

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

**DESEMPENHO DE MECANISMOS DE CORTE DOS  
RESÍDUOS CULTURAIS E ABERTURA DE SULCO  
PARA A SEMEADURA DIRETA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Tiago Rodrigo Francetto**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

# **DESEMPENHO DE MECANISMOS DE CORTE DOS RESÍDUOS CULTURAIS E ABERTURA DE SULCO PARA A SEMEADURA DIRETA**

**Tiago Rodrigo Francetto**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do 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 obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

**Orientador: Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

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

Francetto, Tiago Rodrigo  
Desempenho de mecanismos para corte dos resíduos culturais e abertura de sulco para a semeadura direta / Tiago Rodrigo Francetto.-2014.  
126 p.; 30cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço  
Coorientadores: Catize Brandelero, Reges Durigon  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2014

1. Semeadora-adubadora 2. Relação máquina-solo 3. Ensaio de máquinas agrícolas 4. Haste sulcadora 5. Discos duplos desencontrados I. Alonço, Airton dos Santos II. Brandelero, Catize III. Durigon, Reges IV. Título.

© 2014

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

**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**

**DESEMPENHO DE MECANISMOS DE CORTE DOS RESÍDUOS  
CULTURAIS E ABERTURA DE SULCO PARA A SEMEADURA  
DIRETA**

elaborada por  
**Tiago Rodrigo Francetto**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng. - UFSM  
(Presidente/Orientador)**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Mauro Fernando Ferreira, Dr. Eng. - UFPel  
(Membro externo)**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. José René Gassen, Dr. Eng. - IFMT  
(Membro externo)**

**Santa Maria, 31 de janeiro de 2014**

*Aos meus pais, Lauro Francetto e Melania Francetto, dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, **Lauro Antonio Francetto** e **Melania Gartner Francetto**, pelo exemplo admirável, apoio, carinho e incentivo incondicional em todas as etapas da minha vida.

A minha irmã **Camila Luisa Francetto**, pelo excepcional companheirismo, apoio, amizade, amor e estímulo.

A minha querida namorada **Lúcia dos Santos Albanio**, pelo apoio, amor, companheirismo e incentivo, os quais sempre me motivam.

A todos os meus familiares que sempre me apoiaram, em especial a minha avó **Maria Teresinha Francetto**, meus avós **Mario Gartner** e **Elga Silma Gartner**, meu tio-avô **Mario Dapont** e meu cunhado **Josué Pereira Dias**.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pelo apoio financeiro, oportunidade e ensinamentos.

Ao professor, orientador e amigo **Airton dos Santos Alonço**, pela oportunidade, amizade, ensinamentos, companheirismo e paciência ao longo desses anos de convívio.

A professora e co-orientadora **Catize Brandelero**, pelo auxílio, ensinamentos, amizade e incentivo.

Aos amigos e colegas de laboratório **Cristian Josue Franck**, **Dauto Pivetta Carpes**, **Mateus Potrich Bellé**, **Otávio Dias da Costa Machado**, **André Augusto Veit**, **Rafael Sobroza Becker**, **Paulo Bedin**, **Wagner Pires**, **Lucas Souza**, **Marisa Brasil**, **Mariana Weber Rodrigues** e **Fernando Pissetti Rossato**, pelo auxílio integral, amizade e estímulo sem os quais não seria possível concretizar essa etapa da minha vida.

Aos amigos **Cristian Josue Franck** e **Daniel Padoin Chielle**, pela incomensurável ajuda, amizade e dedicação para que este trabalho fosse possível.

A **Angelo Tonetto** pelo empréstimo do trator.

Aos amigos e companheiros de apartamento **Cristian Josue Franck**, **Jorge Rodrigo Massing**, **Felipe Bianchi** e **Nelson Knak Neto**, pela amizade e convívio.

Aos amigos de hoje e sempre **João Augusto Leindecker**, **Ravel Feron Dagios** e **Robson Schneider**.

A secretária do PPGEA, **Luciana Nunes**, pelo brilhante profissionalismo e auxílio durante essa etapa.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e que me apoiaram neste período.

Muito obrigado

*A vida não consiste em ter boas cartas na mão e sim em jogar bem as que se tem. (Josh Billings)*



## RESUMO

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

### **DESEMPENHO DE MECANISMOS DE CORTE DOS RESÍDUOS CULTURAIS E ABERTURA DE SULCO PARA A SEMEADURA DIRETA**

Autor: Tiago Rodrigo Francetto  
Orientador: Airton dos Santos Alonço  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de janeiro de 2014.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o desempenho operacional do conjunto trator/porta-ferramentas equipado com diferentes configurações dos elementos de corte dos resíduos culturais e de rompedores do solo, em função da velocidade de deslocamento. Este foi realizado em propriedade agrícola situada no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho e textura franco arenosa. O experimento foi composto por 24 combinações de tratamentos, em um esquema fatorial de 2x3x4. Estes foram compostos pela interação dos fatores mecanismos de abertura de sulco (sulcador fixo e rotativo), corte de resíduos culturais (sem disco, disco liso e ondulado) e velocidades de deslocamento (1,11, 1,67, 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>). Os dados de desempenho do trator agrícola foram adquiridos com a utilização de instrumentação eletrônica. As associações entre sulcador e disco apresentaram melhor desempenho nas velocidades de 1,11 e 1,67 m s<sup>-1</sup> por demandaram menor força de tração, potência na barra e consumo de combustível. Além disso, a utilização de discos de corte permitiu uma redução da ampliação da demanda de força de tração quando a velocidade passou de 1,11 para 2,78 m s<sup>-1</sup>. O sulcador haste exigiu maior demanda de tração do que os discos desencontrados e ambos, ao serem combinados com os discos de corte, tiveram suas demanda aumentadas com maior significância para a associação com o ondulado. Foi comprovada proporcionalidade desta variável com o consumo horário e o patinamento. A mobilização do solo não foi influenciada pela velocidade, sendo maior com o uso da haste e, dentre as combinações com disco, foi superior para o ondulado.

**Palavras-chave:** Semeadora-adubadora, Relação máquina-solo, Ensaio de máquinas agrícolas, Haste sulcadora, Discos duplos desencontrados.

## ABSTRACT

Master dissertation  
Post-Graduation Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria

### PERFORMANCE OF MECHANISMS OF CUTTING CROP RESIDUES AND OPENING FURROW FOR DIRECT SEEDING

Author: Tiago Rodrigo Francetto  
Supervisor: Airton dos Santos Alonço  
Date and Place of the Defense: Santa Maria, 31 de January de 2014.

The objective of this work was to evaluate the tractor/toolholder operating performance equipped with different configurations of the cutting elements of crop residues and soil breakers, depending on the speed. This was done in a farm located in the municipality of Santa Maria (Rio Grande do Sul). The experimental area's soil was classified as Red Alfisol and loamy sand texture. The experiment consisted of 24 treatment combinations in a factorial scheme 2x3x4. These were composed by the interaction of mechanisms factors of furrow opening (furrow opener fixed and rotary), cutting crop residues (without hard, smooth and fluted disc) and travel speeds (1.11, 1.67, 2.22 and 2.78 m s<sup>-1</sup>). Farm's performance data tractors were acquired with the use of electronic instrumentation. The associations between furrow opener and disc showed better performance at speeds of 1.11 and 1.67 m s<sup>-1</sup> for required lesser traction force, power in the bar and fuel consumption. Furthermore, the cutting discs use allowed a reduction of increased demand traction force when the speed went from 1.11 to 2.78 m s<sup>-1</sup>. The furrow shanks required greater demand traction than mismatched drives and both, when combined with the cutting discs, had increased their demand with greater significance for association with fluted disc. The proportionality of this variable was proved with the hourly consumption and the slipping. The soil mobilization was not influenced by the speed, being higher with the use of the shank, and among the combinations with disc, it was superior to fluted.

**Keywords:** Row crop planter, Relation machine-soil, Testing of agricultural machinery, Furrow opener drills, Mismatched double discs.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sequência de elementos em uma linha de semeadora-adubadora .....	24
Figura 2 - Principais forças que atuam nas hastes sulcadoras .....	29
Figura 3 - Parâmetros construtivos de uma haste sulcadora .....	30
Figura 4 - Relações dimensionais básicas dos discos duplos.....	32
Figura 5 - Discos de corte de resíduos culturais .....	34
Figura 6 - Associação entre mecanismos de abertura de sulco e de corte .....	35
Figura 7 - Perfis do solo .....	36
Figura 8 - Comportamento da relação entre a força de tração requerida por semeadoras-adubadoras e da velocidade de deslocamento .....	43
Figura 9 - Vista aérea da área experimental .....	47
Figura 10 - Vista da área experimental .....	48
Figura 11 - Resistência à penetração em função da profundidade. ....	49
Figura 12 - Conjunto trator/porta-ferramentas .....	50
Figura 13 - Elementos de abertura de sulco: discos duplos (A) e haste (B).....	52
Figura 14 - Discos de corte de resíduos culturais: liso (A) e ondulado (B).....	52
Figura 15 - Croqui da área experimental.....	55
Figura 16 - Sistema de aquisição de dados .....	56
Figura 17 - Acoplamento da célula de carga.....	58
Figura 18 - Linhas de contorno dos perfis no Auto Cad .....	61
Figura 19 - Influência da velocidade de deslocamento na força de tração nas interações sulcador/disco .....	69
Figura 20 - Influência da velocidade no requerimento de potência na barra nas interações sulcador/disco .....	73
Figura 21 - Patinação dos rodados motrizes em função da velocidade de deslocamento.....	75
Figura 22 - Influência da velocidade no consumo horário de combustível nas interações sulcador/disco .....	79
Figura 23 - Influência da velocidade no consumo específico de combustível nas interações sulcador/disco .....	83
Figura 24 - Influência da velocidade de deslocamento sobre a área de solo mobilizada .....	85

Figura 25 - Interferência da velocidade de deslocamento sobre a área de solo elevada.....	88
Figura 26 - Influência da velocidade sobre o volume de solo mobilizado.....	90
Figura 27 - Interferência da velocidade sobre o empolamento de solo .....	92
Figura 28 - Influência da velocidade na resistência específica operacional nas interações sulcador/disco .....	94
Figura 29 - Interferência da velocidade de deslocamento sobre o Ceo .....	97
Figura 30 - Escala de desempenho das associações sulcador/disco para variáveis com interação tripla .....	99
Figura 31 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SF SD	101
Figura 32 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SF DL.	102
Figura 33 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SF DO	103
Figura 34 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SR SD	104
Figura 35 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SR DL	105
Figura 36 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SR DO	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios, mínimos e máximos da densidade e da umidade gravimétrica do solo .....	49
Tabela 2 - Descrição do trator agrícola .....	50
Tabela 3 - Descrição do porta-ferramentas .....	51
Tabela 4 - Características construtivas da haste sulcadora .....	51
Tabela 5 - Características construtivas dos discos duplos desencontrados .....	51
Tabela 6 - Características construtivas dos discos de corte .....	53
Tabela 7 - Descrição das combinações de tratamentos.....	53
Tabela 8 - Lista de equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica .....	56
Tabela 9 - Análise estatística descritiva dos dados.....	63
Tabela 10 - Análise estatística ANOVA com as médias dos fatores, seus níveis e os resultados do teste F .....	64
Tabela 11 - Força de tração em função dos fatores.....	65
Tabela 12 - Interação entre sulcador e disco de corte na força de tração.....	66
Tabela 13 - Interação entre sulcador e velocidade na força de tração.....	67
Tabela 14 - Interação entre disco de corte e velocidade na força de tração .....	67
Tabela 15 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na força de tração .....	68
Tabela 16 - Potência na barra em função dos fatores.....	70
Tabela 17 - Interação entre sulcador e disco de corte na potência na barra.....	71
Tabela 18 - Interação entre sulcador e velocidade na potência na barra .....	71
Tabela 19 - Interação entre disco de corte e velocidade na potência na barra .....	72
Tabela 20 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na potência na barra.....	72
Tabela 21 - Patinação em função dos fatores.....	74
Tabela 22 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o patinação.....	75
Tabela 23 - Consumo horário de combustível em função dos fatores .....	76
Tabela 24 - Interação entre sulcador e velocidade no consumo horário de combustível .....	77
Tabela 25 - Interação entre disco de corte e velocidade no consumo horário de combustível .....	78

Tabela 26 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade no consumo horário de combustível .....	78
Tabela 27 - Consumo específico de combustível em função dos fatores .....	80
Tabela 28 - Interação entre sulcador e disco de corte no consumo específico de combustível .....	81
Tabela 29 - Interação entre sulcador e velocidade no consumo específico de combustível .....	81
Tabela 30 - Interação entre disco de corte e velocidade no Ce .....	82
Tabela 31 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade no Ce .....	82
Tabela 32 - Área mobilizada de solo em função dos fatores.....	84
Tabela 33 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre a área de solo mobilizada.....	85
Tabela 34 - Área elevada de solo em função dos fatores .....	86
Tabela 35 - Interação entre sulcador e velocidade na área elevada de solo .....	87
Tabela 36 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na área elevada de solo.....	87
Tabela 37 - Volume de solo mobilizado em função dos fatores .....	89
Tabela 38 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o volume de solo mobilizado.....	89
Tabela 39 - Empolamento do solo em função dos fatores .....	91
Tabela 40 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o empolamento.....	91
Tabela 41 - Resistência específica operacional em função dos fatores.....	92
Tabela 42 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na Reo .....	93
Tabela 43 - Consumo de combustível específico operacional em função dos fatores .....	95
Tabela 44 - Interação entre sulcador e disco de corte no Ceo .....	95
Tabela 45 - Interação entre sulcador e velocidade no Ceo .....	96
Tabela 46 - Interação entre disco de corte e velocidade no Ceo .....	96
Tabela 47 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o Ceo.....	97
Tabela 48 - Resumo dos resultados encontrados para todas as combinações de tratamentos .....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ângulo entre os planos de rotação dos discos
A2	Tamanho de papel (420 mm de largura e 594 mm de altura)
AA	Ângulo de ataque
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ae	Área de solo elevada
Am	Área de solo mobilizada
ANOVA	Análise de variância
ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
ASAE	American Society of Agricultural Engineers
B	Ângulo do eixo horizontal com o ponto de contato
C	Largura do sulco
Ce	Consumo específico de combustível
Ceo	Consumo de combustível específico operacional
Cfa	Clima temperado úmido com verão quente
Ch	Consumo horário de combustível
CV	Coeficiente de variação
D	Densidade do combustível
DL	Disco liso
DO	Disco ondulado
E	Espaçamento entre linhas da cultura
Em	Empolamento do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
F	Frequência captada pelo sensor
F1	Fator 1 - Sulcador
F2	Fator 2 - Disco de corte
F3	Fator 3 - Velocidade de deslocamento
Fa	Força de atrito
Fi	Força de tração instantânea
Fr	Força de reação do solo
Ft	Força de tração média
H	Profundidade de trabalho
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LASERG	Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
M	Massa do conjunto
MG	Média geral
nd	Número de dentes da engrenagem
ns	Não significativo
P	Perímetro da roda
Pa	Patinamento do rodado motriz
Pb	Potência na barra de tração
Pu	Pulsos elétricos gerados pelo fluxômetro
Reo	Resistência específica operacional
Rr	Resistência ao rolamento
SD	Situação sem disco
SF	Sulcador fixo
SR	Sulcador rotativo
SSD	Sistema de semeadura direta
TDA	Tração dianteira auxiliar
V	Velocidade média de deslocamento do conjunto
VM	Volume de solo mobilizado
Vroda	Velocidade da roda
VSG	Velocidade sem carga

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\text{g cm}^{-3}$	Gramas por centímetro cúbico
$\text{g kWh}^{-1}$	Gramas por quilowatt hora
$\text{g kWh}^{-1} \text{ m}^{-2}$	Gramas por quilowatt hora metro quadrado
$\text{g l}^{-1}$	Gramas por litro
$\text{g m}^{-2}$	Gramas por metro quadrado
ha	Hectare
Hz	Hertz
kg	Quilograma
$\text{km h}^{-1}$	Quilômetros por hora
kN	Quilonewton
$\text{kN m}^{-2}$	Quilonewton por metro quadrado
kPa	Quilopascal
kW	Quilowatt
$\text{l h}^{-1}$	Litros por hora
m	Metros
$\text{m s}^{-1}$	Metros por segundo
$\text{m}^2$	Metro quadrado
$\text{m}^3$	Metro cúbico
$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	Metro cúbico por hectare
mm	Milímetros
mV	Milivolts
N	Newton
Nm	Newton metro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
rad	Radianos
$\text{rad s}^{-1}$	Radianos por segundo
rpm	Rotação por minuto
t	Toneladas



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1 Hipóteses .....	20
1.2 Objetivos .....	20
1.2.1 Objetivo geral.....	20
1.2.2 Objetivo específico.....	21
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>22</b>
2.1 Sistema de semeadura direta .....	22
2.2 Semeadoras-adubadoras para o sistema de semeadura direta .....	24
2.3 Mecanismos de abertura de sulco no solo.....	26
2.3.1 Abridores de sulco com órgão ativo fixo - hastes sulcadoras .....	28
2.3.2 Abridores de sulco com órgão ativo rotativo -discos duplos .....	31
2.4 Mecanismos de corte de resíduos culturais .....	33
2.4.1 Discos de corte .....	33
2.5 Associações entre mecanismos.....	34
2.6 Parâmetros de avaliação .....	36
2.6.1 Mobilização do solo .....	36
2.6.2 Força de tração e potência na barra .....	38
2.6.3 Consumo de combustível .....	40
2.6.4 Patinamento do trator .....	41
2.7 Fatores de influência inerentes a constituição da máquina e mecanismos.....	42
2.7.1 Velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora .....	42
2.7.2 Profundidade de trabalho.....	45
2.7.3 Condições do solo .....	45
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
3.1 Localização e caracterização da área experimental .....	47
3.2 Caracterização física do solo .....	48
3.3 Caracterização das máquinas agrícolas .....	50
3.4 Elementos de abertura de sulco e discos de corte.....	51
3.4.1 Elementos de abertura de sulco .....	51
3.4.2 Discos de corte .....	52

3.5 Delineamento experimental .....	54
3.6 Descrição dos tratamentos .....	53
3.7 Instalação e condução do experimento.....	54
3.8 Sistema de aquisição de dados e instrumentação eletrônica .....	55
3.9 Determinação do patinamento dos rodados motrizes do trator.....	56
3.10 Determinação de força de tração .....	57
3.11 Determinação do consumo horário de combustível .....	59
3.12 Determinação da área mobilizada, elevada e volume de solo mobilizado .....	60
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
4.1 Força de tração .....	65
4.2 Potência na barra de tração .....	69
4.3 Patinamento dos rodados motrizes .....	73
4.4 Consumo horário de combustível.....	76
4.5 Consumo específico de combustível.....	79
4.6 Área mobilizada de solo .....	83
4.7 Área elevada de solo .....	86
4.8 Volume de solo mobilizado .....	88
4.9 Empolamento do solo .....	90
4.10 Resistência específica operacional .....	92
4.11 Consumo de combustível específico operacional .....	94
4.12 Resumo dos resultados .....	99
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>108</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>109</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão da agricultura brasileira deve-se, em grande parte, pelo aumento da área cultivada no decorrer dos últimos 40 anos. O país passou de aproximadamente 40 milhões de hectares em 1980, para 50 milhões de hectares em 2012, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), permitindo um aumento substancial da produção agrícola. Contudo, apenas o incremento da área não é suficiente para que se busque a ampliação da produção.

No Brasil este avanço se dava, basicamente, até a década de 50, por conta da expansão da área cultivada. A partir da década de 60, o uso de máquinas agrícolas, fertilizantes e agroquímicos, passou a ter, também, importância na ampliação da produção. O processo de modernização intensificou-se a partir dos anos 70, quando houve, de acordo com Agra e Santos (2000), um aumento de mais de 1000% no número de tratores utilizados, em relação à década de 50 e, chegando este incremento a 6512% na década de 80. Podemos citar ainda, um acréscimo de 254% e 165%, respectivamente, no uso de arados a tração animal e nas colhedoras.

A produção nacional de grãos passou de valores inferiores a 60 milhões de toneladas em 1980, para índices superiores a 159 milhões de toneladas em 2011 (IBGE, 2012). Entretanto, a área total de produção dessas culturas manteve-se em aproximadamente 40 milhões de hectares. Dessa forma, o emprego de novas tecnologias e técnicas tem demonstrado cada vez mais a sua importância na crescente expansão da produção agrícola brasileira.

Nesse contexto, recebe destaque a mecanização agrícola que, através do desenvolvimento de equipamentos mais modernos, tem permitido além do aumento da produção, o acréscimo da capacidade operacional nas mais distintas atividades. Contudo, tendo em vista que, segundo Matos (2007), o uso de máquinas agrícolas implica em torno de 40% nos custos totais de produção, devem-se procurar alternativas que proporcionem à otimização do uso ligado a ampliação da vida útil, na busca pela melhoria do aproveitamento dos recursos produtivos e, conseqüentemente, redução dos custos da atividade.

Todavia, como a agricultura apresenta-se ligada a diversos fatores externos como o clima, muitas vezes o intervalo disponível para a realização de uma determinada tarefa é reduzida. Dentre as mais distintas atividades na agricultura, que empregam o uso de máquinas e dependem desse tempo, tem-se a semeadura, que representa uma das mais importantes etapas da produção agrícola pelo fato de propiciar o estabelecimento da cultura.

Semear é uma técnica milenar e, da sua qualidade, depende o sucesso e produtividade de uma cultura agrícola. Os aspectos mais relevantes para isso estão relacionados com o desempenho da semeadora-adubadora no que se refere ao corte eficiente dos resíduos culturais, à abertura do sulco e à colocação da semente e do fertilizante em profundidades corretas e em contato com o solo.

Uma atenção especial deve ser dada aos mecanismos rompedores do solo e de corte dos resíduos vegetais, especialmente em função dos obstáculos atribuídos pelo sistema de semeadura direta (SATTLER, 2000).

O mecanismo de corte de palha é encontrado em diferentes diâmetros e formatos, de forma que tais variações podem promover o cisalhamento dos resíduos vegetais e a abertura de uma pequena fissura no solo com distinta eficiência e variações significativas na qualidade da operação.

A abertura do sulco, processo subsequente ao corte da palha, pode ser promovida pela utilização de discos duplos ou de hastes sulcadoras. Tendo em vista a otimização da capacidade operacional do conjunto trator/semeadora, bem como, procurar conviver com uma maior compactação do solo, tem-se optado pela utilização dessas últimas, pois, conforme Bordignon (2005), apresentam uma maior capacidade de aprofundamento e de mobilização do solo do que os discos duplos. Contudo, Mialhe (2012) destaca o fato de que, em semeadoras de semeadura direta, as características relativas ao comportamento dos abridores de sulco, de forma isolada dos demais componentes, são relativamente pouco estudadas.

Desse modo, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o desempenho operacional do conjunto trator/porta-ferramentas equipado com diferentes configurações dos elementos de corte dos resíduos culturais e de rompedores do solo, em função da velocidade de deslocamento.

## 1.1 Hipóteses

- I. Se os tratamentos definidos pelos mecanismos de corte dos resíduos culturais e de abertura de sulco e pelas velocidades de deslocamento afetam a força de tração e a potência na barra de tração, então, estas irão aumentar proporcionalmente com o acréscimo da velocidade, os sulcadores hastes exigirão mais demanda que os de discos duplos desencontrados, enquanto que, ao serem combinados com discos de corte, liso ou ondulado, terão suas demandas aumentadas.
- II. Se os tratamentos afetam a força de tração e a potência na barra conforme a hipótese I, e estes se relacionam com o consumo horário e específico de combustível, o patinamento e a resistência específica operacional de forma proporcional, então estas variáveis aumentarão com a velocidade, serão maiores com o uso de hastes em relação aos discos duplos desencontrados, enquanto que, para cada um dos sulcadores associados aos discos de corte, irão aumentar essas variáveis, quando avaliado o desempenho em campo.
- III. Se os tratamentos diferem quanto à mobilização do solo, então esta não sofrerá influência da velocidade de deslocamento, será maior com o uso de haste e, dentre as combinações com disco de corte, será maior para o ondulado, quando estudadas as alterações no solo proporcionadas pelas combinações dos tratamentos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar o desempenho operacional quanto ao requerimento de tração, consumo energético e eficiência de trabalho, dos elementos de corte dos resíduos culturais e de abertura de sulco de uma semeadora-adubadora de precisão em função da velocidade de deslocamento do conjunto trator/porta-ferramentas, com o

propósito de identificar a integração que possibilite o melhor desempenho dessas máquinas.

### 1.2.2 Objetivo específico

Determinar entre os mecanismos estudados, qual ou quais apresentam maior potencialidade econômica e projetual. Este será atingido através das seguintes ações:

- I. Mensurar e confrontar o desempenho dos elementos de corte dos resíduos culturais e de abertura de sulco quanto à força de tração requerida;
- II. Determinar e comparar o comportamento do trator agrícola em função dos tratamentos, quanto ao consumo de combustível e patinamento;
- III. Avaliar e relacionar a atuação dos mecanismos quanto à mobilização do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistema de semeadura direta

A área cultivada com o sistema de semeadura direta (SSD) no Brasil apresentou uma excepcional expansão, passando de 1 milhão de hectares (ha) em 1992 para 25 milhões em 2007. Crescimento esse, impulsionado, principalmente, pela disponibilidade de semeadoras adequadas (CASÃO JUNIOR, ARAÚJO e LLANILLO, 2012).

Embora a operação executada seja a semeadura, convencionou-se no âmbito da Federação de Associações de Plantio Direto na Palha que a denominação do sistema em si, seria plantio direto. Assim, o uso popular consagrou a nomenclatura conforme explica Dallmeyer (2001).

Define-se o sistema como a prática de semeadura ou cultivo de plantas sem o amplo preparo físico do solo, mantendo a palha ou cobertura da cultura anterior na superfície do mesmo e realização de rotação de culturas (GASSEN e GASSEN, 1996). Ralisch (2001) complementa ainda, que é considerado como uma prática de preparo localizado de solo, no qual apenas os locais onde deseja-se implantar a cultura são trabalhados. Contudo, Delmond (2009) comenta que os sulcos devem ser apropriados à germinação, emergência e ao desenvolvimento inicial, no qual essa condição vai depender, também, da configuração e regulagem do sulcador nas diferentes condições de umidade, velocidade de trabalho e graus de compactação superficial do solo.

Diversos eventos físicos, químicos e biológicos acabam acontecendo no solo após a implantação dessa técnica, o que resulta em disponibilidades de nutrientes diferenciadas em relação a outros sistemas de cultivo, conforme explica Esteves e Rosolem (2011).

Com relação aos físicos, encontram-se valores mais elevados de densidade do solo e microporosidade e menores de macroporosidade, quando comparado com o plantio convencional na camada superficial (BEUTLER et al., 2001). Esse fato decorre principalmente do arranjo natural do solo quando não é revolvido e da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo

quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de água (STONE e SILVEIRA, 2001).

Além disso, Tavares Filho et al. (2001) destacam que o sistema age diretamente na melhoria do armazenamento de água no solo, propiciando o desenvolvimento de um microclima com características distintas ao cultivo convencional.

Entretanto, segundo Marcolan (2007) e Rosa (2008), apesar das mudanças positivas nas características físicas, comprovadas por Blainski et al. (2012), e químicas do solo propiciadas pelo sistema, o cultivo continuado pode levar à consolidação natural do solo, advinda da ausência de preparo, ou à sua compactação superficial, devido à pressão exercida pelo tráfego de máquinas durante as operações necessárias ao cultivo, fato comprovado por Bertol et al. (2004) e Streck et al. (2004). Araujo et al. (2004), comentam que se tem verificado, em solos argilosos, uma limitação da produtividade das culturas em virtude da compactação superficial do solo. Já Flowers e Lal (1998), encontraram significativa redução da produtividade da cultura da soja com o aumento da densidade do solo, concluindo que as plântulas são extremamente sensíveis às condições físicas deste, principalmente durante a fase de germinação.

Os solos que são compactados pelo tráfego de máquinas agrícolas, tornam-se mais sujeitos à erosão causada pelo escoamento das águas superficiais, afetando diretamente o sistema radicular das plantas e conseqüentemente reduzindo a produtividade da cultura em função de que, conforme Taylor e Brar (1991), as raízes respondem naturalmente ao ambiente à qual são submetidas. Situação evidenciada por Streck et al. (2004), que, avaliando as alterações físicas de um argissolo em diferentes níveis de tráfego na superfície, concluíram que este aumenta a densidade e a resistência do solo à penetração, reduzindo a porosidade total e a macroporosidade e não afetando a microporosidade. Por outro lado, Keller et al. (2013) destaca ainda que a compreensão sobre os processos de deformação do solo ainda são limitados.

Além disso, Ruedell (1995) explica que o controle das plantas daninhas tem sido o principal impedimento na adoção do sistema de plantio direto, para sua



expansão e atualmente para manutenção do sistema em algumas regiões, comparativamente às questões da mecanização e dos aspectos ligados ao solo.

Dessa forma, a semeadura direta só foi difundida e possibilitada através da geração e aprimoramento de tecnologias que garantiram o desenvolvimento das semeadoras-adubadoras hábeis a exercer sua função, de modo a garantir um estabelecimento adequado das culturas com o mínimo de revolvimento do solo (FRANCETTO et al., 2013b).

## 2.2 Semeadoras-adubadoras para o sistema de semeadura direta

Segundo Boller (1990), depois do trator, as semeadoras são consideradas as máquinas agrícolas de maior importância. Além disso, para Santos et al. (2008) é o equipamento mais importante para o sucesso da semeadura direta. Esta pode ser definida, conforme Machado et al. (2005), como sendo a máquina cuja função é colocar no solo os mais variados tipos de sementes seguindo as recomendações de densidade, profundidade e espaçamento pré-estabelecidas. A adubadora pode ser definida como o implemento capaz de distribuir diferentes tipos de produtos (fertilizantes), os quais podem apresentar as mais diversas constituições. A Figura 1 ilustra a sequência de elementos presentes em uma linha de semeadura.



A - Disco de corte; B - Sulcador para deposição de adubo tipo haste; C - Sulcador para deposição de semente tipo disco duplo; D - Roda compactadora

Figura 1 - Sequência de elementos em uma linha de semeadora-adubadora

Conforme Machado et al. (2005), quando se menciona sobre a realização da operação de semeadura, paralelamente está referida a adubação, tendo em vista que a grande maioria das máquinas atuais são capazes de realizar estas tarefas simultaneamente. Esta situação proporciona uma série de vantagens, dentre elas a economia de tempo e combustível.

De acordo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) citada por Santos et al. (2011), as semeadoras são classificadas segundo a forma de distribuição de sementes, sendo de precisão e de fluxo contínuo. Dias (2009) empregando a classificação da ABNT (1994), definiu semeadoras de precisão em linha como máquinas cuja função é distribuir sementes em sulco, em linha, individualmente ou em grupos, em uma densidade de semeadura preestabelecida. Segundo o mesmo autor, utilizando a classificação da ABNT (1987), as semeadoras de fluxo contínuo em linha são equipamentos que distribuem as sementes no solo de forma contínua, na linha de semeadura, sem que ocorra a individualização das sementes.

Conforme Silveira (1989), as semeadoras de precisão podem ser reunidas tomando-se por base vários critérios, como a fonte de potência (movimentação humana, tração animal e tração mecânica), tipo de acoplamento (arrasto, montada e semi montada), modo de distribuição das sementes (em sulcos ou espaços regulares) e condições de operação no campo (semeadura convencional, cultivo mínimo ou direto).

Gadanha Júnior et al. (1991), mencionados por Silva (2003), afirmam que a semeadora-adubadora para o SSD é constituída de maneira semelhante às semeadoras-adubadoras convencionais, tanto as de precisão como as de fluxo contínuo, mas possui algumas modificações que permitem seu uso em solos não preparados e com cobertura vegetal. De acordo com esses autores, uma modificação é a introdução de um sistema de corte, colocado à frente da máquina, que realiza o corte da cobertura vegetal facilitando a ação do mesmo, ou funcionando como o próprio.

