

JOÃO CLEBER MODERNELO DA SILVEIRA

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM CONJUNTO TRATOR-
SEMEADORA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E
ROTAÇÃO NO EIXO DO MOTOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S587d
2008

Silveira, João Cleber Modernel da, 1964-
Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadura
em função da velocidade e rotação no eixo do motor /
João Cleber Modernel da Silveira. – Viçosa, MG, 2008.
xxv, 118f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 93-103.

1. Semeadeira-adubadeira. 2. Semeadeira-adubadeira -
Custos. 3. Palha - Utilização na agricultura. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

JOÃO CLEBER MODERNELO DA SILVEIRA

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM CONJUNTO TRATOR-
SEMEADORA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E
ROTAÇÃO NO EIXO DO MOTOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2008.

Prof. Luciano Baião Vieira

Prof. Caetano Marciano de Souza

Prof. Luciano José Minette

Dr. Roberto Fontes Araújo

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

DEDICO

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida.

À minha esposa Solange Aparecida Pinto.

À minha amada filha Isabella Nóbrega da Silveira.

Aos meus pais João Manoel da Silveira e Cely Modernel da Silveira.

Aos meus irmãos.

As amizades conquistadas ao longo desses anos.

A todos que de alguma forma, direta ou indireta, ajudaram-me na execução deste e demais trabalhos.

A Solange e Isabella,

As quais me incentivaram e me apoiaram mesmo distantes e, sem dúvida, foram decisivas quando precisei.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pelo dom da vida e por estar ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais João Manoel da Silveira e Cely Modernel da Silveira, pelo incentivo, amor e carinho e mais, por nunca me deixar desistir.

À minha esposa, namorada e companheira Solange Aparecida Pinto e à minha filha Isabella Nóbrega da Silveira, que sempre estiveram ao meu lado, incentivando e aconselhando, pela paciência, pelo amor e carinho, pela compreensão muitas vezes não entendida devido à minha ausência, vocês foram de fundamental importância para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela grande oportunidade oferecida para a realização do doutorado, principalmente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), por me acolher durante esse período de minha vida.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, através da bolsa de pesquisa durante o curso.

Ao Professor Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação, amizade, pelos ensinamentos, conselhos e incentivos permanentes, que tanto contribuíram para a minha formação profissional.

Aos Professores Suedêmio de Lima Silva, Lúcia Helena Pereira Nóbrega, Luciano Baião Vieira, Mauri Martins Teixeira, Eduardo Fontes

Araújo, Caetano Marciano de Souza e Paulo Roberto Cecon, pela amizade e conhecimentos transmitidos ao longo deste curso.

A todos os professores da UFV, por, ao longo deste curso, terem-se dedicados a transmitir conhecimentos e pela amizade.

Aos funcionários da UFV, pelos serviços prestados e pela amizade ao longo desses anos, em especial a Danilo, Vantuil, Geraldo e Marcelo (Laboratório de Mecanização Agrícola), a Edna e Renato (Secretaria da Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola), D. Maria, Marcos, Galinari, Claudenilson e Zé Mauro.

À Faculdade Aziz Gurgacz (FAG) e à UNIOESTE, pela atenção, dedicação, pelo empréstimo da maquinaria e laboratórios utilizados na realização do experimento e pela área disponibilizada.

Aos meus amigos Douglas Guedes Batista Torres, Fábio Boligon e Arnaldo Baldessin Júnior, por sempre terem estado presentes nos trabalhos de campo.

Aos meus colegas e amigos de pós-graduação em Mecanização Agrícola (UFV) Alcir Modolo, Gerson Inoue, Walter Mewes, Diogo Santos, Gislaine, Fabiane Paranhos, Andréia Bordini, Murilo, Renato Ruas, Leonardo Rubim, Ronaldo, Wagner, Paula Rinaldi, Danilo, Alisson, Elder Sanzio, Enrique, William, Mário, Selma, Douglas, Sérgio, Sebastião Eudes, Francelino, Marcus e Edney Vitória, pela amizade e solidariedade dentro e fora da Instituição, e aos meus demais colegas do Departamento de Engenharia Agrícola, pela convivência.

Aos meus amigos Alcir e Soelene Modolo, Edney e Stela Magalhães, Gerson, Keles e Igor Inoue, Marcus e Cristine Volk e Silmara, pelos grandes momentos de solidariedade e alegria compartilhados.

À Joseane Erbice dos Santos e ao Ricardo dos Santos, amigos e companheiros de república, pela paciência, pela convivência, pelo companheirismo, pelos grandes momentos de solidariedade e alegrias compartilhados.

Aos meus amigos da Pelada da Violeira Erli, Dileno, Aloísio, Sebastião, Dona Marieta, Sr. Mingote, Juninho, Tiago, Branco, Juliano, Baiano, Argeu, Fredinho, João Cartório, Carlos Henrique (Tim Maia), Kita, Chico Cruzeiro, Ranieri, enfim, a todos aqueles que participam ou participaram dessa grande família, pela convivência harmoniosa.

BIOGRAFIA

JOÃO CLEBER MODERNELO DA SILVA, filho de João Manoel da Silva e Cely Modernelo da Silva, nasceu em 9 de outubro de 1964, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Em dezembro de 1990, concluiu o ensino médio no Colégio Canadá, em Cascavel, PR.

Em março de 1998, iniciou o curso de Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, em Cascavel, PR, concluindo-o em abril de 2003.

Em março de 2003, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível Mestrado, em Engenharia Agrícola da UNIOESTE, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, concluindo-o em dezembro de 2004.

Em março de 2005, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da tese em fevereiro de 2008.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xx
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. A cultura do Milho.....	4
2.2. Plantio Direto.....	5
2.3. Semeadoras-Adubadoras de Plantio Direto.....	6
2.4. Consumo de Energia.....	8
2.5. Força na Barra de Tração.....	9
2.6. Potência na Barra de Tração.....	11
2.7. Rotação no Eixo do Motor.....	12
2.8. Velocidade de Operação do Conjunto Trator-Semeadora- Adubadora.....	13
2.9. Patinagem dos Rodados-Motriz do Trator e da Semeadora....	14
2.10. Capacidade Operacional do Conjunto Mecanizado.....	15

	Página
2.11. Profundidade da Semente	16
2.12. Distribuição Longitudinal da Semente.....	17
2.13. Índice de Velocidade de Emergência (IVE).....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Delineamento Experimental	21
3.2. Croqui da Área Experimental	23
3.3. Máquinas e Implementos Agrícolas	24
3.3.1. Trator	24
3.3.2. Semeadora-Adubadora de Precisão	24
3.3.3. Pulverizador	25
3.4. Insumos Agrícolas	26
3.5. Caracterização Física da Área Experimental	26
3.5.1. Solo da Área Experimental	26
3.5.1.1. Biomassa da Cobertura Vegetal	26
3.5.1.2. Textura do Solo.....	26
3.5.1.3. Teor de Água no Solo	27
3.5.1.4. Massa Específica do Solo.....	27
3.5.1.5. Resistência Mecânica do Solo à Penetração	28
3.6. Avaliação dos Parâmetros Operacionais	29
3.6.1. Profundidade do Sulco.....	29
3.6.2. Área Mobilizada do Solo	30
3.7. Sistema de Aquisição de Dados	31
3.8. Potência Requerida na Barra de Tração.....	32
3.8.1. Força de Tração.....	32
3.8.2. Velocidade de Deslocamento do Conjunto Mecanizado	33
3.9. Capacidade Operacional Teórica.....	34
3.10. Consumo de Combustível.....	34
3.10.1. Consumo Específico de Combustível	35
3.10.2. Consumo de Combustível por Área Mobilizada	36
3.10.3. Consumo de Combustível por Área Trabalhada	36
3.11. Patinagem das Rodas Motrizes do Trator.....	36
3.12. Rotação no Eixo do Motor.....	37

	Página
3.13. Avaliação da Qualidade da Semeadura.....	38
3.13.1. Profundidade de Deposição das Sementes	38
3.13.2. Distribuição Longitudinal das Sementes	39
3.13.3. Patinagem da Roda Motriz da Semeadora-Adubadora....	40
3.14. Germinação e Emergência de Plantas.....	41
3.14.1. Germinação em Laboratório	41
3.15. Emergência em Campo	42
3.15.1. Índice de Velocidade de Emergência.....	42
3.15.2. Tempo Médio de Emergência	42
3.16. Custo de Combustível.....	43
3.16.1. Custo Horário de Combustível	43
3.16.2. Custo de Combustível por Área Trabalhada	43
3.17. Análise Estatística.....	44
3.17.1. Análise de Regressão	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1. Caracterização Física da Área Experimental.....	45
4.1.1. Solo da Área Experimental	45
4.1.1.1. Biomassa da Cobertura Vegetal	45
4.1.1.2. Teor de Água no Solo e Massa Específica do Solo	47
4.1.1.3. Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	48
4.2. Parâmetros Operacionais	49
4.2.1. Profundidade do Sulco para Deposição do Adubo	49
4.2.2. Área Mobilizada de Solo	51
4.3. Velocidade de Operação do Conjunto Mecanizado	52
4.4. Rotação no Eixo do Motor.....	53
4.5. Patinagem dos Rodados-Motriz do Trator	54
4.6. Requerimento de Força na Barra de Tração.....	56
4.6.1. Força Requerida na Barra de Tração.....	56
4.6.2. Força Requerida na Barra de Tração por Linha de Semeadura	57
4.6.3. Força Requerida na Barra de Tração por Profundidade do Sulco.....	59

	Página
4.6.4. Força Requerida na Barra de Tração por Área Mobilizada de Solo	60
4.7. Capacidade Operacional Teórica.....	61
4.8. Demanda Energética do Conjunto Mecanizado.....	63
4.8.1. Requerimentos de Potências na Barra de Tração	63
4.8.1.1. Potência Requerida na Barra de Tração.....	63
4.8.1.2. Potência Requerida na Barra de Tração por Linha de Semeadura	65
4.8.1.3. Potência Requerida na Barra de Tração por Profundidade do Sulco	66
4.8.1.4. Potência Requerida na Barra de Tração por Área Mobilizada de Solo	67
4.8.2. Consumo de Combustível.....	69
4.8.2.1. Consumo Horário de Combustível	69
4.8.2.2. Consumo Específico de Combustível	72
4.8.2.3. Consumo de Combustível por Área Trabalhada	73
4.8.2.4. Consumo de Específico de Combustível por Área Mobilizada de Solo	75
4.8.2.5. Consumo de Energia	76
4.9. Qualidade da Semeadura	77
4.9.1. Profundidade de Deposição da Semente.....	78
4.9.2. Espaçamentos Aceitáveis	79
4.9.3. Espaçamentos Múltiplos	81
4.9.4. Espaçamentos Falhos.....	82
4.9.5. Coeficiente de Variação da Distribuição Longitudinal de Sementes	83
4.9.6. Patinagem dos Rodados-Motriz da Semeadora-Alubadora.....	84
4.9.7. Germinação de Sementes	86
4.9.7.1. Índice de Velocidade de Emergência.....	86
4.9.7.2. Tempo Médio de Emergência	87
4.10. Custo Horário de Combustível.....	88

	Página
4.11. Custo de Combustível por Área Trabalhada	89
5. CONCLUSÕES	91
6. REFERÊNCIAS	93
APÊNDICE.....	104
APÊNDICE A	105

LISTA DE QUADROS

	Página
1. Especificações técnicas da semeadora-adubadora PST ³	25
2. Especificações técnicas do penetrômetro PNT-2000	29

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Relação e descrição dos tratamentos utilizados no experimento ...	22
2. Limites de tolerância das variações dos espaçamentos (X_i) entre sementes e o tipo de espaçamento considerado	40
3. Valores médios do teor de água no solo (U) e de massa específica do solo (M_s).....	47
4. Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor na velocidade de operação	53
5. Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, na rotação do eixo do motor	54
6. Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, na patinação dos rodados-motriz do trator (%).....	55
7. Valores médios da patinação dos rodados-motriz da semeadora-adubadora em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor do trator	85
8. Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor para o custo horário de combustível ($R\$ h^{-1}$).....	89
9. Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, com relação ao custo de combustível por área trabalhada ($R\$ ha^{-1}$)	90

	Página
1A. Análise de variância da biomassa da cobertura vegetal.....	105
2A. Análise de variância do teor de água (TA) no solo, na profundidade de 0 até 0,10 m.....	105
3A. Análise de variância do teor de água (TA) no solo, na profundidade de 0,10 até 0,20 m.....	105
4A. Análise de variância da massa específica do solo (MES), na profundidade de 0 até 0,10 m.....	106
5A. Análise de variância da massa específica do solo (MES), na profundidade de 0,10 até 0,20 m.....	106
6A. Análise de variância da profundidade do sulco de deposição de adubo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	106
7A. Análise de variância da área mobilizada de solo em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	107
8A. Análise de variância da velocidade de operação do conjunto mecanizado obtido pelo radar	107
9A. Análise de variância da rotação no eixo do motor do conjunto mecanizado, obtida pelos sensores	107
10A. Análise de variância da patinagem dos rodados-motriz do trator em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	108
11A. Análise de variância da patinagem dos rodados-motriz da semeadora-adubadora em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	108
12A. Análise de variância da força na barra de tração em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	108
13A. Análise de variância da força requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	109
14A. Análise de variância da força requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	109

	Página
15A. Análise de variância da força média na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	110
16A. Análise de variância da capacidade operacional teórica em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	110
17A. Análise de variância da potência requerida na barra de tração em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	111
18A. Análise de variância da potência requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	111
19A. Análise de variância da potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	112
20A. Análise de variância da potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	112
21A. Análise de variância do consumo horário de combustível, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	113
22A. Análise de variância do consumo específico de combustível, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	113
23A. Análise de variância do consumo de combustível por área trabalhada, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	113
24A. Análise de variância do consumo específico de combustível por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	114
25A. Análise de variância do consumo de energia em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	114
26A. Análise de variância da profundidade de deposição das sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	114

	Página
27A. Análise de variância dos espaçamentos aceitáveis de sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	115
28A. Análise de variância dos espaçamentos múltiplos de sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	115
29A. Análise de variância dos espaçamentos falhos de sementes, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	116
30A. Análise de variância do coeficiente de variação da distribuição longitudinal de sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	116
31A. Análise de variância do índice de velocidade de emergência das sementes, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	117
32A. Análise de variância do tempo médio de emergência das plântulas de milho, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	117
33A. Análise de variância do custo de combustível gasto por hora, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor	118
34A. Análise de variância do custo de combustível gasto por área trabalhada, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor.....	118

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Vista geral da área experimental	21
2. Croqui da distribuição dos blocos e tratamentos na área experimental	23
3. Vista frontal da semeadora-adubadora.....	24
4. Quadro de madeira utilizado para a coleta da biomassa da cobertura vegetal.....	27
5. Vista superior do penetrômetro utilizado.....	28
6. Determinação da profundidade do sulco de semeadura.....	30
7. Perfilômetro utilizado para determinação da área mobilizada.....	31
8. Sistema de aquisição de dados	32
9. Vista geral da montagem para a medição da força de tração.....	33
10. Unidade de radar para medição da velocidade instantânea	34
11. Medidor de combustível.....	35
12. Sensor indutivo e placas de chumbo acopladas ao rodado traseiro do trator	37
13. Vista geral dos instrumentos utilizados para determinar a rotação no eixo do motor	38

	Página
14. Profundidade de deposição da semente.....	39
15. Distribuição longitudinal das sementes.....	39
16. Vista lateral da disposição do sensor utilizado para determinar a patinagem dos rodados-motriz da semeadora-adubadora	41
17. Valores médios da biomassa da cobertura vegetal dos respectivos tratamentos.....	46
18. Gráfico de resistência mecânica do solo à penetração (MPa).....	48
19. Estimativa da profundidade do sulco do adubo em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	50
20. Estimativa da área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	52
21. Estimativa da força requerida na barra de tração em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	56
22. Estimativa da força requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	58
23. Estimativa da força requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	59
24. Estimativa da força requerida na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	61
25. Estimativa da capacidade operacional teórica em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	62
26. Estimativa da potência requerida na barra de tração em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	64
27. Estimativa da potência requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	65
28. Estimativa da potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	67

	Página
29. Estimativa da potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	68
30. Efeitos da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor sobre o consumo horário de combustível.....	70
31. Efeito da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor sobre o consumo específico de combustível.....	73
32. Estimativa do consumo de combustível por área trabalhada, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	74
33. Estimativa do consumo específico de combustível por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	76
34. Estimativa do consumo de energia em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	77
35. Estimativa da profundidade de deposição da semente em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	78
36. Estimativa do espaçamento aceitável entre sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	80
37. Estimativa dos espaçamentos múltiplos de sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	81
38. Estimativa dos espaçamentos falhos de sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	82
39. Estimativa do coeficiente de variação para a distribuição longitudinal de sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.....	84
40. Estimativa do índice de velocidade de emergência de plântulas de milho em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	87
41. Estimativa do tempo médio de emergência de plântulas de milho (dias) em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado	88

