continua)

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	2,01 dA	1,89 bA	6,68%
Haste + Tapa sulco	5,79 bA	5,54 aA	4,55%
Haste	6,63 aA	5,94 aB	11,65%

			(Conclusão)
Disco Duplo	2,17 cdA	1,57 bB	38,65%
Disco Duplo (Escarificado)	2,68 cA	1,97 bB	36,05%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

¹ Diferença percentual entre os locais.

Os resultados de força de tração por linha de semeadura utilizando haste sulcadora estão acima dos observados por Chioderoli et al. (2010), onde, em Latossolo Vermelho eutroférico típico, encontraram valores de 4,1 kN. Também foram verificados valores superiores aos encontrados por Santos (2010), que em um Argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico encontrou valores de 2,57 kN por linha de semeadura utilizando haste sulcadora.

Analisando os tratamentos com discos duplos, os valores médios encontrados nos dois locais são de acordo com os resultados encontrados por Mahl (2002) onde, testando duas semeadoras com sistema de discos duplos para deposição de fertilizante obteve valores médios de 1,93 kN por linha para uma semeadora e 2,64 kN para a outra.

Ao comparar os resultados dos dois locais verificaram-se diferenças estatísticas para o tratamento utilizando a haste sulcadora. Santos (2010) relata que diferentes condições de compactação do solo interferem sobre os diferentes valores de força de tração média. A tendência dos resultados em serem mais elevados para os tratamentos com haste sulcadora, concorda com Mahl (2002) e Mahl (2006), que, quanto maior a profundidade de atuação dos mecanismos maior a força demandada por linha de semeadura.

5.5. Potência em tração

A Tabela 12 apresenta os valores de potência em tração resultante da utilização de cada mecanismo.

Tabela 12 – Potência em tração (kW) com diferentes mecanismos.

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	13,46 dA	11,19 bB	20,29%
Haste + Tapa Sulco	29,14 bA	26,59 aB	9,59%
Haste	32,57 aA	26,87 aB	21,21%
Disco Duplo	13,98 cdA	9,79 bB	42,80%
Disco Duplo (Escarificado)	16,24 cA	11,64 bB	39,52%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

¹ Diferença percentual entre os locais.

Os menores valores de potência em tração são observados quando foram utilizados os mecanismos de discos tanto na área escarificada quanto em semeadura direta. Assim como concluíram Santos et al. (2008) e Fernandes et al. (2014), foram observados os maiores valores de potência na barra quando utilizados os tratamentos constituídos por haste sulcadora, independentemente do local.

Ao comparar os diferentes mecanismos constata-se que houve diferença estatística significativa para o efeito local, ou seja, tipo de solo. As características físicas dos dois solos possuem diferenças nos teores de areia, argila e silte. O solo de coxilha possui um teor maior de argila, sendo este um fator elementar nas alterações na demanda energética envolvida, concordando com Mahl (2006), que conclui que, em solo argiloso, a demanda média de força e de potência em tração é maior para sistemas que utilizam o mecanismo tipo haste sulcadora.

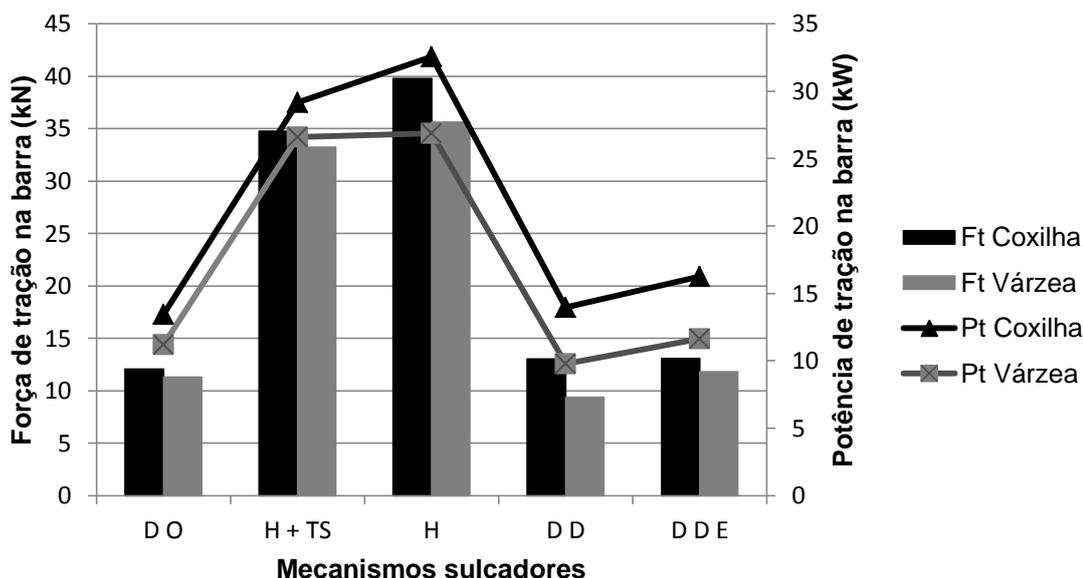


Figura 24 - Relação entre força de tração (kN) e potência de tração (kW).