Os mecanismos de uma semeadora podem ser agrupados, segundo Murray, Tullberg e Basnet (2006), em categorias diferidas entre si em função da tarefa executada, como os componentes de ataque inicial ao solo, de abertura do sulco e

controle de profundidade, de dosagem e condução de sementes e fertilizantes. Além disso, um determinado componente pode ser configurado para atingir resultados diferentes ao executar uma função específica.

As semeadoras-adubadoras contam com mecanismos sulcadores responsáveis pela abertura do sulco para a posterior deposição de sementes e adubos. Os principais tipos utilizados para tal finalidade são o facão, sapata, discos e guilhotina conforme Machado et al. (2005). Já Dias (2009), classifica os sulcadores de fertilizante como componentes de ataque ao solo juntamente com o disco de corte de palha.

Siqueira (2009) esclarece que problemas quanto ao desempenho e alta resistência à penetração dos componentes rompedores têm exigido constante adaptação das máquinas à realidade regional, principalmente, conforme Casão Júnior et al. (1998), em solos com altos teores de argila associada à grande retenção de água. Os mesmos autores explicam ainda, que, como consequência, ocorrerá um corte irregular da vegetação, embuchamentos, inapropriada abertura do sulco, aderência do solo aos componentes, profundidade de semeadura desuniforme, cobertura e contato inadequado do solo com as sementes. Assim, cuidados com regulagens, corte das coberturas e retorno do solo e da palha após abertura do sulco de semeadura tornam-se importantes.

### **2.3 Mecanismos de abertura de sulco no solo**

Os mecanismos de abertura de sulco são os dispositivos mecânicos que melhor estabelecem a relação entre o solo e a máquina (BERTOL, 1997), sendo considerados por Coelho (1998), os elementos mais importantes das semeadoras-adubadoras para semeadura direta.

Segundo Silva, Kluthcouski e Silveira (2000), dentre os processos utilizados para se fazer a adubação, o método de aplicação em sulcos é o mais utilizado. Muitas semeadoras-adubadoras fazem a distribuição do fertilizante na superfície do solo, em mistura com as sementes, o que acarreta em danos à germinação

(dependendo da cultura), como também, estimula o desenvolvimento superficial das raízes. Nessa situação, as plantas apresentam baixo volume radicular, além de ser superficial, acarretando pouca capacidade de explorar a fertilidade natural do solo e o que é mais grave, podem sofrer grandes perdas de produtividade quando ocorre estiagem.

Dessa forma, segundo Yao et al. (2009), Arf et al. (2008), Klein e Boller (1995) e Andreolla (2005), os diferentes mecanismos influenciam o rendimento das culturas, em função de que, conforme Reis et al. (2004), o microambiente próximo à semente é interferido diretamente pelo tipo de mecanismo de abertura de sulco e, segundo Vameralli, Bertocco e Sartori (2006), estes modificam as propriedades físicas do solo.

Altikat, Celik e Gozubuyuk (2013), avaliando o efeito de diferentes sulcadores no desempenho de semeadura e emergência das sementes, afirmaram que abridores fixos apresentam melhores resultados. Entretanto, Du, Bekele e Morrison Junior (2004), destacam que novas investigações a respeito dessas interações ainda são necessárias.

Conforme a American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE, 2006), esses mecanismos são destinados à abertura de um sulco onde serão colocadas as sementes e o adubo no solo, existindo diferentes tipos. Esses podem ser combinados em função do tipo e preparo de solo, teor de água, grau de compactação, profundidade de semeadura, velocidade de deslocamento e mobilização desejada, em vista de que, conforme Tsegaye e Mullins (1994), devem propiciar o contato solo/semente adequado. Dentre esses, empregados na deposição de adubo, Levien (1999) destaca que as combinações mais usadas no Brasil são os sulcadores discos duplos desencontrados e defasados (órgão ativo rotativo) e as hastes sulcadoras (órgão ativo fixo).

Como resultado, um dos problemas encontrados no sistema de semeadura direta é a seleção das ferramentas de abertura de sulco, em função do grande número de fatores que interferem no desempenho das semeadoras, da complexidade de suas interações, havendo a necessidade de estudos mais específicos visando identificar as demandas energéticas dos diversos componentes

(SIQUEIRA et al., 2001) e ainda, segundo Karayel e Sarauskis (2011), das condições de solo impostas.

### 2.3.1 Abridores de sulco com órgão ativo fixo - Hastes sulcadoras

Com a consolidação do sistema de semeadura direta, problemas relacionados à compactação das camadas superficiais do solo, em função do tráfego de máquinas e da consorciação lavoura-pecuária, têm dificultado o processo de formação dos sulcos. Dessa forma, buscando alternativas que substituam o uso de equipamentos mobilizadores do solo, como escarificadores e/ou subsoladores, faz-se necessário o emprego de ferramentas que possam atuar em maiores profundidades, como as hastes sulcadoras (SECCO et al., 2004). Essas, associadas a disco de corte, são mais efetivas na redução da densidade e da microporosidade do solo, além de possibilitar o aumento da macroporosidade, de acordo com Drescher et al. (2011) comparando o efeito das intervenções mecânicas entre esses implementos e mecanismos em um Latossolo Vermelho Distrófico. Fato comprovado por Altikat e Celik (2012), que, avaliando semeadoras equipadas com diferentes mecanismos sulcadores, concluíram que a utilização de haste propiciou melhores condições físicas ao solo.

A principal função do sulcador fixo (SF), no sistema de semeadura direta, deve ser a descompactação ou mobilização do solo em subsuperfície, em profundidade e extensão estipuladas tecnicamente (CEPIK, TREIN e LEVIEN, 2005). Além disso, Conte (2011), complementa que o uso de hastes tem o intuito de ampliar a área mobilizada e, conseqüentemente, o volume mobilizado na linha de semeadura, justamente para amenizar problemas de compactação ou condição inadequada da estrutura física do solo para o bom desenvolvimento das plantas.

A ponteira sulcadora por representar as parte ativas, constitui-se no principal elemento de mobilização do solo e, por conseguinte, responsável pela formação do sulco (SANTO, 2005).

As hastes são utilizadas em praticamente 80% das semeadoras em operação no Brasil (CEPIK, 2002), sendo que também são chamadas popularmente de “facas” ou “facões”. Estas são ferramentas planas, com superfícies de formatos variados (reto, inclinado ou parabólico), possuindo, na extremidade, ponteiros, geralmente em forma de "cunha", cuja função é cortar e penetrar o solo e possuindo, na sua parte posterior, tubos condutores, geralmente de fertilizante, que são depositados à maiores profundidades que as sementes. Apresentam maiores capacidades de penetração e maior variabilidade da profundidade dos sulcos em relação aos discos duplos. No entanto, necessitam da colocação de um disco de corte frontal para um desempenho satisfatório, a fim de que não ocorra um acúmulo do material vegetal (“embuchamentos”) sobre as hastes (SIQUEIRA, 2009).

Na Figura 2, são mostradas as principais forças que atuam nesse tipo de mecanismo.

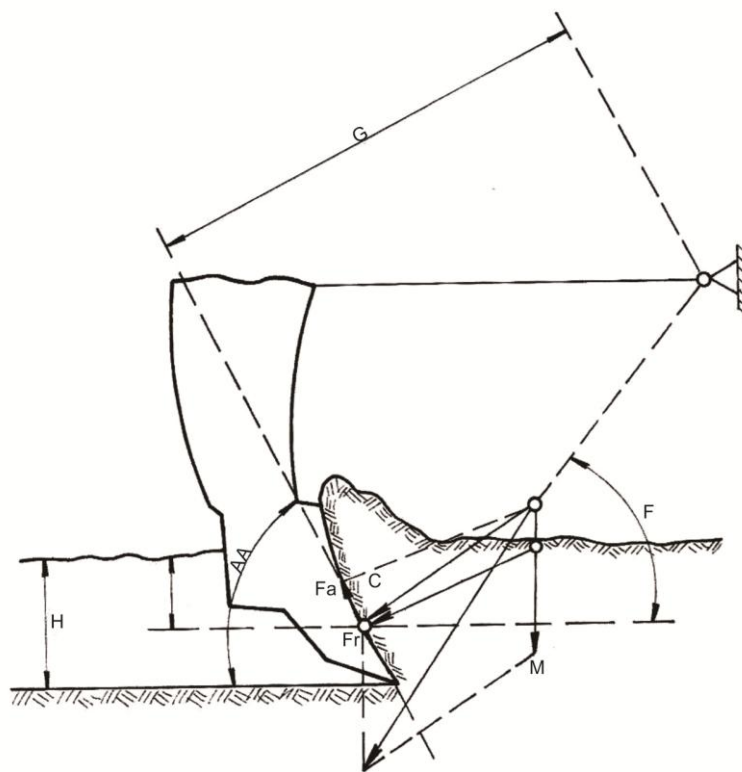


Figura 2 - Principais forças que atuam nas hastes sulcadoras

Fonte: Adaptado de Mialhe, 2012.

Conforme Mialhe (2012), o ângulo de ataque (AA), posicionado entre a linha horizontal de deslocamento do centro de resistência e a tangente à curvatura frontal

da ponteira, situa-se com uma inclinação de 20 a 30 graus. Outrossim, no centro de resistência atuam as forças de reação do solo ( $F_r$ ) e a força de atrito ( $F_t$ ) entre o solo e o mecanismo, fatores esses que associados à massa do conjunto ( $M$ ), interferem no ângulo  $F$ , que depende do comprimento ( $G$ ) e da profundidade de trabalho ( $H$ ). A manutenção deste ângulo é de fundamental importância para preservar a estabilidade do conjunto. Dessa forma, a fim de buscar-se esta estabilização, faz-se necessário manter a mesma profundidade de trabalho, visto que esta tem interferência direta no desempenho da semeadora.

A melhor haste é aquela que consegue penetrar com maior facilidade no solo compactado superficialmente, característico do sistema de semeadura direta, demandando baixa força de tração. Siqueira, Casão Junior e Araújo (2002), trabalhando em um Latossolo Roxo Distrófico, em diferentes teores de água no solo, profundidades de trabalho e diferentes modelos de hastes sulcadoras, indicaram que o uso de ferramentas com formato parabólico, ângulo de ataque em torno de 20 graus e espessura máxima da ponteira de 22 mm, podem representar até 50% de redução na potência requerida de tração de uma semeadora-adubadora de plantio direto com 9 linhas. Características próximas a essas, são ilustradas na Figura 3.

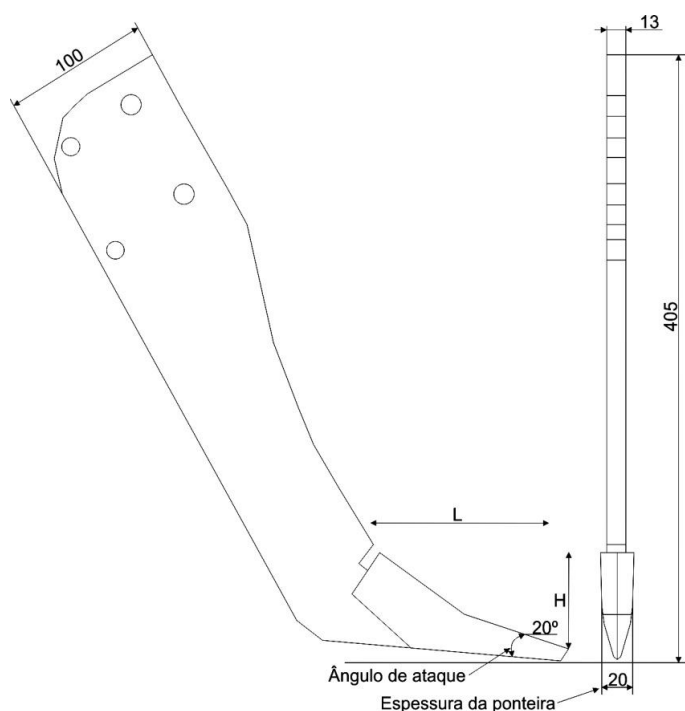


Figura 3 - Parâmetros construtivos de uma haste sulcadora

Fonte: Adaptado de Casão Junior e Siqueira, 2004.

Além disso, de acordo com Payne e Tanner (1959), trabalhando com hastes inclinadas, evidenciaram que o esforço de tração e área de solo mobilizado estão relacionados, sobretudo, com o ângulo de ataque da ferramenta. Estes autores verificaram que para ângulos agudos ocorre um acréscimo da distância de ruptura do solo à frente da ferramenta, da largura de solo mobilizado, da força vertical que auxilia na penetração no solo e uma diminuição do esforço de tração.

Spoor e Godwin (1978) demonstraram em seus experimentos de campo, que a profundidade crítica das hastes, com largura de ponteira de 0,065 m, varia de 0,30 a 0,40 m. Esta profundidade diminui quando o solo se encontra mais plástico ou quando a superfície é excepcionalmente seca e cimentada (coesa), e, em profundidade, o solo é mais úmido. Quanto mais úmido e mais plástico é o solo, menor é a profundidade crítica.

Cunha et al. (2010) destacam que sulcos com menores larguras reduzem a ocorrência de plantas invasoras e conseqüentemente a competição com a cultura a ser estabelecida. Por outro lado, Zelenin (1950) e Kostrityn (1956), citados por McKyes (1985), destacam que uma ferramenta de preparo de solo muito estreita não é capaz de elevá-lo em toda sua profundidade de operação para certas condições do terreno, abaixo da qual este não se movimenta para frente nem para cima, pelo contrário, a ferramenta comprime o solo lateralmente.

Estas interações entre solo e ferramenta são dependentes da geometria desta e a fatores externos, abordados mais a frente, tais como a velocidade de deslocamento, a profundidade de trabalho e as condições do solo. Variações nesses fatores, resultam em diferentes necessidades de esforço de tração e em diferentes reações com o solo (PORTELLA, 1983).

### 2.3.2 Abridores de sulco com órgão ativo rotativo - Discos duplos

Sulcadores rotativos (SR) são os que melhor se adaptam às condições de solo mais difíceis, na qual existam raízes, pedras e restos de vegetais, em função de que, em vez de deslizarem sobre o solo, eles giram (BALASTREIRE, 2005). Além



disso, segundo Machado et al. (2005), em comparação a sulcadores fixos, realizam um melhor trabalho de abertura do sulco e, de acordo com Chaudhuri (2001), apresentam menores variações na profundidade de trabalho. Contudo, conforme Fernandes et al. (2005), são os mecanismos que, comparativamente às hastes, causam maior valor de densidade média e máxima do solo na região da semente, dificultando a passagem da água. Além disso, de acordo com Seidi (2012), possuem algumas limitações, tais como dificuldade de penetração no solo, pressionar resíduos que estão sobre o solo para dentro do sulco e mistura de sementes e fertilizante no sulco.

Estes podem ser de diferentes tipos, com discos de diâmetro igual, centrados ou desencontrados, e com discos de diâmetro diferente, defasados (SILVA, 2004), sendo que as dimensões básicas desses órgãos ativos estão ilustradas na Figura 4.

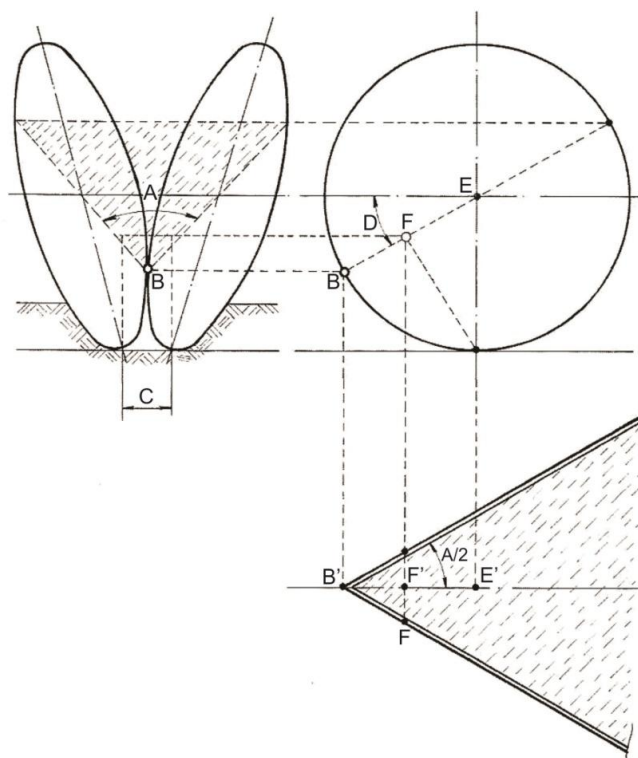


Figura 4 - Relações dimensionais básicas dos discos duplos

Fonte: Adaptado de Mialhe, 2012.

Os discos são posicionados de forma que formem um pequeno ângulo (A) e suas extremidades toquem em um determinado ponto (B). A altura desse ponto de contato é importantíssimo para um adequado funcionamento do sistema, em virtude

de que esse interfere diretamente na largura do sulco (C). Além disso, ao analisarmos o ângulo D, gerado entre o ponto de contato e o raio do disco (eixo EF), verifica-se também a sua intervenção nas dimensões do sulco, mas de forma inversamente proporcional. Assim sendo, o aumento de A proporciona sulcos mais largos, enquanto que o acréscimo de B, gera sulcos mais estreitos. As dimensões mais comuns desses órgãos ativos, quanto a esses atributos, são: A = 9 à 12° e B = 30 à 40° (MIALHE, 2012).

## **2.4 Mecanismos de corte de resíduos culturais**

### **2.4.1 Discos de corte**

São elementos rompedores que geralmente são empregados em frente a outros mecanismos, com a finalidade de se gerar um pequeno sulco, possibilitando que a ferramenta subsequente realize sua função com menor esforço e/ou maior eficiência (PORTELLA, 1983). Além disso, Dickey e Jasa (1983) comentam que presença abundante de resíduos culturais, ou quando estes estão distribuídos desigualmente sobre o solo, requer a presença de discos de corte em frente aos sulcadores. Dessa forma, os discos de corte foram também projetados para cortar a palha, não devendo se aprofundar muito mais do que seis centímetros no terreno segundo Casão Júnior (2008).

Considerando que as condições para o desenvolvimento das culturas dependem de vários fatores, Santos et al. (2010) comentam que o projeto de mecanismos de corte não pode ser restrito a uma única configuração. Estes devem ser escolhidos em função do tipo de resíduo presente, estarem afiados adequadamente e regulados, tanto na profundidade, quanto na pressão das molas, afim de garantir uma adequada eficiência de corte (SIQUEIRA e CASÃO JÚNIOR, 2004). Este desempenho, segundo Kushwaha, Vaishnav e Zoerb (1986), é muito influenciado pelo grau de compactação do solo, tipo de relha e velocidade de rotação. Assim sendo, conforme Dickey e Jasa (1983) existem basicamente quatro tipos de discos: liso, estriado, estriado com borda lisa e ondulado. Estes devem

atuar a uma profundidade ligeiramente menor que aquela de deposição das sementes.

Conforme Faganello, Kochhann e Portella (1992), discos planos e afiados cortam mais eficientemente os restos culturais e requerem menor massa da semeadora para penetração no solo, em comparação aos discos ondulados. Contudo, estes últimos apresentam menor tendência de deslizamentos por possuírem uma maior superfície específica de contato com o solo.

Weed (1981), comenta que a alteração do disco de corte liso por um ondulado, tem minimizado os problemas de espelhamento nas paredes laterais do sulco e de perda de umidade do solo na linha de semeadura.

Em um estudo sobre semeadoras-adubadoras comercializadas no Brasil, Silva (2003a), evidenciou a presença de cinco tipos de discos conforme ilustrado na Figura 5 (liso, ondulado, corrugado, estriado, recortado), sendo que o liso representou 94,20% dos mecanismos empregados. Além disso, as máquinas apresentaram seis diferentes diâmetros de discos utilizados, de 0,3556 à 0,5080 m, estando presente em maior significância os de 0,4572 m, correspondendo a 34,10% dos modelos.



Figura 5 - Discos de corte de resíduos culturais

## 2.5 Associações entre mecanismos

Com relação à associação entre o disco de corte e abridores fixos, Mialhe (2012), destaca que esses devem estar suficientemente próximos, a fim de evitar possíveis "embuchamentos" de resíduos, ocasionando, segundo Siqueira (2009), paradas constantes da máquina e, por fim, reduzindo o desempenho operacional da

operação. Além disso, implicam em maior infestação do terreno por plantas daninhas, problemas na deposição de fertilizante e sementes, além de falhas na cobertura das sementes.

Especificamente, com relação a disco de corte e abridores rotativos, esses devem ser montados em um sistema articulado que possibilite que a massa da semeadora se aplique preferencialmente sobre o disco de corte (MIALHE, 2012).

Além disso, avaliando as interações máquina-solo-planta na semeadura de milho, em um Latossolo Vermelho, por três diferentes semeadoras, Santos, Tourino e Volpato (2008), demonstraram que a troca do sulcador de discos duplos defasados, destinado ao corte de palha e abertura de sulco, por um disco liso, para cisalhamento dos resíduos culturais, e uma haste sulcadora, para a abertura do sulco, promoveu uma melhora significativa no desempenho da semeadora no que se refere a distribuição de sementes.

Outrossim, Tamayo (2002), avaliando combinações de discos duplos e hastes parabólicas, identificou que a associação entre ambos diminuem o requerimento de potência e favorecem a penetração no solo.

A Figura 6 ilustra a associação entre os discos de corte e os abridores de sulco fixo e rotativo.

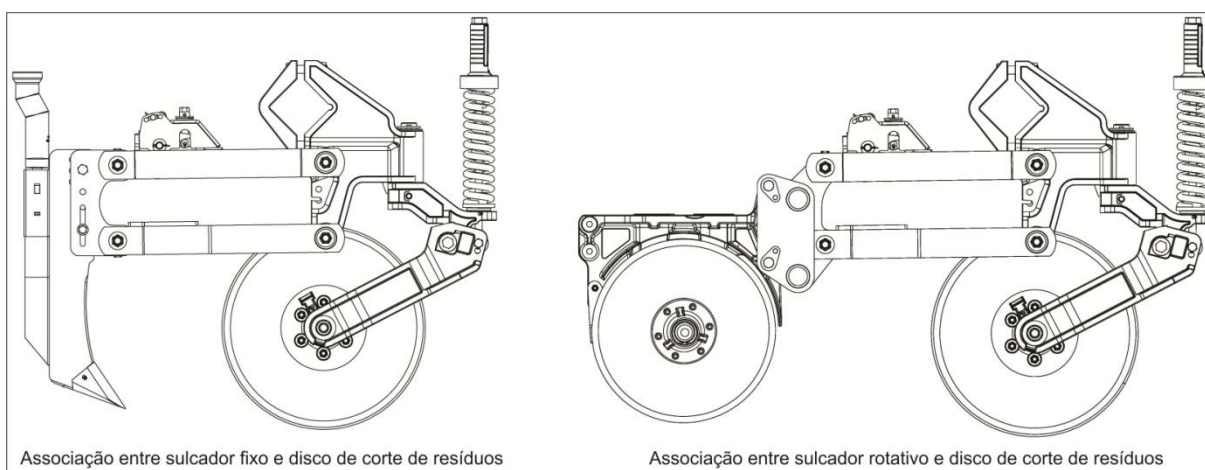


Figura 6 - Associação entre mecanismos de abertura de sulco e de corte

Fonte: Adaptado de Stara, 2012.

## 2.6 Parâmetros de avaliação

### 2.6.1 Mobilização do solo

A penetração e deslocamento de um implemento no solo é uma ação que pode ser descrita por um comportamento composto, desde que o solo normalmente rompe-se por alguma combinação de corte, cisalhamento, compactação e fluxo, à medida que a ferramenta é forçada dentro do solo (PORTELLA, 1983).

Daniel e Maretti (1990), comentam que dois são os fenômenos decorrentes da operação de preparo periódico: o deslocamento vertical do perfil do solo e a sua área mobilizada, devendo ser realizados levantamentos de três perfis: o perfil da superfície natural, da superfície de elevação e o perfil interno do solo mobilizado. Conforme Gamero e Benez (1990), a área de solo mobilizada consiste na área situada entre o perfil original e o perfil de fundo de sulco, enquanto a área de elevação é aquela situada entre o perfil original e o perfil da superfície do solo após a mobilização (Figura 7). A avaliação da área entre os perfis pode ser determinada por meio de gráficos, utilizando-se de técnicas de planimetria ou programas computacionais.

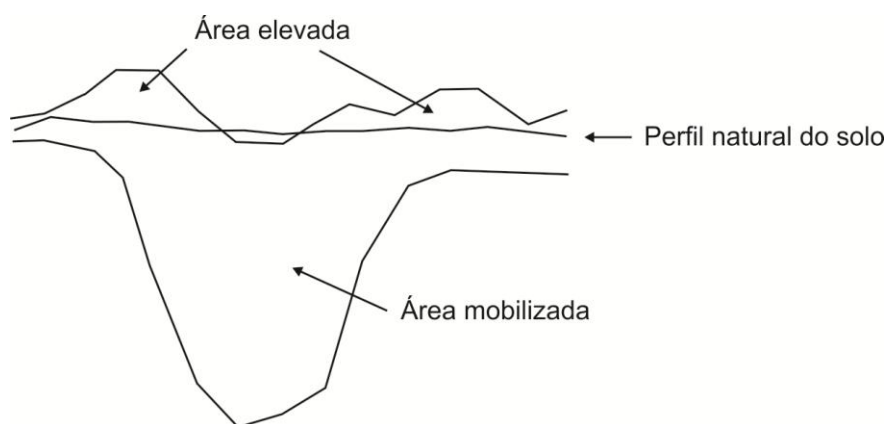


Figura 7 - Perfis do solo

Spoor e Godwin (1978), afirmam que a mobilização do solo depende da profundidade de trabalho, do comprimento e da largura da ferramenta, além da umidade e da densidade do solo. Ação essa que, segundo Mello et al. (2002), acarreta na redução da sua densidade do solo e resistência mecânica, além do

aumento da macroporosidade, condições primordiais ao bom desenvolvimento e desempenho das culturas agrícolas. Veiga et al. (2007), explica ainda, que a mobilização do solo na linha de semeadura diminui a resistência do solo à penetração em até doze centímetros de profundidade, sendo que a formação de camadas compactadas com resistência superior à capacidade de penetração da raiz no solo não ocorre.

Conforme Dickey e Jasa (1983), geralmente os discos estriados largos ou os ondulados aumentam a mobilização do solo do leito de semeadura, no entanto, requerem maior peso para penetração no solo. Os autores comentam que esta necessidade varia de 180 a 270 quilos por disco, em algumas aplicações no SSD.

Outra característica importante, segundo Cunha et al. (2010), é o empolamento, o qual representa o aumento do volume do solo após a passagem da ferramenta, em virtude do aumento do índice de vazios entre as partículas sólidas.

Conforme Mion e Benez (2008), avaliando a mobilização promovida por diferentes ferramentas rompedoras, evidenciaram que as hastes mobilizam mais o solo em comparação aos discos duplos, com 0,00068 e 0,00055 m<sup>2</sup> respectivamente. Modolo et al. (2012) também confirmou que as hastes movimentam mais o solo que os discos, encontrando valores de 0,0045 m<sup>2</sup> para as primeiras e 0,0037 m<sup>2</sup> para os órgãos ativos rotativos. Situação evidenciada também por Levien et al. (2011) e Camacho e Magalhães (2002). Além disso, segundo Silva et al. (2001), a mobilização efetuada por hastes apresenta menor número de sementes expostas na superfície. Dessa forma, para Cesarin et al. (2010), a associação de ambas afirmações culmina em um melhor enterrio de sementes e, conseqüentemente, melhores condições de germinação. Por outro lado, Siqueira (2009), afirma que as hastes reduzem a cobertura vegetal sobre o sulco, embora este efeito possa ser também associado à velocidade de deslocamento independentemente do tipo de sulcador como explica Celik e Altikat (2012).

Mion et al. (2009), avaliando a mobilização promovida por discos de corte, encontraram diferenças significativas na movimentação desses mecanismos, com valores de 0,0015 m<sup>2</sup> para os discos lisos e 0,0041 m<sup>2</sup> para os discos ondulados. Já Simon et al. (2008), analisando também diferentes discos de corte, não encontrou diferença estatística na mobilização.

Em contra partida a essas ações promovidas por mecanismos de abertura de sulco e corte de resíduos, Mouazen e Neményi (1999) explicam que a mobilização contribui consideravelmente com os custos de produção de uma lavoura. Por isso, faz-se necessário aperfeiçoar os projetos, no sentido de reduzir seu consumo de energia e desgaste dos equipamentos.

Siqueira (2009), cita que, na semeadura com hastes, em função da maior profundidade de trabalho, os efeitos da deficiência de água para germinação e emergência de plantas são menores durante veranicos, onde lavouras semeadas de hastes sulcadoras apresentam emergência de plantas superior à semeadura com discos duplos. Além disso, Tessier et al. (1991), concluiu que as hastes possuem a capacidade de trazer o solo mais úmido do fundo do sulco para a proximidade da semente. Assim, a implantação de uma lavoura com semeadora de discos duplos apresenta muitos riscos nos solos com textura muito argilosa, pois, devido à grande resistência desses solos, os discos não conseguem aprofundar adequadamente e as sementes são depositadas a menores profundidades e muito próximas do fertilizante. Além disso, os discos apresentam maiores exigências de manutenção e possuem custos mais elevados.

### 2.6.2 Força de tração e potência na barra

A força de tração ou força horizontal pode ser definida com a quantidade de força necessária para puxar ou empurrar uma determinada ferramenta através do solo (SEIDE, et al., 2010).

Os requerimentos de energia das operações de manejo de solo são dependentes do tipo de solo e do tratamento que ele sofreu anteriormente (MANTOVANI, 1987). Além disso, Andreolla e Gabriel Filho (2006), concluíram que a força de tração também é influenciada pelo tipo de mecanismo sulcador empregado na semeadora, assim como pelo teor de água no solo como afirmam Cepik, Trein e Levien (2005).

Conforme a American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 2003), a força de tração necessária para a operação de semeadoras de precisão, na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, varia de 900 Newton (N)  $\pm$  25% por linha (somente semeadura) e de 3.400 N  $\pm$  35% por linha (semeadura, adubação e herbicida). Maiores esforços esses, que ocorrem devido a maior profundidade de atuação dos discos de corte de resíduos e dos elementos rompedores do solo. Contudo, Godwin (2007) ressalta o fato de que minimizar a força de tração no projeto dessas ferramentas não é a questão principal, pois a qualidade do sulco é mais significativa.

Conforme Andreolla e Gabriel Filho (2006), analisando a demanda de potência de uma semeadora equipada com diferentes elementos rompedores, os discos duplos, com 6,22 kN, requerem menor força em comparação com as hastes, com 27,06 kN. Ademais, a potência solicitada na barra, também foi maior para as hastes, representando 31,83 kW, enquanto que para os discos, esta demanda foi de 8,02 kW. Palma et al. (2011), também concluiu que a abertura de sulcos através da utilização de hastes aumenta as exigências de força de tração em relação ao sistema de abertura de sulcos do tipo disco duplo, assim como Tamayo (2002). Porém, os autores observam um ganho considerável no rompimento das camadas de solo com maior resistência à penetração, propiciando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas nas camadas mais profundas do perfil do solo. Por outro lado, Mahl, Gamero e Benez (2007), concluíram que, em solos arenosos, os discos duplos exigiram 9,68 kN de tração e 21,21 kW de potência, enquanto que as hastes apresentaram solicitação de 9,21 kN e 19,99 kW. Em contra partida, em solos argilosos, a necessidade foi de 8,93 kN e 8,41 para as hastes e discos respectivamente. Além disso, a demanda de potência foi de 19,81 e 18,39 kW para o sulcador fixo e o rotativo, respectivamente.

Avaliando mecanismos de corte de palha em um Nitossolo, Silva (2007) evidenciou que discos ondulados requerem maior força horizontal em comparação ao disco liso, com 0,185 e 0,149 kN respectivamente. De forma contrária, Santos et al. (2010), investigando essas demandas também em um Nitossolo, não encontrou diferença significativa na exigência.



Germino e Benez (2006), concluíram que a presença de disco não modifica as exigências de tração por hastes sulcadoras, sendo de 0,77 kN para situações com disco e 0,78 kN para as condições sem o mecanismo. Enquanto que a aproximação entre a haste sulcadora e o disco de corte reduz o requerimento de força de tração, conforme demonstraram Santos, Volpato e Tourino (2008), avaliando o desempenho de três semeadoras em sistema de semeadura direta em um Latossolo.