LISTA DE EQUAÇÕES

		Página
Equação 1	Área Mobilizada do Solo	30
Equação 2	Potência Requerida na Barra de Tração	32
Equação 3	Força Média na Barra de Tração	33
Equação 4	Capacidade Operacional Teórica.....	34
Equação 5	Consumo Específico de Combustível.....	35
Equação 6	Consumo de Combustível por Área Mobilizada	36
Equação 7	Consumo de Combustível por Área Trabalhada	36
Equação 8	Patinagem dos Rodados-Motriz do Trator e das Rodas Motrizes da Semeadora-Adubadora	37
Equação 9	Índice de Velocidade de Emergência	42
Equação 10	Tempo Médio de Emergência	43
Equação 11	Custo Horário de Combustível	43
Equação 12	Custo de Combustível por Área Trabalhada	43
Equação 13	Modelo de Superfície Ajustado para o Consumo Horário de Combustível.....	69
Equação 14	Modelo de Superfície Ajustado para o Consumo Específico de Combustível.....	72

RESUMO

SILVEIRA, João Cleber Modernel da, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2008. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora em função da velocidade e rotação no eixo do motor.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Orientadores: Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

O conhecimento dos custos do trabalho realizado pelos implementos e máquinas agrícolas é de suma importância para o produtor agrícola, que pode, além de comparar preços dos vários tipos de operações, compor os custos de produção. Nesse contexto, escolher a velocidade correta depende da rotação do motor e da marcha a ser utilizada e deve, ainda, ser compatível com o tipo de terreno e com o implemento a ser tracionado. Este trabalho teve como objetivo otimizar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, em função de diferentes velocidades de deslocamentos obtidas do escalonamento de marchas do trator e de rotações no eixo do motor na semeadura do milho. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As variáveis relacionadas à caracterização física do solo foram avaliadas em blocos e as demais, em arranjo fatorial 4 x 3, com 12 tratamentos, constituídos de quatro velocidades de deslocamento, obtidas em função dos escalonamentos de marchas e de três rotações do

motor do trator, totalizando 48 unidades experimentais. Antes da instalação do experimento, coletaram-se a biomassa da cobertura vegetal, a resistência mecânica do solo à penetração, a caracterização física da área experimental por meio da análise granulométrica, o teor de água do solo e a massa específica do solo. Durante a semeadura, monitoraram-se a velocidade de operação do conjunto trator-semeadora-adubadora, a rotação do motor, a força na barra de tração, a patinação dos rodados-motriz do trator e da semeadora e o consumo horário de combustível. Após a semeadura, foi avaliada a profundidade do sulco para deposição do adubo e da semente, a área mobilizada de solo, a distribuição longitudinal da semente no leito de semeadura, o índice de velocidade de emergência, o tempo médio de emergência e os custos com o consumo horário e por área trabalhada com combustível (diesel). De acordo com os resultados, pode-se concluir que: nos parâmetros operacionais do conjunto mecanizado, a profundidade do sulco foi influenciada pelo aumento na velocidade de operação, a área mobilizada de solo aumentou em 41% com a elevação da velocidade de operação e a patinação dos rodados-motriz do trator ficou abaixo dos padrões estabelecidos pela norma. O requerimento de força na barra de tração média, por linha de semeadura e por área mobilizada de solo, diminuiu com o aumento da velocidade, e a força média na barra de tração por profundidade do sulco aumentou com o incremento da velocidade de operação. A elevação da velocidade de operação do conjunto mecanizado permitiu aumentar a capacidade operacional teórica em 120,23%, quando passou de 3,5 para 7,0 km h⁻¹. O requerimento de potência na barra de tração média, por linha de semeadura, por profundidade do sulco e por área mobilizada, aumentou como o incremento da velocidade de operação do conjunto mecanizado. O consumo horário de combustível foi elevado com o aumento da velocidade de operação e da rotação do motor, sendo menor na rotação de 1.500 rpm. O menor consumo específico de combustível foi obtido na maior velocidade de operação e na menor rotação do motor. O consumo de combustível por área trabalhada diminuiu com o aumento da velocidade de operação e da capacidade operacional. O aumento da velocidade de operação de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ do conjunto mecanizado proporcionou menor consumo de combustível por área mobilizada de solo.

Na maior velocidade de operação ($7,0 \text{ km h}^{-1}$) ocorreu menor consumo de energia na operação de semeadura. No aspecto qualidade da semeadura, o aumento na velocidade de operação afetou todas as variáveis de qualidade. Em todas as velocidades de deslocamento, a rotação do motor a 1.500 rpm foi a que apresentou menor custo horário ($\text{R\$ h}^{-1}$) com combustível. Sob o aspecto econômico e qualitativo do processo de semeadura para a cultura do milho, é possível optar por menores velocidades de deslocamento em função do escalonamento de marcha e menores rotações no motor, ressaltando-se que as velocidades de 3,5 até $5,0 \text{ km h}^{-1}$, na rotação de 1.500 rpm, obtiveram os melhores resultados, sendo ideais para a semeadura do milho.

ABSTRACT

SILVEIRA, João Cleber Modernel da, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2008. **Performance optimization of tractor-seeder combination under different speeds and engine axis rotations.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisers: Mauri Martins Teixeira and Paulo Roberto Cecon.

Knowing the costs of work carried out by implements and tractors is crucial for farmers, who will be able, besides comparing prices of different operations, to compose production costs. In this context, choosing the correct speed will depend on engine rotation and the gear to be used, as well as compatibility with land type and towed implement. The objective of this work was to optimize the operational performance of tractor-seeder-fertilizer in a no till system under different travel speeds at gear scaling and engine axis rotations of corn seeder. The experiment was arranged in a randomized block design, with four repetitions. The variables related to soil physical characterization were assessed in the blocks and the others in a 4 x 3 factorial scheme, with 12 treatments, consisted of four travel speeds at the gear scaling and three rotations of the seeder engine, totaling 48 experimental units. Before installing the experiment, the following characteristics were evaluated: biomass of vegetation cover, soil penetration resistance, physical characterization of experimental area by granulometric

analysis, water content in the soil and soil specific mass. During sowing, operation speed of the tractor-seeder-fertilizer, motor rotation, load on the traction bar, driven wheel slip of tractor and seeder and fuel consumption per hour were monitored. After sowing, it was evaluated the furrow depth for fertilizer and seed, area of mobilized soil, longitudinal distribution of seed in seed bed, emergence speed index, average time of emergence and the costs of consumption of fuel (diesel) per hour and per area worked. The results showed that considering the operational parameters of the tractor-seeder combination, furrow depth was influenced by the increase in operation speed, the area of mobilized soil increased in 41% with higher operation speed, and the driven wheel slip of tractor was below standards established by the norm. Average power demands on the traction bar, per seeding row and per area of mobilized soil, decreased with the increase in speed, and the average traction power per furrow depth increased with increase in operation speed. The increase in operation speed of the tractor-seeder combination allowed the theoretical operational capacity to increase by 120.23%, when it changed from 3.5 to 7.0 km h⁻¹. The average power demand in the bar, per seeding row and per area of mobilized soil, increased with increase in operation speed of the tractor-seeder combination. Fuel consumption per hour increased with the increase in the operation speed and engine rotation, being lowest at 1.500 rpm. The lowest specific fuel consumption was obtained in the highest operation speed and the lowest engine rotation. Fuel consumption per worked area decreased with the increase in speed operation and operational capacity. The increase of speed operation from 3.5 to 7.0 km h⁻¹ gave the lowest fuel consumption per area of mobilized soil. There was low energy consumption during seeding operation at the highest operation speed (7.0 km⁻¹). Regarding seeding quality, the increase in operation speed affected all quality variables. Engine rotation at 1.500 rpm provided the smallest cost with fuel per hour (R\$ h⁻¹), for all travel speeds. Within economic and qualitative aspects of corn seeding operations, it is possible to choose lower travel speeds as a function of gear scaling and lower engine rotations, pointing out that speeds from 3.5 to 5.0 km h⁻¹, at 1.500 rpm rotation, provided the best results and are considered ideal for corn seeding.

1. INTRODUÇÃO

Para o agricultor, é de fundamental importância conquistar e manter espaço no mercado agrícola, que se profissionaliza a cada dia e se torna cada vez mais competitivo. Assim, o monitoramento dos fatores que intervêm na produtividade da propriedade é muito importante, e, entre eles, destaca-se a administração de todas as atividades mecanizadas.

No intuito de aumentar a produtividade, os produtores de grãos buscam, através da tecnologia e de sementes certificadas e selecionadas, aumentar suas áreas de plantio e, com isso, muitas vezes os levam a erros na escolha correta das máquinas e implementos agrícolas, e, como resultado, o aumento nos custos de produção são inevitáveis.

A correta seleção da maquinaria que será utilizada nas operações agrícolas determina as condições preponderantes na obtenção de resultados satisfatórios, como o uso racional dos equipamentos agrícolas, com o objetivo de minimizar os custos de manutenção e de combustível.

A crescente necessidade de racionalização das operações agrícolas estimula o desenvolvimento de pesquisas visando à obtenção de métodos e técnicas que possibilitem o acesso de informações durante a avaliação de máquinas em ensaios de campo, de forma eficaz, econômica e com precisão.

A seleção de máquinas agrícolas é um assunto bastante complexo devido ao elevado número de fatores envolvidos e de alternativas a

considerar. Todavia, uma definição clara e objetiva dos propósitos visados com a seleção da maquinaria agrícola permite o delineamento de roteiros que conduzem a uma solução racional do problema.

Do ponto de vista de ensaios de máquinas e implementos agrícolas, os parâmetros operacionais e a sua eficiência tendem a apresentar diferenças, pois não são realizados em condições reais de campo.

A avaliação energética é um processo de análise que consiste em identificar e mensurar a quantidade de energia associada aos produtos e equipamentos que intervêm na produção de determinado bem.

A técnica do plantio direto tem sido preconizada como alternativa para evitar os efeitos indesejáveis do preparo do solo, realizado de forma repetitiva e inadequada, como também na redução do consumo de energia proporcionada pelas inúmeras operações de campo.

A velocidade de operação do trator influencia diversos aspectos: o consumo de combustível, a durabilidade dos pneus, a durabilidade do sistema de transmissão, o rendimento operacional e a qualidade do preparo do solo e do plantio. Escolher a velocidade correta depende da rotação no eixo do motor e da marcha a ser utilizada e deve, ainda, ser compatível com o tipo de terreno e com o implemento a ser tracionado. Dentro do contexto apresentado e na ausência de trabalhos relacionados ao consumo de combustível em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor, fazem-se necessários, portanto, estudos sobre os fatores técnicos de desempenho de um conjunto trator/semeadora-adubadora, visando minimizar o consumo de combustível e reduzir os custos de produção agrícola.

O conhecimento dos custos do trabalho realizado pelos implementos e máquinas agrícolas é de suma importância para o produtor agrícola, que pode, além de comparar preços dos vários tipos de operações, compor os custos de produção.

Este trabalho teve como objetivo geral otimizar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, em função de diferentes velocidades de deslocamentos obtidas em função do escalonamento de marchas do trator e de rotações no eixo do motor. Os objetivos específicos foram:

- Determinar a caracterização física da área experimental a partir do teor de água, da massa específica do solo e da resistência mecânica do solo à penetração.

- Analisar os fatores operacionais, como a profundidade do sulco, área mobilizada, força de tração, velocidade de trabalho, consumo de combustível, patinagem das rodas motrizes do trator e rotações no eixo do motor.

- Verificar a demanda energética na operação de semeadura, determinando-se a potência requerida na barra de tração, o consumo específico de combustível, o consumo específico operacional de combustível e o consumo de combustível por área mobilizada.

- Determinar a qualidade da semeadura através da distribuição longitudinal e profundidade de deposição das sementes, patinagem dos rodados da semeadora, índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME).

- Avaliar o custo horário de combustível e o custo de combustível gasto por área trabalhada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família das gramíneas. O processo de seleção natural e domesticação pelo homem aplicado ao milho produziu uma planta anual, robusta e ereta, com 1 a 4 m ou mais de altura. Seu sistema radicular consiste em raízes primárias laterais, e nas raízes adventícias as folhas são dispostas alternadamente, presas a bainhas sobrepostas que envolvem o colmo, ressaltando-se que o limbo varia de longo e estreito a curto e largo. O milho é uma planta monóica, sendo a inflorescência masculina constituída pelo pendão e, a feminina, pela espiga (GOODMAN; SMITH, 1987).

Segundo Molin (2000), a expressão potencial produtivo na cultura do milho depende da carga genética e de fatores ambientais, principalmente luz, água, temperatura e nutrientes do solo. Quanto ao aproveitamento de luz, pode-se aumentar a interceptação de luz através da redução no espaçamento entre as linhas de semeadura do milho. Segundo esse mesmo autor, o incremento da produção de grãos através da redução de espaçamento, além da conversão da radiação solar, depende da arquitetura das plantas, sendo esperados melhores resultados em plantas de menor estatura e com folhas mais eretas.

Mello Filho e Richetti (1997) citaram que, no sistema de plantio direto, o milho é uma alternativa econômica em sistemas de rotação de culturas, pois produz alta quantidade de matéria seca, bem como possui decomposição lenta, devido à sua alta relação carbono/nitrogênio (C/N), contribuindo para maior proteção do solo por um período de tempo mais longo.

2.2. Plantio Direto

Segundo a Norma EP 291.1 (ASAE, 1997), existem diversos sistemas de preparo do solo que são enquadrados em categorias definidas como: convencional, que é a combinação de duas ou mais operações; reduzido, uma única operação; e plantio direto, ou seja, semeadura em solo minimamente revolvido.

Os prejuízos advindos do uso irracional da maquinaria agrícola ao meio ambiente são conhecidos, por isso a tendência mundial está voltada para o uso de sistemas conservacionistas na agricultura mecanizada, como alternativa de minimizar os danos ao solo, à atmosfera, às plantas e ao próprio homem (FERNANDES et al., 2002).

Segundo Muzilli (1997), com o plantio direto se procura, fundamentalmente, substituir, de modo gradativo, os processos mecânico-químicos por processos biológico-culturais de manejo do solo para obtenção de maior eficiência econômica, decorrente da redução de gastos com insumos, energia e controle da erosão.

O plantio direto, segundo Araújo et al. (2001), é um sistema de manejo da produção agrícola no qual a semeadura é realizada com revolvimento mínimo do solo, preservando-se a cobertura vegetal das culturas anteriores sobre sua superfície. Esses mesmos autores enfatizaram que o sistema de plantio direto é o mais apropriado para a produção agrícola em clima tropical, promovendo a melhoria das condições físicas e químicas (fertilidade) do solo, reduzindo o uso de máquinas, mão-de-obra e o consumo de combustível, melhorando as condições ambientais pela redução da erosão e do uso de agroquímicos, além de minimização dos custos de produção de médio e longo prazos. Para esses autores, no sistema de

plantio direto é comum a ocorrência de camada superficial do solo compactada e que, dependendo do estágio de desenvolvimento das plantas, este poderá ser afetado pela pressão dos rodados e outros componentes das máquinas agrícolas.

O plantio direto visa manter no solo uma cobertura vegetal, que provém de culturas anteriores, sendo fonte de matéria seca com diferentes relações carbono/nitrogênio (C/N). Apresenta como vantagem a redução nos custos operacionais de mecanização, levando-se em consideração os aspectos conservacionistas das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (NAGAOKA; NOMURA, 2003).

O plantio direto preconiza manter a superfície do solo com a maior quantidade de resíduos possível e no maior tempo, evitando-se o efeito das intempéries do clima. Desse modo, o manejo da vegetação tem, por finalidade, cortar ou reduzir o comprimento dela e fornecer condições adequadas para a utilização de máquinas de preparo do solo e semeadoras (FURLANI et al., 2003).

No que se refere à análise econômica, Siemens e Doster (1992) recomendaram estudos para determinar o nível de produtividade ótimo para cada cultura e não procurar a máxima produtividade, bem como considerar os efeitos positivos da conservação do solo e da água nos cálculos econômicos, tanto no nível de propriedade, quanto no de sociedade. Esses mesmos autores citaram que se deve aprofundar em estudos quanto à eficiência de semear em altas quantidades de resíduos, determinar o leito de semeadura ideal e procurar reduzir os custos das máquinas, que, juntamente com os herbicidas, constituem os insumos de maior custo no sistema de plantio direto.