Observando a Figura 24, nota-se que a demanda de potência na barra de tração aumentou proporcionalmente com o aumento da força de tração para os dois locais de realização dos experimentos. Como relatam Bertolini e Gamero (2010), os resultados referentes à potência na barra de tração se devem principalmente às variações na força de tração, sendo pouco influenciada pela velocidade de deslocamento. Santos et al. (2010), também verificaram em seus trabalhos em diferentes sistemas de preparo de solo, que a potência na barra de tração aumentou consequentemente ao aumento nos valores de força de tração. Também Mahl (2002), trabalhando em um Nitossolo Vermelho, constatou aumentos nos valores de potência na barra com aumento da velocidade de deslocamento e que as diferenças estatísticas no requerimento de potência na barra foram semelhantes aos de força de tração demandada.

5.6. Patinamento das rodas motrizes

Quanto ao patinamento das rodas motrizes, observa-se que somente na utilização do mecanismo haste, houve diferença estatística entre os dois locais.

Comparando os diferentes mecanismos de abertura de sulco identifica-se que os tratamentos utilizando haste sulcadora diferiram dos tratamentos com os discos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Patinamento das rodas motrizes (%).

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	7,83 bA	11,16 bA	-29,84%
Haste + Tapa Sulco	22,74 aA	26,03 aA	-12,64%
Haste	24,36 aB	29,86 aA	-18,42%
Disco Duplo	6,08 bA	7,62 bA	-20,21%
Disco Duplo (Escarificado)	10,44 bA	10,65 bA	-1,97%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

¹ Diferença percentual entre os locais.

Com base nos resultados anteriores é possível afirmar que, com o aumento da força de tração na barra, houve um crescente aumento do patinamento das rodas motrizes do trator, independentemente do mecanismo de abertura de sulco utilizado. Os valores observados evidenciam o que foi visto no campo, a queda na rotação do motor do trator em função do aumento na força de tração.

O patinamento, como visto anteriormente, é dependente, além da força de tração exercida, também da condição de superfície do solo onde se trafega. Entre os dois experimentos é notável a diferença na resistência à penetração, no solo de Coxilha esses valores são muito mais elevados desde a superfície. O índice de cone e a textura do solo contribuíram para que os resultados referentes ao patinamento das rodas motrizes serem menores nesse local, pelo fato de proporcionar maior aderência aos pneus do trator.

Embora não havendo diferença estatística entre os dois locais, na várzea os valores do patinamento são maiores também pela característica física do solo. A quantidade de argila na camada de 0 – 0,10 m do solo é menor do que na coxilha, sendo esta a explicação para a diminuição do limite de resistência do solo à força tangencial imposta pelas rodas. O tipo de manejo que vinha sendo adotado nesta área, anterior à semeadura, também afeta estes valores. Na entressafra a área estava ocupada com a cultura do azevém, mas não ocorrendo pisoteio animal, já na área de coxilha não vinha sendo realizado preparo de solo há alguns anos e era utilizada com pecuária, evidenciando valores de resistência à penetração mais elevados, próximos à superfície do solo.

Ao comparar o sistema sulcador composto por discos duplos operando nos tratamentos em área escarificada e em semeadura direta não houve diferença estatística. Na média dos dois experimentos, comparando os sistemas de semeadura, ocorreu um aumento em torno de 35% no patinamento. Esse aumento vai de acordo com Chioderoli et al. (2010) onde relatam ter maiores níveis de patinamento dos rodados em área previamente preparada com escarificador.

5.7. Capacidade efetiva de trabalho

A capacidade efetiva de trabalho é função direta da velocidade real de deslocamento. Portanto os fatores envolvidos na variação da velocidade acabaram por afetar diretamente também a capacidade efetiva, concordando com Mahl et al. (2004) e Furlani et al. (2005), onde relatam que as variações na velocidade interferem no desempenho operacional das máquinas. Portanto a análise estatística revela as semelhanças entre os valores da capacidade efetiva e da velocidade de deslocamento. Na média de todos os tratamentos, houve uma diferença de 5,7% em relação aos dois locais, sendo que na coxilha apresentam-se os maiores valores. Nesse experimento a capacidade efetiva de trabalho foi maior em vista dos fatores que afetaram a velocidade de trabalho, como o patinamento e as características do solo. A Tabela 14 contém os valores de capacidade efetiva de trabalho para os diferentes locais e mecanismos de abertura de sulcos.