### 2.6.3 Consumo de combustível

O uso de diferentes mecanismos proporcionam variações no consumo horário e operacional de combustível, conforme observado por Levien et al. (2011). Os autores concluíram que o gasto horário foi significativamente maior quando a semeadora foi equipada com hastes do que quando utilizou-se os discos duplos, sendo de 11,34 l h<sup>-1</sup> para as primeiras e 9,87 l h<sup>-1</sup> para a segunda. Em relação ao gasto operacional, quando fez-se uso do sulcador fixo, o consumo foi de 5,64 l h<sup>-1</sup>, e quando empregou-se o sulcador rotativo, foi de 4,73 l h<sup>-1</sup>. Situação também evidenciada por Mahl, Gamero e Benez (2007), que avaliando a demanda energética de uma semeadora-adubadora em função do tipo de sulcador, observaram que, independentemente do tipo de solo, a semeadora, quando equipada com discos duplos desencontrados, consumiu menos, sendo de 13,21 l h<sup>-1</sup> para o solo arenoso e 12,25 l h<sup>-1</sup> para solo argiloso. Quando provida com hastes, o consumo foi de 14,54 l h<sup>-1</sup> e 12,53 l h<sup>-1</sup> para os respectivos solos.

Analisando os dados obtidos por Russini et al. (2010), identifica-se uma relação diretamente proporcional entre o consumo de combustível e a força de tração de uma semeadora-adubadora equipada com hastes para deposição de fertilizante. Os autores encontraram um aumento de 7,47 l h<sup>-1</sup> para 14,06 l h<sup>-1</sup> no consumo médio enquanto que, na primeira, a força de tração média foi de 9,27 kN e, para a segunda, foi de 11,52 kN. Tal situação é comprovada por Toledo et al. (2010)

que identificou correlação positiva, ou seja, proporcional entre o consumo de combustível e a demanda de tração de um conjunto trator/semeadora.

Segundo Masiero et al. (2010), Serrano et al. (2009) e Spagnolo (2012), o consumo de combustível é influenciado pela pressão interna do pneu do trator. Dessa forma, faz-se necessário uma correta e adequada manutenção afim de bloquear o efeito dessa variável no desempenho da máquina.

#### 2.6.4 Patinamento do trator

Diversos são os fatores que afetam o desempenho dos tratores agrícolas, como por exemplo, o tipo de solo, tipo de preparo (primário ou secundário), tipo de cultivo, implemento utilizado, patinamento, entre outros. Dentre os itens citados, o patinamento é um dos fatores que mais compromete esse desempenho (LOUZADA et al., 2006).

Segundo Garcia (2006), o patinamento é o movimento relativo na direção de deslocamento, na superfície mútua de contato do rodado de tração ou de transporte e a superfície de apoio, sendo em geral expresso em termos percentuais. Depende de vários fatores como as condições do solo, pneu e distribuição de peso, além da carga no sistema de distribuição de engate de três pontos ou na barra de tração.

Para que aconteça tração em solos agrícolas é necessário que ocorra o patinamento (GAMERO E LANÇAS, 1996). De acordo com as condições a que o trator está submetido, sua capacidade de esforço tratório pode gerar maior ou menor patinamento. Entretanto, ultrapassando certo limite, pode incidir na perda de contato dos rodados com o solo e redução de tração. A faixa ótima proposta pela ASAE (2003), para a patinamento de tratores em solos firmes é de 8% a 10% e de 11 a 13% em solos mobilizados.

A maior quantidade de matéria seca na superfície do solo, segundo Gabriel Filho et al. (2004), avaliando o desempenho de um trator agrícola em diferentes tipos de camada vegetal em um latossolo vermelho distroférico, concluíram que os índices de patinamento tendem a se elevar com maior quantidade de matéria seca,

havendo alteração na interação do rodado com o solo e a capacidade do trator em desenvolver a tração é afetada. Todavia, Bortolotto, Pinheiro Neto e Bortolotto (2006), trabalhando com o mesmo tipo de solo, apontam que, na avaliação da demanda energética de uma semeadora-adubadora, o patinamento do rodado do trator não foi influenciado pela cobertura do solo. Essa situação também foi constatada por Cepik et al. (2010), na avaliação da força de tração e desempenho de um trator no processo de semeadura em um solo Argissolo Vermelho Distrófico típico.

Furlani et al. (2008), avaliando uma semeadora-adubadora em três sistemas de cultivo em um Latossolo Vermelho Eutroférico, concluíram que, no sistema de semeadura direta, ocorre um maior patinamento das rodas motrizes do trator, enquanto que nas rodas da semeadora, o maior deslizamento aconteceu no preparo convencional.

Além disso, Levien et al. (2011), evidenciaram influência dos tipos de mecanismos para abertura de sulco no patinamento do trator, de 4,0%, quando utilizando discos duplos, para 6,3% quando empregando haste. Por outro lado, Mahl, Gamero e Benez (2007), concluíram que a influência dos diferentes mecanismos, em diferente solos, não é significativa, sendo de 8,9% e 8,4% para os de disco em solo arenoso e argiloso respectivamente, e, 9,0% e 8,1% para de sulcador fixo.

Ademais, analisando-se os dados de patinamento do trator e de força de tração, obtidos por Palma et al. (2010), avaliando o desempenho de uma semeadora equipada com hastes sulcadoras, evidencia-se uma relação diretamente proporcional entre ambas.

## **2.7 Fatores de influência inerentes a constituição da máquina e mecanismos**

### **2.7.1 Velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora**

Delmond (2009) e Altuntas et al. (2006), afirmam que toda e qualquer operação com máquinas agrícolas deve considerar a velocidade de operação do conjunto máquina-implemento, uma vez que esta influencia na qualidade do serviço,

na demanda de tração e no consumo de combustível. Almeida, Tavares e Silva (2010), comentam que, para aumentar a velocidade em pequenas proporções, normalmente o operador eleva a rotação de trabalho, resultando em queda de torque do motor e, em virtude disso, ocasiona um maior consumo de combustível.

Furlani et al. (2008), avaliando o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura do solo e em função da velocidade de deslocamento, observaram que o aumento desta proporcionou uma redução da força de tração. Já Nascimento et al. (2009), analisando o desempenho na implantação de híbridos de milho em velocidades de 1,67 e 2,22 m s<sup>-1</sup>, obtiveram valores de 12,8 e 13,3 kN respectivamente, de forma que não evidenciaram diferenças estatísticas. Por outro lado, Siqueira et al. (2001), trabalhando com velocidades de 1,31 e 2,31 m s<sup>-1</sup> na semeadura de soja, evidenciaram que a força de tração aumenta de forma significativa com o incremento da velocidade. Ademais, Collins e Fowler (1996), estudando diferentes abridores de sulco, também evidenciaram aumento no requerimento de tração com o acréscimo da velocidade de deslocamento. Fato este comprovado por Francetto et al. (2013a), em uma avaliação dos dados de experimentos científicos, entre a velocidade de deslocamento e a força de tração requerida pelas semeadoras-adubadoras equipadas com sulcador fixo (Figura 8).

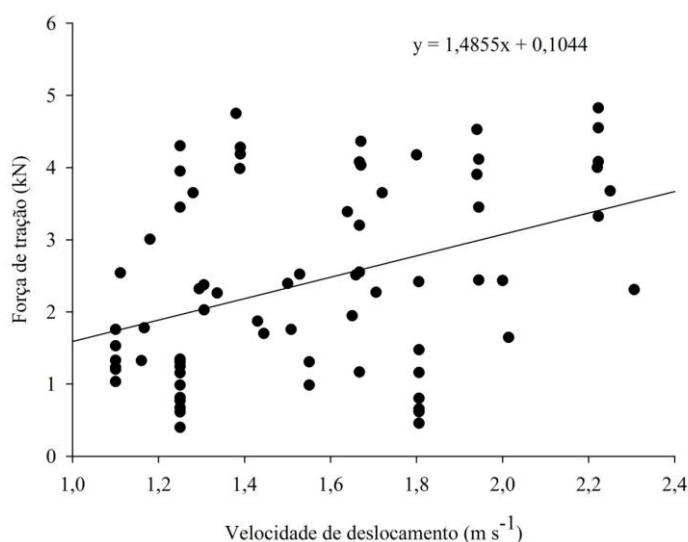


Figura 8 - Comportamento da relação entre a força de tração requerida por semeadoras-adubadoras e da velocidade de deslocamento

Fonte: Francetto et al., 2013a.

O requerimento de tração por um disco de corte liso e dois tipos diferentes de recortados, apresentou aumento com o acréscimo da velocidade de rotação de acordo com os estudos de Kushwaha, Vaishnav e Zoerb (1986).

Silveira et al. (2011) e Casão Júnior et al. (1998), avaliando a influência da velocidade de operação na semeadura do milho, concluíram que a profundidade do sulco é influenciada pela velocidade de operação e que a área mobilizada de solo aumentou conforme o acréscimo da velocidade. Além disso, Silva (2003a) avaliando diferentes mecanismos, afirma que o emprego de hastes sulcadoras, em substituição aos discos duplos, diminui a velocidade de deslocamento do conjunto.

Chichester, Morrison e Gerik (1985), avaliando sistemas de fertilização localizada mediante dispositivos disco e haste, em velocidades de 1,31 a 2,78 m s<sup>-1</sup> concluíram que a maior remoção do solo se dá a uma velocidade de 1,94 m s<sup>-1</sup>, sendo três vezes maior a uma profundidade de trabalho de 0,10 m se comparada à profundidade de 0,05 m. Além disso, Silva et al. (2001), avaliando a combinação de mecanismos sulcadores com diferentes velocidades na semeadura de milho, verificaram que o aumento da velocidade acarretou redução significativa no índice de manutenção de cobertura do solo, o qual não foi influenciado pelo mecanismo sulcador.

Cepik, Trein e Levien (2005), avaliando o volume de solo mobilizado por hastes sulcadoras em função da velocidade, evidenciaram um aumento de 12% quando a velocidade de semeadura passou de 1,25 m s<sup>-1</sup> para 1,81 m s<sup>-1</sup>.

O patinamento dos rodados motrizes é influenciado de forma diretamente proporcional à velocidade de deslocamento conforme concluiu Cepik (2002). O autor encontrou aumento de 20,71% nesta variável quando a velocidade do conjunto trator/semeadora passou de 1,25 para 1,80 m s<sup>-1</sup>, trabalhando os sulcadores tipo haste a 0,12 m de profundidade.

Após comparar os dados de velocidade de deslocamento obtidos com cronômetro de acionamento manual e com radar, Silva (2000) relatou que não há necessidade de sofisticar os sistemas para medir a velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora.

### 2.7.2 Profundidade de trabalho

Em semeadoras-adubadoras, o maior esforço de tração pode ocorrer pela maior profundidade de atuação dos discos de corte ou dos sulcadores para adubação e sementes (MODOLO et al., 2004). Dessa forma, Cepik (2006), comenta que, em solos não compactados, o esforço de tração de uma ferramenta vertical cresce linearmente com a profundidade de trabalho. Além disso, segundo Cepik et al. (2010), a mobilização do solo também apresenta esta tendência de acréscimo.

Além disso, Palma et al. (2010), avaliando, entre outras variáveis, o patinamento das rodas motrizes do trator em semeadura direta de milho em solo compactado pela integração lavoura-pecuária, observaram que esta variou com as diferentes profundidades de atuação dos sulcadores da semeadora. Na condição de profundidade de 0,20 m, ocorreu uma diminuição do patinamento com relação à profundidade de 0,15 m, o que é explicado pela diminuição da resistência mecânica do solo à penetração nesta camada. Por outro lado, Moura, Reis e Cunha (1998), trabalhando em um latossolo vermelho escuro eutrófico na semeadura da soja, evidenciaram que não houve influência significativa da profundidade de plantio e da velocidade de avanço no patinamento do trator, mas o maior incremento no patinamento foi a  $2,64 \text{ m s}^{-1}$ .

Além disso, conforme Mattar (2010), avaliando a operação de semeadura de milho por uma semeadora-adubadora equipada com discos duplos, concluiu que a profundidade de trabalho do mecanismo sulcador não afeta significativamente a distribuição de sementes, em virtude de não interferir na distribuição do movimento responsável pela liberação dessas.

### 2.7.3 Condições do solo

Conforme Levien et al. (2011), em condições de semeadura contra o declive do terreno, o uso de haste sulcadora, em lugar dos discos duplos, propicia um maior

requerimento de tração, patinamento e consumo de combustível, não influenciando o volume de solo mobilizado. De forma contrária, o sulcador rotativo tem uma melhor uniformidade da profundidade de semeadura em um ano normal, enquanto que a haste obtém essa uniformidade em um ano seco (DOAN, CHEN E IRVINE, 2005).

Com relação as culturas de cobertura e o manejo destas, Grotta et al. (2009), concluíram que estas não interferiram no desempenho energético de uma semeadora na semeadura de milho em um solo argiloso. Condição também evidenciada por Kamimura (2008), avaliando um conjunto trator/semeadora na implantação da cultura do milho em um Argissolo Vermelho Distrófico típico. Além disso, Kushwaha, Vaishnav e Zoerb (1986), afirmam que discos de corte com 0,46 m de diâmetro, apresentam desempenho satisfatório sob práticas de SSD em uma ampla faixa de densidade de resíduos sobre o solo.

Avaliando os efeitos das características do solo sobre a força de tração com diferentes mecanismos sulcadores, Collins e Fowler (1996), evidenciaram que ocorreu um incremento de 24% no requerimento de tração quando estes foram utilizados em solo argiloso (55% de argila e 2% de areia) comparado a arenoso (18% de argila e 50% de areia). Além disso, concluíram que, quando realizadas operações nestes primeiros, evidencia-se, com maior significância, a grande influência do tipo de sulcador e da profundidade de semeadura no requerimento energético da operação.

Além disso, Cepik (2002), evidenciou que a demanda de tração amplia-se em função da profundidade (0,06 m para 0,12 m) de atuação da haste em magnitudes diferentes em função do teor de água no solo, aumentando 75% em solo úmido, 130% em situação friável e 84% em solo seco. Outrossim, o volume de solo mobilizado também é alterado.

Outrossim, Seidi et al. (2010) afirmam que uma maior densidade do solo acarreta em uma maior demanda de tração. Sánchez-Girón et al. (2005) comprovaram que o aumento na densidade proporciona acréscimos significativos na força de tração de um sulcador fixo trabalhando em 0,05 e 0,10 m de profundidade. Os autores encontraram ampliação média de 103,23% no requerimento quando a densidade passou de 1,1 para 1,2 g cm<sup>-3</sup>, 342,72% de 1,2 para 1,3 g cm<sup>-3</sup>, e 721,68% de 1,3 para 1,4 g cm<sup>-3</sup>.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em propriedade agrícola situada no município de Santa Maria (Rio Grande do Sul). As coordenadas geográficas do local são 29°54'08" latitude sul e 53°49'39" longitude oeste, possuindo uma altitude média de noventa e sete metros acima do nível do mar. O clima da região enquadra-se na classificação climática “Cfa” de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, com um clima subtropical úmido, precipitações pluviiais médias razoavelmente bem distribuídas através dos meses do ano, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a temperatura no mês mais frio entre -3°C a 18°C (MORENO, 1961). A Figura 9 apresenta a vista aérea do local, enquanto que a Figura 10 ilustra a vista da área experimental. Nesta última, observa-se a existência de palha de soja (*Glycine max*) e de plantas de azevém (*Lolium multiflorum*), além de algumas plantas daninhas. Foi verificada a presença de 287,20 g m<sup>-2</sup> de matéria seca sobre a superfície do solo, através do método de estufa.

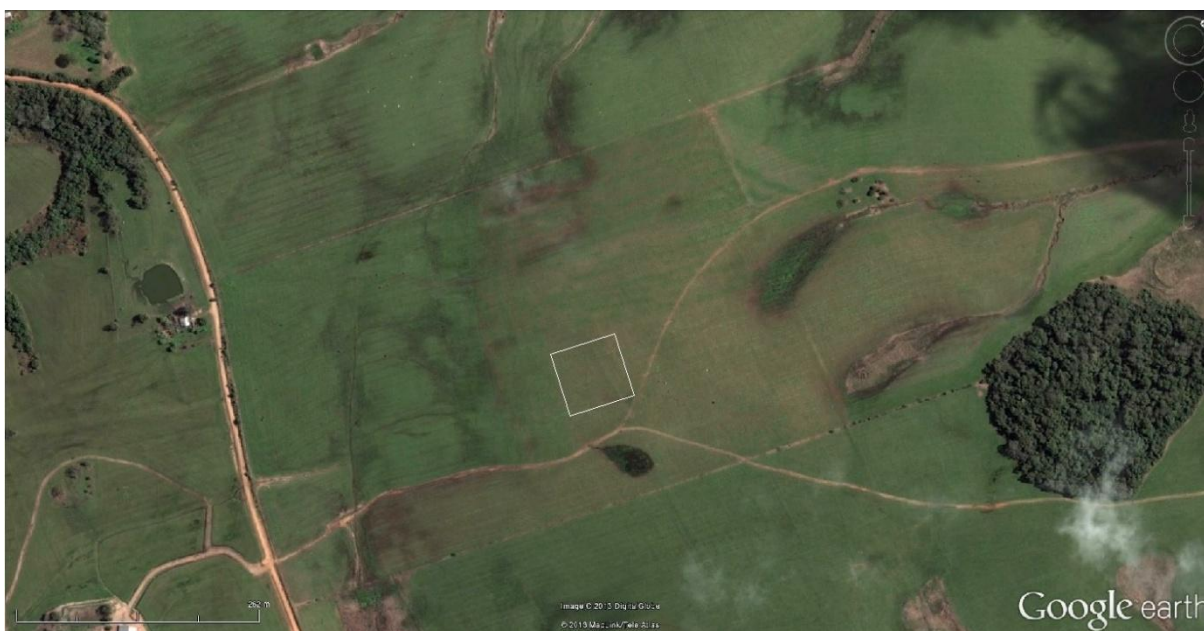


Figura 9 - Vista aérea da área experimental

Fonte: Google Earth, 2012.





Figura 10 - Vista da área experimental

A área é utilizada sucessivamente para a produção da cultura da soja, como cultura de verão, sendo usada no inverno como local de criação de gado para pecuária de corte.

A escolha deste se deu em função da disponibilidade de recursos (material, humano e infraestrutura).

### **3.2 Caracterização física do solo**

A caracterização física do solo foi realizada através da coleta de amostras a campo, em profundidade de 0 a 0,20 m, para posteriores análises no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997), para determinações da densidade do solo e teor de água. Os valores médios, máximos e mínimos destas, estão dispostos na Tabela 1.

A caracterização da textura do solo consistiu na adoção do método de vettori, proposto por Vettori (1969), sendo realizada no Laboratório de Física do Solo da Universidade de Santa Cruz do Sul. Esta é composta por 17,59% de argila, 28,44%

de silte e 53,97% de areia, sendo o solo classificado texturalmente como franco arenoso. Este foi classificado como Argissolo Vermelho.

A resistência à penetração do solo foi determinada com a utilização de um penetrômetro eletrônico marca Falker, modelo PLG 1020. A coleta de dados foi realizada na profundidade de 0 a 0,40 m, com aquisição de um dado a cada 0,010 m de profundidade. A Figura 11 ilustra a curva de resistência à penetração da área experimental em função da profundidade.

Tabela 1 - Valores médios, mínimos e máximos da densidade e da umidade gravimétrica do solo

	Mínima	Máxima	Média
Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,53	1,80	1,64
Umidade gravimétrica (%)	11,88	18,18	13,15

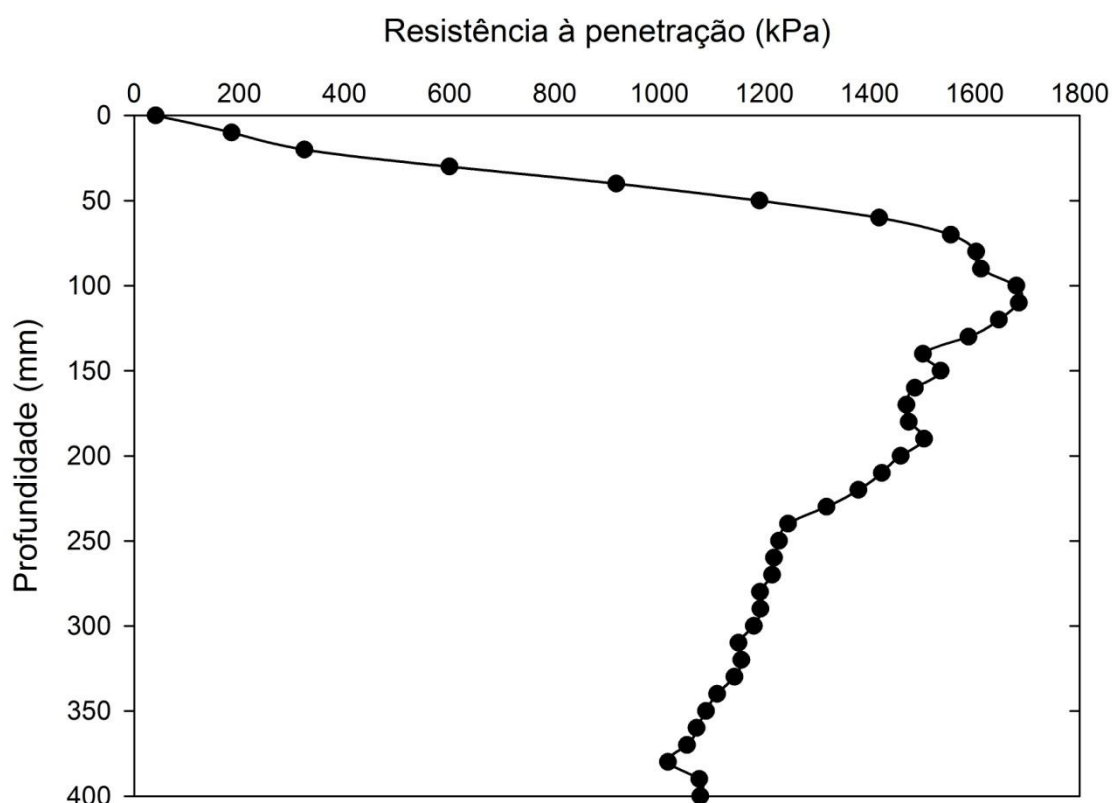


Figura 11 - Resistência à penetração em função da profundidade.

### 3.3 Caracterização das máquinas agrícolas

O trator utilizado para tracionar o porta-ferramentas, desenvolvido por Gassen (2011), foi um New Holland TL75E Exitus 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), conforme ilustra a Figura 12. Durante o experimento a TDA esteve desligada com o trator operando em condições normais, sem o bloqueio do diferencial acionado. A pressão interna do pneu dianteiro foi de 190,00 kPa e do traseiro de 180,00 kPa. A Tabela 2 apresenta algumas especificações do trator.



Figura 12 - Conjunto trator/porta-ferramentas

Tabela 2 - Descrição do trator agrícola

Descrição	Especificação
Modelo	New Holland TL75E 4x2 TDA
Massa de embarque (kg)	3390,00
Torque máximo (Nm)	264,00
Rotação de potência máxima ( $\text{rad s}^{-1}$ - rpm)	251,33 - 2400
Rotação de torque máximo ( $\text{rad s}^{-1}$ - rpm)	146,61 - 1400
Pneu dianteiro	Good Year Dyna Torque II 12.4-24
Pneu traseiro	Pirelli PD 22 18.4-30
Largura (m)	1,85
Velocidade 1 ( $1,11 \text{ m s}^{-1}$ )	Grupo II - 1ª marcha - 2450 rpm
Velocidade 2 ( $1,67 \text{ m s}^{-1}$ )	Grupo I - 4ª marcha - 1900 rpm
Velocidade 3 ( $2,22 \text{ m s}^{-1}$ )	Grupo II - 3ª marcha - 1800 rpm
Velocidade 4 ( $2,78 \text{ m s}^{-1}$ )	Grupo II - 3ª marcha - 1750 rpm

Fonte: New Holland, 2013.

A Tabela 3 apresenta as características dimensionais (largura total e de trabalho) e demais atributos do porta-ferramentas.

Tabela 3 - Descrição do porta-ferramentas

Descrição	Especificação
Largura total (m)	2,50
Largura de trabalho (m)	2,00
Número de linhas instadas	1
Sistema de engate	arrasto

### 3.4 Elementos de abertura de sulco e discos de corte

#### 3.4.1 Elementos de abertura de sulco

Foi utilizada uma haste sulcadora conforme características apresentadas na Tabela 4, e, discos duplos desencontrados, especificados na Tabela 5 da marca Stara<sup>1</sup> (Figura 13).

Tabela 4 - Características construtivas da haste sulcadora

Descrição	Especificação
Espessura da haste (m)	0,01
Espessura da ponteira (m)	0,02
Ângulo de ataque (rad - graus)	0,96 - 55,00
Profundidade de trabalho (m)	0,12

Tabela 5 - Características construtivas dos discos duplos desencontrados

Descrição	Especificação
Diâmetro (m)	0,39
Desencontrado (m)	0,004
Altura do ponto de contato (m)	0,07
Ângulo entre os planos de rotação dos discos (rad - graus)	0,21 - 12,00
Ângulo do eixo horizontal com o ponto de contato (rad - graus)	0,70 - 40,00
Profundidade de trabalho (m)	0,06

<sup>1</sup> A citação de marcas e modelos não implica em aprovação e/ou recomendação dos mesmos por parte da equipe de projeto.



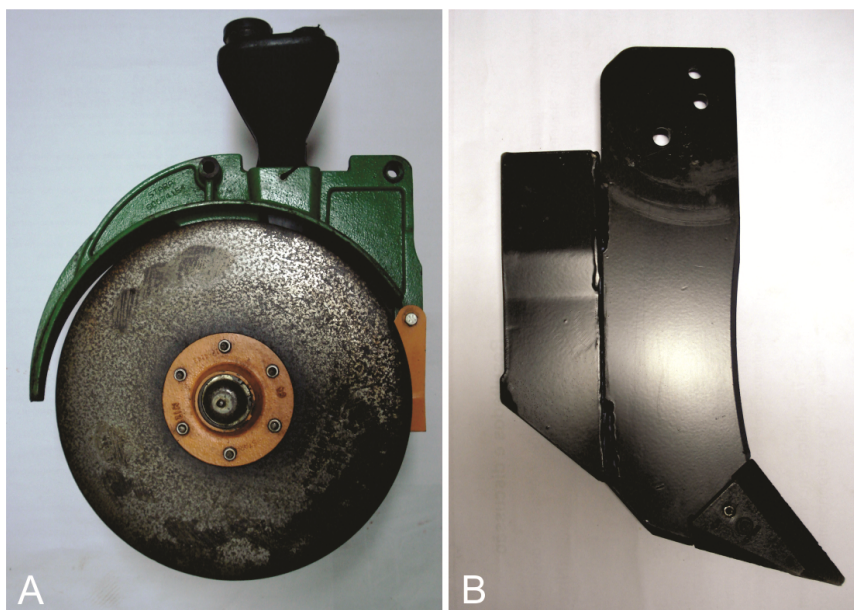


Figura 13 - Elementos de abertura de sulco: discos duplos (A) e haste (B)

#### 3.4.2 Discos de corte

Utilizou-se um disco de corte liso (DL) e um ondulado (DO), com 20 ondas, (Figura 14), conforme características dimensionais descritas na Tabela 6, sendo ambos da marca Stara.

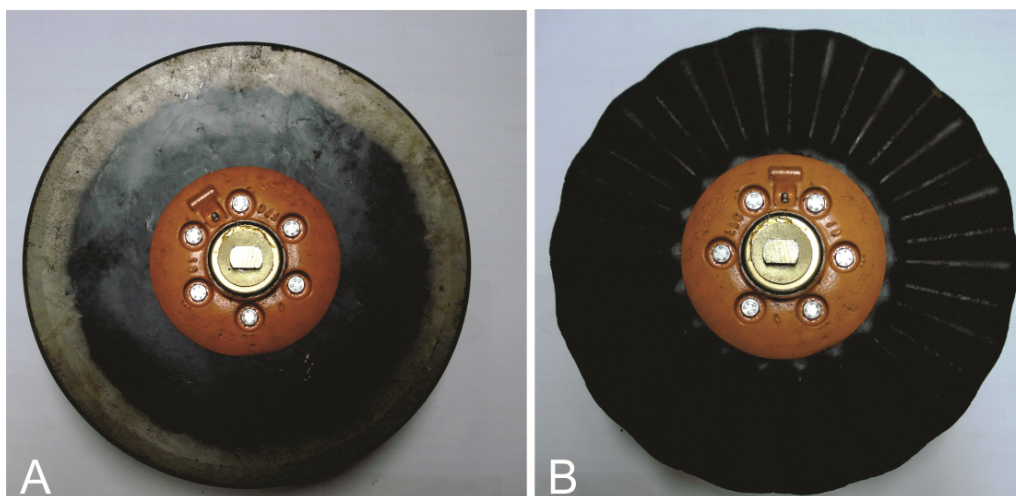


Figura 14 - Discos de corte de resíduos culturais: liso (A) e ondulado (B)

Tabela 6 - Características construtivas dos discos de corte

Descrição	Especificação	
	Liso	Ondulado
Diâmetro (m)	0,46	0,46
Espessura (m)	0,0044	0,0050
Profundidade de corte (m)	0,05	0,05

### 3.6 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram compostos pela interação dos fatores mecanismos de abertura de sulco ( $SF^2$  e  $SR^3$ ), corte de resíduos culturais ( $SD^4$ ,  $DL^5$  e  $DO^6$ ) e velocidades de deslocamento conforme mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Descrição das combinações de tratamentos

Combinação	Mecanismo de abertura de sulco	Mecanismo de corte de resíduos culturais	Velocidade de deslocamento ( $m\ s^{-1}$ )
C1	Haste sulcadora	Sem disco	1,11
C2	Haste sulcadora	Sem disco	1,67
C3	Haste sulcadora	Sem disco	2,22
C4	Haste sulcadora	Sem disco	2,78
C5	Haste sulcadora	Disco liso	1,11
C6	Haste sulcadora	Disco liso	1,67
C7	Haste sulcadora	Disco liso	2,22
C8	Haste sulcadora	Disco liso	2,78
C9	Haste sulcadora	Disco ondulado	1,11
C10	Haste sulcadora	Disco ondulado	1,67
C11	Haste sulcadora	Disco ondulado	2,22
C12	Haste sulcadora	Disco ondulado	2,78
C13	Discos duplos desencontrados	Sem disco	1,11
C14	Discos duplos desencontrados	Sem disco	1,67
C15	Discos duplos desencontrados	Sem disco	2,22
C16	Discos duplos desencontrados	Sem disco	2,78
C17	Discos duplos desencontrados	Disco liso	1,11
C18	Discos duplos desencontrados	Disco liso	1,67
C19	Discos duplos desencontrados	Disco liso	2,22
C20	Discos duplos desencontrados	Disco liso	2,78
C21	Discos duplos desencontrados	Disco ondulado	1,11
C22	Discos duplos desencontrados	Disco ondulado	1,67
C23	Discos duplos desencontrados	Disco ondulado	2,22
C24	Discos duplos desencontrados	Disco ondulado	2,78

<sup>2</sup> Sulcador fixo (haste sulcadora)

<sup>3</sup> Sulcador rotativo (discos duplos desencontrados)

<sup>4</sup> Condição sem disco de corte

<sup>5</sup> Disco de corte liso

<sup>6</sup> Disco de corte ondulado

### 3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso constituído por 24 combinações de tratamentos, com três repetições em cada, em um esquema fatorial de 2x3x4.

Após a aquisição dos dados, os mesmos foram submetidos à análises estatísticas de variância e os contrastes entre as médias que diferiram entre si no teste de f, foram comparadas utilizando o teste de análise de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade de erro. Foram testadas a normalidade dos dados e a homogeneidade de variâncias, através do teste de Kolmogorov-Smirnov, para a primeira, e Cochran, para a segunda. Para estas, utilizou-se o *software* Assistat 7.6 beta 2012.