2.3. Semeadoras-Adubadoras de Plantio Direto

Dentre as máquinas usadas na moderna agricultura, a semeadora foi a que apresentou maiores alterações desde a sua concepção, no século XVII (BALASTREIRE, 1990). Apesar de toda a sua utilidade, o desenvolvimento tecnológico das semeadoras foi lento. A operação tornou-se vantajosa quando se observaram economia de insumos e sementes e a

regularidade de distribuição, acarretando maior produtividade das culturas. Contudo, para a obtenção dessa maior produtividade são necessários máquinas e equipamentos cada vez mais versáteis, precisos e de preço acessível; assim, as semeadoras passaram a despertar grande interesse por parte dos agricultores.

Os principais componentes das semeadoras de plantio direto que as diferenciam do preparo convencional são os dispositivos para o corte da cobertura vegetal, colocação de adubos e, ou, sementes e o controle de profundidade da semeadura (ASAE, 1996).

Entre os fatores que podem afetar o desempenho das semeadoras-adubadoras em ensaios de laboratório, Kurachi et al. (1989) citaram aqueles que devem ser obrigatoriamente observados: o nível de sementes no reservatório, velocidades simuladas de deslocamento, velocidades e regulagens básicas do mecanismo (dosagem) e as posições dele ou do equipamento ensaiado, em relação ao solo.

Ao avaliarem quatro semeadoras em solo argiloso para as culturas de soja e milho, Araújo et al. (1999) concluíram que as semeadoras apresentaram desempenhos diferenciados quanto à mobilização do solo e ao ambiente para a germinação e emergência das plantas de milho e soja. Esses autores concluíram ainda que os efeitos dos fatores: semeadora, velocidade e interação entre eles foram influenciados pelas condições iniciais do solo (teor de água, densidade aparente e resistência à penetração).

Arend et al. (2005) desenvolveram e avaliaram o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais. Concluíram que a configuração modular desenvolvida permitiu o compartilhamento de módulos, tornando fácil a mudança de função do equipamento, possibilitando o aumento de suas capacidades e melhorando o seu desempenho em termos da manutenção e reposição de peças. Esses mesmos autores constataram, ainda, que a flexibilidade da configuração modular não comprometeu o desempenho funcional da variante semeadora-adubadora.

2.4. Consumo de Energia

O consumo de energia nas operações agrícolas varia em função do tipo de solo e das condições em que este se encontra, do sistema de plantio e do maquinário, entre outros fatores.

Para Jenane et al. (1996), um trator agrícola deveria ser operado a uma relação de tração mínima e na sua máxima eficiência trativa, para assegurar o mínimo consumo específico de combustível.

A eficiência operacional de tratores agrícolas inclui, segundo Grisso et al. (2004), a maximização da eficiência mecânica e do combustível, dos dispositivos de tração para maximizar a eficiência trativa e da seleção ótima da velocidade de operação para determinado conjunto trator-implemento.

Segundo Garcia et al. (2005), é importante conhecer a capacidade da máquina, a fim de selecionar a potência e os equipamentos que desempenharão as operações agrícolas em tempo hábil, evitando, dessa forma, custos adicionais com máquinas superdimensionadas.

De acordo com Lopes et al. (2003) e Mialhe et al. (1996), o consumo de combustível pode ser apresentado como unidade de volume por unidade de tempo ($L h^{-1}$), em que não se considera a influência da variação da temperatura e nem relaciona com a potência desenvolvida. Outra forma de apresentar o consumo de combustível é por meio da unidade de massa por unidade de tempo ($kg h^{-1}$); nessa forma, apesar de considerar a influência da temperatura, também não contempla a potência; visto isso, a maneira mais técnica de apresentar o consumo é expressá-lo em unidade de massa por unidade de potência, ou seja, ($g kW h^{-1}$). Essa forma é conhecida como consumo específico e, pelo fato de considerar a massa de combustível por unidade de potência por hora de trabalho, pode ser usada para comparar tratores de tamanhos e formas diferentes.

O consumo de combustível pode ser diretamente afetado pelo sistema de preparo do solo utilizado, e, nesse sentido, Furlani (2000), avaliando uma semeadora de seis linhas para feijão, obteve maior consumo de combustível por área trabalhada em solo escarificado, seguido pelo

preparo convencional e plantio direto, com valores de 9,3; 7,6; e 7,1 L ha⁻¹, respectivamente.

No desempenho operacional de semeadoras-adubadoras de precisão na implantação da cultura do milho, em três velocidades de deslocamento, na operação de semeadura direta, em duas condições distintas de preparo do solo (semeaduras direta e convencional), Mahl (2002) concluiu que o aumento da velocidade de operação de 4,4 para 9,8 km h⁻¹ proporcionou um incremento de 31% no consumo horário de combustível.

Ao avaliar o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno, Furlani et al. (2004) observaram, na operação de semeadura sobre o solo preparado com escarificador, uma diferença de 2 L a mais em relação às semeaduras direta e convencional, fato esse provocado pela maior rugosidade superficial e pela maior profundidade da camada mobilizada do solo. O mesmo ocorreu com o consumo de combustível por área trabalhada, ou seja, entre o preparo convencional e a semeadura direta houve diferenças significativas, sendo menor na semeadura direta.

Com o objetivo de avaliar a demanda energética de uma semeadora-adubadora de plantio direto, submetida à variação de velocidade e condição de solo na cultura do milho, espaçadas de 0,45 m, Mahl et al. (2002) concluíram que a velocidade usada na operação interferiu no desempenho do conjunto trator/semeadora com relação à demanda energética. Esses autores encontraram, com relação ao consumo de combustível, aumento de 38% com a variação da velocidade.

2.5. Força na Barra de Tração

As necessidades de tração dos implementos agrícolas são dependentes de variáveis como solo e o próprio implemento. Dentro da variável solo, destacam-se a distribuição do tamanho de agregados, a textura, a estrutura, o teor de água no solo, a densidade do solo e os efeitos da declividade, da vegetação e dos resíduos de culturas anteriores (ASAE, 1996a).

A força de tração requerida para semeadoras de precisão varia em função do tipo de solo, do leito de semeadura e do número de linhas. Para solos argilosos, os valores variam de 1,10 a 2,00 kN por linha de semeadura (ASAE, 1996b).

Mantovani et al. (1992) obtiveram valores de força de tração entre 0,92 e 2,32 kN por linha, quando testaram cinco modelos comerciais de semeadoras-adubadoras de arrasto, com quatro linhas para milho, mecanismo sulcador de disco duplo para sementes e adubo, em solos argilosos, preparados convencionalmente e com velocidade de 4,5 e 6,0 km h⁻¹.

Ao estudar semeadoras equipadas com sulcadores dos tipos discos duplos e facão em solo argiloso, Collins e Fowler (1996) obtiveram valores para a força de tração de 0,20 a 1,12 kN por linha, respectivamente. Esses autores quantificaram, entre as velocidades de 6,0 e 10,0 km h⁻¹, que a força na barra de tração aumentou em 4% para cada incremento de 1,0 km h⁻¹ e em 20% para cada aumento de 1,0 cm de profundidade, independentemente do tipo de sulcador analisado.

Mahl et al. (2004), analisando a demanda energética na semeadura de milho em diferentes velocidades e preparo de solo (plantio direto e escarificação), observaram, para a força na barra de tração, que ela não foi influenciada pela forma de preparo do solo. Entretanto, com relação à velocidade, nas duas velocidades menores (4,4 e 6,1 km h⁻¹) a força de tração foi semelhante, e essas diferiram da maior velocidade testada (8,1 km h⁻¹). De acordo com Harrigan e Rotz (1994), a força de tração na operação de semeadura não é função da velocidade de operação. Ressalta-se, no entanto, que seus estudos foram conduzidos em solos com características e propriedades diferentes das dos solos brasileiros, fato que pode justificar a ocorrência de tal variação.

Ao estudarem a força de tração necessária em função do número de linhas de semeadura, Modolo et al. (2005) concluíram que a força de tração média na barra solicitada pela semeadora-adubadora variou em função do número de linhas utilizadas e da disposição das linhas na máquina. Com o aumento no número de linhas de semeadura de 1 para 5, a força de tração média na barra aumentou em 131,9%.

2.6. Potência na Barra de Tração

Mantovani et al. (1992), ao avaliarem a eficiência operacional de nove semeadoras-adubadoras em sistema convencional, em que três semeadoras continham duas linhas e seis semeadoras com quatro, concluíram que a demanda de potência na barra variou de 4,34 a 4,85 kW entre as semeadoras de duas e de 4,61 e 14,72 kW entre as de quatro linhas de plantio. Eles concluíram, ainda, que a demanda de potência média apresentada nos catálogos para as semeadoras estudadas foi maior, mesmo considerando os testes feitos em uma única condição de solo, com relação ao tipo, declividade e teor de água.

Ao avaliarem o desempenho de 10 semeadoras-adubadoras existentes no mercado nacional, Casão Júnior et al. (2000a) concluíram que as hastes respondem por uma parcela importante da força e potência exigidas para tracionar uma semeadora. Quanto à exigência de potência, os referidos autores encontraram variações entre 3,9 kW e 5,3 kW (5,3 cv e 7,2 cv, aproximadamente) por linha a 10 cm de profundidade, trabalhando a uma velocidade do conjunto (trator-semeadora) de 5,0 km h⁻¹, em todas as semeadoras estudadas.

Em um trabalho realizado no Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Araújo et al. (2001) observaram que, em solos muito argilosos, a potência exigida para tracionar uma semeadora, com sete linhas para soja e com haste sulcadora, dobrou quando a velocidade de operação aumentou de 4,5 km h⁻¹ para 7,7 km h⁻¹, passando de 30,87 kW para 58,07 kW (42 cv para 79 cv, aproximadamente). Já quando se utilizou o disco duplo, a potência aumentou de 56 para 84 cv, quando a velocidade de operação passou de 9,0 km h⁻¹ para 12,0 km h⁻¹.

Siqueira e Casão Júnior (2002), avaliando 18 semeadoras-adubadoras de plantio direto, determinaram a potência nominal máxima do trator em função da força máxima de tração exigida pelas semeadoras, em uma velocidade constante de 6,0 km h⁻¹. Com a potência no motor calculada de acordo com a velocidade trabalhada, o maior valor obtido foi de 80,57 kW (109,6 cv, aproximadamente) para a semeadora JM 5016 PG, em decorrência de sua maior velocidade (9,3 km h⁻¹), seguido pelas semeadoras

KK 7/4 e GA 2700 P, que exigiram, respectivamente, potências no motor de 68,43 kW e 62,26 kW (93,1 cv e 84,7 cv, aproximadamente).

Em trabalho sobre a demanda energética na implantação da cultura do milho, Mahl et al. (2004) observaram, com relação ao requerimento de potência na barra, que as condições de solo não interferiram nessa variável. No entanto, houve aumento gradativo na potência com o aumento da velocidade, de forma que, aumentando a velocidade de 4,4 km h⁻¹ para 8,1 km h⁻¹, houve um incremento de 96% no requerimento de potência. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira (1997) e Siqueira et al. (2001).

Silveira et al. (2005a), analisando a demanda de potência de uma semeadora-adubadora na cultura do milho em solo argiloso, encontraram, com o aumento da velocidade de 5,28 km h⁻¹ para 7,08 km h⁻¹, a uma mesma profundidade de trabalho, aumento na demanda de potência de 21,25% na profundidade de 6,8 cm e 45,69% na de 8,1 cm.

2.7. Rotação no Eixo do Motor

Elevados custos operacionais, aumento no consumo de combustível e rápido desgaste do trator se devem ao fato desses serem operados, na maioria das vezes, com altas rotações e marchas reduzidas, na faixa de potência máxima do motor. Na realização de operações motomecanizadas, em que o trator dispõe de potência acima da requerida na operação, pode-se trabalhar com rotações menores, com o objetivo de reduzir o consumo de combustível (MIRANDA et al., 2000). Para compensar a redução de velocidade ocasionada pela redução da rotação no eixo do motor, pode-se utilizar a mudança de marcha em níveis adequados de rotação, conforme resultados obtidos por Grogan et al. (1987). Há a possibilidade de aumentar a eficiência do uso do combustível em até 17%, através do escalonamento de marcha e redução na aceleração do motor, mantendo a mesma velocidade de operação (HUNT, 1995).

Silva et al. (2003) verificaram aumento de 71% no consumo de combustível da menor para a maior rotação no processo de semeadura da cultura do milho, quando utilizaram uma única marcha para o trator e quatro

rotações do motor. Para esses autores, é possível estabelecer marchas adequadas a rotações do motor, com o intuito de minimizar os gastos com combustível.

2.8. Velocidade de Operação do Conjunto Trator-Semeadora-Adubadora

Toda e qualquer operação com máquinas agrícolas deve levar em consideração a velocidade de operação do conjunto máquina/implemento, uma vez que esta influencia o consumo de combustível, a demanda de tração e a qualidade do serviço.

Moreira et al. (1978), Delafosse (1986) e Mantovani e Bertaux (1990) afirmaram que a velocidade de trabalho é um dos parâmetros que mais influenciam o desempenho de semeadoras e que a distribuição longitudinal de sementes no sulco de semeadura é afetada pela velocidade.

De acordo com a Embrapa (1997), um dos parâmetros de grande influência na precisão de distribuição de sementes no solo é a velocidade da máquina.

Furlani et al. (1999), avaliando a influência da velocidade de operação na profundidade de deposição de sementes na operação da semeadora da cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo, constataram que a profundidade de deposição de sementes não apresentou diferenças significativas nas duas velocidades (3,0 e 5,0 km h⁻¹).

Estudando o desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico, fase terraço, e um Latossolo Vermelho-Amarelo da Zona da Mata de Minas Gerais, em duas velocidades de deslocamento (5,0 e 7,0 km h⁻¹), Oliveira et al. (2000) observaram que o aumento da velocidade apresentou influência significativa sobre o número de sementes por hectare, população final de plantas, profundidade de semeadura e distribuição longitudinal.

Ao avaliarem o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora submetida a quatro velocidades de operação e duas profundidades para deposição de adubo no solo, no estabelecimento da cultura do milho, Silva e Silveira (2002) concluíram que a velocidade de operação de 6,0 km h⁻¹ propiciou maior estande de plantas, quantidade de

espigas e produtividade, quando realizada a adubação a uma profundidade de 10,0 cm, em comparação com as velocidades de deslocamentos de 9,0 e 11,2 km h⁻¹ e com a adubação superficial.

Em um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso álico, preparado convencionalmente, Mello et al. (2003) avaliaram, em dois experimentos, a influência da velocidade operacional de duas semeadoras-adubadoras com dois sistemas de distribuição longitudinal de sementes (pneumática e discos perfurados horizontalmente) na produtividade de grãos da cultura do milho. Concluíram que oito diferentes velocidades de semeadura entre 3,4 e 7,7 km h⁻¹, nas duas semeadoras estudadas, não afetaram a produtividade da cultura do milho.

Na demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetida a três velocidades de operação, Trintin et al. (2005) não observaram efeitos das velocidades sobre as variáveis força de tração e patinagem do rodado traseiro.

2.9. Patinagem dos Rodados-Motriz do Trator e da Semeadora

O movimento de uma roda pode ser considerado como a variação de três situações distintas: movida, autopropelida ou motriz. Na primeira situação, não há torque no eixo da roda, apenas a ação de uma força externa. Na condição de autopropelida, o torque é suficiente apenas para movimentar a roda sem que haja tração. Quando a roda desenvolve tração, ela passa a ser considerada motriz (WISMER; LUTH, 1973). Para esses autores, a passagem de uma situação para outra ocorre em função do aumento do patinamento, que será positivo quando houver torque na roda e ela desenvolver tração. A capacidade de tração na roda motriz aumenta conforme também aumenta o patinamento até um valor máximo.

Segundo Corrêa et al. (1995), entre os diversos termos utilizados na literatura para expressar o movimento relativo de um rodado-motriz sobre a superfície que o suporta (patinhagem, patinagem, deslizamento, patinamento), o mais adequado é a patinagem.

A faixa proposta pela ASAE (1996) para a patinagem em solos firmes é de 8% a 10%.

Em desempenho de semeadora-adubadora de plantio direto, Reis et al. (2003) encontraram maiores valores de patinagem com o incremento da velocidade e no mecanismo sulcador tipo facão. Camilo et al. (2004) encontraram, no mecanismo sulcador tipo disco duplo, maior valor médio de patinagem da roda motriz do trator. Atribuem-se essas discrepâncias de valores ao tipo de solo, quantidade de cobertura morta ou teor de água do solo. Esses mesmos autores concluíram, ainda, que o incremento na velocidade de operação aumentou o valor médio de patinagem da roda motriz do trator.