Tabela 14 – Capacidade efetiva de trabalho (ha.h⁻¹).

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	1,20 aA	1,07 aB	12,15%
Haste + Tapa Sulco	0,91 cA	0,86 bA	5,81%
Haste	0,88 cA	0,82 bB	7,32%
Disco Duplo	1,16 abA	1,13 aA	2,65%
Disco Duplo (Escarificado)	1,10 bA	1,07 aA	2,80%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

¹ Diferença percentual entre os locais.

Comparando os diferentes mecanismos sulcadores pode-se verificar um aumento de 22% na capacidade efetiva de trabalho quando se passa a utilizar mecanismos de discos em substituição à haste sulcadora, independente do local trabalhado.

As variações na capacidade efetiva terão impacto na relação de custos envolvidos na operação de semeadura, pois implicará diretamente no combustível gasto por área trabalhada. Atualmente são mais utilizados os valores de consumo por área do que consumo por hora trabalhada. Estes valores representam melhor os custos necessários à implantação que o próprio consumo horário. Pouco adianta julgar uma máquina pelo seu consumo horário sem considerar seu trabalho desenvolvido.

5.8. Consumo de combustível

As diferenças referentes ao consumo de combustível do trator estão condicionadas somente às variações dos experimentos, que são o tipo de solo e os

mecanismos sulcadores, pois para os dois locais era utilizada a mesma marcha de trabalho e a mesma rotação do motor.

5.8.1. Consumo horário e específico de combustível

Analisando o consumo horário de combustível do trator, os maiores valores estão condicionados aos tratamentos utilizando haste sulcadora. Para os tratamentos utilizando os mecanismos sulcadores do tipo haste, o consumo de combustível obtido foi em torno de 35% superior em relação aos de discos na coxilha, já na várzea o contraste entre estes sistemas chega a 39%.

Observado os resultados expressos pela Tabela 15, o consumo horário de combustível apresentou sempre os maiores valores no experimento realizado na área de coxilha.

Tabela 15 – Consumo horário do trator ($L.h^{-1}$).

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	9,30 bA	8,62 bA	7,89%
Haste + Tapa Sulco	14,88 aA	13,83 aB	7,59%
Haste	15,33 aA	14,20 aB	7,96%
Disco Duplo	9,46 bA	8,08 bB	17,08%
Disco Duplo (Escarificado)	10,55 bA	8,64 bB	22,11%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

¹ Diferença percentual entre os locais.

As diferenças entre os sistemas hastes e discos, foram significativas, evidenciadas pela análise estatística. Os resultados concordam com o que dizem Santos et al. (2010) que o aumento na força de tração requerida por semeadora

proporciona um aumento no consumo de combustível. Isto é explicado pela maior exigência do trator na maior força de tração.

As características dos solos dos locais acabou por influenciar em todas as variáveis medidas no experimento, e este é o fator responsável pelas diferenças. A profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores, comparado entre eles, também foi um fator determinante para o consumo de combustível, pois as hastes acabam por penetrar no solo a uma maior profundidade que os discos. Isto pode ser atribuído aos seus formatos, ângulo de ataque e área de contato com o solo. Vizzotto (2014) utilizando diferentes mecanismos sulcadores para implantação de soja em área de várzea sistematizada, também encontrou valores de consumo de combustível maior utilizando haste sulcadora em contraponto aos discos. Este autor também atribui a profundidade de atuação dos mecanismos como determinante para o aumento no consumo de combustível.

O consumo específico de combustível é função do trabalho realizado por um determinado período, e expresso em g/kW.h. Este serve para destacar a eficiência de um motor, mas varia de acordo com o ponto de funcionamento considerado. O consumo específico mínimo de um motor é alcançado em um ponto de funcionamento próximo à aceleração máxima (MÁRQUEZ, 2012). Nos experimentos foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos e entre os dois locais (Tabela 16).

Tabela 16 – Consumo específico de combustível (g/kW.h).

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	606,69 aB	677,16 abA	-10,41%
Haste + Tapa Sulco	447,11 bA	455,07 cA	-1,75%
Haste	411,88 bA	462,31 cA	-10,91%
Disco Duplo	596,09 aB	742,78 aA	-19,75%
Disco Duplo (Escarificado)	568,38 aB	649,05 bA	-12,43%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. ¹ Diferença percentual entre os locais

Como a demanda energética envolvida na tração da semeadora na coxilha foi maior, os resultados referentes ao consumo específico de combustível apresentam-se menores neste local.