### 3.7 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em uma área total de 5.775,00 metros quadrados (m<sup>2</sup>), sendo considerado o local para manobras, com 1.455,00 m<sup>2</sup>, bem como para experimentação, com 4.320,00 m<sup>2</sup>. As parcelas, distribuídas nesta última, tiveram 180,00 m<sup>2</sup>, com 3,0 metros de largura por 60,0 metros de comprimento. A primeira dimensão foi definida em função da largura de trabalho do porta-ferramentas, enquanto que a segunda, decorreu da avaliação do número de dados possíveis de serem coletados pelo datalogger durante a maior velocidade de deslocamento do conjunto trator/porta-ferramentas, uma vez que este armazena as informações em função do tempo. Tal condição faz-se necessária, em função de que, em condições de velocidades altas, a quantidade de dados coletados é inferior as mais baixas, portanto, o número mínimo necessário de informações deve ser estipulado na primeira e, por conseguinte, o comprimento da parcela. A Figura 15 ilustra a instalação do experimento.

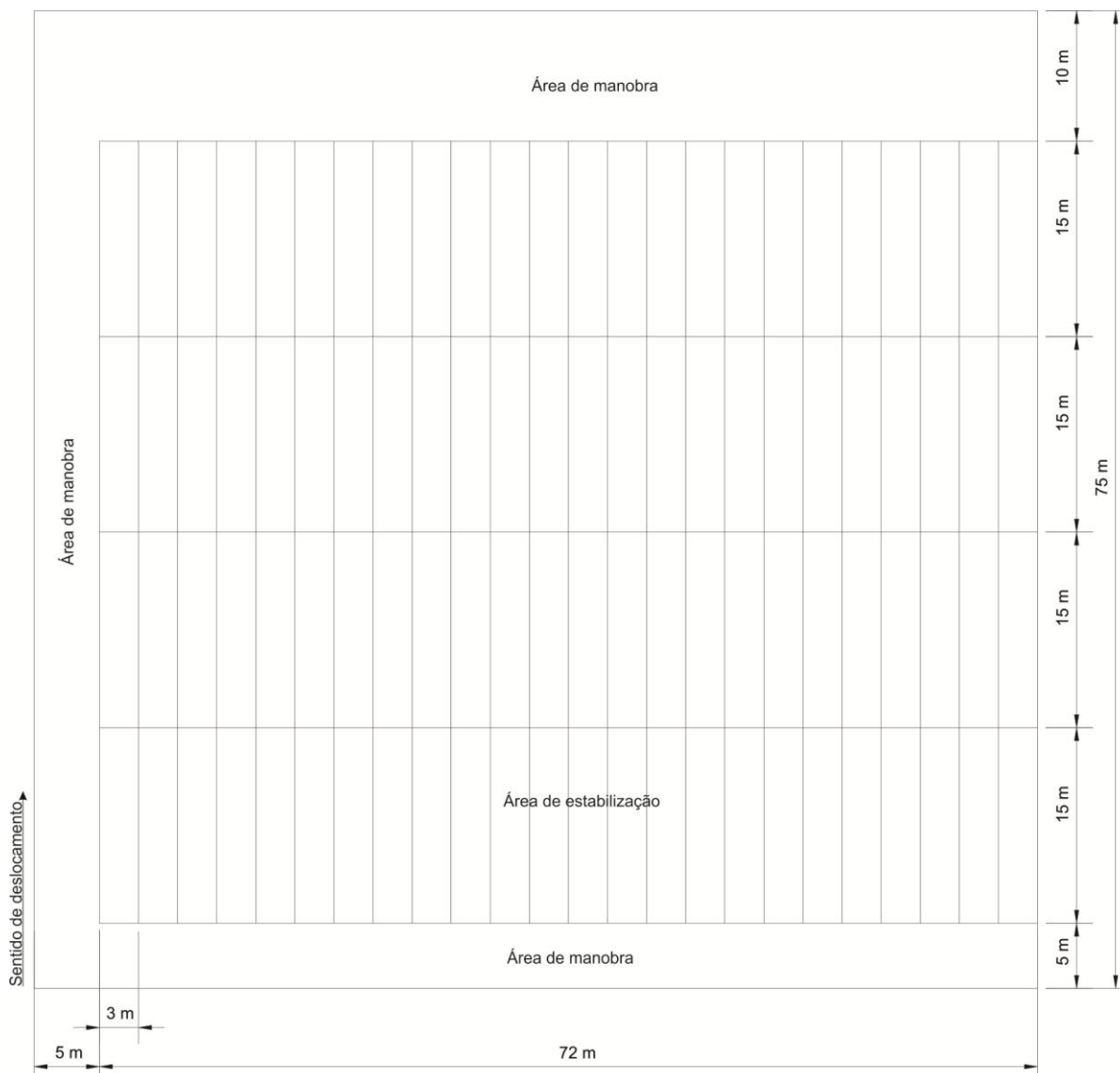


Figura 15 - Croqui da área experimental

### 3.8 Sistema de aquisição de dados e instrumentação eletrônica

Utilizou-se um datalogger marca Campbell Scientific, modelo CR 1000, conforme ilustrado na Figura 16. Este armazena os dados gerados pelos sensores de rotação, célula de carga e fluxômetro, além do valor da carga da bateria, data e horário de execução do estudo. Todos os equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica foram instalados seguindo as recomendações de Russini (2009). Fez-se uso desse sistema em virtude de que, conforme Mantovani, Leplatois



e Inamassu (1999), o seu emprego permite grande capacidade operacional na avaliação de desempenho de implementos em campo.

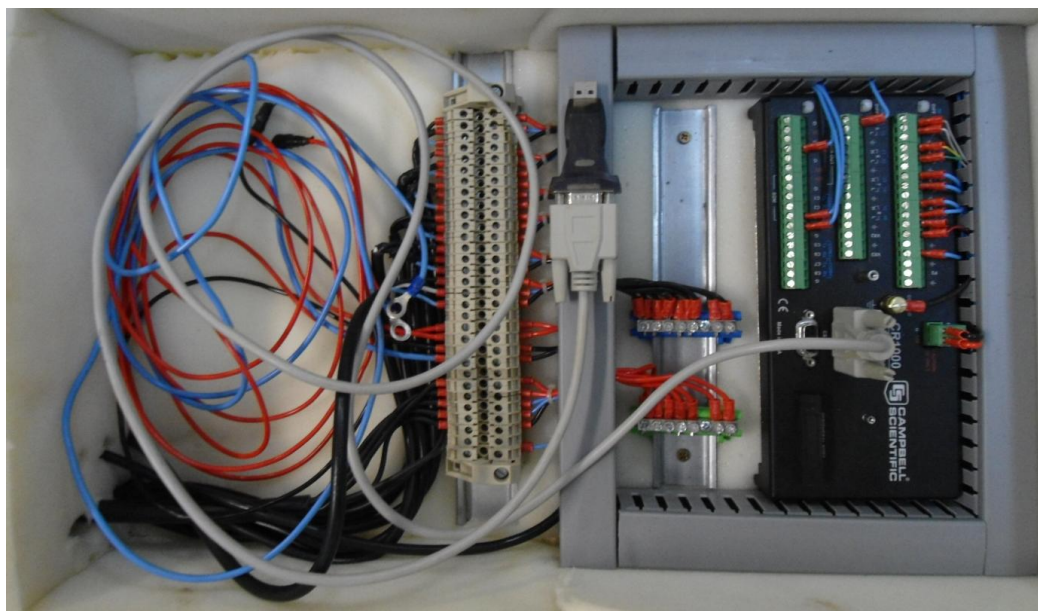


Figura 16 - Sistema de aquisição de dados

A Tabela 8 apresenta uma lista dos equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica, bem como as suas funções iniciais e as finais. A primeira constitui da real tarefa do instrumento, enquanto que a segunda, indica as informações obtidas através da avaliação dos dados gerados na função inicial. O funcionamento detalhado de cada um é apresentado nos próximos tópicos.

Tabela 8 - Lista de equipamentos utilizados na instrumentação eletrônica

Equipamento	Função inicial (real)	Função final (indireta)	Quantidade
Datalogger	Aquisição e armazenamento de dados		1
Sensores indutivos	Emitir sinais elétricos	Mensurar velocidade	3
Célula de carga	Emitir sinais elétricos	Mensurar força de tração	1
Fluxômetro	Emitir sinais elétricos	Mensurar consumo de combustível	1

### 3.9 Determinação do patinamento dos rodados motrizes do trator

O patinamento dos rodados motrizes do trator foi determinado com o auxílio de sensores indutivos de medição de rotação. Estes permaneceram fixos em um

suporte ligado ao para-lama do trator, enquanto que uma engrenagem, com 40 dentes, presa em um suporte acoplado ao aro dos pneus traseiros, girava juntamente com o rodado. Cada engrenagem possui um sensor de proximidade que emite pulsos elétricos de acordo com a passagem dos dentes, indicando a frequência da rotação. Dessa forma, conforme a Equação 1, é possível calcular a velocidade da roda que desenvolve esforço tratório.

$$V_{roda} = \frac{(F \times P \times 3,6)}{nd} \quad \dots(1)$$

Onde:

$V_{roda}$  = velocidade da roda ( $\text{km h}^{-1}$ );

$F$  = frequência captada pelo sensor (Hz);

$P$  = perímetro da roda (m);

$nd$  = número de dentes da engrenagem.

De posse da informação da velocidade média de deslocamento do conjunto, obtida por uma roda odométrica que não desenvolve esforço tratório, e a velocidade da roda, obtêm-se o valor de patinamento utilizando a Equação 2.

$$Pa = \frac{(V_{roda} - VSG)}{V_{roda}} \times 100 \quad \dots(2)$$

Onde:

$Pa$  = patinamento (%);

$V_{roda}$  = velocidade da roda que desenvolve esforço ( $\text{km h}^{-1}$ );

$VSG$  = velocidade da roda que não desenvolve esforço ( $\text{km h}^{-1}$ ).

### 3.10 Determinação de força de tração

Uma célula de carga tipo S, de cinco toneladas (t), marca Berman, devidamente calibrada conforme descreve Russini (2009), foi empregada para

determinação da força de tração requerida. Esta esteve acoplada em um suporte retrátil fixo à barra de tração e ao cabeçalho do porta-ferramentas conforme a Figura 17. O implemento demandou uma força para seu funcionamento, denominada resistência ao rolamento e esta foi medida pela célula de carga em igual amplitude, através de sinais elétricos emitidos de acordo com a intensidade e descontados do valor final. Estes sinais, gerados em milivolts (mV), foram convertidos e armazenados no datalogger.

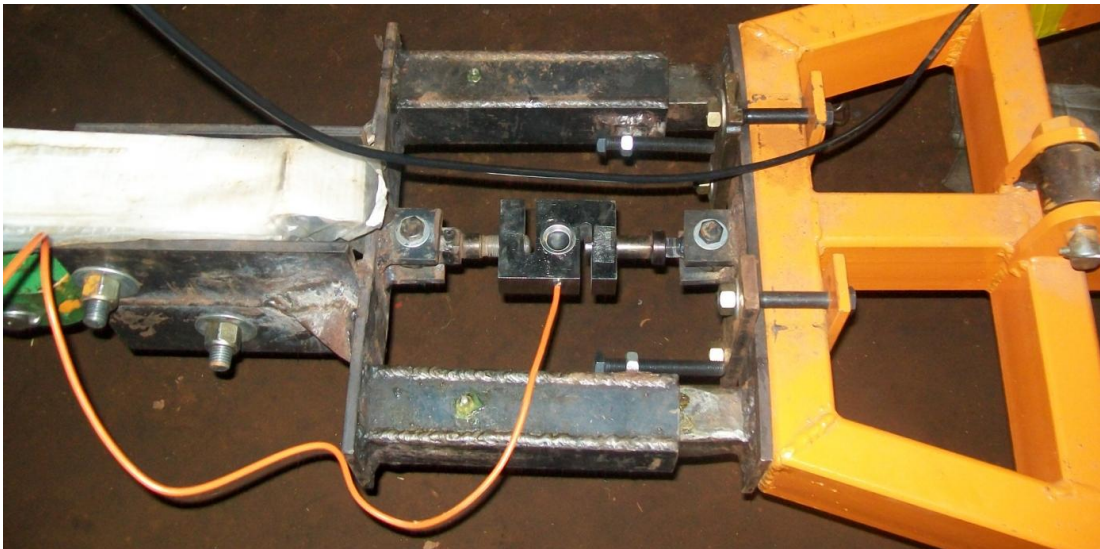


Figura 17 - Acoplamento da célula de carga

A força de tração média foi determinada com base na Equação 3 utilizando os dados da força de tração instantânea e da resistência ao rolamento.

$$F_t = F_i - R_r \quad \dots(3)$$

Onde:

$F_t$  = força de tração média (kN);

$F_i$  = força de tração instantânea (kN);

$R_r$  = resistência ao rolamento (kN).

A partir do valor da força média de tração foi possível calcular a potência disponível na barra de tração, conforme a Equação 4.

$$P_b = F_t \times V \quad \dots(4)$$

Onde:

$P_b$  = potência na barra de tração (kW);

$F_t$  = força de tração média (kN);

$V$  = velocidade média de deslocamento do conjunto ( $m\ s^{-1}$ ).

A resistência específica operacional foi obtida pela razão entre força de tração média e a área mobilizada segundo a Equação 5.

$$Re_o = \frac{F_t}{A_m} \quad \dots(5)$$

Onde:

$Re_o$  = resistência específica operacional ( $kN\ m^{-2}$ );

$F_t$  = força de tração média (kN);

$A_m$  = área de solo mobilizada ( $m^2$ ).

### 3.11 Determinação do consumo horário de combustível

Para aferição do consumo horário de combustível, fez-se uso de um fluxômetro da marca Oval M-III, modelo LSF41, composto por duas engrenagens. Com base na rotação destas, o equipamento emite pulsos elétricos que são armazenados pelo datalogger, de forma que, com a utilização da Equação 6, calcula-se o consumo em litros por hora.

$$Ch = P_u \times 1,8 \quad \dots(6)$$

Onde:

$Ch$  = consumo horário de combustível ( $l\ h^{-1}$ );

$P_u$  = pulsos elétricos gerados pelo fluxômetro.

Por sua vez, o consumo específico de combustível foi obtido empregando-se a Equação 7. Este é alcançado pela relação entre o produto da densidade do combustível e o do consumo horário pela potência na barra de tração.

$$C_e = \frac{(D \times Ch)}{P_b} \quad \dots(7)$$

Onde:

$C_e$  = consumo específico de combustível ( $g \text{ kWh}^{-1}$ );

$D$  = densidade do combustível ( $g \text{ l}^{-1}$ );

$Ch$  = consumo horário de combustível ( $l \text{ h}^{-1}$ );

$P_b$  = potência na barra de tração (kW).

O consumo específico operacional é adquirido pela razão entre consumo específico e a área mobilizada segundo a Equação 8.

$$C_{eo} = \frac{C_e}{A_m} \quad \dots(8)$$

Onde:

$C_{eo}$  = consumo de combustível específico operacional ( $g \text{ kWh}^{-1} \text{ m}^{-2}$ );

$C_e$  = consumo específico ( $g \text{ kWh}^{-1}$ );

$A_m$  = área de solo mobilizada ( $\text{m}^2$ ).

### **3.12 Determinação da área mobilizada, elevada e volume de solo mobilizado**

Na área experimental foram realizadas três leituras. A primeira foi efetuada antes da passagem do porta-ferramentas, a segunda e terceira após a passagem deste, no mesmo local obtendo a forma geométrica do sulco. Para garantir que as amostragens foram realizadas no mesmo local, utilizaram-se duas estacas de madeira, uma de cada lado do local previsto para abertura do sulco. Os perfis do

solo foram marcados em folhas A2 de papel milimetrado, com o uso de canetas, traçando uma linha entre as extremidades dos pontos coletados em cada folha, os quais forneceram o perfil natural do solo, área elevada e mobilizada.

Primeiramente o perfilômetro foi posicionado transversalmente ao futuro sulco para obter-se o perfil natural do solo, anotando-se os dados. Realizou-se então a passagem do porta-ferramentas e posicionou-se novamente o aparelho no local anteriormente utilizado, com a finalidade de se fazer o registro do perfil após a passagem do sulcador. Por fim, removeu-se manualmente todo solo mobilizado do sulco até a profundidade onde o mesmo não foi movimentado, tomando-se o cuidado de não alterar o perfil para a obtenção do perfil de solo mobilizado subsuperficialmente.

Posteriormente, esses gráficos foram fotografados utilizando uma câmera fotográfica marca Sony, modelo DSC-W30, sem a utilização de zoom estando esta fixa (posição x, y e z). Em seguida, estas foram inseridas no programa computacional Auto Cad para traçar as linhas de contorno dos perfis (Figura 18) e, através da utilização de ferramentas para leitura de área do *software*, determinou-se a área em metros quadrados. A diferença entre a primeira e a terceira leitura, forneceu a área de solo mobilizado, enquanto que a diminuição desse valor na área da segunda leitura indicou a área de elevação.

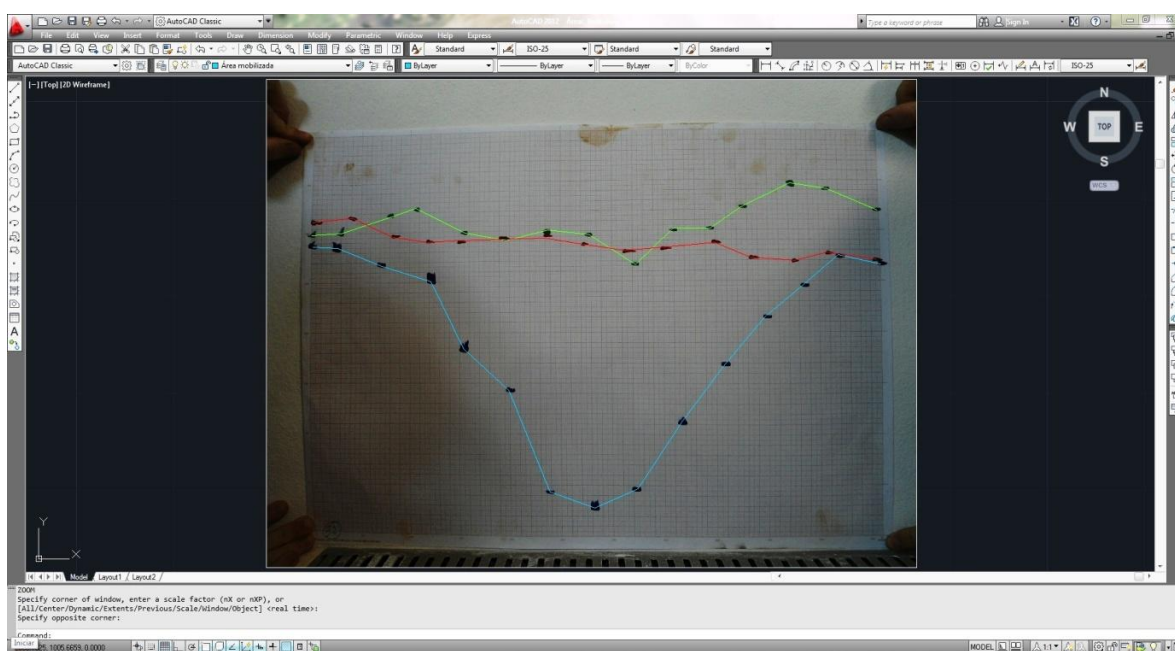


Figura 18 - Linhas de contorno dos perfis no Auto Cad

Para a determinação do volume de solo mobilizado utilizou-se a Equação 9, onde o valor 10.000 corresponde à área de um hectare. O espaçamento entre linhas utilizado para os cálculos foi de 0,45 m, correspondente ao mais usualmente empregado na semeadura da cultura da soja.

$$V_m = \frac{(A_m \times 10.000)}{E} \quad \dots(9)$$

Onde:

$V_m$  = volume de solo mobilizado ( $m^3$ );

$A_m$  = área de solo mobilizada ( $m^2$ );

$E$  = espaçamento entre linhas da cultura (m).

O empolamento de solo foi determinado com o emprego da Equação 10, o qual é obtido pela relação entre a área elevada do solo e a mobilizada.

$$E_m = \frac{A_e}{A_m} \times 100 \quad \dots(10)$$

Onde:

$E_m$  = empolamento do solo (%);

$A_e$  = área de solo elevada ( $m^2$ );

$A_m$  = área de solo mobilizada ( $m^2$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística descritiva dos dados das variáveis patinamento, força de tração, potência na barra, consumo horário e específico de combustível, área de solo elevada e mobilizada, volume de solo mobilizado, empolamento do solo, resistência específica operacional e consumo específico operacional é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise estatística descritiva dos dados

Variável	Menor valor	Maior valor	Amplitude	Média	Mediana	Desvio padrão	CV (%)
Pa (%)	2,36	5,01	2,65	3,22	3,18	0,64	9,12
Ft (kN)	1,15	2,64	1,49	1,94	1,91	0,39	5,58
Pb (kW)	1,53	7,34	5,81	3,85	3,78	1,66	7,13
Ch (l h <sup>-1</sup> )	2,92	4,95	2,02	3,68	3,53	0,51	3,97
Ce (g kWh <sup>-1</sup> )	0,36	2,98	2,61	1,09	0,96	0,50	23,70
Ae (m <sup>2</sup> )	0,00025	0,00915	0,00889	0,00404	0,00391	0,00191	37,71
Am (m <sup>2</sup> )	0,00681	0,01751	0,01070	0,01111	0,01110	0,00219	13,49
Vm (m <sup>3</sup> )	151,27	389,09	237,82	246,93	246,56	48,42	13,49
Em (%)	2,28	77,91	75,63	36,29	35,05	16,03	38,79
Reo (kN m <sup>-2</sup> )	90,49	298,00	207,51	178,98	179,87	38,77	15,63
Ceo (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	29,71	296,56	266,84	103,81	92,90	54,31	11,28

Avaliando os valores de média e mediana, foi observada a proximidade destes parâmetros para cada variável indicando distribuição de frequência simétrica.

Os valores da amplitude para Pa, Ft, Ch, Am e Vm, estiveram abaixo da média. Dessa forma, a maioria dos dados destas, estiveram próximos a esta. Para Pb, Ce, Ae, Em, Reo e Ceo a amplitude foi superior aos valores médios e por consequência, com exceção da potência na barra e do consumo específico operacional, apresentaram coeficientes de variação mais elevados que as demais.

A análise de variância (ANOVA) das variáveis, com suas respectivas médias, níveis e os resultados dos testes F são apresentados na Tabela 10. Foi observada normalidade dos dados, através da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov, e, homogeneidade de variâncias, por meio da utilização do teste de Cochran.



Tabela 10 - Análise estatística ANOVA com as médias dos fatores, seus níveis e os resultados do teste F

Fatores	Variáveis										
	Pa (%)	Ft (kN)	Pb (kW)	Ch (l h <sup>-1</sup> )	Ce (g kWh <sup>-1</sup> )	Ae (m <sup>2</sup> )	Am (m <sup>2</sup> )	Vm (m <sup>3</sup> )	Em (%)	Reo (kN m <sup>-2</sup> )	Ceo (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
<b>SULCADOR</b>											
Fixo (SF)	3,29 a	2,14 a	4,27 a	3,75 a	0,92 b	0,0052 a	0,0126 a	281,09 a	42,33 a	170,51 b	75,03 b
Rotativo (SR)	3,15 b	1,75 b	3,43 b	3,61 b	1,26 a	0,0028 b	0,0096 b	212,78 b	30,26 b	187,46 a	132,60 a
<b>DISCO DE CORTE</b>											
Sem disco (SD)	2,89 b	1,66 c	3,32 c	3,73 a	1,31 a	0,0049 a	0,0108 b	240,04 b	45,25 a	156,19 b	126,14 a
Disco liso (DL)	3,34 a	2,04 b	4,02 b	3,66 a	0,85 c	0,0040 ab	0,0106 b	236,59 b	37,44 a	198,15 a	84,90 b
Disco ondulado (DO)	3,42 a	2,13 a	4,22 a	3,66 a	1,11 b	0,0033 b	0,0119 a	264,18 a	26,20 b	182,61 a	100,39 b
<b>VELOCIDADE</b>											
1,11 m s <sup>-1</sup>	2,58 d	1,77 b	1,96 d	3,28 c	1,55 a	0,0041 a	0,0106 a	235,48 a	38,18 a	169,32 bc	153,11 a
1,67 m s <sup>-1</sup>	2,94 c	1,81 b	3,01 c	3,21 c	1,04 b	0,0040 a	0,0116 a	257,62 a	33,79 a	159,12 c	93,12 b
2,22 m s <sup>-1</sup>	3,43 b	2,11 a	4,63 b	3,92 b	0,91 b	0,0038 a	0,0112 a	250,03 a	33,39 a	193,23 ab	83,87 b
2,78 m s <sup>-1</sup>	3,93 a	2,09 a	5,82 a	4,32 a	0,87 b	0,0043 a	0,0110 a	244,60 a	39,82 a	194,27 a	85,15 b
<b>CV e MG</b>											
CV (%)	9,12	5,58	7,13	3,97	23,70	37,71	13,49	13,49	38,79	15,63	11,28
Média geral (MG)	3,22	1,94	3,85	3,68	1,09	0,0040	0,0111	246,94	36,29	178,99	103,81
<b>Teste F</b>											
Sulcador (F1)	4,33*	237,09**	168,12**	15,58**	29,94**	46,83**	75,70**	75,70**	13,22**	6,61*	86,19**
Disco de corte (F2)	22,77**	130,01**	69,79**	1,55 ns	18,99**	6,77**	4,89*	4,88*	11,09**	13,80**	15,05**
Velocidade (F3)	72,66**	51,12**	694,51**	237,98**	26,50**	0,36 ns	1,41 ns	1,41 ns	0,93 ns	7,09**	28,52**
F1 x F2	0,71 ns	20,82**	11,97**	1,15 ns	5,25**	0,73 ns	0,47 ns	0,47 ns	0,95 ns	1,83 ns	3,71*
F1 x F3	1,82 ns	4,84**	15,54**	8,48 **	3,33*	0,04*	0,39 ns	0,39 ns	0,25 ns	0,08 ns	2,96*
F2 x F3	1,81 ns	9,05**	4,67**	5,18 **	5,31**	0,35ns	0,62 ns	0,62 ns	0,51 ns	0,89 ns	5,06**
F1 x F2 x F3	1,66 ns	19,07**	13,04**	6,24 **	3,80**	0,06**	1,42 ns	1,42 ns	0,23 ns	4,26**	1,72 ns

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ). \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). ns Não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

#### 4.1 Força de tração

Na Tabela 11 são mostrados os requerimentos de tração em função dos fatores sulcador, disco de corte e velocidade de deslocamento, sendo encontrado uma solicitação média de 1,94 kN.

Tabela 11 - Força de tração em função dos fatores

Sulcador	Ft (kN)	Disco de corte	Ft (kN)	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Ft (kN)
Fixo	2,14 a	Sem disco	1,66 c	1,11	1,77 b
Rotativo	1,75 b	Disco liso	2,04 b	1,67	1,81 b
		Disco ondulado	2,13 a	2,22	2,11 a
				2,78	2,09 a
Média (kN)	1,94	-	1,94	-	1,94

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 5,58 %.

O requerimento médio de tração do sulcador fixo foi 22,28% superior que o solicitado pelo mecanismo rotativo. O primeiro necessitou de 2,14 kN, enquanto que o segundo demandou 1,75 kN. Piffer (2008), avaliando a utilização de discos duplos em um Nitossolo Vermelho Distroférrico de textura muito argilosa, encontrou valores médios de 1,49 kN, e Silva (2003), trabalhando com hastes sulcadoras, evidenciou demanda de 2,30 kN por linha de semeadura. Assim sendo, os resultados encontrados estão condizentes com os obtidos pela literatura. Além disso, Andreolla e Gabriel Filho (2006), Palma et al. (2011), Silva (2003b) e Tamayo (2002), após terem avaliado diferentes sulcadores, também evidenciaram que elementos fixos proporcionam maior exigência de tração. Isso pode ser explicado em função de que o projeto da haste visa quebrar as camadas mais compactadas de solo, trabalhando a uma maior profundidade, o que proporciona uma maior demanda de energia para vencer o acréscimo de atrito entre a ferramenta e solo, ao contrário dos discos duplos, que apenas abrem o sulco. Tal explicação vai de acordo com as afirmações de Harrison (1977).

A situação sem disco de corte foi a que demandou a menor força de tração, apresentando diferença significativa de 22,89 e 28,31% para o disco liso e o

ondulado, respectivamente. Além disso, comparando entre os mecanismos de corte, o ondulado foi o que exigiu um maior esforço de tração, apresentando diferença de 4,41% para o liso. Isso é justificado em função de que estes apresentam uma resistência ao rolamento, conforme afirmam Faganello, Kochhann e Portella (1992), de forma que a presença de discos aumenta a sollicitação de tração e, por consequência da maior superfície específica, ou seja, maior área de contato com o solo, o ondulado é o que propiciou os maiores requerimentos.

Com relação a variável velocidade de deslocamento, as duas mais lentas, 1,11 e 1,67 m s<sup>-1</sup>, não apresentaram contraste na exigência de tração, assim como entre as mais rápidas, 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>. Contudo, foi evidenciada influência significativa sobre a demanda entre estes grupos, sendo que o primeiro foi o que demandou menor esforço de tração, apresentando diferença de 17,32%. Fato comprovado por Siqueira et al. (2001) e Casão Junior et al. (2000), avaliando a demanda de tração de uma semeadora em diferentes velocidades de deslocamento.

A interação entre sulcador e disco de corte na força de tração é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Interação entre sulcador e disco de corte na força de tração

Sulcador	Disco de corte			Média (kN)
	Sem disco	Disco liso	Disco ondulado	
Sulcador fixo	1,82 aC	2,16 aB	2,44 aA	2,14
Sulcador rotativo	1,49 bB	1,93 bA	1,82 bA	1,75
Média	1,65	2,04	2,13	-

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

A associação entre sulcadores e discos de corte apresentaram maiores requerimentos de tração em comparação a situação sem o emprego dos mecanismos de corte. Para sulcadores fixos, esta condição apresentou ainda diferença de 12,96% entre os elementos, com maior requerimento na associação com o disco ondulado. Circunstância não observada para o sulcador rotativo, em que não foi verificada diferença significativa entre o liso e o ondulado. Além disso, a presença do disco liso reduziu a diferença entre o requerimento dos sulcadores, passando de 34,06% na condição com disco ondulado e 22,15% na condição sem

disco, para 11,92%. Contudo, independentemente da utilização ou não de elementos de corte, a demanda da haste sulcadora foi maior do que a dos discos duplos.

Na avaliação da relação entre sulcador e a velocidade de deslocamento sobre a força de tração foram encontrados um valor média de 2,14 kN para o sulcador fixo e 1,75 para o rotativo os quais são exibidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Interação entre sulcador e velocidade na força de tração

Sulcador	Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média (kN)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sulcador fixo	1,94 aB	1,93 aB	2,34 aA	2,35 aA	2,14
Sulcador rotativo	1,59 bB	1,68 bB	1,88 bA	1,84 bA	1,75
Média	1,76	1,80	2,11	2,09	-

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

Ambos sulcadores apresentaram menores requerimentos nas velocidades mais baixas, sendo que em todas, a haste sulcadora necessitou de maior força de tração que os discos duplos. Além disso, foi verificado que o sulcador fixo apresentou a maior diferença entre as velocidades, de forma que este é mais influenciado pela velocidade que os discos duplos na solicitação de tração. Ademais, a velocidade de  $1,67 \text{ m s}^{-1}$  foi a que proporcionou a menor diferença na exigência entre os diferentes mecanismos, com 14,88%, seguido da  $1,11 \text{ m s}^{-1}$ , com 22,01%, e a  $2,22$  e  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ , com 24,47 e 27,71% respectivamente.

Os resultados da força de tração em função da interação entre disco de corte e a velocidade de deslocamento, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Interação entre disco de corte e velocidade na força de tração

Disco de corte	Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média (kN)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sem disco	1,44 bB	1,35 bB	1,86 bA	1,97 bA	1,65
Disco liso	1,88 aB	1,98 aB	2,26 aA	2,04 bB	2,04
Disco ondulado	1,97 aC	2,08 aBC	2,20 aAB	2,27 aA	2,13
Média	1,76	1,80	2,11	2,09	-

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

Nas velocidades mais baixas o requerimento de tração entre os diferentes discos de corte não apresentou diferença estatística. Contudo, quando comparado

estes com a situação sem disco, foi observado contraste médio de 33,68, 50,37, e 19,89% para as velocidades de 1,11, 1,67 e 2,22 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Na velocidade de 2,78 m s<sup>-1</sup>, a exigência do disco liso foi equiparada com a condição sem disco, enquanto que o ondulado diferiu de ambos.