Gabriel Filho et al. (2004), avaliando o desempenho de um trator em solo com diferentes coberturas vegetais (nabo, aveia, ervilhaca, aveia e nabo e testemunha) no desenvolvimento da tração, observaram, entre os tratamentos, variações no patinamento dos rodados-motriz, sendo menor na área sem cobertura (testemunha) e maior na área coberta com aveia, que, por sua vez, não diferiu somente da área com nabo. Concluíram os esses autores que, em área onde existe cobertura vegetal, há alteração na interação do rodado com o solo, e a capacidade do trator em desenvolver a tração é afetada.

Liljedahl et al. (1995) relataram que o desempenho dos rodados no desenvolvimento da tração está relacionado com os parâmetros do solo, presença de resíduo ou cobertura morta, carga sobre o rodado e pressão do rodado.

2.10. Capacidade Operacional do Conjunto Mecanizado

Capacidade operacional de máquinas agrícolas, segundo Balastreire (1990), ASAE (1999) e Molin e Milan (2002), é a quantidade de trabalho que as máquinas e implementos agrícolas são capazes de executar por unidade de tempo, que pode ser efetiva e teórica.

Mahl et al. (2004), avaliando a demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação da velocidade e condição de solo, concluíram que não houve efeito residual do preparo de solo com escarificador após o período de 18 meses sobre as variáveis estudadas. A velocidade na operação de semeadura interferiu no desempenho do

conjunto trator/semeadora com relação à capacidade operacional efetiva e demanda energética.

Ao avaliar o desempenho de uma semeadora-adubadora direta em função da velocidade de operação, Branquinho et al. (2004) evidenciaram que a velocidade pode resultar em aumento da capacidade operacional efetiva sem prejudicar a produtividade.

Furlani et al. (2005), analisando uma semeadora-adubadora de precisão a diferentes velocidades e a condições de superfície do solo, verificaram que a capacidade operacional da semeadora foi maior quando o trator trabalhou na maior marcha ($M2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$) em solo preparado pelo método convencional e plantio direto. Porém, na escarificação, não encontraram diferença significativa.

2.11. Profundidade da Semente

Lopes et al. (2001), ao estudarem os efeitos do preparo do solo (semeadura direta, preparo reduzido com escarificador e convencional) e da velocidade de semeadura do milho, verificaram que na semeadura direta a profundidade das sementes apresentou valores menores em relação aos demais tratamentos. Segundo esses autores, isso pode ser explicado pela utilização da mesma regulagem da semeadora em todos os tratamentos, e a profundidade de semeadura atendeu ao intervalo citado como ideal pela Embrapa (1997), entre 3,0 e 5,0 cm, para solos argilosos.

Na avaliação de uma semeadora-adubadora na cultura do milho, Silva e Silveira (2002) constataram que a profundidade média de semeadura não foi alterada pelas diferentes velocidades de operação nem pelas profundidades de adubação, ficando essa profundidade em 3,6 cm.

Em relação à qualidade operacional da semeadura mecanizada de milho em sistema de plantio direto, Sugisawa et al. (2003) selecionaram sete indicadores de qualidade de operação em três unidades de semeadura, utilizando essa metodologia nas avaliações propostas por Peche Filho (1994). Os referidos autores encontraram valores de profundidade de sementes entre 2,5 e 7,0 cm, demonstrando que a operação não se

comportou dentro dos limites especificados e que, em 21% dos pontos, a profundidade de semeadura foi superior ao limite especificado.

Gonçalves (2007), ao avaliar os efeitos de diferentes velocidades de deslocamento e cargas aplicadas pelas rodas compactadoras no desenvolvimento inicial da cultura do milho, não encontrou diferenças significativas entre os valores médios de profundidade de semente nas velocidades de deslocamentos, e não houve interação entre os fatores (velocidade de operação *versus* cargas aplicadas). No entanto, segundo esse autor, no fator cargas aplicadas pelas rodas compactadoras a carga C4 (338 N) resultou em menor profundidade quando comparada com a carga C2 (131 N). Justifica-se tal fato pela possibilidade de a maior carga aplicada sobre a superfície do solo ter adensado a camada sobre a semente, resultando numa menor profundidade.

2.12. Distribuição Longitudinal da Semente

Kurachi et al. (1986) relataram que as semeadoras-adubadoras de diferentes tipos e modelos existentes no mercado brasileiro devem ter sua eficiência avaliada por meio de dois indicadores principais com relação à distribuição longitudinal de sementes, sendo eles a porcentagem de espaçamentos aceitáveis e o coeficiente de variação geral da produção de espaçamentos. Segundo esses autores, estudos apontaram a uniformidade de distribuição longitudinal de sementes como uma das características que mais contribuem para um estande adequado de plantas e, conseqüentemente, para a melhoria da produtividade das culturas.

Ao estudar o efeito da velocidade de operação de uma semeadora, Klein et al. (2002) concluíram que a velocidade de semeadura de soja não afetou significativamente o percentual de espaçamentos duplos ou falhos, nem o número de plântulas emergidas após 27 dias da semeadura; os referidos autores constataram que o número de plantas com espaçamento normal foi afetado apenas em uma velocidade e em uma linha.

O espaçamento entre sementes, por faixa de espaçamentos, variou com a velocidade de operação e não diferiu significativamente em função da profundidade de adubação, com exceção do percentual de duplos, em que a

menor velocidade teve o maior porcentual de espaçamentos aceitáveis e, conseqüentemente, os menores de espaçamentos duplos e de falhas (SILVA; SILVEIRA, 2002).

Ao analisarem a distribuição longitudinal de sementes em função do mecanismo dosador de sementes, Silveira et al. (2005b) observaram dispersão elevada dos dados em todos os tratamentos, independentemente do tipo de semeadora utilizada e da velocidade de operação adotada, conforme Pimentel Gomes e Garcia (2002). Esses altos valores de coeficiente de variação indicaram que a distribuição das plantas no campo não é uniforme, e mesmo com a diminuição da velocidade ou a utilização de mecanismos mais sofisticados, como é o caso do sistema pneumático de distribuição de sementes, essa dispersão continuou elevada. Eles atribuíram os altos valores de CV(%) à ocorrência da variação nas dimensões das sementes, à altura de queda e à velocidade de queda no tubo de sementes, pois esses fatores tendem a desuniformizar a distribuição longitudinal das plantas.

A distribuição longitudinal de sementes na operação de semeadura, segundo Cortez et al. (2006), pode sofrer interferências com o escalonamento de marchas do trator, ocasionadas pela velocidade de operação do conjunto trator/semeadora. Eles, ao avaliarem o espaçamento entre plantas com diferentes escalonamentos de marchas, concluíram que, na maior velocidade de operação, a quantidade de espaçamentos aceitáveis foi menor, o que resultou em aumento na quantidade de espaçamentos falhos. Resultados semelhantes foram encontrados por Garcia et al. (2006), avaliando a influência da velocidade de operação na semeadura do milho.

Com o objetivo de verificar o desempenho de uma semeadora-adubadora em função da velocidade de operação e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo, Branquinho et al. (2004), analisando a distribuição longitudinal de sementes, notaram que os espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos foram, em média, de 45,3; 23,1; e 31,6% na velocidade de 5,2 km h⁻¹, entretanto na velocidade de 7,3 km h⁻¹ foram, em média, de 44,3; 23,1; e 32,5%. Para os citados autores, menos da metade das sementes foi depositada com espaçamentos adequados.

Gonçalves (2007), ao avaliar o espaçamento longitudinal de sementes em diferentes velocidades de deslocamento e cargas aplicadas sobre a roda compactadora, concluiu que a velocidade de operação não alterou a uniformidade de distribuição de sementes.

2.13. Índice de Velocidade de Emergência (IVE)

Em tecnologia de sementes, a germinação é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando sua capacidade em dar origem a uma plântula normal, sob condições ambientais favoráveis (MARCOS FILHO et al., 1987).

Considera-se como semente germinada, segundo prescrições das Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 1992), aquela que demonstre sua aptidão para produzir plântula normal em condições favoráveis de campo.

Para analisar a influência da porcentagem de espaço livre entre sementes e orifícios dos discos na eficiência de semeadura, Santos et al. (2003) concluíram que a germinação de sementes não sofreu influência da porcentagem de espaço livre entre as sementes, os discos e a velocidade de operação, com a porcentagem de germinação de sementes ficando próxima dos 100%.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de laboratório foram conduzidos no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná e no Departamento de Agronomia da Fundação Assis Gurgacz, ambos em Cascavel, PR, e no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

Neste trabalho foi empregada a combinação de quatro escalonamentos de marchas e três rotações no eixo do motor do trator, utilizando-se uma semeadora-adubadora de precisão em sistema de plantio direto, na cultura do milho, em um Latossolo Vermelho distroférico típico.

O experimento de campo foi implantado e conduzido no Campo Experimental da Fundação Assis Gurgacz (Figura 1), em Cascavel, PR, no período de setembro a novembro de 2006.

A localização geográfica da área experimental está definida pelas coordenadas 24° 56' 30" de latitude sul e 53° 30' 28" de longitude oeste, com uma altitude média de 760 m e declividade entre 0 e 3%.

Conforme a classificação de Köppen (1948), o clima da região é do tipo Cfa, com temperaturas moderadas, chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno, a média de temperatura é inferior a 16 °C, e, nos meses de verão, as máximas superam 30 °C, com temperatura média anual de 21 °C. A umidade relativa média do ar é de 75%, e os ventos sopram na direção nordeste/sudoeste e leste/oeste com velocidade média entre 3,0 e 46 km h⁻¹. A precipitação pluviométrica mensal é de 163 mm e a média anual, de 1.956 mm (CASCAVEL, 2007).



Figura 1 – Vista geral da área experimental.

3.1. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As variáveis relacionadas à caracterização física do solo foram avaliadas em blocos e as demais variáveis, em arranjo fatorial 4 x 3, com 12 tratamentos, constituídos de quatro velocidades de deslocamento obtidas em função dos escalonamentos de marchas e de três rotações do motor do trator, totalizando 48 unidades experimentais.

Cada unidade experimental foi constituída com 5 m de largura por 30 m de comprimento, perfazendo uma área de 150 m². Entre os blocos foram deixados 15 m de largura para o tráfego do conjunto trator-semeadora, manobras e estabilização deles antes do início da aquisição dos dados. A área total utilizada para o experimento foi de 9.900 m² (0,99 ha). Na Tabela 1 está a descrição dos tratamentos.

Tabela 1 – Relação e descrição dos tratamentos utilizados no experimento

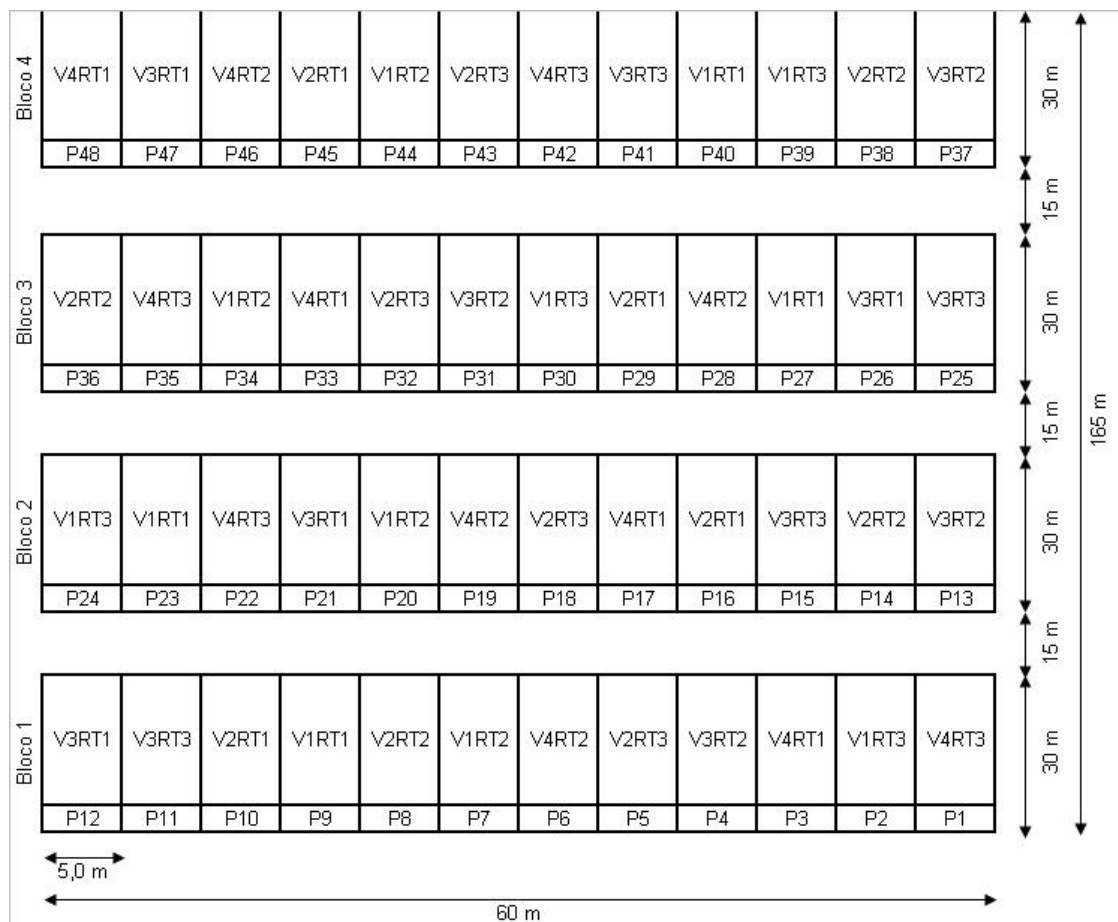
Tratamentos	Descrição
T1 = V1RT1	Velocidade de operação de 3,5 km h ⁻¹ (3 ^a LO*) na rotação de 1.500 rpm
T2 = V1RT2	Velocidade de operação de 3,5 km h ⁻¹ (2 ^a HI**) na rotação de 1.900 rpm
T3 = V1RT3	Velocidade de operação de 3,5 km h ⁻¹ (2 ^a HI) na rotação de 2.100 rpm
T4 = V2RT1	Velocidade de operação de 4,0 km h ⁻¹ (4 ^a LO) na rotação de 1.500 rpm
T5 = V2RT2	Velocidade de operação de 4,0 km h ⁻¹ (3 ^a LO) na rotação de 1.900 rpm
T6 = V2RT3	Velocidade de operação de 4,0 km h ⁻¹ (2 ^a HI) na rotação de 2.100 rpm
T7 = V3RT1	Velocidade de operação de 5,5 km h ⁻¹ (4 ^a HI) na rotação de 1.500 rpm
T8 = V3RT2	Velocidade de operação de 5,5 km h ⁻¹ (4 ^a LO) na rotação de 1.900 rpm
T9 = V3RT3	Velocidade de operação de 5,5 km h ⁻¹ (3 ^a LO) na rotação de 2.100 rpm
T10 = V4RT1	Velocidade de operação de 7,0 km h ⁻¹ (5 ^a HI) na rotação de 15.00 rpm
T11 = V4RT2	Velocidade de operação de 7,0 km h ⁻¹ (4 ^a HI) na rotação de 1.900 rpm
T12 = V4RT3	Velocidade de operação de 7,0 km h ⁻¹ (5 ^a LO) na rotação de 2.100 rpm

* LO = lenta.

** HI = alta.

3.2. Croqui da Área Experimental

Na Figura 2, pode-se observar o croqui ilustrativo da área experimental com a disposição dos blocos, das unidades experimentais e dos tratamentos.



P = parcela

Figura 2 – Croqui da distribuição dos blocos e tratamentos na área experimental.

3.3. Máquinas e Implementos Agrícolas

3.3.1. Trator

Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator marca FORD, modelo 7630 4 x 2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 75,8 kW (103 cv) no motor a 2.100 rpm e massa em ordem de embarque de 3.580 kg sem lastro e 6.196 kg com lastro máximo. Durante o ensaio, o trator encontrava-se com lastragem máxima, ou seja, lastro frontal, nos pneus do trator e nas rodas.

3.3.2. Semeadora-Adubadora de Precisão

No experimento foi utilizada uma semeadora-adubadora marca Tatu Marchesan PST³ de arrasto (Figura 3), com mecanismos dosadores de sementes do tipo disco perfurado horizontal, modelo BR 8.1, de dimensões de 11,0 x 8,0 mm, furos oblongos com 28 furos e anel AM000 liso de 4,3 mm, disco de corte de 20", discos duplos para distribuição de sementes e sulcadores tipo haste (facão) para adubo, rodas controladoras de profundidades e rodas compactadoras em "V".



Figura 3 – Vista frontal da semeadora-adubadora.

Durante o ensaio foram utilizadas seis unidades de semeadura. A relação de transmissão utilizada no processo de semeadura e adubação foi de 34 dentes na engrenagem motriz e 28 na engrenagem movida para o adubo e 38 na engrenagem motriz e 28 na engrenagem movida para sementes. As especificações técnicas da semeadora-adubadora estão descritas no Quadro 1.