5.8.2. Consumo operacional de combustível.

O consumo operacional de combustível, que é função direta da capacidade operacional e do consumo horário de combustível, está representado pelos valores médios obtidos nos experimentos na Tabela 17.

Tabela 17 – Consumo operacional de combustível (L.ha⁻¹).

	Coxilha	Várzea	Diferença (%) ¹
Disco Ondulado	7,75 bA	8,08 bA	-4,08%
Haste + Tapa Sulco	16,43 aA	16,00 aA	2,69%
Haste	17,33 aA	17,48 aA	-0,86%
Disco Duplo	8,20 bA	7,20 bA	13,89%
Disco Duplo (Escarificado)	9,63 bA	8,11 bB	18,74%

Médias não seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

¹ Diferença percentual entre os locais.

Pode-se observar nos resultados diferenças estatísticas entre os tratamentos utilizando haste sulcadora e discos. Considerando as médias obtidas entre estes tratamentos obteve-se 50% de redução do consumo operacional de combustível utilizando os mecanismos de discos na coxilha e 46,5% na várzea. Analisando estes valores podemos inferir que, sobre os mecanismos sulcadores, há diferenças grandes nos custos de implantação de soja em solos de cultivo de arroz irrigado onde necessita romper camadas compactadas do solo.

Na comparação entre os dois locais houve diferença apenas nos tratamentos utilizando o sistema de discos duplos em área escarificada, o qual teve um consumo de 18,74% maior no solo com maior teor de argila embora a profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores tenha sido menor neste solo.

A partir dos resultados é possível concordar com Santos (2010), que relata em seus trabalhos, que o consumo de combustível por unidade de área trabalhada é menor trabalhando a maiores velocidades. Isso resulta num menor número de horas trabalhadas por hectare, porém velocidades mais altas aumentam a potência requerida e o consumo horário de combustível.

5.9. Resultados referentes à semeadora Camalhoneira

Os resultados a seguir se referem somente ao experimento realizado na área de várzea, não possibilitando fazer uma comparação entre os diferentes tipos de solo encontrados.

Por ser uma semeadora diferenciada, optou-se por não trabalhar as mesmas análises estatísticas. Os parâmetros analisados são os mesmos da semeadora convencional o que possibilita somente comparar entre os resultados das duas máquinas utilizando o mecanismo haste sulcadora na área de várzea.

Na Tabela 18 estão apresentados os resultados referentes aos parâmetros avaliados com esta semeadora.

Tabela 18 - Variáveis avaliadas com semeadora Camalhoneira.

(Continua)

	KF 8/5-A	MF 407*	Unidades
Força de tração	29,98	35,63	(kN)
Força de tração requerida por linha	5,00	5,94	(kN)
Potência em tração	27,27	26,87	(kW)
Velocidade real de trabalho	3,28	2,73	(km.h ⁻¹)
Patinação das rodas motrizes	16,90	29,86	(%)

			(Conclusão)
Capacidade efetiva de trabalho	0,98	0,82	(ha.h ⁻¹)
Consumo horário de combustível	11,47	14,20	(L.h ⁻¹)
Consumo específico de combustível	422,55	462,31	(g/kW.h)
Consumo por área	13,40	17,48	(L.ha ⁻¹)

*Semeadora configurada com mecanismo haste sulcadora.

Os resultados obtidos na tração desta semeadora evidenciam valores menores do que os alcançados com a semeadora convencional, apesar de o peso ser maior. Por conter um maior número de órgãos ativos em contato com o solo, considerando os três sistemas de formação dos microcamalhões adicionais mais as seis linhas de semeadura, estes contribuíram para distribuir o peso total da semeadora no solo, fazendo com que não houvesse um maior aprofundamento nos mecanismos sulcadores. A profundidade média de atuação das hastes sulcadoras foi registrada em 15 cm, profundidade menor que a da outra semeadora que foi de 19,2 cm utilizando mecanismo haste sulcadora.

A força de tração média e por linha de semeadura com a Camalhoneira foi 15,8% inferior à força registrada com a semeadora convencional. Juntamente com a velocidade de deslocamento de 16,77% maior, resultou em potência na barra de tração 1,47% superior.

As aivecas confeccionadoras dos microcamalhões foram previamente reguladas para formação destes com altura média entre 0,12 e 0,15 m. Anterior à passagem das aivecas vai um disco liso que tem a função de cortar o solo. Com isso, permite um melhor trabalho, além de contribuir para uma diminuição na força de tração da aiveca por encontrar o solo já cortado (Figura 25).



Figura 25 - Sistema sulcador e formador de microcamalhão.