A força de tração em função da associação entre sulcador, disco de corte e velocidade de deslocamento esta disposta na Tabela 15.

Tabela 15 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na força de tração

Interação		Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (kN)
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	1,42 cB	1,26 cB	2,22 bA	2,38 abA	1,82
SF	DL	2,08 aA	2,14 aA	2,22 bA	2,19 bcA	2,16
SF	DO	2,32 aB	2,40 aAB	2,58 aA	2,47 aAB	2,44
SR	SD	1,47 bcA	1,44 cA	1,50 dA	1,56 eA	1,49
SR	DL	1,69 bB	1,82 bB	2,30 bA	1,89 dB	1,92
SR	DO	1,62 bcB	1,76 bB	1,83 cB	2,08 cdA	1,82
Média		1,77	1,80	2,11	2,09	-

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

Na velocidade menor, foi observado que SR SD e SR DO não apresentaram diferença significativa para o SF SD. Na condição de 1,67 m s<sup>-1</sup>, essa igualdade foi observada entre SF SD e SR SD, e em 2,22 m s<sup>-1</sup>, entre SF DL e SR DO. Já para a maior velocidade, não houve igualdade na demanda entre o SR e o SR em nenhuma combinação. Desta forma, em determinadas associações entre velocidade e discos de corte para o SR, a exigência por parte destes pode ser semelhante ao SF, desde que estes últimos trabalhem em baixas velocidades e sem emprego de discos.

Além disso, foi evidenciado que a utilização de discos de corte, quando associado ao sulcador fixo, reduziu a ampliação da demanda de tração em aproximadamente 90%, quando a velocidade passou de 1,11 para 2,78 m s<sup>-1</sup>. Na condição sem disco, a ampliação de tração entre estas velocidades foi de 67,61%, enquanto que, quando combinada com o disco liso, este acréscimo foi de apenas 5,28% e de 6,46% quando associado ao ondulado.

A tendência da força de tração em função da velocidade obtida nas diferentes associações entre sulcadores e discos de corte é ilustrada na Figura 19.

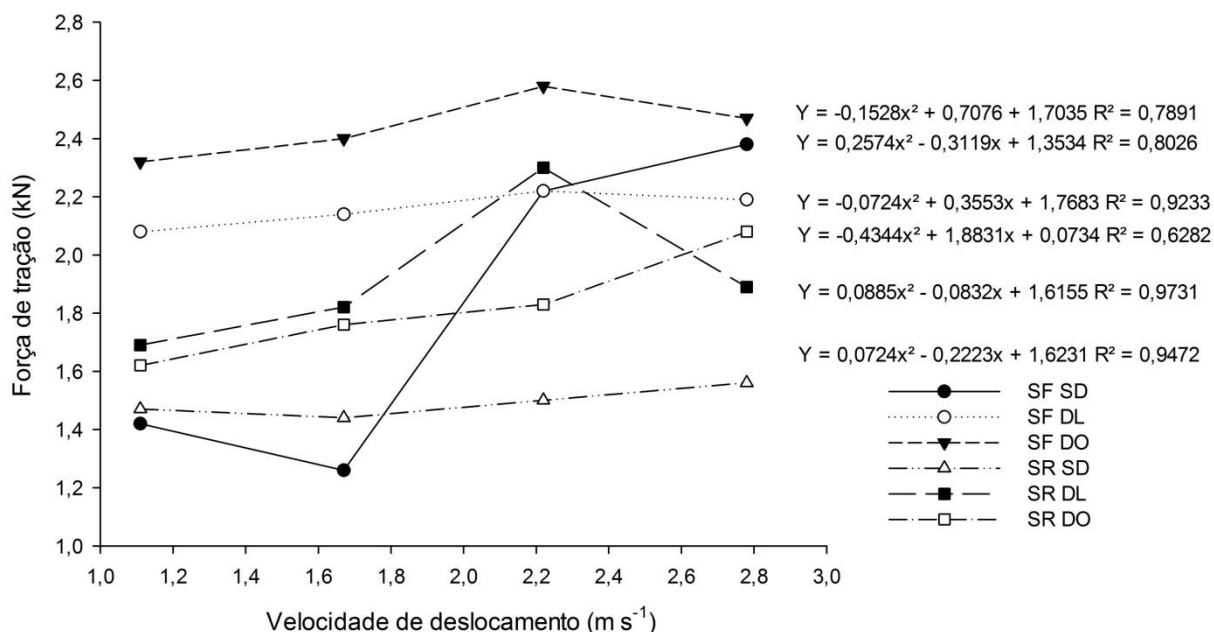


Figura 19 - Influência da velocidade de deslocamento na força de tração nas interações sulcador/disco

A associação entre sulcador fixo e disco ondulado, foi a que apresentou o maior requerimento de tração em todas as velocidades de deslocamento. Na sequência, a combinação de haste sulcadora e disco liso foi a que demandou maior tração nas velocidades de  $1,11$  e  $1,67 \text{ m s}^{-1}$ . Já para a velocidade de  $2,22 \text{ m s}^{-1}$ , esta última interação, e as combinações SR DL e SF SD, foram as que apresentaram as maiores exigências. Outrossim, na situação de  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ , o SF SD requisitou de maior esforço de tração. Pelo contrário, a menor exigência nas velocidades  $1,11$  e  $1,67 \text{ m s}^{-1}$  foram observadas no arranjo SF SD, enquanto que nas demais, esta demanda foi da integração SR SD. Em suma, foi observado acréscimo na demanda de tração com o incremento da velocidade.

#### 4.2 Potência na barra de tração

Os resultados na exigência de potência na barra de tração em função dos fatores são apresentados Tabela 16.

Tabela 16 - Potência na barra em função dos fatores

Sulcador	Pb (kW)	Disco de corte	Pb (kW)	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Pb (kW)
Fixo	4,27 a	Sem disco	3,32 c	1,11	1,96 d
Rotativo	3,43 b	Disco liso	4,02 b	1,67	3,01 c
		Disco ondulado	4,22 a	2,22	4,63 b
				2,78	5,82 a
Média (kW)	3,85	-	3,85	-	3,85

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 7,13 %.

O sulcador fixo exigiu 4,27 kW de potência na barra, enquanto que, para o rotativo esta demanda foi de 3,43 kW. Desta forma, o requerimento do primeiro foi 24,49% maior que o do segundo, sendo causado principalmente por uma maior profundidade de atuação deste sulcador, o que acarreta em uma elevação na necessidade de energia para suprir o maior atrito gerado entre a ferramenta e o solo. Os resultados estão condizentes com os encontrados por Andreolla e Gabriel Filho (2006) e Coelho (1998).

A demanda de potência por parte do disco ondulado foi superior ao disco liso em 4,98%, e, ambos apresentaram maior requerimento que a condição sem o emprego deste tipo de mecanismos, com diferença de 27,11% para o primeiro e, 21,08%, para o segundo. Tal situação deve-se, em grande parte, devido a maior área de contato deste mecanismo com o solo.

O acréscimo da velocidade de deslocamento de 1,11 para 2,78 m s<sup>-1</sup>, proporcionou um aumento na demanda de tração em 196,94%. Além disso, foi verificado que este incremento foi mais significativo em velocidades mais baixas, com diferença de 53,87% entre 1,11 e 1,67 m s<sup>-1</sup> e 53,82% entre 1,67 e 2,22 m s<sup>-1</sup>. Já para a condição entre as velocidades mais altas, este contraste manteve-se em 25,70%. Silveira, Gabriel Filho e Secco (2005) e Mercante et al. (2005) avaliando a demanda de potência de uma semeadora, também comprovaram efeito de acréscimo desta variável quando incrementada a velocidade.

Foi observada a interação entre os elementos sulcadores e discos de corte sobre a potência na barra, na qual se obteve uma média geral de 3,85 kW. Dessa forma, os resultados desta influência são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Interação entre sulcador e disco de corte na potência na barra

Sulcador	Disco de corte			Média (kW)
	Sem disco	Disco liso	Disco ondulado	
Sulcador fixo	3,81 aC	4,23 aB	4,79 aA	4,28
Sulcador rotativo	2,84 bB	3,82 bA	3,64 bA	3,43
Média	3,32	4,02	4,21	-

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

Foi observada diferença significativa entre haste sulcadora e os discos duplos independentemente da associação com discos de corte. A falta destes mecanismos a frente dos sulcadores, proporcionou o maior contraste no requerimento de potência entre os elementos formadores de sulco, com 34,15%. Por sua vez, o emprego do disco ondulado minimizou esta diferença em 2,56%, enquanto que o disco liso reduziu em 23,37%.

O emprego de disco ondulado, para o sulcador fixo, proporcionou a maior exigência de potência, seguido do disco liso, com diferença de 13,34% entre estes, e a condição sem disco, com contraste de 25,72%. Por sua vez, o sulcador rotativo não apresentou variação significativa entre os diferentes tipos de discos, sendo que a utilização destes aumentou em média 31,34% à demanda de potência para este tipo de sulcador.

A Tabela 18 apresenta os resultados da interação significativa entre sulcador e velocidade sobre a demanda de potência na barra.

Tabela 18 - Interação entre sulcador e velocidade na potência na barra

Sulcador	Velocidade de deslocamento ( $m s^{-1}$ )				Média (kW)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sulcador fixo	2,15 aD	3,23 aC	5,20 aB	6,52 aA	4,27
Sulcador rotativo	1,77 bD	2,79 bC	4,06 bB	5,11 bA	3,37
Média	1,96	3,01	4,63	5,82	-

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

O comportamento da exigência de potência apresentou a mesma tendência de acréscimo, indiferentemente do mecanismo de abertura de sulco utilizado, com o acréscimo da velocidade. Além disso, a demanda do sulcador fixo foi superior ao rotativo em todas as velocidades, com maior diferença nas mais altas.



Os resultados da interação entre disco de corte e velocidade de deslocamento sobre a demanda de potência é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Interação entre disco de corte e velocidade na potência na barra

Disco de corte	Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média (kW)
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sem disco	1,60 bD	2,25 bC	3,98 bB	5,47 bA	3,32
Disco liso	2,09 aD	3,30 aC	5,03 aB	5,67 bA	4,02
Disco ondulado	2,19 aD	3,47 aC	4,89 aB	6,31 aA	4,21
Média	1,96	3,01	4,63	5,82	-

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

Foi observada diferença estatística entre o emprego de discos de corte e a condição sem disco, apresentando contraste médio de 33,75, 50,44 e 24,62% nas velocidades 1,11, 1,67 e 2,22  $\text{m s}^{-1}$  respectivamente. Na velocidade de 2,78  $\text{m s}^{-1}$ , o disco de corte liso equiparou-se a condição sem este tipo de elemento, sendo que o ondulado diferiu de ambos. Além disso, em todos os mecanismos de corte foi evidenciado acréscimo na demanda de potência em função do aumento da velocidade.

A Tabela 20 apresenta os dados da interação entre sulcador, disco de corte e a velocidade de deslocamento sobre a exigência de potência.

Tabela 20 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na potência na barra

Interação		Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média (kW)
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	1,58 cC	2,10 dC	4,94 bB	6,61 abA	3,81
SF	DL	2,31 abD	3,57 abC	4,94 bB	6,09 bcA	4,23
SF	DO	2,58 aD	4,00 aC	5,72 aB	6,85 aA	4,79
SR	SD	1,63 cD	2,40 cdC	3,01 dB	4,32 eA	2,84
SR	DL	1,88 bcC	3,04 bcB	5,12 abA	5,25 dA	3,82
SR	DO	1,80 bcD	2,94 bcC	4,06 cB	5,77 cdA	3,64
Média		1,96	3,01	4,63	5,81	-

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

A interação entre sulcador fixo e o disco de corte ondulado, em todas as velocidades, e o disco liso nas velocidades 1,11 e 1,67  $\text{m s}^{-1}$ , além da combinação entre disco duplo e disco liso na velocidade 2,22  $\text{m s}^{-1}$ , foram as associações que apresentaram a maior demanda de potência. Além disso, com respeito ao sulcador

rotativo, não foi observada diferença significativa entre os fatores discos de corte nas velocidades mais baixas.

A disposição da potência requerida na barra em função da velocidade, nas diferentes associações entre sulcadores e discos de corte, é ilustrada na Figura 20.

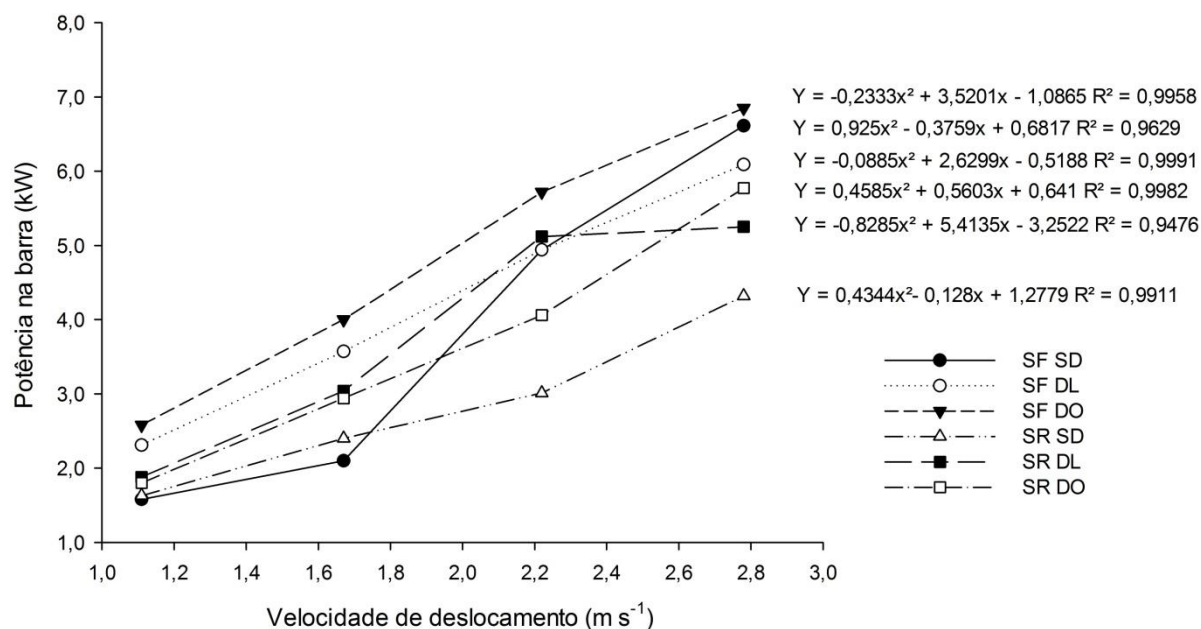


Figura 20 - Influência da velocidade no requerimento de potência na barra nas interações sulcador/disco

A demanda de potência apresentou aumento devido ao acréscimo da velocidade de deslocamento em todas as associações de mecanismos para corte de resíduos culturais e abridores de sulco.

### 4.3 Patinamento dos rodados motrizes

Os dados de patinamento dos rodados motrizes do trator, em função dos fatores sulcador, disco de corte e velocidade de deslocamento, são apresentados separadamente na Tabela 21.

Tabela 21 - Patinamento em função dos fatores

Sulcador	Pa (%)	Disco de corte	Pa (%)	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Pa (%)
Fixo	3,29 a	Sem disco	2,89 b	1,11	2,58 d
Rotativo	3,15 b	Disco liso	3,34 a	1,67	2,94 c
		Disco ondulado	3,42 a	2,22	3,43 b
				2,78	3,93 a
Média (%)	3,22	-	3,22	-	3,22

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 9,12 %.

Os valores encontrados mantiveram-se abaixo do considerado adequado pela ASAE (2003) tanto para solos firmes como mobilizados, obtendo um valor médio de 3,22%. Este fato deve-se em virtude de que o esforço tratório necessário para tracionar o conjunto trator/porta-ferramentas foi pequeno, por se tratar de um ensaio com apenas uma linha de interação com o solo. Contudo, não é definido sobre qual deve ser a faixa ideal de patinagem para solo com cobertura vegetal.

Foi observada influência significativa do tipo de sulcador sobre o patinamento do rodado motriz, sendo que a haste sulcadora atingiu o maior valor, 3,29%, enquanto que os discos duplos apresentaram 3,15%. Esta condição deve-se, principalmente, em virtude da ação diferenciada entre os mecanismos para a abertura do sulco, da profundidade de trabalho utilizada pela haste ser 50,0% maior que a dos discos e, devido a isso, demandar maior força de tração. Levien et al. (2011), trabalhando com diferentes mecanismos, também concluiu que abridores de sulco com órgão ativo fixo apresentam maior patinamento que os rotativos.

Os discos de corte liso e ondulado, não apresentaram diferença estatística entre si, sendo que apenas foi evidenciado contraste neste fator, quando comparado à situação em que não foi utilizado nenhum organismo de corte à frente dos abridores de sulco. Confrontando com esta, o emprego deste tipo de mecanismo de corte proporcionou acréscimo no patinamento de 15,57%, nas combinações que empregaram o liso, e de 18,34% para os que adotaram o ondulado.

A interferência da velocidade sobre o patinamento foi significativamente diferente entre velocidades e proporcional ao aumento destas, sendo verificada uma ampliação de 52,32% entre as velocidades de 1,11 e 2,78 m s<sup>-1</sup>. Tal episódio deve-se, possivelmente, ao incremento no esforço de tração do conjunto. Cepik (2002),

analisando o desempenho de um conjunto trator/semeadora equipada com hastes sulcadoras em diferentes velocidades também evidenciou acréscimo no patinamento com o incremento desta.

As interações entre sulcador, disco de corte e a velocidade de deslocamento sobre o patinamento dos rodados motrizes do trator, assim como a média geral obtida em cada associação sulcador/disco, são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o patinamento

Interação		Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média (%)
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	2,41	2,56	3,48	3,61	3,01
SF	DL	2,63	3,03	3,66	4,12	3,36
SF	DO	2,79	3,21	3,80	4,25	3,51
SR	SD	2,46	2,62	2,60	3,45	2,78
SR	DL	2,62	2,80	3,55	4,34	3,33
SR	DO	2,56	3,43	3,53	3,84	3,34
Média		2,58	2,94	3,44	3,93	-

O menor valor de patinamento foi obtido na velocidade de  $1,11 \text{ m s}^{-1}$  para a associação SF SD, enquanto que o maior valor foi verificado para a interação SR DL na velocidade de  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ . Contudo, não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos quando examinado esta interação. A tendência desta é ilustrada na Figura 21.

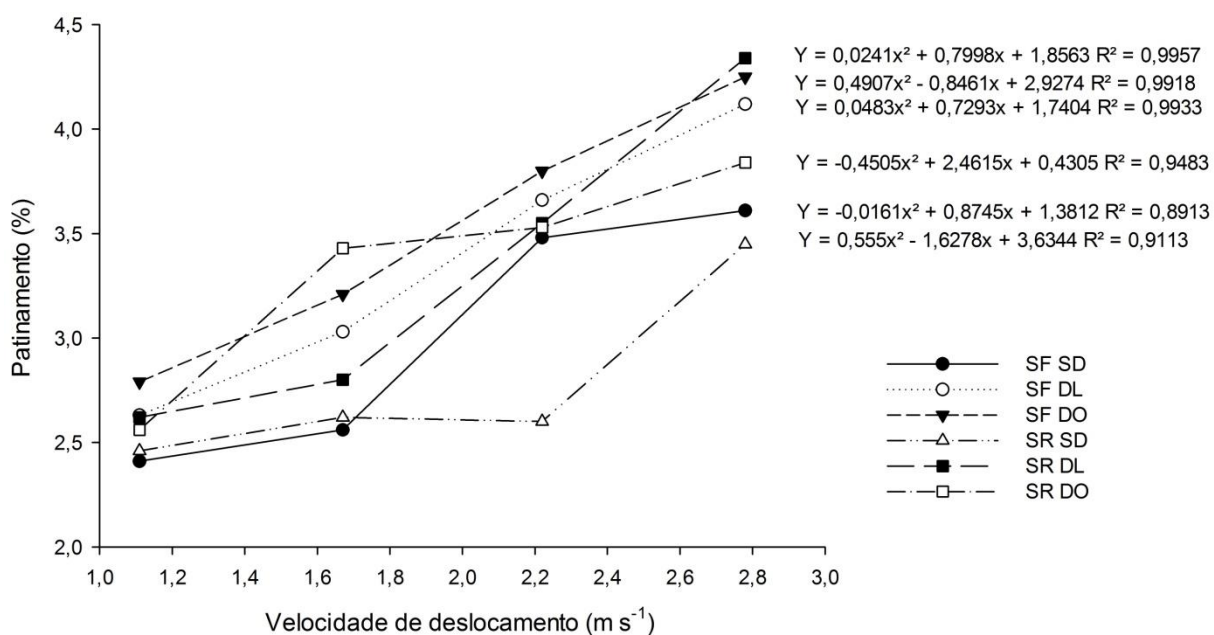


Figura 21 - Patinamento dos rodados motrizes em função da velocidade de deslocamento

O patinamento dos rodados motrizes do trator apresentou acréscimo devido o aumento da velocidade de deslocamento em todas as associações de mecanismos para corte de resíduos culturais e abridores de sulco.

#### 4.4 Consumo horário de combustível

Os resultados individualizados do consumo horário de combustível em função dos mecanismos de abertura de sulco, corte dos resíduos culturais e a velocidade de deslocamento são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Consumo horário de combustível em função dos fatores

Sulcador	Ch (l h <sup>-1</sup> )	Disco de corte	Ch (l h <sup>-1</sup> )	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Ch (l h <sup>-1</sup> )
Fixo	3,75 a	Sem disco	3,72 a	1,11	3,28 c
Rotativo	3,61 b	Disco liso	3,66 a	1,67	3,21 c
		Disco ondulado	3,66 a	2,22	3,91 b
				2,78	4,32 a
Média (l h <sup>-1</sup> )	3,68	-	3,68	-	3,68

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05). CV: 3,97 %.

Foi evidenciado que o sulcador fixo apresentou maior consumo de combustível que o rotativo, sendo esta diferença de 3,88%. Esta situação deve-se ao maior requerimento de tração e potência demandada por este tipo de mecanismo. Estes resultados vão de acordo com os obtidos por Levien et al. (2011), Mahl, Gamero e Benez (2005) e Silva (2003), que avaliaram a demanda energética de uma semeadora-adubadora em sistema de semeadura direta.

Não foi observada influência do fator disco de corte sobre o consumo horário, sendo que este apresentou gasto médio de 3,68 l h<sup>-1</sup>. Mahl, Gamero e Benez (2005), também observaram este comportamento, obtendo um valor médio por linha de semeadura de 3,47 l h<sup>-1</sup>, em um solo arenoso, e de 3,10 l h<sup>-1</sup>, em um argiloso.

Ocorreu incremento de 31,71% no consumo de combustível com o acréscimo da velocidade de 1,11 para 2,78 m s<sup>-1</sup>. Contudo, não foi observada diferença

estatística nesta variável entre as velocidades mais baixas. Estas apresentaram uma diferença média de 20,49%, em comparação a velocidade de 2,22 m s<sup>-1</sup>, e de 33,13% quando se fez uso de 2,78 m s<sup>-1</sup>. Furlani et al. (2006), avaliando as exigências de uma semeadora em função da velocidade de deslocamento, identificou acréscimo do consumo horário quando passou a velocidade de 1,39 para 1,94 m s<sup>-1</sup>, assim como Pavan Júnior (2006) e Furlani et al. (2007), trabalhando com esta variável de 1,11 a 1,67 m s<sup>-1</sup>.

A Tabela 24 apresenta os resultados da interação entre sulcador e velocidade de deslocamento sobre o consumo horário de combustível.

Tabela 24 - Interação entre sulcador e velocidade no consumo horário de combustível

Sulcador	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (l h <sup>-1</sup> )
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sulcador fixo	3,35 aB	3,25 aB	4,12 aA	4,28 aA	3,75
Sulcador rotativo	3,20 bC	3,18 aC	3,72 bB	4,36 aA	3,61
Média	3,27	3,21	3,92	4,32	-

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

Foi verificada interferência do tipo de sulcador e da velocidade sobre o consumo horário, sendo que a haste sulcadora foi a que apresentou os maiores resultados com exceção da condição de velocidade de 1,67 e 2,78 m s<sup>-1</sup>, que não foi evidenciada diferença significativa entre os elementos. Para 1,11 m s<sup>-1</sup>, esta distinção foi de 4,69% e, para a condição da velocidade de 2,22 m s<sup>-1</sup>, esta alteração foi de 10,75%. Além disso, ambos os mecanismos apresentaram incremento no consumo em função do aumento da velocidade, com acréscimo de 27,76% para o sulcador fixo e, 36,25% para o rotativo entre as velocidades de 1,11 e 2,78 m s<sup>-1</sup>. Camilo et al. (2004), também observaram esta influência do mecanismo de abertura e a velocidade sobre esta variável. Ainda, o sulcador rotativo apresentou o menor e o maior valor de consumo horário, sendo o primeiro para a condição de 1,67 m s<sup>-1</sup> e o segundo para a velocidade de 2,78 m s<sup>-1</sup>.

Foi observada interação significativa do fator disco de corte e velocidade de deslocamento sobre a variável consumo horário, sendo que os resultados desta são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Interação entre disco de corte e velocidade no consumo horário de combustível

Disco de corte	Velocidade de deslocamento ( $m s^{-1}$ )				Média ( $l h^{-1}$ )
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sem disco	3,33 aC	3,32 aC	3,96 aB	4,29 abA	3,72
Disco liso	3,25 aB	3,14 aB	4,06 aA	4,19 bA	3,66
Disco ondulado	3,26 aC	3,18 aC	3,72 bB	4,48 aA	3,66
Média	3,28	3,21	3,91	4,32	-

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

O fator disco de corte não apresentou influência significativa sobre o consumo horário independentemente da velocidade de deslocamento utilizada, com exceção da mais alta. Nesta, o emprego do elemento ondulado ocasionou o maior consumo, seguido da condição sem disco, não evidenciada diferença estatística entre estas, e da utilização do mecanismo liso, também sem contraste entre esta e a situação sem disco.

Além disso, a circunstância sem disco e o emprego de disco ondulado apresentam tendências semelhantes, proporcionando o maior resultado na velocidade de deslocamento  $2,78 m s^{-1}$ , seguido da  $2,22 m s^{-1}$ , com diferença de 8,33% para a primeira e 20,43% para a segunda, não evidenciado alteração entre 1,67 e  $1,11 m s^{-1}$ . Por sua vez, o disco liso não apresentou distinção entre as velocidades  $2,22$  e  $2,78 m s^{-1}$  e entre  $1,11$  e  $1,67 m s^{-1}$ , sendo que foi encontrado contraste médio de 29,11% entre estes grupos.

O consumo de combustível horário apresentou influência dos mecanismos de corte, dos abridores de sulco e da velocidade de deslocamento. Os resultados desta interação são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade no consumo horário de combustível

Interação		Velocidade de deslocamento ( $m s^{-1}$ )				Média ( $l h^{-1}$ )
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	3,49 aB	3,53 aB	4,05 abA	4,24 bA	4,08
SF	DL	3,28 aB	2,94 cC	4,30 aA	4,26 abA	3,70
SF	DO	3,29 aC	3,28 abcC	4,00 abB	4,35 abA	3,73
SR	SD	3,17 aC	3,11 bcC	3,87 bB	4,35 abA	3,62
SR	DL	3,21 aB	3,34 abB	3,82 bA	4,12 bA	3,62
SR	DO	3,23 aBC	3,08 bcC	3,46 cB	4,62 aA	3,60
Média		3,44	3,21	3,92	4,32	-

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

Foi verificado que não ocorreu diferença significativa no Ch entre todas as combinações sulcador/disco na velocidade de  $1,11 \text{ m s}^{-1}$ . Além disso, as associações SF SD, SF DO e SR DL foram as que consumiram o maior volume por hora na velocidade de  $1,67 \text{ m s}^{-1}$  e as interações com sulcador fixo na velocidade  $2,22 \text{ m s}^{-1}$ . Ademais, em  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ , foram as composições SF DL, SF DO, SR SD e SR DO.

A Figura 22 ilustra a tendência do consumo horário de combustível nas diferentes associações de fatores.

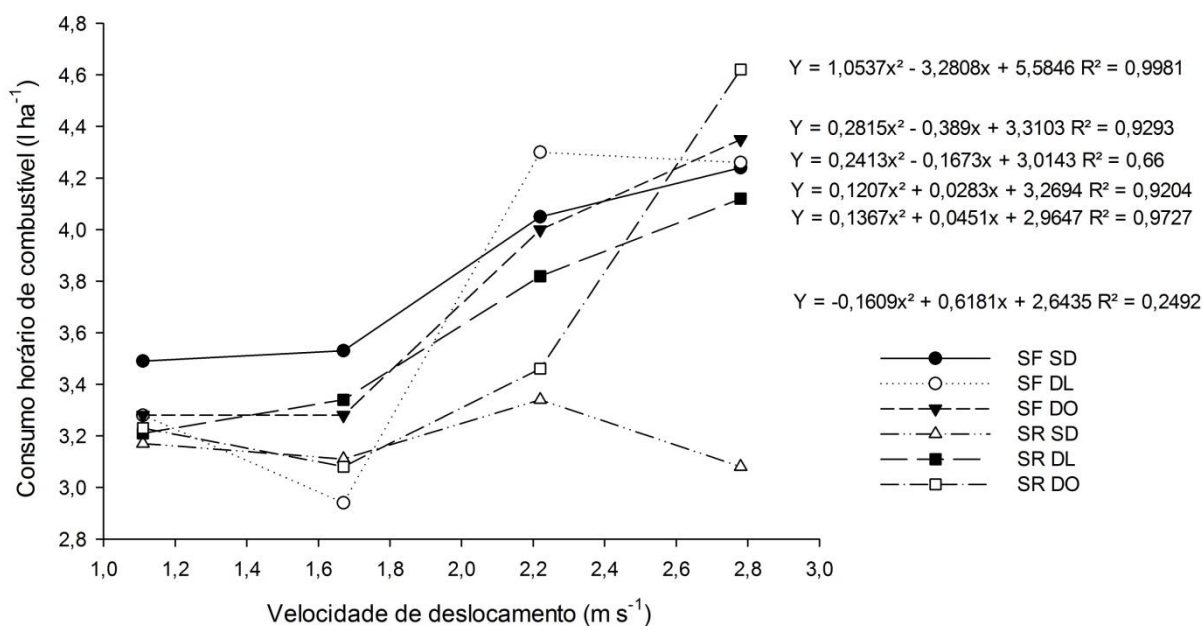


Figura 22 - Influência da velocidade no consumo horário de combustível nas interações sulcador/disco

O consumo horário de combustível apresentou aumento devido ao acréscimo da velocidade de deslocamento em todas as associações de mecanismos para corte de resíduos culturais e abridores de sulco.

#### 4.5 Consumo específico de combustível

Na avaliação do consumo específico de combustível foram encontrados variações de  $0,85$  a  $1,55 \text{ g kWh}^{-1}$ , os quais são apresentados na Tabela 27.



Tabela 27 - Consumo específico de combustível em função dos fatores

Sulcador	Ce (g kWh <sup>-1</sup> )	Disco de corte	Ce (g kWh <sup>-1</sup> )	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Ce (g kWh <sup>-1</sup> )
Fixo	0,92 b	Sem disco	1,31 a	1,11	1,55 a
Rotativo	1,26 a	Disco liso	0,85 c	1,67	1,04 b
		Disco ondulado	1,11 b	2,22	0,91 b
				2,78	0,87 b
Média (g kWh <sup>-1</sup> )	1,09	-	1,09	-	1,09

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 23,70 %.

O sulcador rotativo foi o elemento abridor de sulco que apresentou o maior consumo específico de combustível, exibindo uma diferença média de 0,34 g kWh<sup>-1</sup> representando 36,96%, para o sulcador fixo.