Para as avaliações da qualidade de semeadura (profundidade da semente, espaçamento longitudinal de sementes e índice de velocidade de emergência), utilizaram-se as quatro linhas centrais de semeadura.

Quadro 1 – Especificações técnicas da semeadora-adubadora PST³

Largura útil	3.400 mm
Altura	1.750 mm
Comprimento	4.600 mm
Peso	3.390 kg
Capacidade do reservatório de adubo	1.210 kg
Capacidade do reservatório de sementes	360 kg
Número máximo de linhas	9 linhas
Potência para tração (haste)	69,18 – 79,49 kW (94 - 108 cv)
Potência para tração (disco duplo)	49,31 – 55,94 kW (67 – 76 cv)
Número de rodados	4 rodas

Fonte: Manual de operação e manutenção da máquina – MARCHESAN, 2007.

3.3.3. Pulverizador

Foi utilizado um pulverizador Falcon Vortex Horti da marca Jacto montado no sistema de levante hidráulico (SLH), com capacidade nominal de 600 L, equipado com uma barra de pulverização de 14 m de comprimento e espaçamento entre bicos de 0,50 m. Esse pulverizador foi utilizado para dessecar a área experimental antes da implantação do experimento.

Durante o desenvolvimento da cultura, utilizou-se um pulverizador costal com capacidade para 20 L, da marca Jacto, para aplicação de herbicidas na linha de semeadura.

3.4. Insumos Agrícolas

Foram utilizadas sementes de milho híbrido AG 405, com 100% de pureza e 98% de germinação mínima, conforme dados da empresa (Agroceres). O fertilizante empregado teve a formulação NPK 8-20-20, na dosagem recomendada de 330 kg ha⁻¹. Também foi realizada uma operação de dessecção dos resíduos da cultura anterior (centeio) com herbicida Glifosato na dosagem de 1,8 L ha⁻¹.

3.5. Caracterização Física da Área Experimental

3.5.1. Solo da Área Experimental

3.5.1.1. Biomassa da Cobertura Vegetal

A biomassa da cobertura vegetal no local do experimento foi proveniente da palhada de centeio, cultura que existia antes, manejada com rolo-faca e dessecada quimicamente, sendo o equipamento tracionado pelo conjunto mecanizado.

Para a coleta do material foi utilizado um quadrado de madeira (Figura 4) de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), no qual se coletaram oito amostras antes do processo de semeadura, em todas as unidades experimentais, as quais foram secas até atingir massa constante em estufas a 65 °C. Após a secagem, os valores foram expressos em t ha⁻¹.

3.5.1.2. Textura do Solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico, com relevo variando de plano a suave e textura muito argilosa. As frações texturais do solo da área experimental foram de 6,80% de areia, 17,80% de silte e 75,40% de argila, conforme análise.



Figura 4 – Quadro de madeira utilizado para a coleta da biomassa da cobertura vegetal.

3.5.1.3. Teor de Água no Solo

Na fase inicial do experimento, foram coletadas oito amostras de solo para determinar o seu teor de água, nas profundidades de 0 até 0,10 m e de 0,10 até 0,20 m em cada unidade experimental. As amostras foram coletadas após a determinação da resistência mecânica do solo à penetração e antes do início da semeadura. O solo coletado foi acondicionado em cápsulas de alumínio, que foram vedadas e levadas ao laboratório para pesagem. O método utilizado para determinar o teor de água no solo foi o gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 – 110 °C até a massa constante, conforme Embrapa (1997), sendo os valores expressos em kg kg^{-1} .

3.5.1.4. Massa Específica do Solo

A massa específica do solo foi determinada nas profundidades de 0 até 0,10 m e de 0,10 até 0,20 m em cada unidade experimental. O método utilizado foi o do anel volumétrico, descrito em Embrapa (1997). As amostras foram coletadas e acondicionadas em cápsulas de alumínio, lacradas e levadas ao laboratório. Procederam-se à amostragem antes da aplicação

dos tratamentos, sendo retiradas oito amostras em cada unidade experimental. Os resultados foram expressos em kg m^{-3} .

3.5.1.5. Resistência Mecânica do Solo à Penetração

Esta resistência foi obtida por um penetrômetro modelo PNT-2000 (Figura 5).

A coleta dos dados foi feita em 12 pontos distintos em cada unidade experimental. Os valores estão apresentados em forma de gráficos, na profundidade de 0 até 0,30 m, e expressos em MPa. Para efeito de análise, consideraram-se as profundidades de 0 até 0,20 m, as mesmas realizadas para o teor de água no solo e massa específica deste. O tipo de cone utilizado para a realização das coletas de dados foi o do tipo 2 (médio), com 129 mm.



Figura 5 – Vista superior do penetrômetro utilizado.

As especificações técnicas do aparelho estão descritas no Quadro 2.

Quadro 2 – Especificações técnicas do penetrômetro PNT-2000

Alimentação	Bateria interna recarregável Carregador de bateria “inteligente” em fonte 110/220 Vca
Tipos de cones	De acordo com a norma ASAE S313.3: - Cone tipo 1 (grande) : 323 mm - Cone tipo 2 (médio) : 129 mm - Cone tipo 3 (pequeno) : 49 mm
Profundidade máxima de penetração	600 mm
Medição de força	Célula de carga de capacidade máxima de 1.000
Medição de profundidade	Por sensor ultra-sônico, com precisão de 1 mm
Comunicação com GPS	Protocolo de comunicação NMEA-0183
Comunicação com o computador	Interface serial RS-232C
Capacidade de memória	1.228 ensaios

3.6. Avaliação dos Parâmetros Operacionais

3.6.1. Profundidade do Sulco

A profundidade do sulco foi determinada utilizando-se régua graduada e planilhas para anotações das leituras nas quatro linhas de semeadura, com 15 leituras por linha. A obtenção dos dados de profundidades do sulco se deu com a inserção da régua dentro do sulco de semeadura, onde foi realizada a leitura da profundidade do fundo do sulco à superfície do solo, conforme Figura 6.



Figura 6 – Determinação da profundidade do sulco de semeadura.

3.6.2. Área Mobilizada do Solo

Para determinação da área mobilizada de solo, foi utilizado um perfilômetro, construído em alumínio, com réguas verticais graduadas em centímetros e dispostas a cada 0,02 m, no sentido transversal (Figura 7). A determinação da área mobilizada de solo foi realizada em três perfis:

- Perfil da superfície natural do solo, obtido com o perfilômetro colocado transversalmente à linha de direção do equipamento, antes da realização da operação de semeadura.
- Perfil da superfície final do solo, obtido com o perfilômetro colocado no mesmo local que o anterior, após a realização da operação de semeadura.

A área mobilizada de solo foi determinada conforme a equação 1:

$$A_m = \sum (P_N - P_S) e \quad \text{eq. 1}$$

em que:

A_m = área mobilizada (m^2);

P_N = altura do perfil da superfície natural do solo em cada ponto do perfilômetro (m);

P_s = altura do perfil da superfície final do solo em cada ponto do perfilômetro (m), após a realização da operação de semeadura; e
 e = espaçamento entre réguas verticais (m).



Figura 7 – Perfilômetro utilizado para determinação da área mobilizada.

3.7. Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados utilizado foi um Datalogger CR23X da *Campbell Scientific* (Figura 8), com capacidade de memória de 128 kb para monitorar, gravar e armazenar continuamente os dados obtidos em campo, a uma frequência de 4 Hz (quatro leituras por segundo).

Os sinais gerados pelos transdutores são do tipo analógico. Foi monitorada a velocidade de operação, força de tração durante o processo de semeadura, rotação na tomada de potência (TDP), consumo de combustível e patinação dos rodados-motriz do trator e da semeadora.



Figura 8 – Sistema de aquisição de dados.

3.8. Potência Requerida na Barra de Tração

Determinou-se a potência média requerida na barra de tração, conforme a equação 2.

$$P_m = F_m V_m \quad \text{eq. 2}$$

em que:

P_m = potência média na barra de tração (kW);

F_m = força de tração média (kN) na barra de tração; e

V_m = velocidade média de deslocamento (m s^{-1}).

3.8.1. Força de Tração

A determinação da força de tração requerida pela semeadora-adubadora foi realizada por uma célula de carga SODMEX, modelo N400, com sensibilidade de $2,156 \text{ mV V}^{-1}$, acoplada entre o trator e a semeadora (Figura 9). O pino que prende a barra de tração foi retirado de modo que esta ficasse livre e toda a força de tração solicitada pela semeadora-adubadora fosse aplicada à célula de carga. A força de tração média foi determinada pela equação 3.

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \times 0,0098 \quad \text{eq. 3}$$

em que:

F_m = força de tração média (kN);

F_i = força de tração instantânea (kgf);

n = número de dados registrados; e

0,0098 – fator de conversão para kN.



Figura 9 – Vista geral da montagem para a medição da força de tração.

3.8.2. Velocidade de Deslocamento do Conjunto Mecanizado

Uma unidade de radar da “Dickey-John”, modelo DjRVS II (Figura 10) e com erro menor que $\pm 3\%$ para velocidades de 3,2 a 70,8 km h⁻¹, foi utilizada para monitorar a velocidade instantânea.

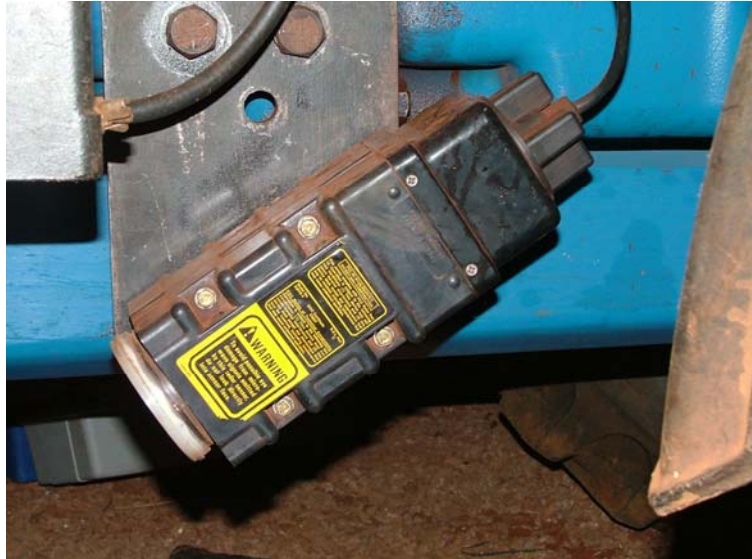


Figura 10 – Unidade de radar para medição da velocidade instantânea.

3.9. Capacidade Operacional Teórica

Mediante a velocidade de trabalho e das medições da largura efetiva de semeadura, calculou-se a capacidade operacional teórica conforme a equação 4 (MIALHE, 1974).

$$Cct = \frac{V_m L}{10} \quad \text{eq. 4}$$

em que:

Cct = capacidade operacional teórica (ha h⁻¹);

L = largura de plantio (m); e

V_m = velocidade média de deslocamento (km h⁻¹).

3.10. Consumo de Combustível

O consumo de combustível foi determinado utilizando-se dois medidores volumétricos FLOWMATE M-III, modelo LSN40, representado na Figura 11.

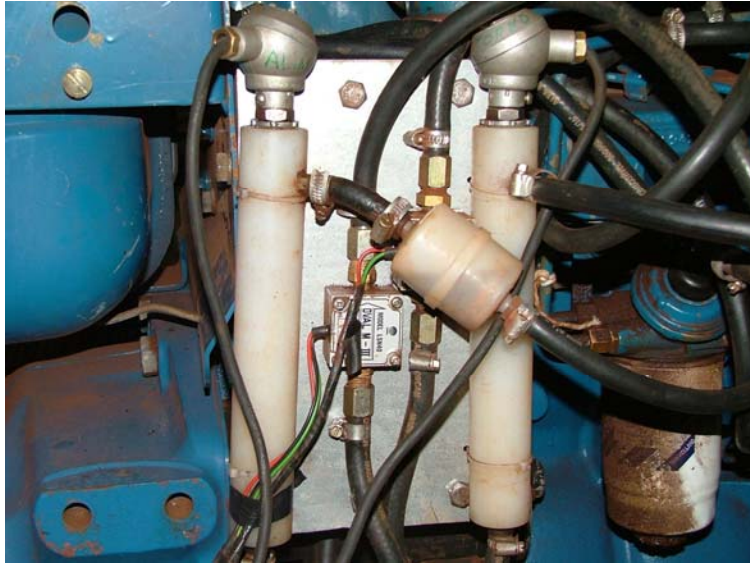


Figura 11 – Medidor de combustível.

O sinal de saída é do tipo impulso e de precisão de $1 \text{ mL impulso}^{-1}$, em que os dados coletados eram armazenados no sistema de aquisição de dados “Datalogger CR23X”. Um dos medidores foi instalado na linha de alimentação do combustível antes dos filtros secundários, e o outro medidor quantificou o volume de combustível, que retornou dos bicos injetores. Os valores de consumo horário de combustível (Ch) foram expressos em L h^{-1} .

3.10.1. Consumo Específico de Combustível

Considerando que o consumo específico de combustível é definido como o consumo horário por unidade de potência, o mesmo foi determinado utilizando-se a equação 5.

$$Ce = \frac{Ch}{Pb} d \quad \text{eq. 5}$$

em que:

Ce = consumo específico de combustível (g kW h^{-1});

Ch = consumo horário de combustível (L h^{-1});

Pb = potência na barra de tração (kW); e

d = densidade do combustível (g L^{-1}).

3.10.2. Consumo de Combustível por Área Mobilizada

Após a utilização do perfilômetro para determinação da área de solo mobilizada, o consumo de combustível por área mobilizada de solo foi calculado pela equação 6.

$$Ca_m = \frac{Ce}{A_m} \quad \text{eq. 6}$$

em que:

Ca_m = consumo de combustível por área mobilizada ($\text{kg kW}^{-1} \text{h}^{-1} \text{m}^{-2}$);

Ce = consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$); e

A_m = área de solo mobilizada (m^2).

3.10.3. Consumo de Combustível por Área Trabalhada

Após a determinação da capacidade operacional teórico, determinou-se o consumo de combustível por área trabalhada, através da equação 7.

$$C_{cat} = \frac{Ch}{C_{ct}} \quad \text{eq. 7}$$

em que:

C_{cat} = consumo de combustível por área trabalhada (L ha^{-1});

Ch = consumo horário de combustível (L h^{-1}); e

C_{ct} = capacidade operacional teórica (ha h^{-1}).

3.11. Patinagem das Rodas Motrizes do Trator

A patinagem das rodas motrizes do trator foi obtida utilizando-se placas de chumbo posicionadas na parte interna das rodas traseiras do trator. Na parte interna do pára-lama, foram colocados os sensores indutivos modelo IB-5M-18CA-NA/XL (Figura 12), que geravam pulsos elétricos, convertendo o movimento rotativo em movimento linear.

Os sinais gerados eram armazenados no Datalogger CR23X. A patinagem foi calculada conforme a equação 8.

$$P = 100 \frac{\frac{\sum P_u}{60} P_R - L}{\frac{\sum P_u}{60} P_R} \quad \text{eq. 8}$$

em que:

P = patinagem das rodas motrizes (%);

$\sum P_u$ = somatório de pulsos armazenados no deslocamento dentro da unidade experimental;

P_r = perímetro da roda traseira do trator (m); e

L = comprimento da unidade experimental (m).



Figura 12 – Sensor indutivo e placas de chumbo acopladas ao rodado traseiro do trator.

3.12. Rotação no Eixo do Motor

Foram utilizados um sensor ótico infravermelho e uma roda dentada com 60 ranhuras (Figura 13), que gerou uma relação de 60 impulsos por volta.



Figura 13 – Vista geral dos instrumentos utilizados para determinar a rotação no eixo do motor.

A roda foi empregada na determinação da rotação do eixo do motor, sendo acoplada à tomada de potência (TDP) do trator, juntamente com o sensor ótico infravermelho. Através do catálogo do fabricante do trator, foi possível determinar qual a relação de transmissão entre a rotação no eixo do motor e a rotação da TDP. Conhecendo a relação de transmissão e o número de impulsos gerados pela roda dentada acoplada à TDP, determinou-se, então, a rotação na tomada de potência do trator (TDP) e, conseqüentemente, a do motor.

3.13. Avaliação da Qualidade da Semeadura

3.13.1. Profundidade de Deposição das Sementes

Foi determinada medindo-se o comprimento do epicótilo à semente, em 25 plantas por linha, realizando a amostragem em quatro linhas de cada unidade experimental.

Com uma tesoura de poda, cortou-se a parte aérea da planta rente ao solo e, com o auxílio de uma espátula, retirou-se a parte sob o solo. Com uma régua, mediu-se o comprimento do epicótilo até a semente, o que correspondeu à profundidade de deposição da semente, conforme visto na Figura 14.