A semeadora Camalhoneira apresenta resultados que possibilitam economia de combustível, desde que trabalhe em profundidades menores dos sulcadores na implantação de soja no sistema microcamalhão em várzea sistematizada. Em contrapartida disto o rompimento da camada compactada pode não ser o suficiente. No caso deste experimento, a profundidade dos sulcadores desta semeadora ultrapassou a camada com o máximo valor de resistência à penetração do solo, que se encontrava a 0,12 m.

5.10. Custos com combustível

Atualmente, para implantação de uma lavoura, existem muitos custos e despesas envolvidas no decorrer do ciclo da cultura. São grandes as quantidades de insumos utilizados, e dependendo do sistema de cultivo adotado, o tempo demandado acaba por gerar relações diferentes nos custos.

Grande parte dos custos envolvidos nos cultivos agrícolas deve-se à utilização de máquinas. E entre estes o diesel, que é o principal combustível utilizado na agricultura, em tratores, colhedoras e veículos de transportes, acaba por ser uma fonte de custo necessária.

A Tabela 19 apresenta os valores em reais e as quantidades de produto (soja) necessárias para custear o gasto com diesel.

Tabela 19 – Custos com combustível e quantidade de produto necessária para custeio.

	Coxilha		Várzea	
	R\$/ha	kg/ha	R\$/ha	kg/ha
Disco ondulado	20,16	20,86	21,01	21,74
Haste + tapa sulco	42,71	44,19	41,61	43,04
Haste	45,06	46,62	45,46	47,03
Disco duplo	21,31	22,05	18,72	19,36
Disco duplo (Escarificado)	25,15	26,02	21,09	21,82
Camalhoneira	-	-	34,85	36,05

Diesel (Litro): R\$ 2,60

Soja (60 kg): R\$ 58,00

Analisando os valores da tabela anterior verificamos que os custos mais elevados estão condicionados à implantação de soja utilizando o mecanismo sulcador do tipo haste. O tratamento utilizando o sistema de haste sulcadora com tapa-sulco resultou em um custo envolvido em média para os dois locais de 6,8% menor do que apenas a utilização da haste. Na comparação entre os dois locais verificam-se poucas diferenças de custos, atribuídas apenas às variações de desempenho obtidas no conjunto mecanizado no campo.

Os tratamentos utilizando elementos sulcadores de discos representam um custo menor na implantação. Dependendo da característica do local de trabalho discos duplos apresentam desempenho melhor e menor custo na semeadura. Em área com anterior escarificação o custo com a semeadura foi 15,27% na coxilha e

11,23% na várzea superior à semeadura direta utilizando discos duplos. Estes valores consideram apenas o trabalho de semeadura, pois o custo de implantação em área escarificada será ainda maior se for contabilizada a operação com escarificador.

Comparando os resultados da área de várzea e utilizando a semeadora Camalhoneira, é notável uma redução no custo envolvido com diesel, ao comparar com a semeadora convencional utilizando haste ou mesmo haste com tapa-sulco. O custo com diesel para esta semeadora representa em média 20% menos que o uso da semeadora convencional utilizando mecanismos sulcadores semelhantes. Assim é possível inferir que a semeadora Camalhoneira além de proporcionar a formação de uma estrutura para drenagem ou irrigação em solo de várzea, resultou em menor gasto de combustível trabalhando a uma profundidade menor se comparado com semeadora convencional, além de realizar uma operação adicional na formação de sulcos no solo, nas condições em que o experimento foi realizado.

Pela análise dos resultados obtidos a quantidade de produto imobilizado somente para cobrir o custo com combustível na semeadura, considerando todos os mecanismos sulcadores e os diferentes locais, acaba por não representar o preço de uma saca de 60 kg de soja por hectare.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos da avaliação de semeadura em diferentes sistemas de implantação nos dois tipos de solos permitiram chegar as seguintes conclusões:

A escarificação da área anterior à semeadura permite reduzir os valores do índice de cone em torno de 80% até 15 cm de profundidade nos dois tipos de solo avaliados.

O consumo de combustível é afetado pela profundidade de atuação dos mecanismos sulcadores e tipo de solo.

O patinamento foi o principal fator de alteração da velocidade de deslocamento e capacidade de campo efetiva do conjunto trator semeadora entre os dois tipos de solo.

A semeadora Camalhoneira apresenta vantagem na redução de custos de semeadura de soja, porém trabalha a profundidades menores dos sulcadores.

Os custos com combustível, considerando os valores atuais, na semeadura de soja utilizando diferentes mecanismos de abertura de sulco e o sistema de microcamalhão, representam menos do valor de uma saca de soja por hectare semeado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto 04:015.06-004 Semeadora de precisão – Ensaio de laboratório – Método de ensaio: ABRIL/1994.

ARF, O. et al. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.