O fator disco de corte apresentou influência significativa sobre a variável consumo específico, sendo que a situação sem a utilização destes mecanismos foi a que proporcionou o maior consumo, seguido pelo ondulado e o liso. A condição sem disco apresentou diferença de 18,02 e 54,12% para o disco liso e ondulado respectivamente.

O consumo específico foi maior na velocidade de 1,11 m s<sup>-1</sup>, sendo que esta apresentou diferença significativa para as demais e estas não diferiram entre si. A primeira divergiu em 49,04% para a velocidade de 1,67 m s<sup>-1</sup>, 70,33% para a condição onde se fez uso da velocidade de 2,22 m s<sup>-1</sup> e 78,16% para a 2,78 m s<sup>-1</sup>. Tal fato pode ser devido que em condições de trabalho que utilizam velocidades mais lentas, estas proporcionam uma menor capacidade de campo operacional, ou seja, maior tempo de execução para uma mesma área. Além disso, o aumento da velocidade proporciona maior incremento da demanda da potência do que acréscimo no consumo horário. Como resultado, aconteceu melhor aproveitamento da energia liberada pelo combustível nas maiores velocidades, já que foi necessário menor massa para originar a mesma quantidade de energia.

Foi observada interação entre os elementos sulcadores e os discos de corte no consumo específico de combustível. Os resultados desta interação são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Interação entre sulcador e disco de corte no consumo específico de combustível

Sulcador	Disco de corte			Média (g kWh <sup>-1</sup> )
	Sem disco	Disco liso	Disco ondulado	
Sulcador fixo	1,23 aA	0,73 bB	0,81 bB	0,92
Sulcador rotativo	1,38 aA	0,97 aB	1,42 aA	1,26
Média	1,30	0,85	1,11	-

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

O consumo específico não apresentou diferença entre o sulcador fixo e o rotativo na situação sem o emprego de discos de corte a frente destes elementos. Todavia, com a utilização destes mecanismos, foi observada distinção, sendo que, em ambas as circunstâncias, a associação com o disco duplo proporcionou o maior consumo. Além disso, o emprego do disco liso, em ambos sulcadores, apresentou redução do consumo em comparação à ocasião sem disco e, para o sulcador rotativo, também para o emprego do disco ondulado.

Os resultados da interação entre sulcador e velocidade de deslocamento sobre o  $C_e$  são exibidos na Tabela 29.

Tabela 29 - Interação entre sulcador e velocidade no consumo específico de combustível

Sulcador	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (g kWh <sup>-1</sup> )
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sulcador fixo	1,45 aA	0,98 aB	0,71 bBC	0,56 bC	0,92
Sulcador rotativo	1,65 aA	1,10 aB	1,10 aB	1,17 aB	1,25
Média	1,55	1,04	0,90	0,86	-

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

Nas velocidades mais baixas (1,11 e 1,67 m s<sup>-1</sup>) não foi observada diferença no consumo proporcionado pelo sulcador fixo e o rotativo. Por sua vez, nas mais altas foi verificado o contraste entre os sulcadores, com distinção de 54,93% e de 108,93% para a velocidade de 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. O disco duplo e a haste sulcadora ocasionaram o maior consumo na velocidade de 1,11 m s<sup>-1</sup>. Além disso, o incremento desta variável proporcionou redução no consumo específico, não encontrando diferença significativa entre elas para o sulcador rotativo. Para o fixo, não foi verificado contraste entre as velocidades 1,67 e 2,22 m s<sup>-1</sup> e a 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>.

O consumo específico apresentou interação entre o fator disco de corte e a velocidade de deslocamento. Os resultados desta avaliação estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Interação entre disco de corte e velocidade no Ce

Disco de corte	Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média ( $\text{g kWh}^{-1}$ )
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sem disco	1,87 aA	1,33 aB	1,27 aB	0,76 bC	1,31
Disco liso	1,34 bA	0,82 bB	0,67 bB	0,57 bB	0,85
Disco ondulado	1,43 bA	0,97 abBC	0,77 bC	1,28 aAB	1,11
Média	1,55	1,04	0,90	0,87	-

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

A interação entre o fator disco de corte e a velocidade de deslocamento proporcionou redução do consumo específico de combustível com o incremento desta última. A situação sem disco foi a que apresentou o maior consumo específico de combustível em comparação ao disco liso e ondulado, com exceção da velocidade de  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ . Nesta, o emprego do disco ondulado foi o que propiciou a maior demanda de combustível por potência horária.

Foi observada interação tripla sobre o consumo específico, sendo que os resultados desta influência são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade no Ce

Interação		Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média ( $\text{g kWh}^{-1}$ )
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	1,98 aA	1,49 aA	0,85 bB	0,61 bB	1,23
SF	DL	1,17 bA	0,66 bAB	0,67 bAB	0,40 bB	0,72
SF	DO	1,19 bA	0,79 bAB	0,59 bB	0,66 bAB	0,81
SR	SD	1,76 abA	1,17 abBC	1,69 aAB	0,90 bC	1,38
SR	DL	1,51 abA	0,97 abAB	0,67 bB	0,73 bB	0,97
SR	DO	1,67 abAB	1,16 abBC	0,95 bC	1,89 aA	1,42
Média		1,55	1,04	0,90	0,86	-

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

As associações entre SF SD, SR SD, SR DL e SR DO foram as que apresentaram o maior consumo na velocidade de  $1,11 \text{ m s}^{-1}$ . Ademais, com exceção da combinação SR DO, foi encontrado, sem diferença estatística entre as

combinações, os menores resultados de consumo específico de combustível na velocidade de  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ .

A tendência do consumo específico de combustível em função das interações sulcador/disco é ilustrada na Figura 23.

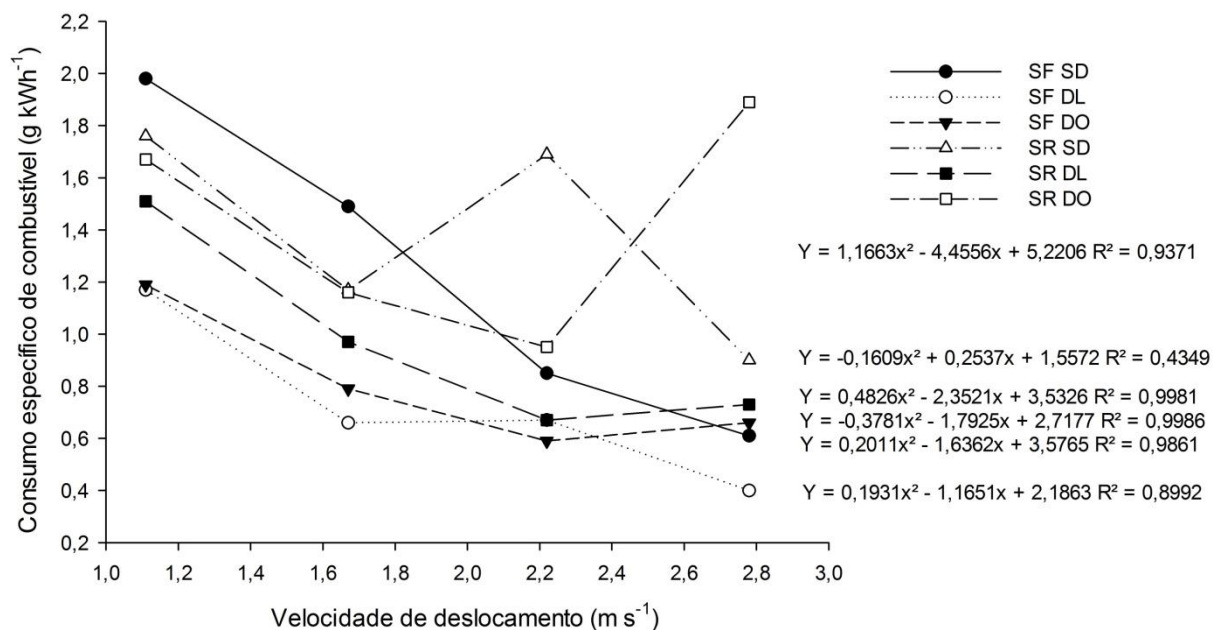


Figura 23 - Influência da velocidade no consumo específico de combustível nas interações sulcador/disco

De forma geral, o consumo específico de combustível apresentou redução devido ao acréscimo da velocidade de deslocamento em todas as associações de mecanismos para corte de resíduos culturais e abridores de sulco.

#### 4.6 Área mobilizada de solo

Os valores de área mobilizada do solo, em função dos fatores, são apresentados separadamente na Tabela 32.

Tabela 32 - Área mobilizada de solo em função dos fatores

Sulcador	Am (m <sup>2</sup> )	Disco de corte	Am (m <sup>2</sup> )	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Am (m <sup>2</sup> )
Fixo	0,0126 a	Sem disco	0,0108 b	1,11	0,0106 a
Rotativo	0,0096 b	Disco liso	0,0106 b	1,67	0,0116 a
		Disco ondulado	0,0119 a	2,22	0,0112 a
				2,78	0,0110 a
Média (m <sup>2</sup> )	0,0111	-	0,0111	-	0,0111

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 13,49 %.

Foi observada influência do tipo de sulcador na mobilização do solo, sendo que o sulcador fixo proporcionou a maior movimentação, com 0,0126 m<sup>2</sup>. Já os discos duplos, moveram 31,25% menos que as hastes, com 0,0096 m<sup>2</sup>. Esta situação foi devido a maior profundidade de trabalho utilizada para a haste, pela ação diferenciada entre os mecanismos para a abertura do sulco e pelas diferenças entre as características dimensionais dos elementos que interferem nas tensões de corte, cisalhamento e compactação que estes provocam no solo. Resultado este, de acordo com o encontrado por Mione e Benez (2008) e Modolo et al. (2012), que também concluíram que hastes sulcadoras mobilizam mais o solo que os discos duplos. Contudo, os valores encontrados foram superiores aos da literatura devido principalmente a menor umidade gravimétrica, reduzindo o efeito lubrificante da água e por consequência proporcionando maior mobilização, além de outros contrastes entre características físicas do solo, como densidade do solo e resistência à penetração, e pelas diferenças técnicas entre sulcadores utilizados.

Os discos de corte apresentaram diferença estatística na mobilização, sendo que o disco liso mobilizou 12,26% a menos que o disco ondulado, devido às diferenças entre a configuração projetual dos elementos e a maior área de contato com o solo deste último. Além disso, a presença deste, quando comparado com a situação sem a utilização de qualquer disco, também acarretou em maior mobilização. Contudo, quando se fez uso do disco liso nesta mesma equiparação, não foi encontrado contraste. Mion et al. (2009) e Silva (2007), trabalhando com diferentes discos de corte, também encontraram diferenças estatísticas entre a mobilização promovida por discos de corte, sendo que o ondulado movimentou mais que o liso.

O emprego de diferentes velocidades de deslocamento do conjunto não influenciou a mobilização de solo, sendo que esta apresentou uma média de 0,0111 m<sup>2</sup>. Estes resultados são de acordo com os encontrados por Francetto et al. (2012), Silva et al. (2001), Bellé (2013), Gassen (2011) e Gamero (2008).

A área de solo mobilizada não exibiu diferenças estatísticas significativas a 5%, quando consideradas as interações entre sulcador, disco de corte e a velocidade de deslocamento, sendo os resultados exibidos na Tabela 33.

Tabela 33 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre a área de solo mobilizada

Interação		Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (m <sup>2</sup> )
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	0,0114	0,0125	0,0118	0,0130	0,0122
SF	DL	0,0116	0,0113	0,0130	0,0126	0,0121
SF	DO	0,0136	0,0147	0,0135	0,0128	0,0136
SR	SD	0,0081	0,0099	0,0110	0,0087	0,0094
SR	DL	0,0087	0,0104	0,0088	0,0087	0,0091
SR	DO	0,0102	0,0107	0,0094	0,0102	0,0101
Média		0,0106	0,0116	0,0112	0,0110	-

De maneira geral, os menores valores foram obtidos na condição em que se fez uso apenas do sulcador rotativo, com exceção para a velocidade de 2,22 m s<sup>-1</sup> na qual a adição do disco liso proporcionou a menor mobilização. A tendência desta interação é ilustrada na Figura 24.

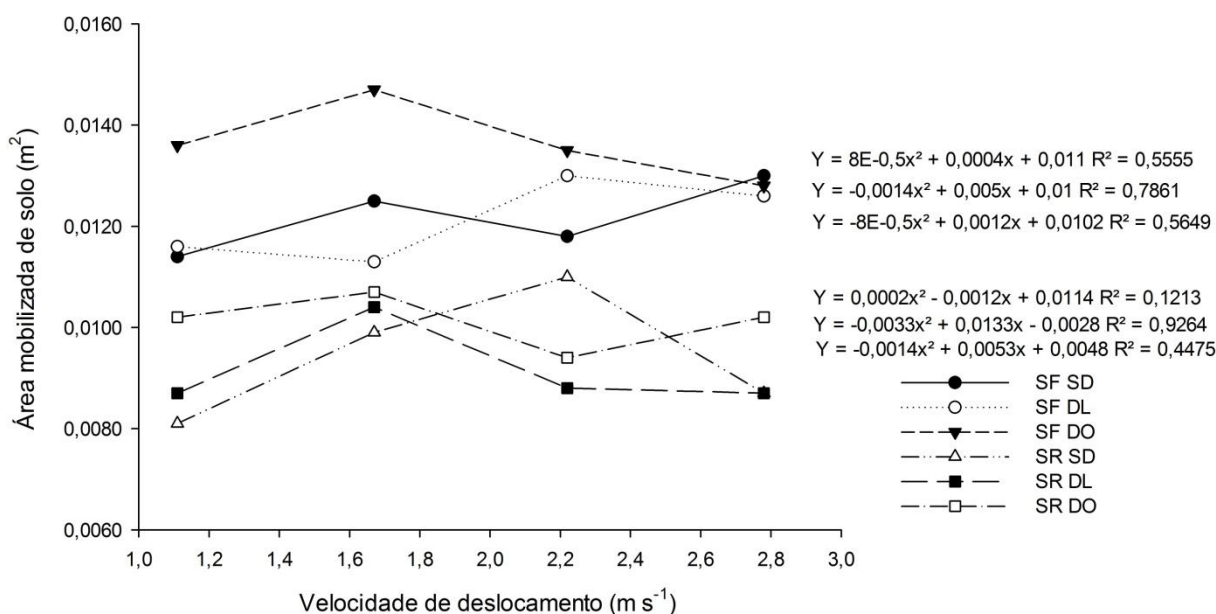


Figura 24 - Influência da velocidade de deslocamento sobre a área de solo mobilizada

A área de solo mobilizada não foi influenciada pela velocidade de deslocamento independentemente da associação sulcador/disco.

#### 4.7 Área elevada de solo

Os resultados da área elevada de solo em função dos fatores sulcador, disco de corte e velocidade de deslocamento são mostrados na Tabela 34.

Tabela 34 - Área elevada de solo em função dos fatores

Sulcador	Ae (m <sup>2</sup> )	Disco de corte	Ae (m <sup>2</sup> )	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Ae (m <sup>2</sup> )
Fixo	0,0053 a	Sem disco	0,0049 a	1,11	0,0041 a
Rotativo	0,0028 b	Disco liso	0,0040 ab	1,67	0,0039 a
		Disco ondulado	0,0033 b	2,22	0,0038 a
				2,78	0,0043 a
Média (m <sup>2</sup> )	0,0040	-	0,0040	-	0,0040

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 37,71 %.

Foi observada uma redução, de 89,28%, da área elevada do solo quando se fez uso do sulcador rotativo em comparação a utilização do fixo. O primeiro elemento elevou 0,0028 m<sup>2</sup>, enquanto que o segundo foi responsável por 0,0053 m<sup>2</sup>. Isto é devido, possivelmente, pelos discos duplos estarem dispostos em uma menor profundidade de trabalho que a haste, resultando em um menor volume de solo elevado, assim como, pela ação de corte e não de cisalhamento promovida por estes para a abertura de sulco.

Não foi encontrada diferença estatística entre a área elevada promovida pelo disco liso e o ondulado. Contudo, foi observado contraste quando comparado este último com a situação sem a presença destes mecanismos, sendo que o ondulado elevou 48,48% menos. Esta situação pode ser decorrência do maior fracionamento do solo proporcionado por este tipo de mecanismo, em comparação a situação sem disco, por consequência da maior área de contato deste elemento com o solo.

A velocidade de deslocamento não propiciou alterações significativas na área elevada de solo, apresentando uma média de 0,0040 m<sup>2</sup>, sendo os resultados da interação desta com os sulcadores apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 - Interação entre sulcador e velocidade na área elevada de solo

Sulcador	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (m <sup>2</sup> )
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sulcador fixo	0,0054 aA	0,0051 aA	0,0051 aA	0,0055 aA	0,0053
Sulcador rotativo	0,0028 bA	0,0027 bA	0,0025 bA	0,0032 bA	0,0028
Média	0,0041	0,0039	0,0038	0,0043	-

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

O sulcador fixo apresentou maior elevação de solo, com uma média de 0,0053 m<sup>2</sup>, em todas as velocidades em comparação ao sulcador rotativo, que obteve um resultado médio de 0,0028 m<sup>2</sup>. Estes demonstraram uma diferença de 92,86, 88,88, 104,00 e 71,87% nas velocidades de 1,11, 1,67, 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Além disso, ambos os mecanismos não apresentaram variação significativa no levantamento de solo em função do acréscimo da velocidade.

A interação entre sulcador, disco de corte e a velocidade de deslocamento sobre a área elevada está disposta na Tabela 36.

Tabela 36 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na área elevada de solo

Interação		Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (m <sup>2</sup> )
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	0,0063 aA	0,0054 aA	0,0060 aA	0,0060 aA	0,0059
SF	DL	0,0045 abA	0,0052 aA	0,0049 abA	0,0056 abA	0,0050
SF	DO	0,0053 abA	0,0046 aA	0,0045 abA	0,0048 abA	0,0048
SR	SD	0,0042 abA	0,0033 aA	0,0037 abA	0,0039 abA	0,0038
SR	DL	0,0025 bA	0,0029 aA	0,0027 abA	0,0035 abA	0,0029
SR	DO	0,0016 bA	0,0020 aA	0,0012 bA	0,0021 bA	0,0017
Média		0,0041	0,0039	0,0038	0,0043	-

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

O emprego de discos de corte apenas apresentou diferença estatística na elevação do solo quando comparado a associação entre disco ondulado e sulcador rotativo com a combinação sulcador fixo sem disco nas velocidades de deslocamento de 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>. Além disso, na velocidade de 1,11 m s<sup>-1</sup> foi



observada distinção entre os discos duplos e disco liso com a haste sem disco. Em ambas as situações, o emprego do sulcador fixo apresentou a maior elevação de solo. Nas demais situações não foram evidenciadas diferenças entre os mecanismos, principalmente na velocidade de  $1,67 \text{ m s}^{-1}$ , onde nenhuma combinação entre elementos apresentou diferença na elevação de solo.

Na Figura 25 é ilustrada a tendência de elevação do solo em função da velocidade de deslocamento para cada associação sulcador/disco.

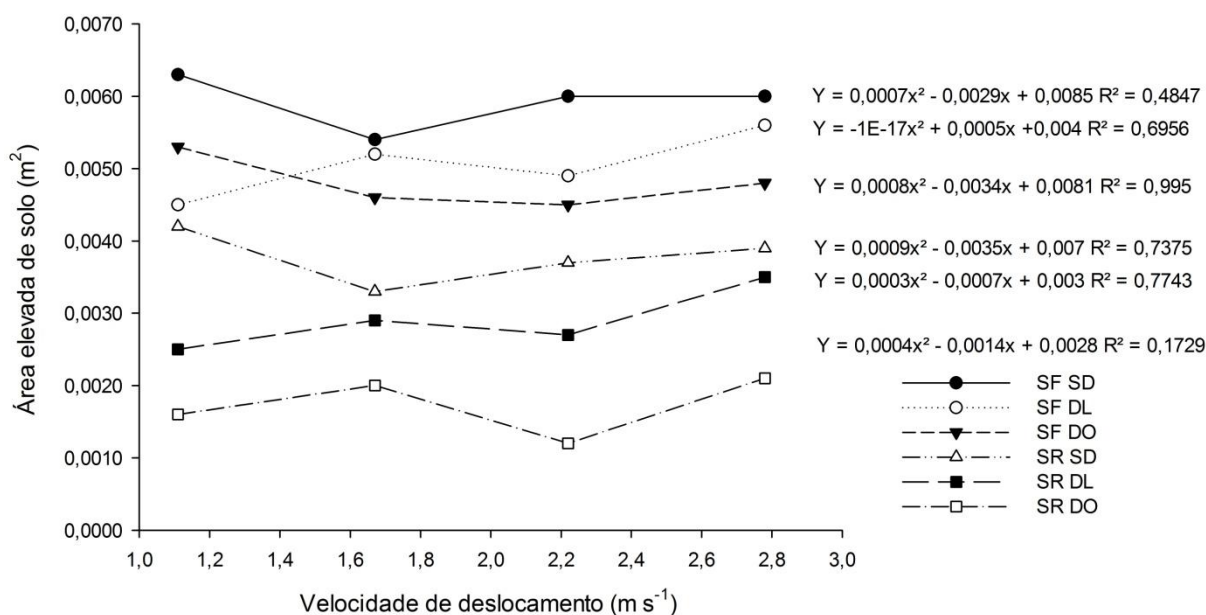


Figura 25 - Interferência da velocidade de deslocamento sobre a área de solo elevada

O emprego de discos de corte, associados a ambos sulcadores, apresentaram os menores valores de elevação de solo, sendo obtidos valores inferiores quando se fez uso do disco de corte ondulado.

#### 4.8 Volume de solo mobilizado

Na avaliação do volume de solo mobilizado por hectare na semeadura da soja, em função dos fatores, foram encontrados valores que variação de 212,78 a 281,09  $\text{m}^3$ , os quais são apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 - Volume de solo mobilizado em função dos fatores

Sulcador	Vm (m <sup>3</sup> )	Disco de corte	Vm (m <sup>3</sup> )	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Vm (m <sup>3</sup> )
Fixo	281,09 a	Sem disco	240,04 b	1,11	235,48 a
Rotativo	212,78 b	Disco liso	236,59 b	1,67	257,62 a
		Disco ondulado	264,17 a	2,22	250,03 a
				2,78	244,60 a
Média (m <sup>3</sup> )	246,93	-	246,93	-	246,93

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 13,49 %.

O sulcador fixo mobilizou 68,31 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a mais que o sulcador rotativo, representando um incremento de 32,10%. Com relação ao efeito dos discos de corte, quando empregado o ondulado, este foi responsável pela maior mobilização, com 11,66 e 10,05% superior à condição com disco liso e à sem disco, respectivamente. Já as diferentes velocidades de deslocamento, não proporcionaram variações no volume de solo mobilizado assim como evidenciado por Francetto et al. (2012) trabalhando com diferentes hastes sulcadoras em velocidades que variaram de 1,24 a 2,87 m s<sup>-1</sup>.

Por se tratar de uma variável que utiliza como parâmetro de cálculo a área mobilizada, associada a duas constantes (espaçamento entre linhas de uma cultura e a área em m<sup>2</sup> de um hectare), as discussões realizadas sobre esta fazem valer sobre o volume mobilizado.

O volume de solo mobilizado não apresentou diferenças estatísticas significativas a 5%, quando analisadas as interações entre sulcador, disco de corte e a velocidade de deslocamento, sendo os resultados dispostos na Tabela 38.

Tabela 38 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o volume de solo mobilizado

Interação		Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (m <sup>3</sup> )
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	253,21	278,63	261,45	287,93	270,03
SF	DL	256,87	251,57	288,75	280,73	269,48
SF	DO	302,11	326,42	300,77	284,68	303,49
SR	SD	180,68	220,15	244,82	193,47	209,78
SR	DL	193,01	231,36	196,33	194,09	203,70
SR	DO	226,99	237,62	208,08	226,72	224,85
Média		235,48	257,62	250,03	244,60	-

Os maiores valores de volume de solo mobilizado foram obtidos nas associações compostas pela haste, sendo que quando ambos sulcadores foram combinados com discos de corte, foram maiores na condição com disco ondulado. Em contra partida, os menores valores foram encontrados para o sulcador rotativo. Mesmo não apresentando diferença estatística, quando comparado à situação de maior mobilização (SF DO com 303,49 m<sup>3</sup>) com a de menor (SR DL com 203,70 m<sup>3</sup>), com uma diferença de 99,79 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, uma propriedade pode reduzir em aproximadamente 100 m<sup>3</sup> de solo por hectare quando equipada com sulcadores que possibilitam menor revolvimento do solo.

A Figura 26 ilustra a tendência do volume de solo mobilizado para as diferentes associações sulcador/disco em função da velocidade.

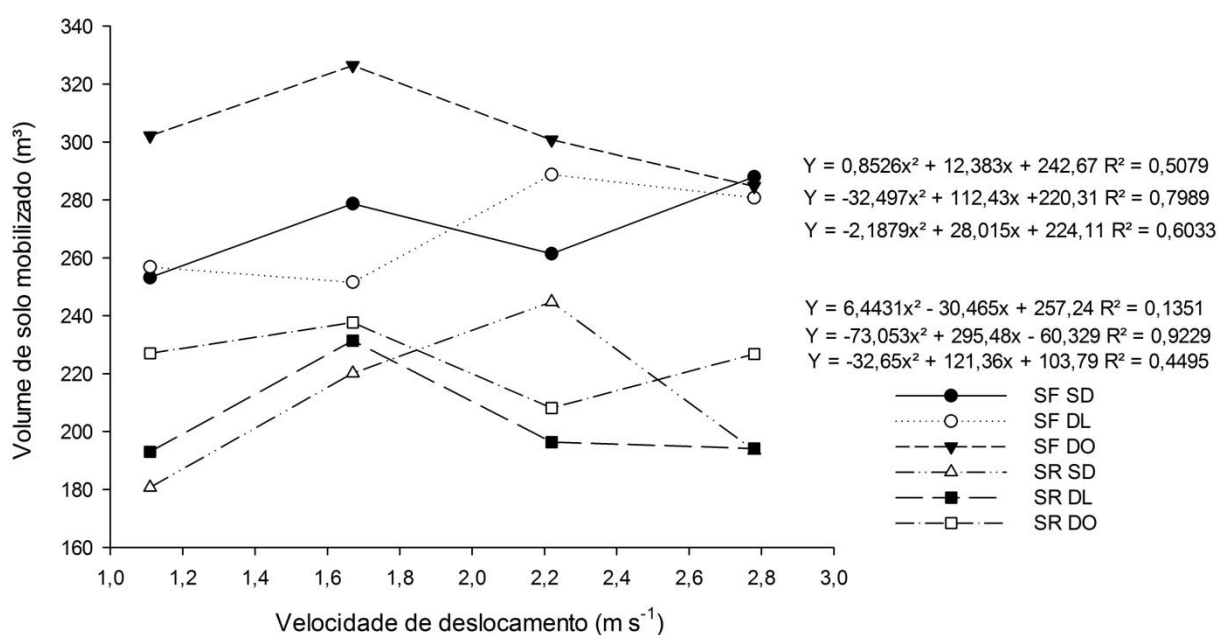


Figura 26 - Influência da velocidade sobre o volume de solo mobilizado

#### 4.9 Empolamento do solo

Na estimativa do empolamento do solo, foi obtida uma média geral de 36,29%, sendo que os resultados médios, promovidos separadamente pelos fatores, são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 - Empolamento do solo em função dos fatores

Sulcador	Em (%)	Disco de corte	Em (%)	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Em (%)
Fixo	42,33 a	Sem disco	45,25 a	1,11	38,18 a
Rotativo	30,26 b	Disco liso	37,44 a	1,67	33,79 a
		Disco ondulado	26,20 b	2,22	33,39 a
				2,78	39,82 a
Média (%)	36,29	-	36,29	-	36,29

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 38,79 %.

O sulcador fixo, em comparação ao rotativo, foi o que apresentou o maior empolamento, com 42,33% para o primeiro e 30,26% para o segundo. Esta diferença representa um acréscimo de 39,89% no aumento de volume do solo.

O empolamento não apresentou diferença estatística entre a utilização de disco liso e as combinações sem este tipo de mecanismo. Por outro lado, ambos apresentaram contraste quando comparado com o emprego do disco ondulado. Este apresentou redução no empolamento de 42,90 e 72,71% entre o disco liso e as associações isentas de elementos de corte, respectivamente. Tal fato este foi devido a menor área elevada proporcionada por este tipo de estrutura.

Em função de o empolamento ser oriundo da razão entre área elevada e mobilizada de solo, e ambas não sofrerem alterações devido ao acréscimo na velocidade de deslocamento, este também não apresentou diferenças estatísticas quando avaliado o fator velocidade.

Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas a 5%, quando avaliado as interações entre sulcador, disco de corte e a velocidade de deslocamento sobre o empolamento, sendo que os resultados desta interação são expostos na Tabela 40 e ilustradas na Figura 27.

Tabela 40 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o empolamento

Interação		Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (%)
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	55,48	43,33	50,95	47,42	49,29
SF	DL	39,55	45,68	38,04	45,78	42,26
SF	DO	38,87	32,47	33,33	37,09	35,44
SR	SD	50,53	33,95	34,09	46,22	41,20
SR	DL	28,79	28,69	30,69	42,32	32,62
SR	DO	15,86	18,64	13,26	20,09	16,96
Média		38,18	33,79	33,39	39,82	-

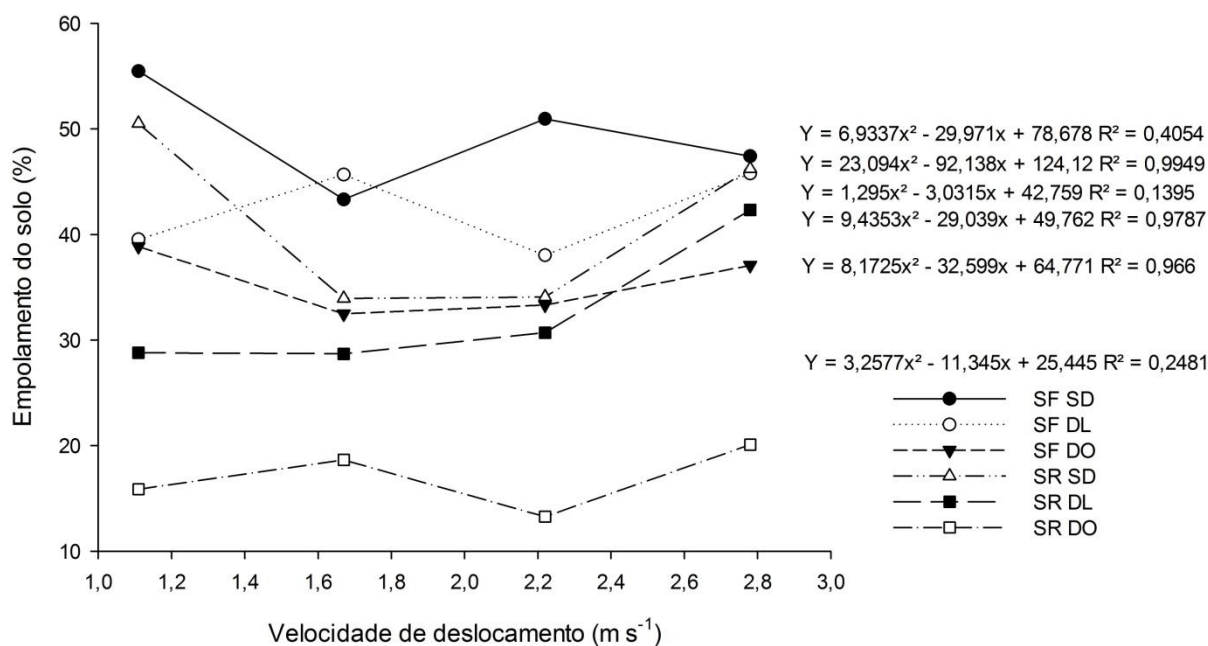


Figura 27 - Interferência da velocidade sobre o empolamento de solo

#### 4.10 Resistência específica operacional

Os resultados médios da resistência específica operacional em função dos fatores são apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 - Resistência específica operacional em função dos fatores

Sulcador	Reo (kN m <sup>-2</sup> )	Disco de corte	Reo (kN m <sup>-2</sup> )	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Reo (kN m <sup>-2</sup> )
Fixo	170,51 b	Sem disco	156,19 b	1,11	169,32 bc
Rotativo	187,46 a	Disco liso	198,15 a	1,67	159,12 c
		Disco ondulado	182,61 a	2,22	193,23 ab
				2,78	194,27 a
Média (kN m <sup>-2</sup> )	178,98	-	178,98	-	178,98

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: 15,63 %.