Figura 14 – Profundidade de deposição da semente.

3.13.2. Distribuição Longitudinal das Sementes

Foi obtida medindo-se o espaçamento entre 25 sementes no leito de semeadura, em cada unidade experimental, nas quatro linhas logo após o processo de semeadura (Figura 15).



Figura 15 – Distribuição longitudinal das sementes.

Depois de computados os valores de espaçamento, calcularam-se os tipos de espaçamentos normais, duplos e falhos, sendo eles expressos em porcentagem, sobre o número total verificado. Para isso, utilizou-se a metodologia proposta por Kurachi et al. (1989).

Os limites adotados foram definidos pela amplitude de variação em relação a um valor de referência obtido em função do espaçamento e população utilizados, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de tolerância das variações dos espaçamentos (X_i) entre sementes e o tipo de espaçamento considerado

Tipo de Espaçamento	Intervalo de Tolerância para Variação de X_i
Duplos	$X_i < 0,5 * X_{ref}$
Normais	$0,5 * X_{ref} < X_i < 1,5 * X_{ref}$
Falhos	$X_i > 1,5 * X_{ref}$

X_i = espaçamento entre sementes obtido a campo, ou por ocasião do cálculo da relação de transmissão e do número de sementes a ser distribuídas por área.

X_{ref} = valor de referência obtido em função do espaçamento e número de sementes.

Fonte: KURACHI et al., 1989.

3.13.3. Patinagem da Roda Motriz da Semeadora-Adubadora

Foi determinada utilizando-se dois sensores indutivos, modelo IB-5M-18CA-NA/XL, que são emissores de sinal, que detectam, sem contato direto, elementos metálicos que atravessam seu campo magnético, convertendo em sinal elétrico.

Os sensores foram acoplados a uma engrenagem motriz (Figura 16). Pela relação entre o número de voltas da roda acionadora de distribuição de sementes, foi determinada a patinagem ao longo de todo o comprimento da unidade experimental.



Figura 16 – Vista lateral da disposição do sensor utilizado para determinar a patinação dos rodados-motriz da semeadora-adubadora.

3.14. Germinação e Emergência de Plantas

3.14.1. Germinação em Laboratório

A germinação de plântulas de milho em laboratório ocorreu em caixa gerbox, com areia e água destilada. Sob condições controladas de alguns fatores externos, de maneira a permitir uma germinação mais regular e rápida de determinada quantidade de sementes de milho (*Zea mays* L.), foram selecionadas 400 sementes, divididas em oito amostras, contendo 50 sementes em cada caixa plástica na profundidade de 5 cm. Nas caixas plásticas, foram colocados 630 g de areia e 300 mL de água destilada, para propiciar umidade às sementes. A contagem da germinação foi realizada a partir do quarto dia após o início do teste e teve o seu encerramento no oitavo dia depois do início do teste.

3.15. Emergência em Campo

3.15.1. Índice de Velocidade de Emergência

O índice de emergência no leito de semeadura nas quatro linhas da unidade experimental foi calculado por planilhas com anotações das leituras. Estas foram determinadas a partir do quinto dia após a semeadura, sendo anotadas o número de sementes emergidas em cada linha de semeadura, numa área de 9,0 m² (3 x 3 m). A contagem de sementes emergidas foi encerrada depois da sua estabilização.

O Índice de Velocidade de Emergência (IVE) foi calculado pelo somatório da razão do número de plantas emergidas no quinto dia, contado a partir da primeira contagem, e assim sucessivamente até a sua estabilização. Para o cálculo do IVE, foi utilizada a equação 9.

$$IVE = \sum_{i=1}^n \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n} \quad \text{eq. 9}$$

em que:

IVE = Índice de Velocidade de Emergência;

N₁ = número de plântulas emergidas na primeira contagem;

D₁ = número de dias da semeadura até a primeira contagem;

N₂ = número de plântulas emergidas entre a primeira e a segunda contagem;

D₂ = número de dias da semeadura até a segunda contagem;

N_n = número de plântulas emergidas entre a penúltima e a última contagem; e

D_n = número de dias da semeadura até a última contagem.

3.15.2. Tempo Médio de Emergência

O cálculo do tempo médio de emergência (TME), em dias, foi feito tendo como referência a equação 10, descrita por Özmerzi et al. (2002).

$$T_m = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} \quad \text{eq. 10}$$

em que:

T_m = tempo médio de emergência (dias);

$N_{1...n}$ = número de sementes emergidas desde a primeira contagem; e

$T_{1...n}$ = número de dias após a semeadura.

3.16. Custo de Combustível

3.16.1. Custo Horário de Combustível

O cálculo foi realizado usando-se uma relação direta do consumo de combustível gasto por hora com o preço do óleo diesel de R\$ 1,89 L⁻¹ (26/10/2007), determinado pela equação 11.

$$CHC = Ch * 1,89 \quad \text{eq. 11}$$

em que:

CHC = R\$ L⁻¹;

Ch = consumo horário de combustível, L h⁻¹; e

1,89 = valor em reais do litro de óleo diesel.

3.16.2. Custo de Combustível por Área Trabalhada

Analogamente ao item 3.14.1., o cálculo foi realizado usando-se uma relação direta do consumo de combustível gasto por área trabalhada com o preço do óleo diesel de R\$ 1,89 L⁻¹, (26/10/2007), determinado pela equação 12.

$$CAT = Ccat * 1,89 \quad \text{eq. 12}$$

em que:

CAT = custo de combustível por área trabalhada, R\$ ha⁻¹;

Ccat= consumo de combustível por área trabalhada, L ha⁻¹; e

1,89 = valor, em real, do litro de óleo diesel.

3.17. Análise Estatística

Os resultados das variáveis de massa seca da cobertura vegetal, teor de água e massa específica do solo foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas pelo teste de F. A demanda energética e a qualidade da operação de semeadura (distribuição longitudinal de sementes, profundidade de plantio e deslizamento das rodas motrizes da semeadora) foram analisadas em esquema fatorial. Quando a interação entre os fatores velocidades de deslocamento em função das marchas do trator e das rotações do motor não foi significativa, utilizou-se a estatística descritiva.

3.17.1. Análise de Regressão

Os resultados do efeito das velocidades de deslocamento em função das marchas do trator e das rotações no motor para os parâmetros avaliados (profundidade do sulco, área mobilizada do solo, força na barra de tração, consumo de combustível, patinagem dos rodados do trator e da semeadora-adubadora, capacidade operacional teórica, profundidade de deposição das sementes, distribuição longitudinal de sementes, índice de velocidade de emergência, tempo médio de emergência, custo horário de combustível e custo de combustível por área trabalhada). Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de t a 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação. A análise estatística dos dados foi realizada por meio do software SAEG 9.0 (UFV, 2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados na forma de figuras e tabelas. Quando apresentarem interação significativa, serão discutidos com base no teste de regressão (teste de t) a 5% de probabilidade, adotando-se o melhor modelo a partir do coeficiente de determinação (r^2) de maior grau. Nas tabelas de testes de médias, as médias seguidas da mesma letra minúsculas em cada coluna e, maiúscula em cada linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A ausência de letras indica que as médias não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.1. Caracterização Física da Área Experimental

4.1.1. Solo da Área Experimental

4.1.1.1. Biomassa da Cobertura Vegetal

Os resultados obtidos a partir da análise de variância da biomassa da cobertura vegetal estão representados na Tabela 3. Não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Os valores médios da biomassa em todos os tratamentos (Figura 17) variaram de 1,77 a 2,93 t ha⁻¹, com média geral de 2,41 t ha⁻¹. A quantidade de biomassa é importante para a manutenção da umidade do solo e proteção física do solo, além de disponibilizar nutrientes para culturas posteriores, como também suprimir plantas invasoras. Boller e Gamero (2002) encontraram 3,08 t ha⁻¹ de biomassa da cobertura do solo para centeio, quando avaliaram o acúmulo de matéria seca e supressão de plantas daninhas por culturas para cobertura do solo.

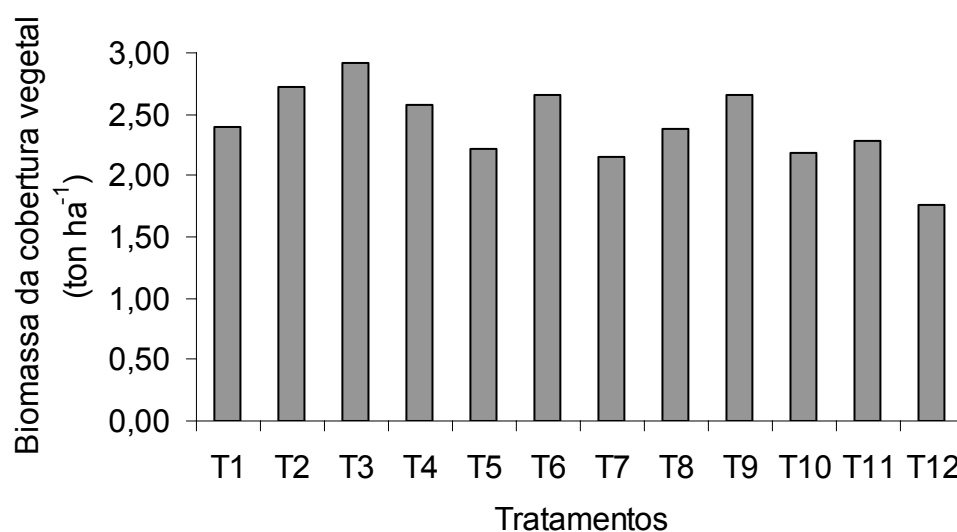


Figura 17 – Valores médios da biomassa da cobertura vegetal dos respectivos tratamentos.

A quantidade de biomassa da cobertura vegetal pode influenciar o desempenho do conjunto trator-semeadora-adubadora, por exemplo, na velocidade de operação do conjunto.

O quadro da análise de variância da biomassa da cobertura vegetal é apresentado na Tabela 1A (Apêndice A).

4.1.1.2. Teor de Água no Solo e Massa Específica do Solo

A caracterização física de um solo é fundamental para a compreensão de seu estado no campo e para a previsão do seu comportamento em determinadas situações. Uma dessas situações está relacionada com a demanda energética de conjuntos mecanizados e com o desenvolvimento da cultura implantada.

Na Tabela 3, encontram-se os valores médios do teor de água no solo e massa específica do solo nas profundidades de 0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m. Nos parâmetros analisados, não foram verificadas diferenças significativas ($p > 0,05$).

Tabela 3 – Valores médios do teor de água no solo (U) e de massa específica do solo (Ms)

Tratamentos	Parâmetros			
	U (kg kg ⁻¹)	Ms (Mg m ⁻³)	U (kg kg ⁻¹)	Ms (Mg m ⁻³)
	0 – 0,10 (m)		0,10 – 0,20 (m)	
T1	0,32	1,02	0,27	1,10
T2	0,32	1,02	0,26	1,11
T3	0,32	1,02	0,26	1,09
T4	0,31	1,04	0,29	1,11
T5	0,34	1,07	0,26	1,11
T6	0,32	1,05	0,25	1,11
T7	0,32	1,01	0,24	1,11
T8	0,33	1,05	0,24	1,06
T9	0,33	1,08	0,24	1,12
T10	0,31	1,04	0,26	1,13
T11	0,33	10,8	0,26	1,06
T12	0,31	1,09	0,24	1,15
Média	0,32	1,05	0,26	1,11
CV (%)	6,68	6,02	12,80	4,47
DMS	5,31	0,16	8,10	0,12

Os teores médios de água e de massa específica no solo, na profundidade de 0 - 0,10 m, foram de 0,32 kg kg⁻¹ e 1,05 Mg m⁻³, respectivamente, e na profundidade de 0,10 - 0,20 m os valores médios foram de 0,26 kg kg⁻¹ e 1,11 Mg m⁻³, nos respectivos parâmetros.

O quadro da análise de variância do teor de água no solo e da massa específica do solo, nas profundidades de 0 até 0,10 e de 0,10 até 0,20 m, é apresentado nas Tabelas 2A, 3A, 4A e 5A (Apêndice A).

4.1.1.3. Resistência Mecânica do Solo à Penetração

Os valores médios de resistência mecânica do solo à penetração (MPa) em função da profundidade (m) encontram-se na Figura 18.

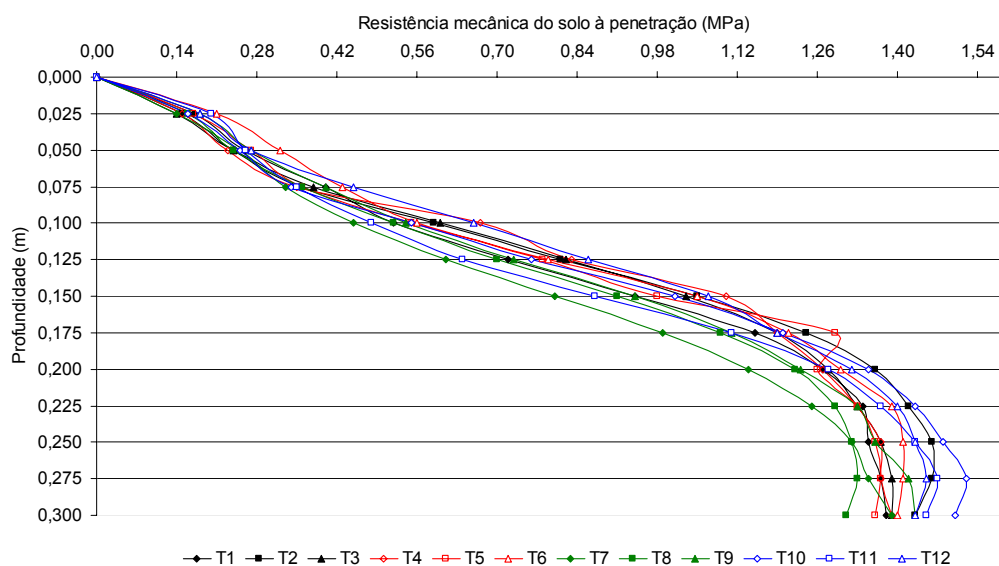


Figura 18 – Gráfico de resistência mecânica do solo à penetração (MPa).

Os dados referentes aos tratamentos não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), porém os dados referentes às profundidades, sim. Os teores médios de água no solo, nas profundidades de 0 até 0,10 e 0,10 até 0,20 m, foram de 0,32 e 0,26 kg kg⁻¹, respectivamente. Os valores médios de massa específica do solo nas profundidades analisadas (0 até 0,10 e de

0,10 até 0,20 m) foram de 1,05 e 1,11 Mg m⁻³. Observa-se na Figura 19 que, na profundidade do solo de 0 - 0,10 m, as resistências mecânicas do solo à penetração tiveram comportamento semelhante em todos os tratamentos, aumentando com a profundidade. O maior valor encontrado nessa profundidade ocorreu no tratamento T4, com valor médio de 0,67 MPa, e o teor médio de água no solo desse tratamento foi de 0,31 kg kg⁻¹. Na profundidade de 0,10 até 0,20 m, o maior valor observado foi o do tratamento T2, com 1,36 MPa e teor médio de água no solo de 0,32 kg kg⁻¹.

Esses resultados podem ser explicados: no plantio direto existe mínima mobilização do solo na linha de semeadura, e durante os anos ocorre compactação subsuperficial, que vai transferindo para profundidades maiores, devido ao tráfego de máquinas e implementos; contudo, essa compactação não atingiu valores críticos, que impediriam a emergência e desenvolvimento das plantas, como visto neste trabalho. Segundo Silva et al. (2002), a partir de 2 MPa de resistência mecânica à penetração os crescimentos radicular e aéreo das plantas são comprometidos. Já para Foloni et al. (2003) a resistência mecânica à penetração a partir de 1,4 MPa compromete o crescimento radicular da cultura do milho.

4.2. Parâmetros Operacionais

4.2.1. Profundidade do Sulco para Deposição do Adubo

Verificou-se que a profundidade do sulco foi influenciada pela velocidade de operação do conjunto mecanizado, não sendo observado o mesmo na rotação do eixo do motor do trator. Entretanto, houve interação significativa entre a velocidade de operação e a rotação no eixo do motor.

O quadro da análise de variância da profundidade do sulco para deposição do adubo é apresentado na Tabela 6A (Apêndice A).

Para avaliar o efeito significativo da interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor na profundidade do sulco de deposição do adubo, foi realizado o teste de regressão (teste t) a 5% de probabilidade. O resultado da análise indicou que a profundidade do sulco independe da rotação no eixo do motor do trator e, sim, da velocidade

de operação do conjunto mecanizado. Pode-se observar, na Figura 19, que os dados tiveram comportamento linear e que, a cada unidade de variação na velocidade de operação do conjunto mecanizado para maior, teve-se um decréscimo na profundidade do sulco do adubo na ordem de 0,0053 m.