ASAE D 497.4 FEB03. Agricultural Machinery Management Data. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 373-380. 2003.

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

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

ASAE S495. Uniform terminology for agricultural machinery management. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, 1996b. p. 324-25.

BELLÉ, M. P. **Desempenho de elementos descompactadores para escarificação em sistema de semeadura direta**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

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.

BEUTLER, A. N. et al. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 36, 2012.

BOLLER, W. Cuidados com o solo. *Revista Cultivar Máquinas*, Pelotas, n. 05, p. 6-8, set./out., 2001.

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

BORTOLOTTI, V. C.; NETO, R. P.; BORTOLOTTI, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamentos e coberturas de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 122-130, 2006.

BUSSCHER, W. J. et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**. Amsterdam, v. 43, p. 205-217, 1997.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, jul./ago., 2005.

CAÑAVATE, O.; HERNANZ, J. L. **Técnica de la Mecanización Agraria**. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Espanha, 1989. 654p.

CHIODEROLI, C. A. et al. Desempenho de semeadora-adubadora em função do preparo de solo e espaçamento da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 462-467, out./dez. 2010.

CONTE, O. et al. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 220-228, 2007.

CORREA, I. M. Conheça o pneu agrícola que você usa. **Revista UNESP Rural**, Jaboticabal, v. 18, p. 21, 1999.

CORRÊA, I. M. et al. Determinação da circunferência de rolamento de pneus agrícolas utilizando dois métodos: manual e eletrônico. **Bragantia**, Campinas, 58 (1):179-184, 1999.

DELAFOSSÉ, R. M. **Máquinas sembradoras de grano grueso: descripción y uso**. Santiago: Oficina Regional de La FAO para América Latina y el Caribe, 1986. p.48. Disponível em: <http://www.infoagro2000.deinfo.uepg.br>. Acesso em: 24 nov. 2014.

DRESCHER, M. S. et al. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 36, p. 1836-1844, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Ciência do Solo. Manual de métodos de análise de solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. Não Paginado.

EMBRAPA. Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS). **Sistemas de produção, 3. Versão eletrônica**. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/cap03.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

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

FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M.; RINALDI, P. C. N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras. v. 32, n. 5 p. 1582-1587, set./out., 2008.

FERNANDES, H. C. et al. Potência demandada por um conjunto trator-semeadora adubadora de plantio direto em função do mecanismo sulcador. In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014. Campo Grande. **Anais**. Disponível em <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/anais/R0117-2.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2014.

FRANTZ, U. G. **Análise de desempenho em tração de rodado simples e duplo em um trator agrícola**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

FRANTZ, U. G. et al. Eficiência energética de um trator agrícola utilizando duas configurações de tomada de potência. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 7, p. 1219-1222, jul. 2014.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 458-464, maio/ago. 2005.

GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 333–339, 2010.

GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, set./dez. 2004.

GABRIEL FILHO, A. et al. Sistema informatizado para seleção e custo de uso de equipamentos de preparo do solo. In: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA. 2000. Ponta Grossa. **Anais**. Ponta Grossa. Fundação ABC.

GEE-CLOUGH, D.; MCALLISTER, M.; EVERNDEN, D. W. Tractive performance of tractor drive tyres, II. A Comparison of Radial and Cross-ply Carcass Construction. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 22: 373-384, 1977.

GOMES, A. S. et al. Influência da descompactação do solo em subsuperfície e do espaçamento entre linhas sobre o desempenho da soja em área de várzea. Reunião técnica, diversificação do uso de várzeas de clima temperado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. p. 78-82, 2002.

HUNT, D. Maquinaria Agrícola: **Rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipo**. 7. ed., Illinois. 1. ed., México, 1983. 451 p.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Notícias. Porto Alegre, 2013. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4253/irga-divulga-estimativa-da-safra-2013/2014>>. Acesso em 09/09/2013.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Notícias. Porto Alegre, 2014. Disponível em:<http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140903105722produtividade_municipios_safr_a_13_14_versao_final.pdf>. Acesso em 10/09/2014.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Notícias. Porto Alegre, 2015. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/5064/dia-marcado-pela-cerimonia-oficial-da-abertura-da-colheita>>. Acesso em 07/02/2015.

JENANE, C.; BASHFORD, L. L.; MONROE, G. Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Silsoe, v. 64, p. 131-138, 1996.

KICHLER, C. M. et al. Effects of transmission gear selection on tractor performance and fuel costs during deep tillage operations. **Soil & Tillage Research** v. 113 p. 105–111. 2011.

KLAR, A. E. et al. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. An. **Esc. Sup. Agric. Luíz de Queiroz**, Piracicaba, 1966.

LILJEDAHL, J. B. et al. **Tractors and their power units**. ASAE. 4. ed. MI - USA, 1996. 463 p.