A necessidade de tração por área de solo mobilizado dos sulcadores rotativos apresentou 9,94% maior do que a haste sulcadora. Este fato foi devido a maior demanda de tração e área mobilizada propiciada por estes elementos.

A presença de discos de corte proporcionou incremento na resistência específica em comparação à situação sem o emprego destes elementos. O disco liso apresentou incremento de 26,86% e o disco ondulado 16,91%, em comparação a condição sem disco. Ademais, não foi verificada diferença significativa entre estes mecanismos.

O incremento da velocidade propiciou aumento significativo sobre a resistência específica, indo de encontro ao que Gassen et al. (2014) encontraram ao estudar a operação de escarificação. Nas mais altas, 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>, não foi observada diferença significativa entre ambas. Além disso, a primeira também não diferiu da 1,11 m s<sup>-1</sup>, e esta da 1,67 m s<sup>-1</sup>. Isso pode ser explicado em virtude da maior demanda de tração requerida pelas combinações nas velocidades mais elevadas, já que não houve incremento da área mobilizada.

Foi observada influência de todos os fatores sobre a resistência específica, sendo que os resultados desta são apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade na Reo

Interação Sulcador/Disco		Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )				Média (kN m <sup>-2</sup> )
		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	125,17 bBC	100,77 bC	190,79 bA	183,62 aAB	150,09
SF	DL	181,23 abA	189,88 aA	176,68 bA	176,41 aA	181,05
SF	DO	171,07 abA	167,14 abA	190,35 bA	193,01 aA	180,39
SR	SD	182,40 abA	146,39 abA	139,00 bA	181,41 aA	162,30
SR	DL	194,58 aB	176,04 aB	263,16 aA	227,25 aAB	208,51
SR	DO	161,47 abA	174,53 aA	199,40 abA	203,94 aA	184,83
Média		169,32	159,12	193,23	194,27	-

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

As associações entre o sulcador fixo e disco liso e o ondulado, além do sulcador rotativo sem disco e com disco ondulado, não apresentaram influência da velocidade sobre a resistência específica. Por outro lado, as combinações de haste sulcadora sem disco e discos duplos com disco liso, proporcionaram incremento da variável em função do aumento da velocidade. Além disso, a haste sulcadora sem a utilização de nenhum disco de corte foi a combinação, na velocidade de 1,11 e 1,67 m s<sup>-1</sup>, que apresentou o menor valor de resistência, com 125,17 e 100,77 kN m<sup>-2</sup> respectivamente. Na velocidade seguinte, 2,22 m s<sup>-1</sup>, as combinações que empregaram o sulcador fixo e a condição do sulcador rotativo sem disco, foram as

que obtiveram os menores valores de demanda de potência por área de solo mobilizada. Já na velocidade de  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ , não foi verificada diferença estatística entre as diferentes combinações de sulcador/disco.

A Figura 28 ilustra a resistência específica operacional em função da velocidade de deslocamento.

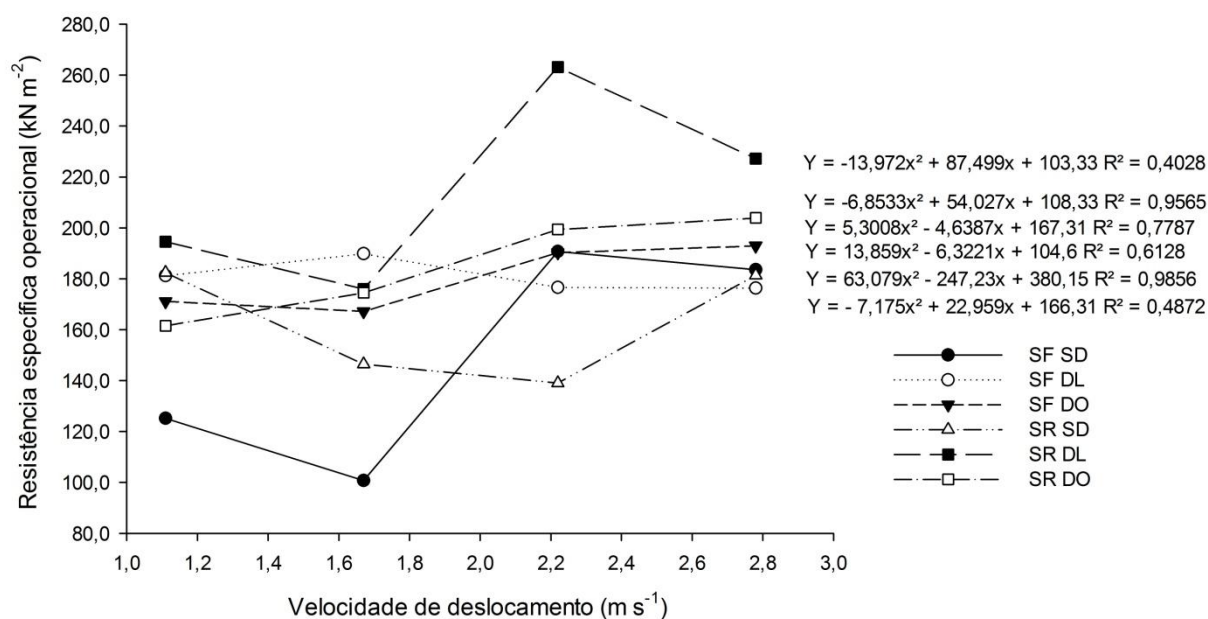


Figura 28 - Influência da velocidade na resistência específica operacional nas interações sulcador/disco

Em síntese, indiferentemente da combinação entre sulcador e disco de corte, foi observado incremento da necessidade de tração por área de solo mobilizada, sendo que este aumento foi mais verificado entre as velocidades de deslocamento de  $1,67$  e  $2,22 \text{ m s}^{-1}$ .

#### 4.11 Consumo de combustível específico operacional

Os resultados do consumo de combustível específico operacional em função dos fatores sulcador, disco de corte e velocidade de deslocamento, são apresentados na Tabela 43.

Tabela 43 - Consumo de combustível específico operacional em função dos fatores

Sulcador	Ceo (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Disco de corte	Ceo (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Velocidade de deslocamento (m s <sup>-1</sup> )	Ceo (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
Fixo	75,03 b	Sem disco	126,14 a	1,11	153,11 a
Rotativo	132,60 a	Disco liso	84,90 b	1,67	93,12 b
		Disco ondulado	100,39 b	2,22	83,87 b
				2,78	85,15 b
Média (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	103,81	-	103,81	-	103,81

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p <0,05). CV: 11,28 %.

Foi observada diferença estatística entre os diferentes sulcadores, sendo que o rotativo apresentou consumo específico 76,73% superior que o fixo, ficando em 132,60 g kWh<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> para o primeiro e 75,03 g kWh<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> para o segundo.

A utilização de discos de corte à frente dos sulcadores reduziu o consumo específico em 48,57%, para a combinação com disco liso, e, em 25,65%, para as que utilizaram disco ondulado. Por sua vez, não foi observada diferença estatística entre os resultados obtidos nos diferentes discos.

Nas velocidades de 1,67, 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup> não foi observada variação no consumo específico operacional. Contudo, estes resultados foram estatisticamente diferentes para a situação onde foi utilizada a velocidade de 1,11 m s<sup>-1</sup>.

A interação entre sulcador e disco de corte sobre o consumo específico operacional é apresentada na Tabela 44.

Tabela 44 - Interação entre sulcador e disco de corte no Ceo

Sulcador	Disco de corte			Média (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
	Sem disco	Disco liso	Disco ondulado	
Sulcador fixo	103,53 bA	61,86 bB	59,66 bB	75,02
Sulcador rotativo	148,72 aA	107,94 aB	141,13 aA	132,60
Média	126,12	84,90	100,39	-

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

Em todas as associações entre sulcador e disco foi observado que os abridores de sulco rotativos apresentaram maior consumo específico operacional de combustível com diferença de 43,65, 74,50 e 136,56% nas situações sem disco, com o liso e com o ondulado respectivamente. Além disso, a combinação com o



mecanismo de corte de resíduos liso apresentou o menor consumo em ambos sulcadores, não apresentando diferença significativa para a associação de SF e DO.

O fator sulcador e a velocidade apresentaram interação sobre o consumo específico operacional de combustível. Os resultados desta são apresentados na Tabela 45.

Tabela 45 - Interação entre sulcador e velocidade no Ceo

Sulcador	Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média ( $\text{g kWh}^{-1} \text{m}^{-2}$ )
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sulcador fixo	121,53 bA	77,72 bB	56,79 bBC	44,05 bC	75,02
Sulcador rotativo	184,68 aA	108,51 aB	110,95 aB	126,25 aB	132,66
Média	153,10	93,11	83,87	85,15	-

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

O incremento da velocidade de deslocamento proporcionou redução do consumo específico operacional em ambos os sulcadores. Para o rotativo, as maiores velocidades (1,67, 2,22 e 2,78  $\text{m s}^{-1}$ ) não apresentaram diferença estatística entre si, encontrando diferença de 70,20, 66,45 e 46,28% para a velocidade de 1,11  $\text{m s}^{-1}$ . Para o fixo, estas velocidades também diferiram da primeira em 56,37, 114,00 e 175,90%. Além disso, não foi encontrada diferença significativa entre as velocidades de 1,67 e 2,22 e também entre a 2,22 e a 2,78  $\text{m s}^{-1}$ . Ademais, o consumo específico de combustível por área mobilizada, por parte dos sulcadores rotativos, sempre foi superior à haste sulcadora indiferentemente da velocidade de deslocamento avaliada.

A interação entre disco de corte e velocidade, sobre o consumo específico operacional, apresentou valor médio de 103,81  $\text{g kWh}^{-1} \text{m}^{-2}$ , sendo os resultados desta, apresentados na Tabela 46.

Tabela 46 - Interação entre disco de corte e velocidade no Ceo

Disco de corte	Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média ( $\text{g kWh}^{-1} \text{m}^{-2}$ )
	1,11	1,67	2,22	2,78	
Sem disco	195,54 aA	118,61 aB	113,64 aBC	76,77 bC	126,14
Disco liso	138,09 bA	76,45 bB	65,08 bB	59,97 bB	84,90
Disco ondulado	125,68 bA	84,29 abBC	72,89 bC	118,72 aAB	100,39
Média	153,10	93,12	83,87	85,15	-

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

Os discos de corte não apresentaram diferença significativa no consumo específico de combustível por área mobilizada nas velocidades de 1,11, 1,67 e 2,22  $\text{m s}^{-1}$  e, ambos exibiram demanda inferior à condição sem disco. Por sua vez, na condição de 2,78  $\text{m s}^{-1}$ , o ondulado proporcionou gasto de 54,64% para a condição sem disco e, de 97,97%, para a associação com disco liso. Além disso, o incremento de velocidade apresentou redução do consumo por área mobilizada de solo.

O consumo específico operacional de combustível não demonstrou diferenças estatísticas significativas a 5%, quando consideradas as interações entre sulcador, disco de corte e a velocidade de deslocamento. Logo os resultados desta são expostos na Tabela 47 e ilustradas na Figura 29.

Tabela 47 - Interação entre sulcador, disco de corte e velocidade sobre o Ceo

Interação		Velocidade de deslocamento ( $\text{m s}^{-1}$ )				Média ( $\text{g kWh}^{-1} \text{m}^{-2}$ )
Sulcador/Disco		1,11	1,67	2,22	2,78	
SF	SD	174,89	118,74	72,68	47,94	103,56
SF	DL	102,14	59,24	53,76	32,28	61,85
SF	DO	87,57	55,20	43,94	51,94	59,66
SR	SD	216,19	118,48	154,61	105,61	148,72
SR	DL	174,04	93,66	76,40	87,66	107,94
SR	DO	163,80	113,38	101,85	185,49	141,13
Média		153,10	93,12	83,87	85,15	-

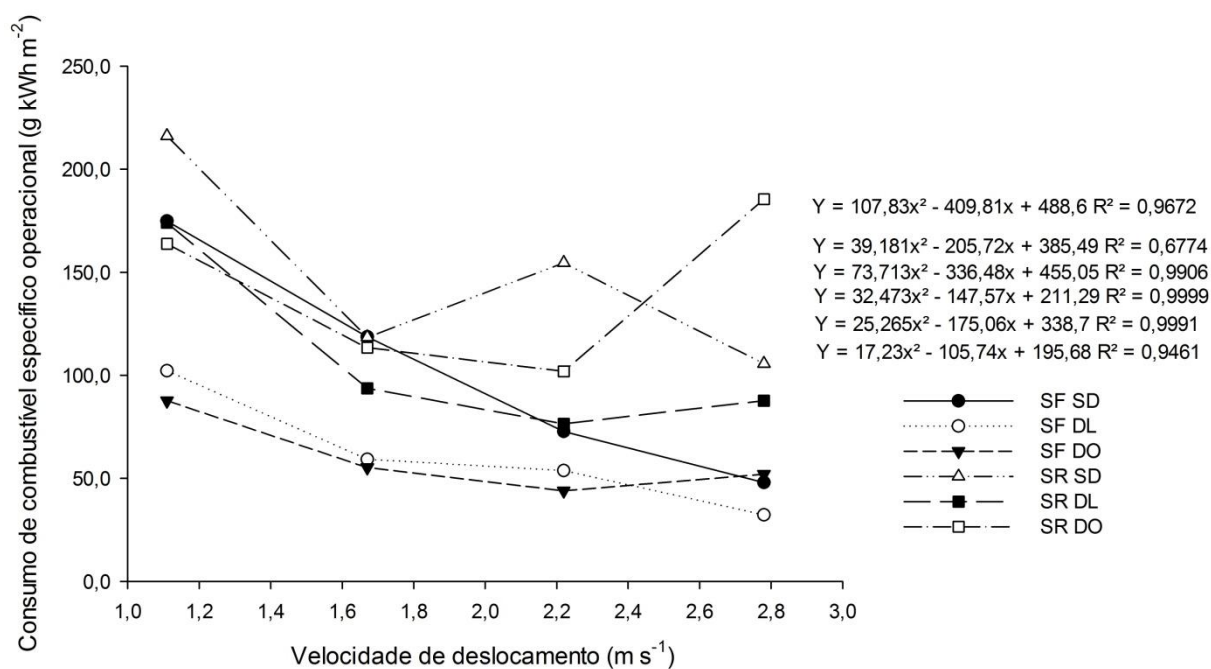


Figura 29 - Interferência da velocidade de deslocamento sobre o Ceo

O consumo de combustível por unidade de potência gerada e por área de solo mobilizada apresentou maior variabilidade entre as combinações quando analisada a condição em que se fez uso da velocidade de  $1,11 \text{ m s}^{-1}$ . Dessa forma, em virtude das demais velocidades empregadas não apresentarem influencia sobre esta variável, não foi possível identificar influência dos tratamentos sobre o Ceo quando analisado a interação tripla. Contudo, quando comparado valores entre as velocidades de  $1,11$  e  $1,67 \text{ m s}^{-1}$  é possível verificar uma redução de 32,11%, 42,00%, 36,96%, 45,20%, 46,18% e 30,78% para as associações SF SD, SF DL, SF DO, SR SD, SR DL e SR DO, respectivamente.

#### 4.12 Resumo dos resultados

A Tabela 48 apresenta o resumo dos resultados com a utilização de uma escala de cor para cada variável estudada. Nesta, conforme a Figura 30, é aferido que valores de cor verde, ou próximos a esta, apresentaram o melhor desempenho, enquanto que os de cor vermelha, ou adjacentes à esta, são os que exibiram o pior comportamento.



Figura 30 - Escala de desempenho das associações sulcador/disco para variáveis com interação tripla

As associações entre sulcador e disco de corte apresentaram melhor desempenho nas velocidades de 1,11 e 1,67 m s<sup>-1</sup> por demandarem menor força de tração, potência demandada na barra de tração e consumo horário de combustível.

Nas condições de cobertura de solo em que este estudo foi desenvolvido, o emprego somente dos sulcadores apresentaram o melhor desempenho quando comparados às situações associadas com discos de corte. Ademais, nas circunstâncias que estes necessitem ser associados ao sulcador, a escolha destes deve ser embasada, entre outras propriedades, na área de solo mobilizada desejada, em virtude de que não foi identificada diferença significativa na força de tração, potência na barra, patinamento, consumo horário, específico e operacional de combustível, área elevada de solo e resistência específica operacional entre os discos de corte.

Por não apresentarem influência da interação tripla (sulcador, disco e velocidade de deslocamento), as variáveis patinamento dos rodados motrizes do trator, área de solo mobilizada, volume de solo mobilizado, empolamento do solo e consumo específico operacional de combustível não foram utilizadas como parâmetro de comparação de desempenho entre as associações na escala.

Tabela 48 - Resumo dos resultados encontrados para todas as combinações de tratamentos

Combinações	Variáveis										
	Pa (%)	Ft (kN)	Pb (kW)	Ch (l h <sup>-1</sup> )	Ce (g kWh <sup>-1</sup> )	Ae (m <sup>2</sup> )	Am (m <sup>2</sup> )	Vm (m <sup>3</sup> )	Em (%)	Reo (kN m <sup>-2</sup> )	Ceo (g kWh <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )
C1 - SFSDV1	2,41	1,42	1,58	3,49	1,98	0,0063	0,0114	253,21	55,48	125,17	174,89
C2- SFSDV2	2,56	1,26	2,10	3,53	1,49	0,0054	0,0125	278,63	43,33	100,77	118,74
C3 - SFSDV3	3,48	2,22	4,94	4,05	0,85	0,006	0,0118	261,45	50,95	190,79	72,68
C4 - SFSDV4	3,61	2,38	6,61	4,24	0,61	0,006	0,0130	287,93	47,42	183,62	47,94
C5 - SFDLV1	2,63	2,08	2,31	3,28	1,17	0,0045	0,0116	256,87	39,55	181,23	102,14
C6- SFDLV2	3,03	2,14	3,57	2,94	0,66	0,0052	0,0113	251,57	45,68	189,88	59,24
C7 - SFDLV3	3,66	2,22	4,94	4,30	0,67	0,0049	0,0130	288,75	38,04	176,68	53,76
C8 - SFDLV4	4,12	2,19	6,09	4,26	0,4	0,0056	0,0126	280,73	45,78	176,41	32,28
C9 - SFDOV1	2,79	2,32	2,58	3,29	1,19	0,0053	0,0136	302,11	38,87	171,07	87,57
C10 - SFDOV2	3,21	2,4	4,00	3,28	0,79	0,0046	0,0147	326,42	32,47	167,14	55,20
C11 - SFDOV3	3,80	2,58	5,72	4,00	0,59	0,0045	0,0135	300,77	33,33	190,35	43,94
C12 - SFDOV4	4,25	2,47	6,85	4,35	0,66	0,0048	0,0128	284,68	37,09	193,01	51,94
C13 - SRSDV1	2,46	1,47	1,63	3,17	1,76	0,0042	0,0081	180,68	50,53	182,40	216,19
C14 - SRSDV2	2,62	1,44	2,40	3,11	1,17	0,0033	0,0099	220,15	33,95	146,39	118,48
C15 - SRSDV3	2,60	1,5	3,01	3,87	1,69	0,0037	0,0110	244,82	34,09	139,00	154,61
C16 - SRSDV4	3,45	1,56	4,32	4,35	0,9	0,0039	0,0087	193,47	46,22	181,41	105,61
C17 - SRDLV1	2,62	1,69	1,88	3,21	1,51	0,0025	0,0087	193,01	28,79	194,58	174,04
C18 - SRDLV2	2,80	1,82	3,04	3,34	0,97	0,0029	0,0104	231,36	28,69	176,04	93,66
C19 - SRDLV3	3,55	2,3	5,12	3,82	0,67	0,0027	0,0088	196,33	30,69	263,16	76,40
C20 - SRDLV4	4,34	1,89	5,25	4,12	0,73	0,0035	0,0087	194,09	42,32	227,25	87,66
C21 - SRDOV1	2,56	1,62	1,80	3,23	1,67	0,0016	0,0102	226,99	15,86	161,47	163,80
C22 - SRDOV2	3,43	1,76	2,94	3,08	1,16	0,002	0,0107	237,62	18,64	174,53	113,38
C23 - SRDOV3	3,53	1,83	4,06	3,46	0,95	0,0012	0,0094	208,08	13,26	199,40	101,85
C24 - SRDOV4	3,84	2,08	5,77	4,62	1,89	0,0021	0,0102	226,72	20,09	203,94	185,49

Legenda: SF - Sulcador fixo; SR - Sulcador rotativo; SD - Condição sem disco de corte; DL - Disco liso; DO - Disco ondulado; V1 - 1,11 m s<sup>-1</sup>; V2 - 1,67 m s<sup>-1</sup>; V3 - 2,22 m s<sup>-1</sup>; V4 - 2,78 m s<sup>-1</sup>.

A Figura 31 ilustra a alteração das variáveis para a combinação SF SD em função da velocidade de deslocamento.

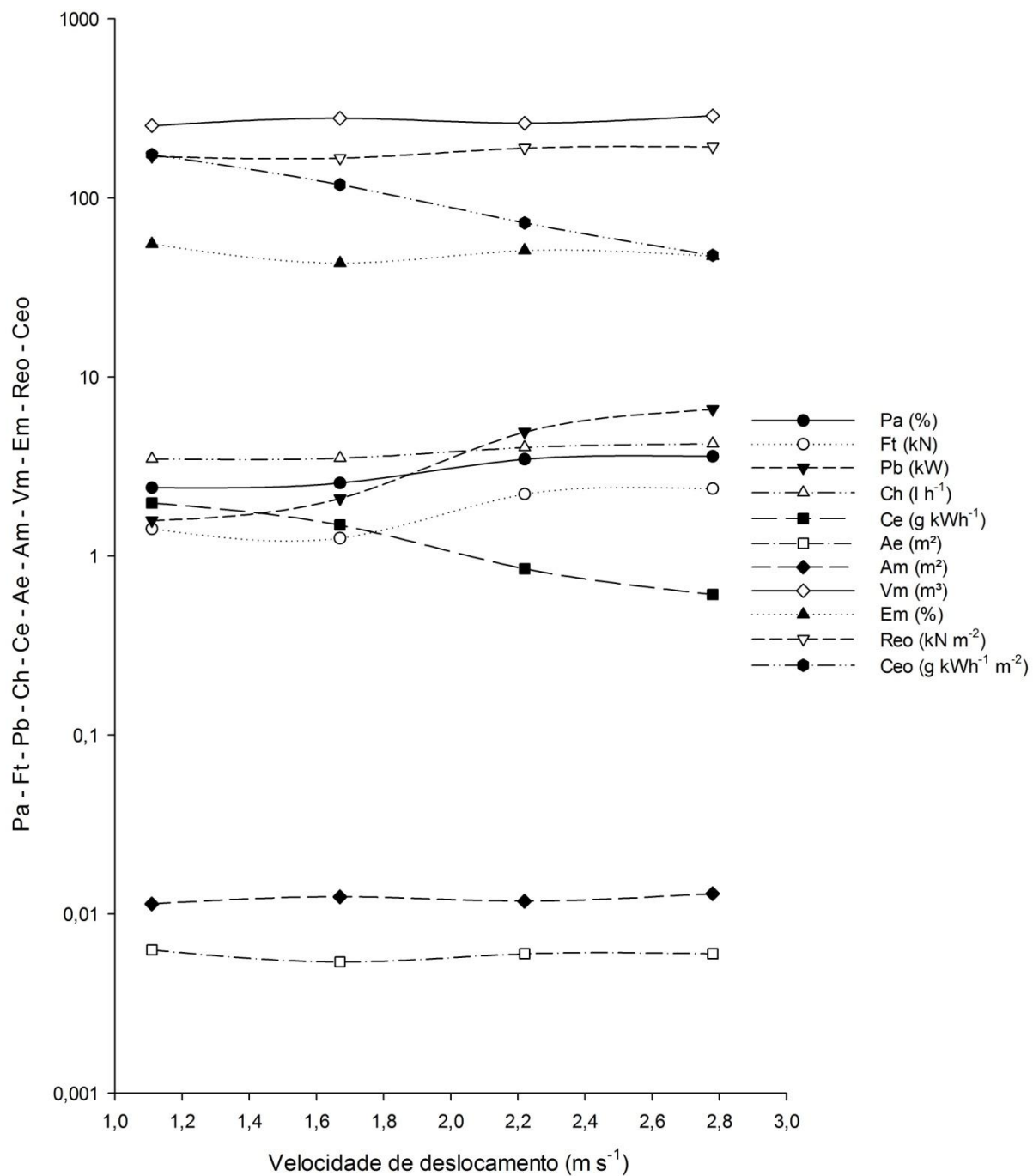


Figura 31 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SF SD

As variáveis Ceo, Ce, Pb e Ft (sem ordem definida) são as que apresentam a maior variabilidade em função da velocidade. As duas primeiras apresentaram redução, enquanto que as demais se mostraram proporcionais à velocidade.

O desempenho da associação SF DL em função da velocidade é ilustrado na Figura 32.

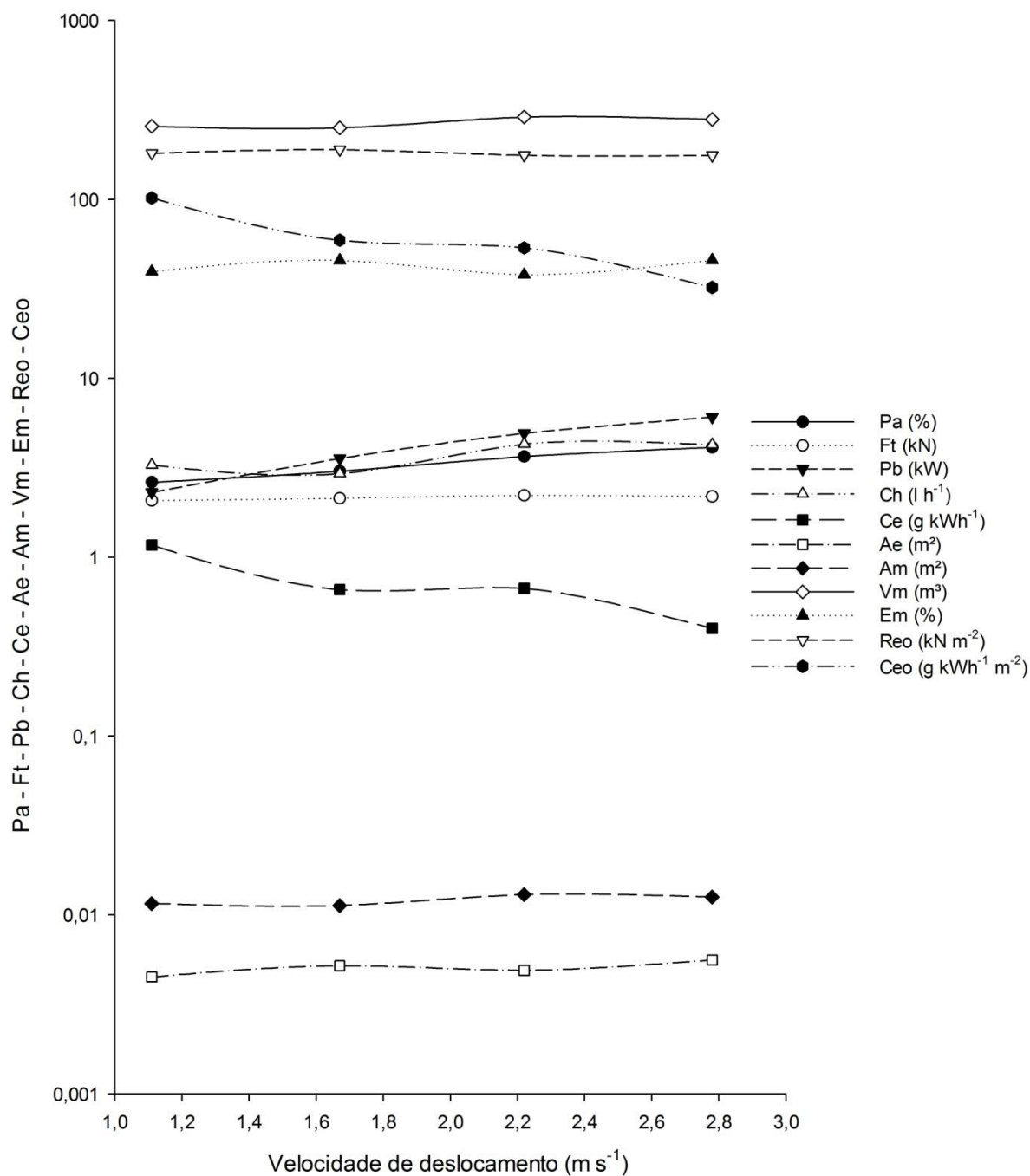


Figura 32 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SF DL

Em contra partida com a combinação SF SD, que apresentou grande variação na demanda de tração, a integração SF DL mostrou que o emprego de disco liso associado ao sulcador proporcionou manutenção no requerimento de tração. Tal situação também pode ser verificada com o emprego do disco ondulado (Figura 33). Para ambas as associações, as maiores variações foram encontradas nas variáveis Ceo, Ce e Pb, com redução das duas primeiras e ampliação da última.

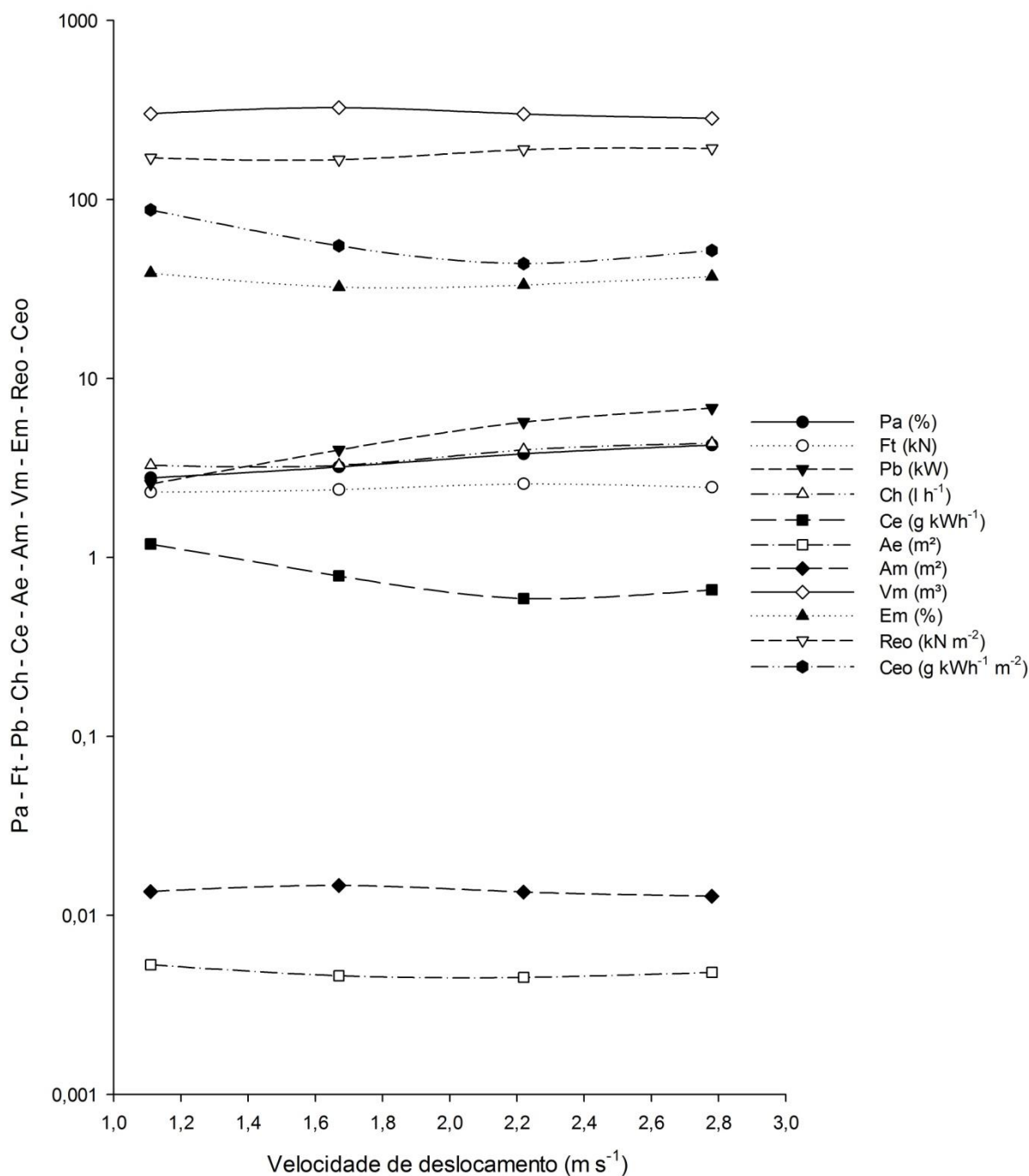


Figura 33 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SF DO



A Figura 34 ilustra o desempenho da integração SR SD quando modificada a variável velocidade.