O coeficiente de determinação verificado na regressão linear entre a profundidade do sulco do adubo e as velocidades de operação do conjunto mecanizado foi de 0,94. Portanto, esse resultado evidencia que os 94% da variação na profundidade foram explicados pela variação da velocidade, ficando os demais por conta de outros fatores inerentes à velocidade de operação.

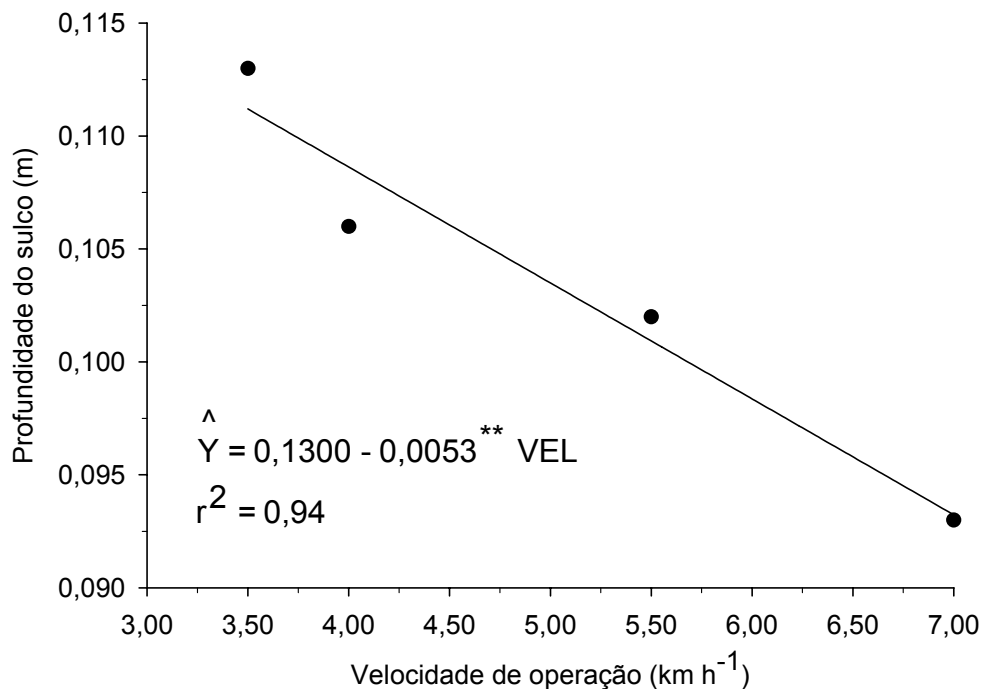


Figura 19 – Estimativa da profundidade do sulco do adubo em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

A haste sulcadora trabalhou na profundidade apropriada (0,10 m), apresentando pouca variação. Foi verificado na maior velocidade (V4) menor profundidade do sulco (0,0929 m) e na menor velocidade (V1), maior profundidade (0,1114 m). Resultados semelhantes foram encontrados por

Casão Júnior et al. (2000b), porém diferiram dos observados por Mahl (2004) e Casão Júnior et al. (2001), quando constataram maiores profundidades do sulco nas menores velocidades de deslocamento.

A diminuição na profundidade do sulco para a deposição do adubo quando do aumento da velocidade de operação pode ser atribuída aos mecanismos sulcadores do tipo haste. Estes tendem a se aproximar da superfície do solo, mesmo sendo regulado para depositar o adubo em profundidades preestabelecidas. A rugosidade do solo, a umidade e a resistência mecânica do solo à penetração, entre outros fatores, podem interferir nessa variável.

4.2.2. Área Mobilizada de Solo

A análise de variância da área mobilizada de solo apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para a velocidade de operação, rotação no eixo do motor e para interação entre os fatores.

O quadro da análise de variância da área mobilizada de solo é apresentado na Tabela 7A (Apêndice A).

A análise de regressão indicou que a velocidade de operação apresenta influência significativa na área mobilizada de solo.

O modelo ajustado considerando os níveis de velocidades apresentou comportamento linear (Figura 20), com coeficiente de determinação de 0,92, e que, para cada unidade de aumento da velocidade de operação do conjunto mecanizado, tem-se um acréscimo na área mobilizada de solo de $0,0008 \text{ m}^2$, sendo menor na velocidade de $3,5 \text{ km h}^{-1}$ e maior na velocidade de $7,0 \text{ km h}^{-1}$, com valores de $0,0069$ e $0,0097 \text{ m}^2$, respectivamente. Esse resultado pode ser justificado pelo aumento da velocidade de operação, que tende a levantar os mecanismos sulcadores aproximando-se da superfície do solo, fazendo com que a profundidade diminuísse, aumentando a área mobilizada de solo, com tendência à desagregação dele pela haste sulcadora, além do tipo e do ângulo de ataque. A adesão de solo nos sulcadores devido ao seu teor de água ($0,32 \text{ kg kg}^{-1}$), na profundidade de 0 até 010 m (Tabela 3), pode ter contribuído para o aumento de área mobilizada.

Com o aumento da velocidade de 3,5 para 7,0 km h⁻¹, houve um incremento de 41% na área mobilizada de solo, por linha de semeadura. Silva et al. (2001), trabalhando em solo argiloso, não verificaram esse comportamento na área mobilizada de solo na semeadura do milho quando aumentaram a velocidade de operação.

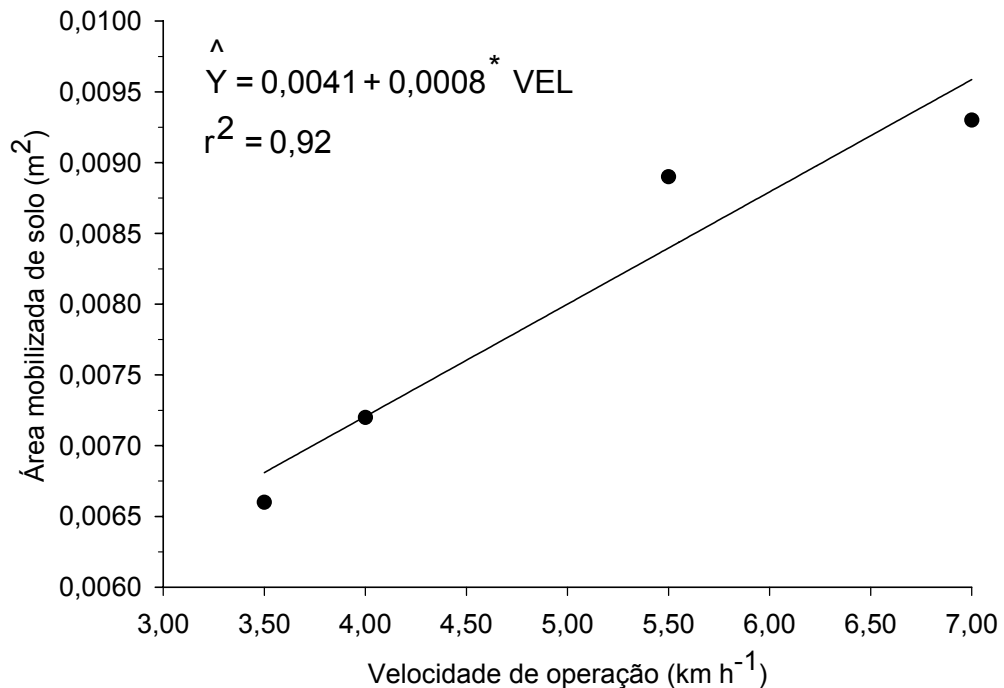


Figura 20 – Estimativa da área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

4.3. Velocidade de Operação do Conjunto Mecanizado

Para atender aos objetivos propostos para a otimização do consumo de combustível variando a velocidade de operação e as rotações no eixo do motor do trator, foram determinados os escalonamentos de marchas que atendessem aos respectivos fatores (velocidade e rotação), apresentados na Tabela 1.

Houve variação na velocidade preestabelecida com as velocidades médias obtidas pelo radar. Contudo, nas diferentes rotações do motor isso não foi observado, sendo em cada rotação no eixo do motor (1.500; 1.900; e

2.100 rpm) as médias correspondentes a 5,31; 5,29; e 5,38 km h⁻¹, respectivamente.

Na Tabela 4, apresenta-se o desdobramento da interação entre os fatores velocidades de deslocamento e rotações no motor, obtidos pelo radar. A variabilidade da velocidade pode estar associada a parâmetros avaliados, os quais são discutidos posteriormente. O coeficiente de variação do monitoramento da velocidade de operação obtido pelo radar foi de 4,45%, o que pode ser considerado baixo. Esse resultado está de acordo com o de Tompkins et al. (1988), segundo os quais o uso do radar para monitorar a velocidade de operação apresenta baixos coeficientes de variação quando monitorada em vegetação rasteira.

Tabela 4 – Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor na velocidade de operação

Velocidade (km h ⁻¹)	Rotação no Eixo do Motor (rpm)			Média
	1.500	1.900	2.100	
3,5	3,43 A d	3,34 A d	3,71 A c	3,49 D
4,0	4,64 A c	4,45 A c	3,80 B c	4,29 C
5,5	5,94 A b	5,94 A b	6,31 A b	6,06 B
7,0	7,24 B a	7,42 AB a	7,70 A a	7,45 A
Médias	5,31 a	5,29 a	5,38 a	
CV (%)	4,45			

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha e de mesmas letras maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4. Rotação no Eixo do Motor

Não se verificou diferença significativa do fator velocidade de operação, não ocorrendo o mesmo na rotação do eixo do motor e na interação entre os fatores. A diferença observada na rotação era esperada, pois já havia sido predefinida para a realização do ensaio.

O desdobramento da interação entre a velocidade de operação *versus* rotação no eixo do motor do conjunto mecanizado está apresentado na Tabela 5. Pode-se, nessa tabela, verificar, em todas as rotações definidas, que estas apresentaram variações para menor em relação às rotações predeterminadas. Essa oscilação nas médias dos tratamentos está relacionada com a perda da aceleração do motor com a rotação na tomada de potência (TDP), medida pelo transdutor acoplado a ela em função do escalonamento de marcha.

Tabela 5 – Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, na rotação do eixo do motor

Velocidade (km h ⁻¹)	Rotação no Eixo do Motor (rpm)			Média
	1.500	1.900	2.100	
3,5	1.402 C ab	1.778 B a	1.974 A ab	1.718 A
4,0	1.375 C b	1.760 B a	1.980 A a	1.711 A
5,5	1.399 C ab	1.780 B a	1.951 A bc	1.710 A
7,0	1.412 C a	1.778 B a	1.944 A c	1.705 A
Médias	1.397 c	1.774 b	1.962 a	
CV (%)	15,00			

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha e de mesmas letras maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5. Patinagem dos Rodados-Motriz do Trator

A velocidade de operação e rotação no eixo do motor não apresentou diferenças significativas na patinagem dos rodados-motriz do trator, entretanto a interação entre os fatores foi significativa a 5% de probabilidade, pelo teste de F. Foram observados, durante os ensaios de patinagem dos rodados-motriz (direito e esquerdo) do trator, comportamentos semelhantes.

Para identificar as variáveis de maior influência na patinagem dos rodados-motriz do trator, foi efetuado um teste de regressão (teste de t) a 5% de probabilidade, em que não se constatou influência da velocidade de

operação e da rotação no eixo do motor. Tal resultado evidencia, pela análise de regressão, que a patinação dos rodados do trator se comportou como uma variável independente da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor, atribuindo-se a isso outros fatores, que podem estar contribuindo para os valores de patinação encontrados neste trabalho, a exemplo do tipo de pneu e da superfície de contato. Gabriel Filho et al. (2004) salientaram que um excesso de cobertura vegetal tende a contribuir para o aumento da patinação e, conseqüentemente, diminuir a velocidade de operação.

O desdobramento da interação entre a velocidade de operação *versus* rotação no eixo do motor do conjunto mecanizado para a patinação dos rodados-motriz do trator está apresentado na Tabela 6. Os valores médios de patinação dos rodados do trator nas velocidades de deslocamento de 3,5; 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹ foram de 8,80; 7,76; 7,99; e 6,66%, respectivamente, e nas rotações do motor de 1.500; 1.900; e 2.100 rpm foram de 8,08; 8,22; e 7,10%, respectivamente, sendo consideradas adequadas e próximas da faixa ótima de patinação preconizada pela ASAE (1996) e por Mialhe (1996).

Tabela 6 – Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, na patinação dos rodados-motriz do trator (%)

Velocidade (km h ⁻¹)	Rotação no Eixo do Motor (rpm)			Média
	1.500	1.900	2.100	
3,5	8,17 A a	9,38 A ab	8,84 A a	8,80 A
4,0	8,49 A a	6,95 A aB	7,84 A a	7,76 A
5,5	7,42 A ab	10,95 A a	5,59 A b	7,99 A
7,0	8,25 A a	5,62 A b	6,13 A a	6,66 A
Médias	8,08 a	8,22 a	7,10 a	
CV (%)	28,02			

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha e de mesmas letras maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.6. Requerimento de Força na Barra de Tração

4.6.1. Força Requerida na Barra de Tração

O fator velocidade de operação afetou a força média na barra de tração, não sendo verificado para a rotação no eixo do motor e para a interação entre velocidade de operação e rotação no eixo do motor.

Na Figura 21, apresenta-se o gráfico da estimativa da força na barra de tração em função da velocidade de operação. Nota-se, nessa figura, comportamento linear decrescente. Ou seja, para cada valor acrescido na velocidade de operação do conjunto mecanizado ocorre diminuição na força requerida na barra de tração de 0,3196 kN.

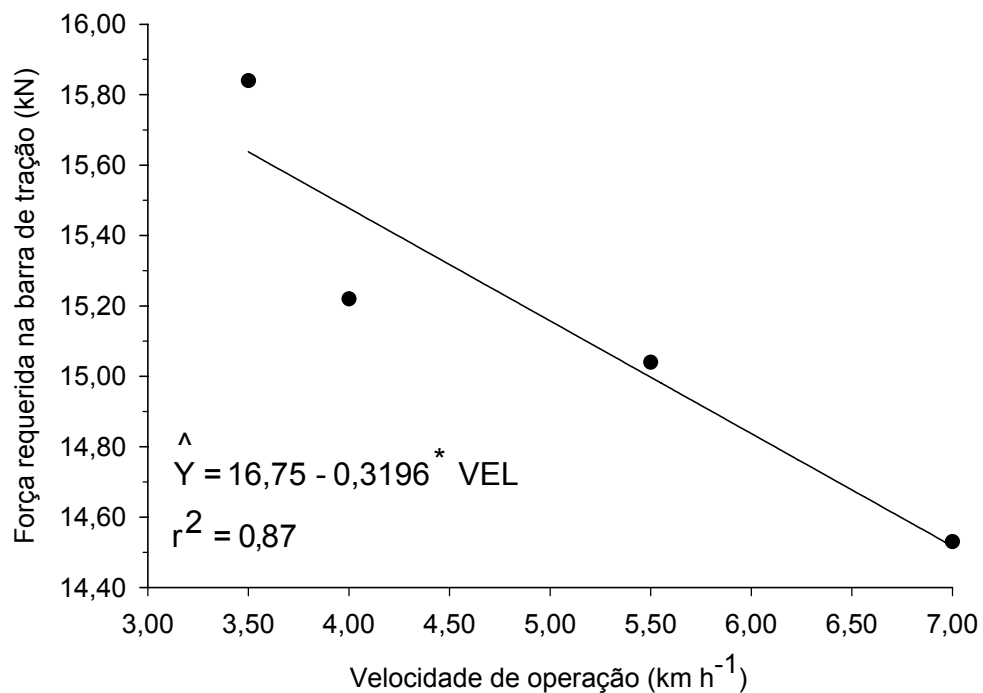


Figura 21 – Estimativa da força requerida na barra de tração em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

Collins e Fowler (1996) encontraram, para cada incremento de velocidade, aumento no requerimento de força na barra de tração. Pinheiro Neto et al. (2004) constataram aumento da força na barra de tração de 8% quando a velocidade de operação passou de 5,6 para 10,8 km h⁻¹, quando trabalharam em sistema de plantio direto em um Latossolo Vermelho distrófico. O mesmo não foi observado nesse experimento, em que se verificou decréscimo da força requerida na barra de tração quando aumentou a velocidade de 3,5 para 7,0 km h⁻¹. Tal fato resultou numa perda percentual de 9% da força requerida na barra de tração, o que, para efeito de cálculo no dimensionamento do conjunto, deve ser levado em consideração. Uma explicação para o ocorrido pode ser atribuída ao peso da semeadora-adubadora, em que, à medida que se efetua a semeadura, o nível do depósito de adubo e sementes tende a diminuir, exigindo, assim, menor esforço para tracionar o equipamento, bem como as condições físicas do solo (teor de água, massa específica e resistência mecânica do solo à penetração).