LIMA, C. L. R. et al. Compactação de um planossolo em função de sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**. Pelotas – RS. v. 12, n. 2, p. 179-182, abr./jun., 2006.

LINARES, P.; CATALÁN, H.; MÉNDEZ, V. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 215p. Madrid, 2006.

LINARES, P. **Teoría de la tracción de tractores agrícolas**. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 157p. Madrid, 1996.

MACHADO, R. L. T. et al. Avaliação do desempenho de escarificador em planossolo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 2, n. 3, p. 151-154, Set./Dez., 1996.

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.

MACMILLAN, R. H. **The Mechanics of Tractor - Implement Performance: Theory and Worked Examples**. Melbourne, 2002. 165 p.

MAHL, D. Desempenho de semeadoras-adubadoras de milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto. 2002. 160 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

MAHL, D. **Desempenho operacional de semeadora em função De mecanismos de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho**. 2006. 143 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 150-157, jan./abr. 2004.

MARCHESAN, E. et al. Sistemas de implantação e seus efeitos na resistência mecânica do solo à penetração de raízes e na produtividade de soja em área de várzea. VII Congresso do Arroz Irrigado. Santa Maria - RS. 2013.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em áreas de arroz. VII Congresso do Arroz Irrigado. Santa Maria - RS. 2013.

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

MÁRQUEZ, L. **Solo Trator '90**. Editora Laboreo, 1990.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria para la preparación del suelo, la implantación de los cultivos y la fertilización**. B&H Grupo Editorial. Espanha, 2001. 495p.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria agrícola**. B&H Grupo Editorial. Espanha, 2004. 700p.

MÁRQUEZ, L. **Tractores Agrícolas: Tecnología y Utilización**. B&H Grupo Editorial. Espanha, 2012. 844p.

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. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica CERES LTDA. 1974, 301 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas Motoras na Agricultura** v. 2.2. EPU: Editora da Universidade de São Paulo, 1980. São Paulo. cap 13, p. 140-222 367 p.

MODOLO, A. J. et al. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 298-306, out./dez. 2004.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Secção de Geografia, 1961, 46p.

NETO, R. P.; BORTOLOTTI, V. C.; BORTOLOTTI, M. C. **Demanda energética de uma semeadora-adubadora pneumática submetida a três velocidades e diferentes coberturas do solo**. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2004, São Pedro - SP. CD.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. & HERNANZ, J. L. **Técnica de la mecanización agrária**. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1989.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, 521-529, 2001b.

PEDROTTI, A. et al. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 709-715, abril, 2001a.

REINERT, D. et al. Principais Solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul: guia de excursão. 2. ed. – Santa Maria: Departamento de Solos - UFSM, 2007.

REIS, E. F. et al. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 3, 212 - 221, Jul./Set., 2004.

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

SANTOS, P. M. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator**. 2010. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS, A. P.; TOURINO, M. C. C.; VOLPATO, C. E. S. Qualidade de semeadura na implantação da cultura do milho por três semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1601-1608, set./out., 2008.

SANTOS, A. P.; VOLPATO, C. E. S.; TOURINO, M. C. C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras. v. 32, n. 2, p. 540-546, mar./abr., 2008.

SCHLOSSER, J. F. **Influencia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas**. 1996. 286f. Tese(Doutorado em Ingeniería Rural) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, 1996.

SCHLOSSER, J. F. **Influencia del avance cinemático de las ruedas delanteras motoras en la eficiencia en tracción de los tractores agrícolas**. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996. 286p. Tese (Doutorado em Ingeniería Rural) – Departamento de Ingeniería Rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 1996.

SCHLOSSER, J. F.; LINARES, P.; MARQUEZ, L. Influence of the kinematics advance on the traction efficiency of the front wheel assist tractor. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1801-1805, 2004.

SCHLOSSER, J. F.; MÁRQUEZ, L.; LINARES, P. Desenvolvimento de metodologia para previsão do fenômeno de vibrações decorrentes da interferência entre eixos de um trator com tração dianteira auxiliar (TDA). **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, 2001.

SCHLOSSER, J. F. Tratores agrícolas. Santa Maria: UFSM, Departamento de Engenharia Rural, 2001. 63p. (Série técnica, I).

SILVA, C. A. S. da et al. Sistema sulco/camalhão para culturas em rotação ao arroz em áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 14 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 54).

SILVA, C. A. S. et al. Drenagem superficial para cultivos rotacionados em solos de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 24 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 237).

SILVA, C. A. S. et al., Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 4 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 165).

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. 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, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema de plantio direto**. 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v. 10, n. 1, p. 220–224, 2006.