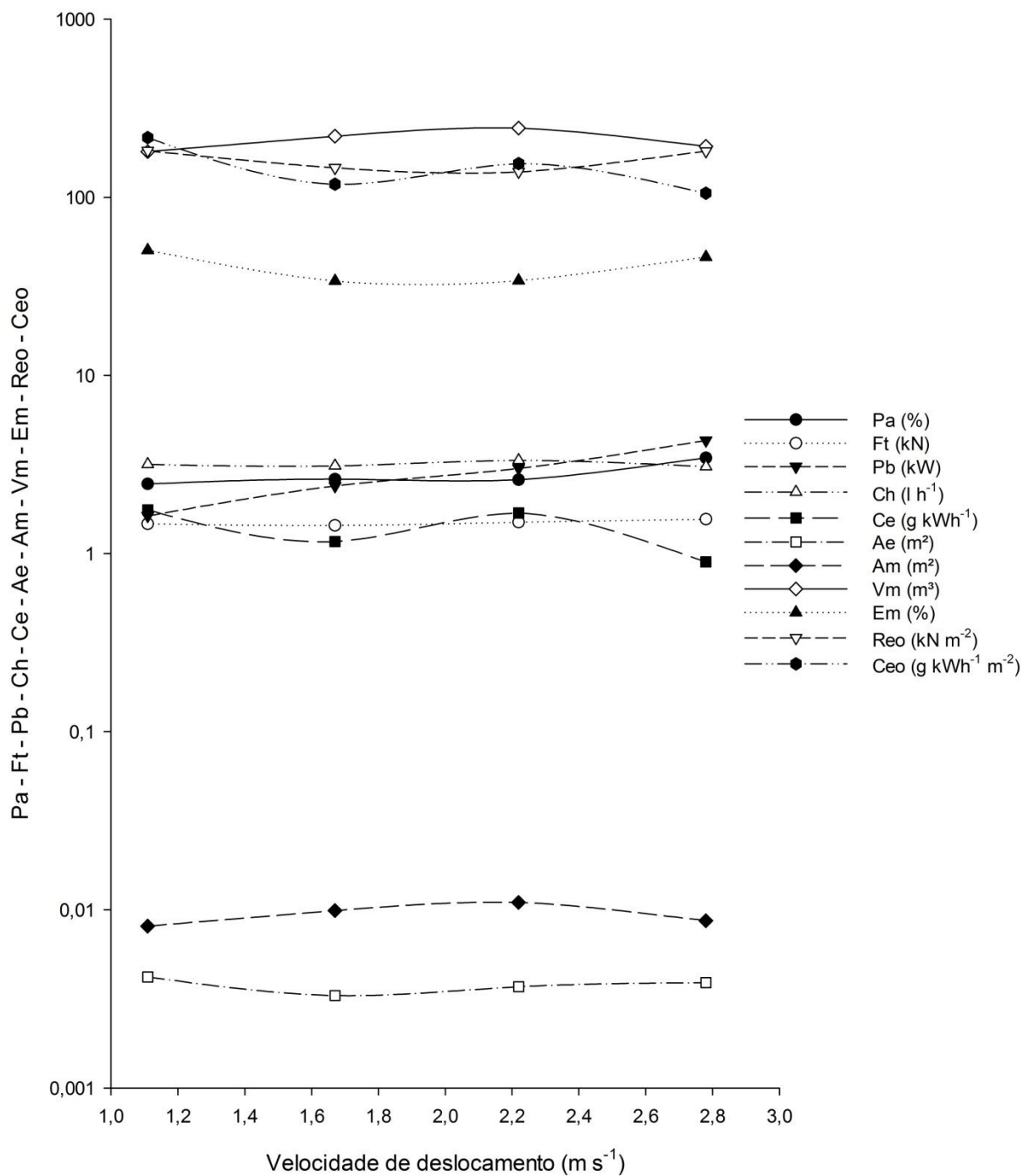


Figura 34 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SR SD

O emprego do sulcador rotativo apresentou menor variação de desempenho, em comparação ao fixo, quando acrescida à velocidade, o que pode ser verificado

em função da linearidade das variáveis. Contudo, esse efeito, quando comparado com o Ce e o Ceo das associações que empregaram o sulcador fixo, não é interessante, já que não ocorre redução da necessidade de combustível para a mesma unidade de potência utilizada e também de área de solo mobilizada. Fato este não verificado quando este foi associado ao disco liso (Figura 35).

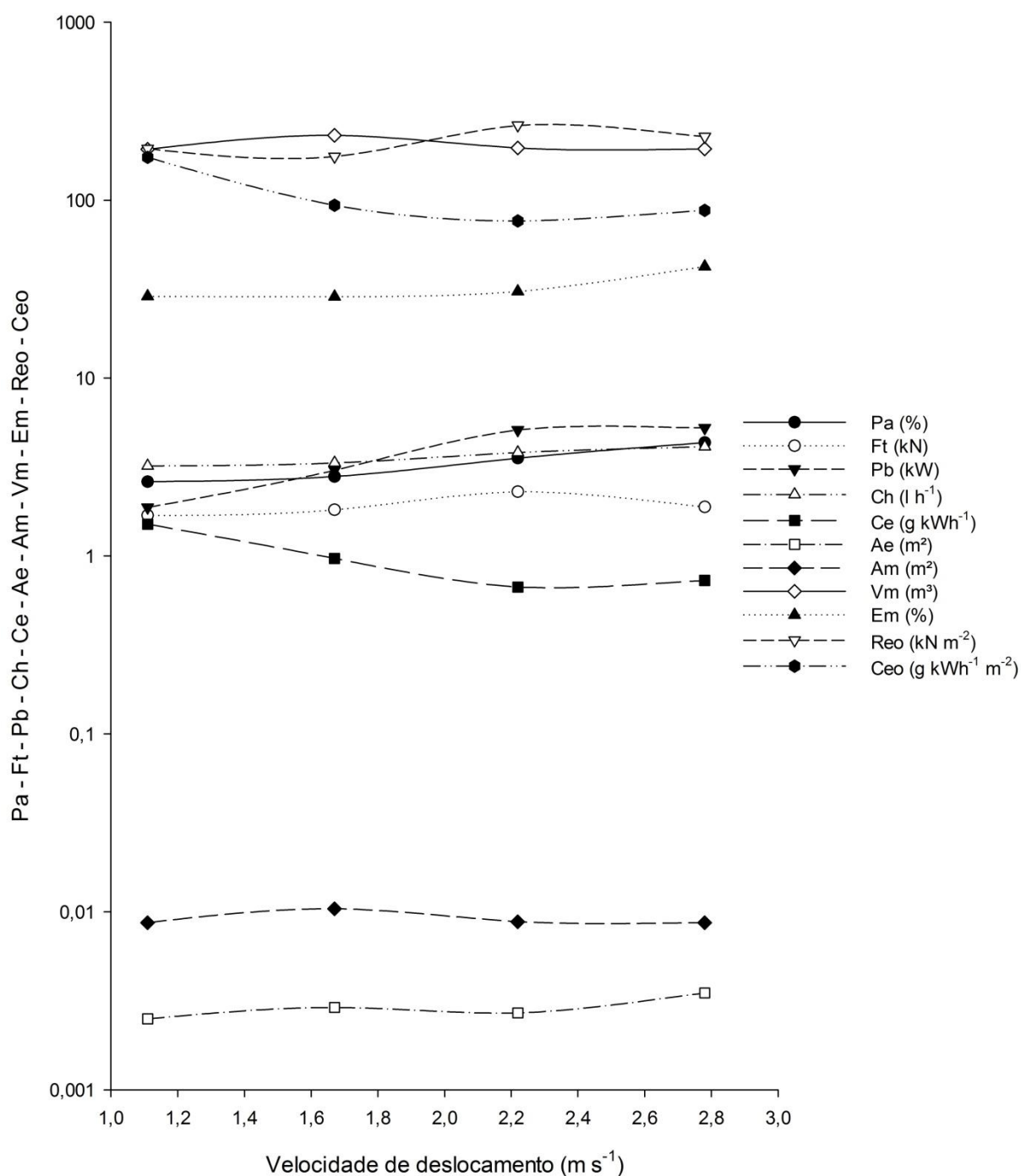


Figura 35 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SR DL

O comportamento das variáveis ao longo do acréscimo da velocidade para a combinação SR DO é ilustrada na Figura 36.

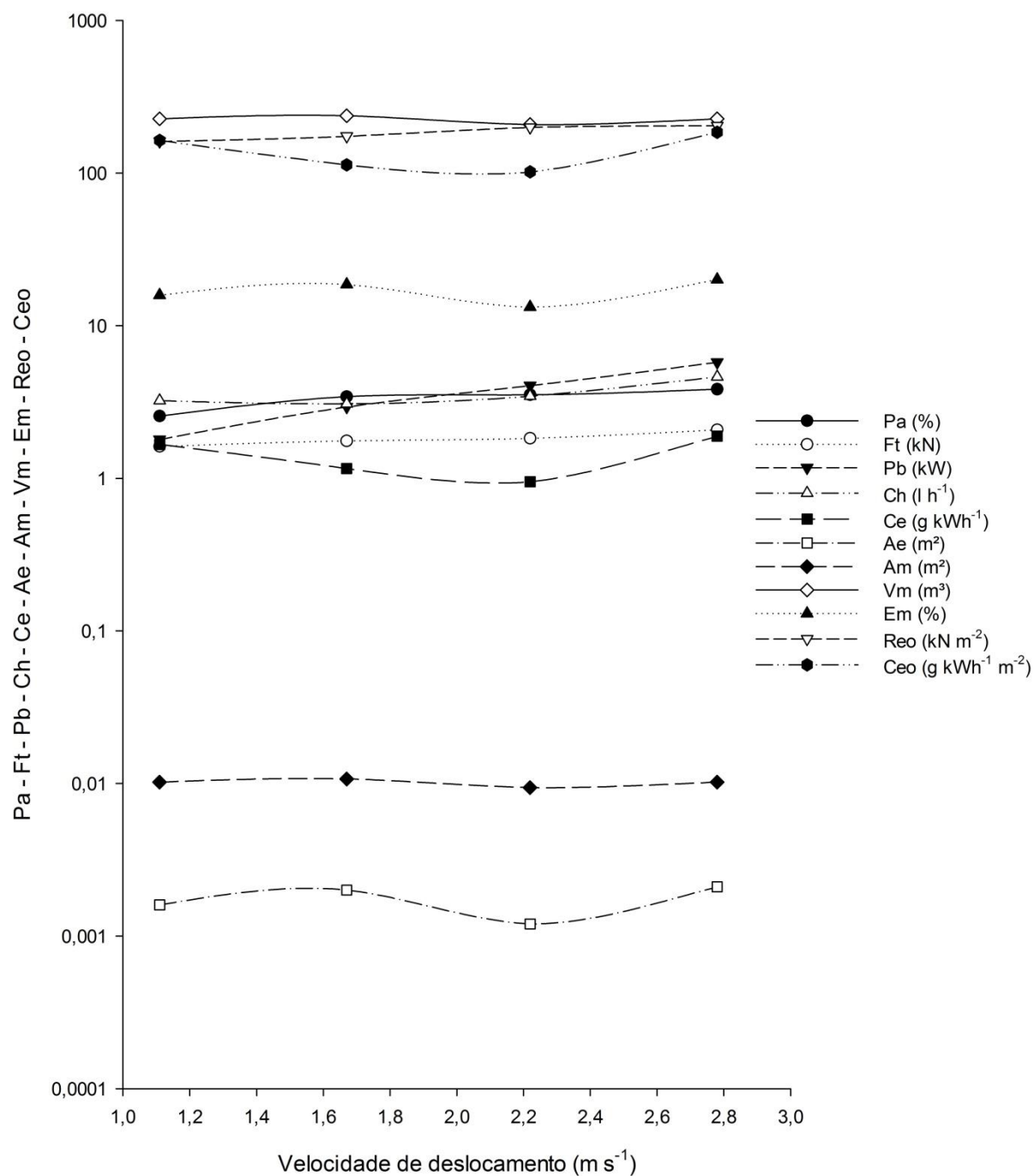


Figura 36 - Influência da velocidade sobre o desempenho da combinação SR DO

O emprego do disco ondulado para o sulcador rotativo apresentou comportamento semelhante à associação com o liso. Contudo, ocorreu acréscimo do

Ce e do Ceo quando a velocidade utilizada foi de  $2,78 \text{ m s}^{-1}$ . Já para a variável Ft, este mecanismo foi mais eficiente na manutenção da necessidade de tração ao longo das velocidades.

## 5 CONCLUSÃO

Os tratamentos definidos pelos mecanismos de corte dos resíduos culturais e de abertura de sulco afetaram a força de tração e a potência na barra, sendo que estas aumentaram com o acréscimo da velocidade de deslocamento.

O sulcador haste exigiu maior força e potência que os de discos duplos desencontrados, e ambos ao serem combinados com discos de corte, tiveram seus requerimentos aumentados. Contudo, quando estes foram associados ao sulcador fixo, reduziram a ampliação da demanda de força de tração em aproximadamente 90% quando a velocidade passou de 1,11 para 2,78 m s<sup>-1</sup>.

Houve a proporcionalidade da força de tração e da potência sobre o consumo horário e o patinamento, as quais aumentaram com a velocidade e foram maiores com o uso de hastes em relação aos discos duplos. Além disso, o emprego de discos de corte integrados ao sulcador fixo, na velocidade de 1,67 m s<sup>-1</sup>, proporcionaram uma redução no consumo horário.

O consumo específico e o operacional de combustível foram inversamente proporcionais à força de tração e a potência na barra de tração, sendo maior para as associações com o sulcador rotativo.

A resistência específica operacional aumentou com a velocidade, sendo maior para o sulcador rotativo. Dessa forma, a haste sulcadora é mais eficiente no uso da tração por unidade de solo mobilizado. Além disso, quando os discos foram associados a este, proporcionaram uma redução na ampliação da resistência em aproximadamente 80% quando a velocidade passou de 1,11 para 2,78 m s<sup>-1</sup>.

As variáveis de solo não foram influenciadas pela velocidade, sendo maior com o uso de haste. Dentre as combinações com disco de corte, o ondulado propiciou a maior mobilização e a menor elevação e empolamento de solo.

Não se recomenda a utilização das velocidades 2,22 e 2,78 m s<sup>-1</sup>, independentemente da associação sulcador/disco, devido estas apresentarem maior requerimento de tração, potência na barra e consumo horário de combustível.

## 6 REFERÊNCIAS

AGRA, N. G.; SANTOS, R. F. **Agricultura brasileira**: situação atual e perspectivas de desenvolvimento. 2000. Disponível em:

<[www.gp.usp.br/files/denru\\_agribrasil.pdf](http://www.gp.usp.br/files/denru_agribrasil.pdf)>. Acesso em: 05 de jul. 2012.

ALTIKAT, S.; CELIK, A. Effects of different no-till seeders and tractor forward speeds on the soil physical properties and seed emergence of summer vetch and winter wheat. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 8, n. 1, p. 21-30, 2012.

ALTIKAT, S.; CELIK, A.; GOZUBUYUK, Z.; Effects of various no-till seeders and stubble conditions on sowing performance and seed emergence of common vetch. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 72-77, 2013.

ALTUNTAS, E.; et al. Assessment of different types furrow openers using a full automatic planter. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 3, p. 537-542, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASAE. Terminology for soil-engaging components for conservation-tillage planters, drills and seeders. In: **ASAE Standards**. St. Joseph, Michigan, 2006. p. 363-369. (ASAE S477 DEC01).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. Agricultural machinery management. In: **ASAE Standards**. St. Joseph, Michigan, 2003. p. 367-372. (ASAE EP496.2 FEB03).

ANDREOLLA, V. R. M. **Eficácia de sulcadores de semeadoras-adubadoras e suas implicações sobre a cultura da soja e nos atributos físicos de um latossolo sob integração lavoura-pecuária**. 2005. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

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

ARAUJO, M. A.; et al. Efeitos da escarificação na qualidade física de um latossolo vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, p. 495-504, 2004.

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.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. 3 ed., Piracicaba, 2005. 310 p.

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

BERTOL, I.; et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, fev. 2004.

BERTOL, O. J.; et al. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, 1997, p. 257-262.

BEUTLER, A. N.; et al. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 167-177, 2001.

BLAINSKI, É.; et al. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo, Viçosa, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 79-87, fev. 2012.

BOLLER, W. **Desenvolvimento de complementos para semeadoras em solo sob preparo reduzido**. 1990. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.

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

BORTOLOTTO, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTO, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. 1, p. 122-130, 2006.

CAMACHO, J. H.; MAGALHÃES, P. S. G. Estudo de configurações de discos duplos e hastes para práticas de adubação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002.

CAMILO, A. J.; et al. Influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto do feijão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 203-211, jul./set. 2004.

CASÃO JÚNIOR, R. Conheça sua plantadeira e prepare-a adequadamente. **Revista Campo & Negócios**, Uberlândia, ago. 2008.

CASÃO JÚNIOR, R. SIQUEIRA, R. Parâmetros construtivos de haste sulcadora. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 83, nov./dez. 2004.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no sul do Brasil: Fatores que facilitaram e evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina, IAPAR, 2012.

CASÃO JÚNIOR, R.; et al. **Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2580 PD no basalto paranaense**. Circular Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, n. 105, p. 1-46, 1998.

CASÃO JÚNIOR, R.; et al. **Desempenho da semeadora-adubadora SA 13500: vence tudo em solos argilosos**. Circular Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, n. 110, p. 1-46, 2000.

CELIK, A.; ALTIKAT, S. Seeding performances of no-till seeders equipped with different furrow openers, covering components and forward speeds for winter wheat. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 3, p. 226-238, 2012.

CEPIK, C. T. C. **Análise do desempenho de uma haste sulcadora de semeadora-adubadora, em diferentes teores de água no solo, velocidades e profundidades**



**de trabalho.** 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CEPIK, C. T. C. **Parâmetros de solo e máquinas em semeadura direta com doses de cobertura e configurações de depósito de fertilizante.** 2006. 118 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CEPIK, C. T. C., TREIN, C. R., LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. 2, p. 447-57, 2005.

CEPIK, C. T. C.; et al. Força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadora-adubadora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 5, p. 561-566, 2010.

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

CHICHESTER, F. W.; MORRISON, J. E.; GERIK, T. J. Minimum disturbance fertilizer knifing for no-till. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph , v.28, n.4, p.1013-1018, 1985.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo.** 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

COLLINS, B. A.; FOWLER, D. B. Effect of soil characteristics, seeding depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 39, n. 3-4, p. 199-211, nov. 1996.

CONTE, O. **Mecanismos rompedores e rodas compactadoras de semeadora-adubadora para cultura do milho (Zea mays L.) em plantio direto.** 2011. 152 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CUNHA, J. P. B.; et al. Sulco descompactado. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 102, p. 16-17, nov. 2010.

DALLMEYER, A. U. Opções na semeadura. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 2, p. 06-09, mar./abr. 2001.

DANIEL, L.A.; MARETTI, H.J. Avaliação de camada de solo compactado e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G.M. IV Ciclo de estudos sobre Mecanização Agrícola. Campinas: Fundação Cargill, 1990. p.22-38.

DELMOND, J. G. **Desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2009.

DIAS, V. de O. **Desempenho de dois protótipos de semeadoras-adubadoras para plantio direto**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DICKEY, E. C.; JASA, P. J. G83-684 Row Crop Planters: Equipment Adjustments and Performance in Conservation Tillage. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension. Paper 692. 1983.

DOAN, V.; CHEN, Y.; IRVINE, B. Effect of residue type on the performance of no-till seeder openers. **Canadian Biosystems Engineering**, v. 47, p. 29-35, 2005.

DRESCHER, M. S.; et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1713-1722, out. 2011.

DU, B.; BEKELE, A.; MORRISON JR., J. E. Drill Furrow Opener Effects on Wheat and Sorghum Establishment in No-Till Fields. **ASAE - Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 2, p. 179-185, 2004.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ESTEVEES, J. A. F.; ROSOLEM, C. A. Triticale, milho e adubação fosfatada para formação de palhada em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, p. 981-990, 2011.

FAGANELLO, A.; KOCHHANN, R. A.; PORTELLA, J. A. Desenvolvimento de mecanismos de corte para semeadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 1262-1271.

FERNANDES, H. C.; et al. Avaliação da influência de implementos de plantio direto do milho com tomografia de raios gama. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** 10. EMBRAPA, São Paulo, out. 2005. ISSN 1678-0434.

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

FRANCETTO, T. R.; et al. Área e volume mobilizado por diferentes hastes sulcadoras de semeadora-adubadora de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41., 2012. Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2012.

FRANCETTO, T. R.; et al. Relação entre velocidade de deslocamento e força de tração requerida por semeadoras-adubadoras equipadas com mecanismo sulcador fixo. In: SALÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2013, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria, 2013a.

FRANCETTO, T. R.; et al. Utilização do índice de adequação de semeadoras-adubadoras de precisão como ferramenta de comparação entre modelos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2013. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2013b.

FURLANI, C. E. A.; et al. Desempenho operacional de semeadora-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, ago. 2007.

FURLANI, C. E. A.; et al. Semeadora-adubadora: exigências em função da velocidade e do ângulo de ataque da haste sulcadora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006.

FURLANI, C. E. A.; et al. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 1, p. 345-352, 2008.

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

GAMERO, A. C.; **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. Botucatu – SP, 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: SILVEIRA, G.M. IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola. Jundiaí: Fundação Cargill, 1990. p. 12-21.

GAMERO, C.A.; LANÇAS, K.P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas Agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB-FEALQ, 1996. p. 463-514.

GARCIA, R. F. **Patinagem de pneus**. 2006. Disponível em: <[http://www.garcia.xpg.com.br/aula06\\_patinagem.pdf](http://www.garcia.xpg.com.br/aula06_patinagem.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2012.

GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto, o caminho do futuro: teoria e princípios sobre plantio direto**. 2.ed. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. cap. 1, p. 19-26.

GASSEN, J, R. F. **Avaliação de ferramenta para escarificação do solo em camadas de forma simultânea**. 2011. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

GASSEN, J. R. F; et al. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 116-124, 2014.

GERMINO, R.; BENEZ, S. H. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 85-92, 2006.

GODWIN, R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, p. 331-340, 2007.

GROTTA, D. C. C.; et al. Seeder-fertilizer machine: Energetic demand as a function of vegetal covering handling and manure deposition shank depth in no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 241-248, abr./jun. 2009.

HARRISON, H. P. Soil reaction forces for disks from field measurements. **American Society of Agricultural Engineers**. St. Joseph, v. 20, p. 836-838, 1977.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário**. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento sistemático de produção agrícola**. 2012. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201202.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201202.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2012.

KAMIMURA, K. M. **Parâmetros de solo, máquina e planta em função de doses de resíduos vegetais e profundidades de deposição de fertilizantes em semeadura direta**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KARAYEL, D.; SARAUSKIS, E. Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils. **Agricultural Engineering Research Papers**, v. 43, n. 3, p. 16-24, 2011.

KELLER, T.; et al. An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction. **Soil & Tillage Research**, v. 128, p. 61-80, 2013.

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

KUSHWAHA, R. L.; VAISHNAV, A. S.; ZOERB, G. C. Performance of powered-disc coulters under no-till crop residue in the soil bin. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 28, n. 2, p. 85-90, 1986.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays L.*)**. 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1999.

LEVIEN, R.; et al. Semeadura direta de milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1003-1010, jun. 2011.

LOUZADA, R. S.; et al. Comparação de três métodos de avaliação do percentual de patinagem de tratores agrícolas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2006, Pelotas. **Anais...** Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2006.

MACHADO, A. L. T.; et al. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. Pelotas: Editora Universitária UFPel, 2005.

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

MANTOVANI, E. C. **Máquinas e implementos agrícolas**. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, mar. 1987. p. 56-63.

MANTOVANI, E. C.; LEPLATOIS, M.; INAMASSU, R. Y. Automação do processo de avaliação de desempenho de tratores e implementos em campo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, jul. 1999.

MARCOLAN, A. L.; et al. Recuperação de atributos físicos de um argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, 2007.

MASIERO, F. C.; et al. Avaliação do consumo de combustível de um trator agrícola em função da velocidade de deslocamento e da variação de inflação dos pneus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010. Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010.

MATOS, M. A. **Modelo informatizado para o planejamento operacional e econômico de sistemas mecanizados com a consideração da pontualidade**.

2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

MATTAR, D. M. P. **Influência do deslizamento da roda motriz de uma semeadora-adubadora de plantio direto no espaçamento longitudinal de sementes de milho**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MCKYES, E. **Soil cutting and tillage**. Amsterdam: Elsevier, 1985. p. 217.

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

MERCANTE, E.; et al. Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 424-428, set. 2005 .

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium, 2012. 623 f.

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

MION, R. L.; et al. Análise tridimensional de esforços em elementos rompedores de semeadoras de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1414-1419, ago. 2009.

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

MODOLO, A. J.; et al. Seeding quality and soybean yields from using different furrowers and operation speeds. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 3009-3016, 2012.

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

MOUAZEN, A. M.; NEMÉNYI, M. Tillage tool design by the finite element method: Part 1. Finite element modelling of soil plastic behaviour. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 72, p. 37-51, 1999.

MOURA, J. R.; REIS, E. F.; CUNHA, J. P. A. R. Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja. In: JORNADA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO/III SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1., 2005, Anápolis. **Anais...** Anápolis. Universidade Estadual de Goiás, 2005.

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

NASCIMENTO, J. M.; et al. Desempenho operacional de semeadora-adubadora na implantação de híbridos de milho para silagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais...** Juazeiro/Petrolina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009.

NEW HOLLAND. **Especificações técnicas do trator 75E**. 2013. Disponível em: <<http://agriculture.newholland.com/br/pt/Products/Tractors/TLEXITUS/Documents/BRD1593-TLCabinado.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

PALMA, M. A. Z.; et al. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, set./out. 2010.

PALMA, M. A. Z.; et al. Esforço maior. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 103, p. 30-35, dez./jan. 2011.

PAVAN JÚNIOR, Á. **Sistema plantio direto: Avaliação de semeadora em função do manejo da palhada e velocidade de trabalho na cultura da soja**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.



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

PIFFER, C. R. **Viabilidade da nabiça (*Raphanus raphanistrum L.*) como planta de cobertura para a cultura do milho em diferentes sistemas de manejo do solo**. 2008. 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

PORTELLA, J. A. **Um estudo preliminar de forças atuantes de elementos rompedores de semeadoras comerciais**. 1983. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1983.

RALISCH, R. Na medida certa. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 5, p. 09-11, set./out. 2001.

REIS, E. F. dos; et al. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 3, jul/set. 2004.

ROSA, D. P. da; et al. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, mar. 2008.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP/BASF, 1995. 134 p.

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

RUSSINI, A.; et al. Demanda energética de uma semeadora-adubadora na depressão central do Rio Grande do Sul obtida através de instrumentação eletrônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010. Vitória. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010.

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

SANTO, A. C. E. **Desgaste de ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto e sua influência no esforço de tração**. 2005. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

SANTOS, A. J. M.; et al. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, n. 1, p. 16-23, jan./fev. 2011.

SANTOS, A. J. M.; et al. Desempenho de discos de corte de semeadora-adubadora em diferentes quantidades de cobertura vegetal. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 17-30, 2010.

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.

SATTLER, A. **Regulagem estática de vazão de sementes em semeadoras de precisão: método da relação de transmissão**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2000. 24 p.

SECCO, D.; et al. Produtividade da soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 5, p. 797-804, set./out. 2004.

SEIDI, E. Effects of geometry of disk openers on seed slot properties. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 72, p. 83-87, 2012.

SEIDI, E. et al. Effects of novel disk-type furrow opener used in no-tillage system on micro environment of seed. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2010.

SERRANO, J. M.; et al. The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance. **Biosystems Engineering**, v. 102, p. 51-62, 2009.

SILVA, A. R. B.; et al. Avaliação de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função de diferentes mecanismos sulcadores e velocidades de deslocamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

SILVA, J. G. **Plantio direto do arroz influenciado por tipos de sulcadores e compactadores de sulcos da semeadora adubadora.** Comunicado técnico 81, EMBRAPA, Goiás, dez. 2004. ISSN 1678-961X.

SILVA, J. G.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, n. 1, p. 7-12, jan./fev. 2000.

SILVA, M. R. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação.** 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003a.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema de plantio direto.** 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003b.

SILVA, P. R. A. **Semeadora-adubadora: Mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas.** 2007. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

SILVA, S. L. **Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento.** 2000, 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

SILVEIRA, G. M. **As máquinas para plantar.** Rio de Janeiro: Editora Globo, 1989.

SILVEIRA, J. C. M. da.; et al. Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds. **Revista Ceres**, Viçosa, n. 3, p. 293-298, maio/jun. 2011.

SIMON, D. N.; et al. Effect of four types of records of cut with or without connecting rod forrower opener in sequence on the sowing of soy (*Glycine Max*). In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING AND CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2008. Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2008.

SIQUEIRA, R. **Milho: semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade**. 2009. Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/semeadora-adubadora%20para%20sistema%20de%20plantio%20direto%20com%20qualidade.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2012.

SIQUEIRA, R., CASÃO JÚNIOR, R. **Trabalho no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema plantio direto**. Curitiba, SENAR-PR, 2004. p. 88.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. Ângulo ideal. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 13, p. 30-32, jul./ago. 2002.

SIQUEIRA, R.; et al. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max L.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

SPAGNOLO, R. T.; et al. Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 131-139, jan./fev. 2012.

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research.**, London, v. 23, n. 3, p. 243-258, set. 1978.

STARA. **Manual de Instruções e Catálogo de Peças Prima**. 2012. Disponível em:< <http://www.stara.com.br/web/files/files/410.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2013.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 3, p. 395-401, 2001.

STRECK, C. A.; et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, jun. 2004.

TAMAYO, J. H. C. **Mobilização do solo utilizando combinações de discos duplos e hastes parabólicas para práticas de cultivo**. 2002. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

TAVARES FILHO, J.; et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, p. 725-730, 2001.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TESSIER, S.; et al. No-till seeders effects on seed zone properties and wheat emergence. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 3, p. 729-733, 1991.

TOLEDO, A. de; et al. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 459-467, maio/jun. 2010.

TSEGAYE, T.; MULLINS, C. E. Effect of mechanical impedance on root growth and morphology of two varieties of pea (*Pisum sativum* L.). **New Phytol**, v. 126, n. 4, p. 707-713, 1994.

VAMERALI, T.; BERTOCCO, M.; SARTORI, L. Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays*, L.): A comparison with double-disk opener. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p. 196-209, 2006.

VEIGA, M. et al. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n. 1/2, p. 104-113, 2007.

VETTORI, L. **Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EPFS, 1969. 24 f.

WEED, S. Direct drilling of soybeans on the north coast. **Agricultural Gazette of New South Wales**, Sydney, n. 92, p. 39-41. 1981.

YAO, Z.; et al. Crop performance as affected by three opening configurations for no-till seeder in annual double cropping regions of northern China. **Australian Journal of Soil Research**, v. 47, p. 839-847, 2009.