SIQUEIRA, R. **MILHO: SEMEADORAS -ADUBADORAS PARA SISTEMA PLANTIO DIRETO COM QUALIDADE**. 2007. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Molin/leb432/Semeadoras/semeadora-adubadora%20para%20sistema%20de%20plantio%20direto%20com%20qualidade.pdf>> acesso em 27/08/2013.

THEISEN, G. et al. Compactação do solo hidromórfico em plantio direto reduz a produtividade de soja em terras baixas. XXXIX Reunião da Pesquisa de Soja da Região Sul. 2012.

THOMAS, A. L.; PIRES, J. L. F.; MENEZES, V. G. Rendimento de grãos de cultivares de soja em solo de várzea. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**. v. 6, n. 1, p. 107-112, 2000

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. D. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573 – 581, 1998.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M. de; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, ago. 2002.

VALE, W. G. **Análise de desempenho de uma semeadora-adubadora de semeadura direta no norte fluminense**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal, com ênfase em Mecanização Agrícola) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ.

VALE, W. G. et al. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante a operação de roçagem. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 2, p. 68-75, 2011.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 15, n. 1-4, p. 37-42, jan./dez., 2009.

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

VIZZOTTO, V. R. **Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora sobre alguns atributos físicos do solo de várzea no comportamento da cultura da soja (*Glycine max* L.)**. 2014. 77 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Harlow: Longman, 1988. 412p.

YANAI, K. et al. Desempenho operacional de trator com e sem o acionamento da tração dianteira auxiliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1427-1434, ago. 1999.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Análise de Variância (ANOVA) das variáveis.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - FORÇA DE TRAÇÃO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	5416,13	1354,03	566,65	0,00
F2	1	81,88	81,88	34,26	0,00
F1*F2	4	20,88	5,22	2,18	0,09
erro	30	71,68	2,38		
Total corrigido	39	5590,59			
CV (%) =	7,12				
Média geral:	21,70	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - VELOCIDADE

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	6,95	1,73	81,63	0,00
F2	1	0,41	0,41	19,54	0,00
F1*F2	4	0,17	0,04	2,08	0,10
erro	30	0,63	0,02		
Total corrigido	39	8,18			
CV (%) =	4,30				
Média geral:	3,39	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - POTÊNCIA NA BARRA DE TRAÇÃO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	2512,85	628,21	371,40	0,00
F2	1	149,22	149,22	88,22	0,00
F1*F2	4	16,65	4,16	2,46	0,06
erro	30	50,74	1,69		
Total corrigido	39	2729,48			
CV (%) =	6,79				
Média geral:	19,10	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - PATINAMENTO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	2791,04	697,76	110,78	0,00
F2	1	76,83	76,83	12,20	0,00
F1*F2	4	32,27	8,06	1,28	0,29
erro	30	188,95	6,29		
Total corrigido	39	3089,12			
CV (%) =	16,01				
Média geral:	15,67	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - CONSUMO HORÁRIO DE COMBUSTÍVEL

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	288,77	72,19	185,52	0,00
F2	1	15,06	15,06	38,72	0,00
F1*F2	4	1,65	0,41	1,06	0,39
erro	30	11,67	0,38		
Total corrigido	39	317,16			
CV (%) =	5,53				
Média geral:	11,28	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	384116,21	96029,05	52,42	0,00
F2	1	50754,22	50754,22	27,71	0,00
F1*F2	4	20437,49	5109,37	2,79	0,04
erro	30	54949,20	1831,64		
Total corrigido	39	510257,13			
CV (%) =	7,62				
Média geral:	561,65	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - POTÊNCIA POR LINHA DE SEMEADURA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	150,47	37,61	566,38	0,000
F2	1	2,27	2,27	34,25	0,000
F1*F2	4	0,58	0,14	2,18	0,001
erro	30	1,99	0,06		
Total corrigido	39	155,31			
CV (%) =	7,12				
Média geral:	3,61	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - CAPACIDADE EFETIVA DE TRABALHO

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	0,63	0,15	79,36	0,00
F2	1	0,03	0,03	19,03	0,00
F1*F2	4	0,01	0,003	1,92	0,13
erro	30	0,05	0,001		
Total corrigido	39	0,74			
CV (%) =	4,38				
Média geral:	1,01	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - COSUMO OPERACIONAL DE COMBUSTÍVEL

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
F1	4	730,13	182,53	182,51	0,0000
F2	1	2,43	2,43	2,43	0,1295
F1*F2	4	4,76	1,19	1,19	0,3345
erro	30	30,00	1,00		
Total corrigido	39	767,33			
CV (%) =	8,61				
Média geral:	11,62	Número de observações:		40	

F1 = Mecanismos sulcadores
F2 = Tipos de solo