4.6.2. Força Requerida na Barra de Tração por Linha de Semeadura

A análise de variância da força requerida na barra de tração por linha de semeadura não apresentou significância na rotação no eixo do motor e na interação velocidade de operação e rotação no eixo do motor, apresentando somente para o fator velocidade de operação.

O gráfico da regressão estimada da força requerida na barra de tração por linha de semeadura encontra-se na Figura 22. O modelo ajustado para a variável em estudo apresentou comportamento linear e declividade da reta decrescente com o aumento da velocidade e coeficiente de determinação de 0,87; a cada incremento na velocidade de operação do conjunto mecanizado, a força média na barra de tração por linha de semeadura diminuiu em 0,0533 kN.

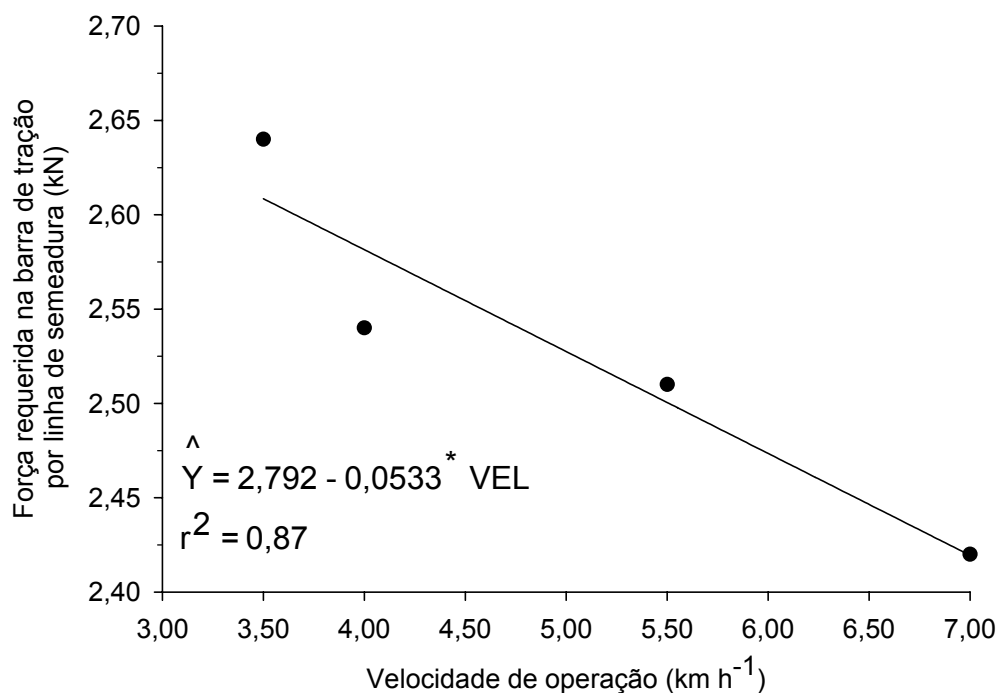


Figura 22 – Estimativa da força requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

A menor velocidade de operação exigiu maior força de tração requerida por linha (2,61 kN) e a maior velocidade, menor força (2,42 kN), resultando numa diferença percentual de 9,1% para menos. Bortolotto et al. (2005), avaliando a demanda energética de uma semeadora-adubadora modelo PST³ Suprema com oito unidades de semeadura, em diferentes velocidades de deslocamento e tipos de cobertura vegetal, encontraram valores da força de tração requerida por linha de semeadura de 1,62; 1,64; e 1,76 kN, quando trabalharam com velocidades similares às utilizadas neste trabalho. Em estudo sobre a demanda energética de uma semeadora, Modolo et al. (2005) verificaram aumento percentual de 126,41% na força de tração requerida quando aumentaram de uma para cinco linhas de semeadura, e os valores obtidos ficaram abaixo dos encontrados neste trabalho. Os resultados de força de tração requerida (kN) por linha de semeadura neste experimento para operação de semeadura e adubação estão dentro da faixa preconizada pela ASAE (1999b).

4.6.3. Força Requerida na Barra de Tração por Profundidade do Sulco

A análise de variância da força requerida na barra de tração por profundidade do sulco apresentou comportamento semelhante aos itens 4.6.1 e 4.6.2, ou seja, a velocidade de operação exibiu diferença significativa pelo teste de F a 5% de probabilidade.

O gráfico de regressão do parâmetro avaliado (força requerida na barra de tração por profundidade do sulco) é apresentado na Figura 23.

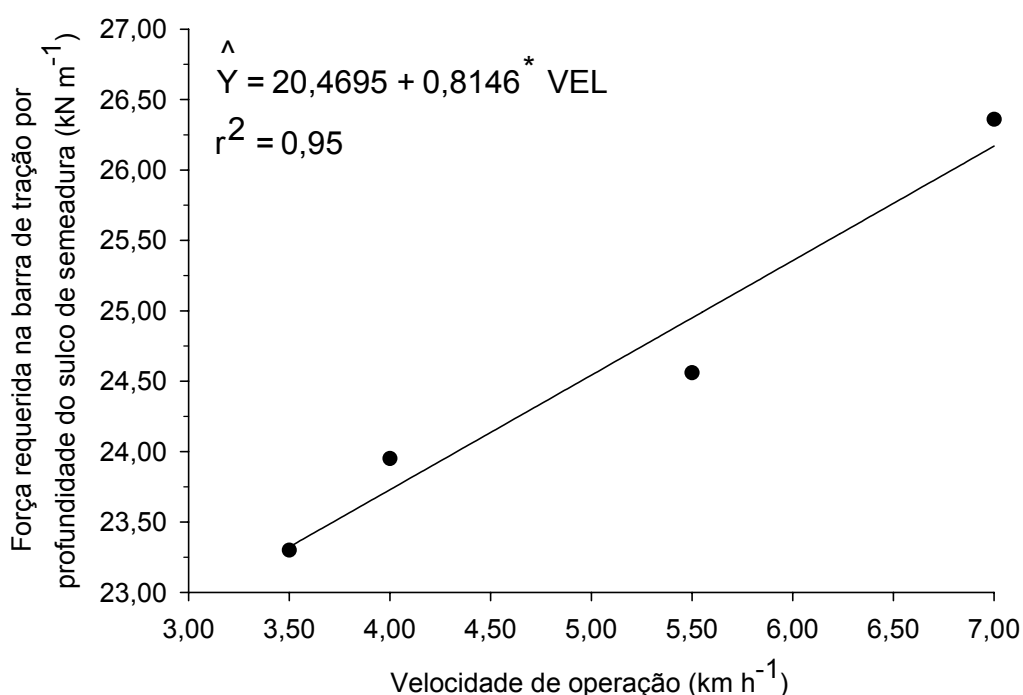


Figura 23 – Estimativa da força requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

O modelo foi adotado com base no coeficiente de determinação de maior grau, em que se verificou, dentre os modelos observados, que o de melhor representatividade foi o tipo polinomial linear. O coeficiente de determinação foi de 0,95, e a cada unidade acrescida na velocidade de operação do conjunto mecanizado houve aumento de 0,8146 kN m⁻¹ na força requerida na barra de tração por profundidade do sulco.

A força requerida na barra de tração por profundidade do sulco aumentou com a velocidade de operação. Contudo, à medida que a profundidade era reduzida com a elevação da velocidade, a força de tração por profundidade do sulco aumentava. Esses resultados diferem dos encontrados por Casão Júnior et al. (2000c) e Siqueira et al. (2001), nos quais o aumento da velocidade de operação não aumentava a força requerida na barra de tração em relação à profundidade do sulco. Contudo, resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa foram verificados por Mahl (2004), quando variou a velocidade de operação.

4.6.4. Força Requerida na Barra de Tração por Área Mobilizada de Solo

Com relação à força requerida por área mobilizada de solo, pôde-se verificar que os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, bem como a interação entre eles, foram significativos. Esse resultado implica adotar a análise de regressão para verificar, entre os fatores analisados, qual o de maior representatividade na variável em estudo.

Em relação à força requerida na barra de tração por área mobilizada de solo para os fatores estudados, a regressão linear apresentou significância na velocidade de operação. Essa diferença pode ser visualizada na Figura 24, em que é apresentado o modelo ajustado para o fator em estudo, determinado pelo coeficiente de determinação (r^2) de maior grau.

O coeficiente de determinação desse modelo foi 0,91, e 9% da variação da força de tração requerida na barra por área mobilizada de solo não pôde ser explicada pela análise. Observou-se que, a cada unidade acrescida na velocidade de operação, a força de tração por área mobilizada diminui em 294,94 kN m⁻².

Os valores médios da força na barra de tração por área mobilizada de solo nas velocidades testadas foram de 2.508; 2.360; 1.918; e 1.475 kN m⁻², da menor para a maior velocidade. Esses valores estão abaixo dos determinados por Mahl (2004), quando avaliou o desempenho de semeadoras-adubadoras em plantio direto na cultura do milho, e acima dos obtidos por Bortolotto et al. (2005).

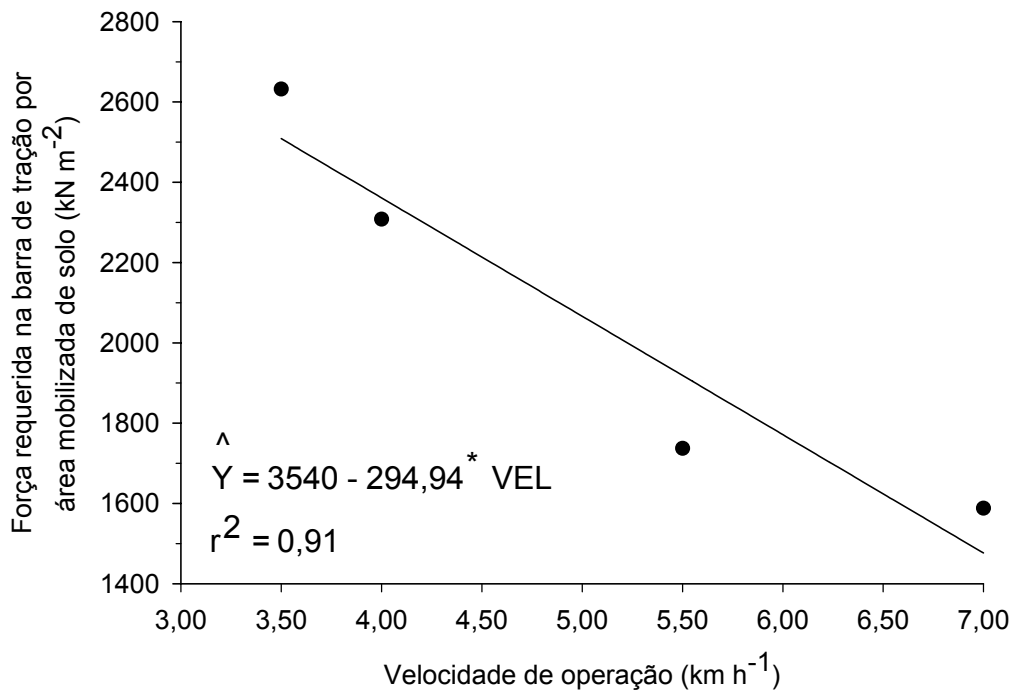


Figura 24 – Estimativa da força requerida na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

4.7. Capacidade Operacional Teórica

O resultado da análise de variância da capacidade operacional teórica apresentou diferença significativa na velocidade e na interação entre as variáveis independentes. Com relação à velocidade, esse resultado era esperado, uma vez que tais diferenças foram determinadas distintamente. Esse resultado implicou adotar a análise de regressão (teste de t a 5% de probabilidade) para determinar quais variáveis independentes teriam maior influência na variável em estudo (capacidade operacional teórica).

A análise de regressão indicou que a velocidade de operação apresenta influência significativa na área mobilizada de solo.

O modelo ajustado considerando os níveis de velocidades apresentou comportamento linear crescente (Figura 25), com coeficiente de determinação de 0,99. A cada unidade acrescida na velocidade de operação do conjunto mecanizado a capacidade operacional teórica aumenta em 0,3042 ha h⁻¹. Trintin et al. (2005) observaram incremento na capacidade

operacional teórica quando variaram a velocidade de operação na semeadura de soja sob plantio direto. Furlani et al. (2005), variando a velocidade de operação e condições de superfície do solo, encontraram aumento de 10,01% na capacidade operacional, quando se elevou a velocidade de operação de 5,9 para 7,0 km h⁻¹.

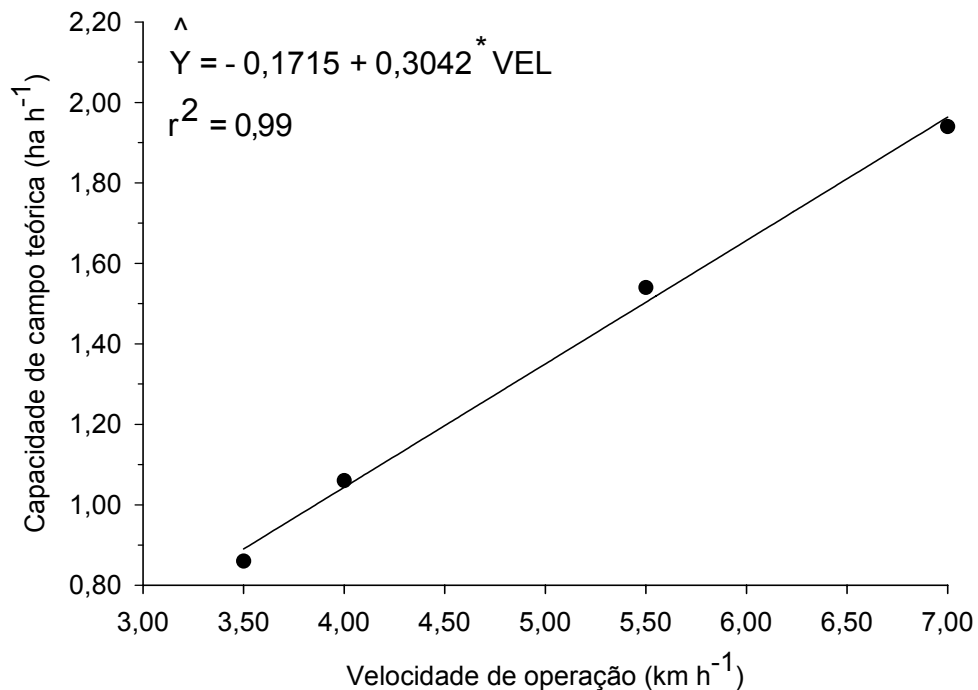


Figura 25 – Estimativa da capacidade operacional teórica em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

O aumento na velocidade de operação de 3,5 para 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹ permitiu aumentar a capacidade operacional em 17,98; 68,54; e 120,23%, respectivamente, com valores médios de 0,89; 1,05; 1,50; e 1,96 ha h⁻¹, para 3,5; 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹, respectivamente. Esse aumento pode ser significativo quanto ao tempo de operação de semeadura. Entretanto, devem-se observar o consumo de combustível e a qualidade da semeadura, pois ambos tendem a contribuir para o aumento dos custos de produção e para a qualidade da operação de semeadura.

4.8. Demanda Energética do Conjunto Mecanizado

4.8.1. Requerimentos de Potências na Barra de Tração

4.8.1.1. Potência Requerida na Barra de Tração

Um dos fatores que contribuem para o sucesso da semeadura é a correta seleção e utilização de máquinas e implementos agrícolas. Pois é através desta e do conhecimento de alguns parâmetros, entres eles potência demandada e consumo de combustível, que se pode determinar a eficiência operacional do conjunto mecanizado, com o mínimo dispêndio de energia.

Observou-se, pela análise de variância, que o comportamento estatístico da interação dos fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, com relação ao parâmetro avaliado, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), sendo verificado o mesmo nos fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor. Sabendo-se que a interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor influencia a demanda de potência requerida na barra de tração, procurou-se um modelo que melhor representasse a influência dos fatores (variáveis independentes) sobre a potência média na barra de tração (variável dependente).

Em relação à potência requerida na barra de tração, a velocidade de operação foi significativa, com acréscimos na demanda de potência. Ou seja, com o aumento na velocidade de operação, houve incremento gradativo da potência requerida na barra de tração. O coeficiente de determinação (r^2) foi 0,99, portanto 99% dos resultados puderam ser explicados (Figura 26). Isso significa que as duas variáveis se movem na mesma direção, com forte correlação, e que, a cada aumento na velocidade de operação, ocorre um incremento de 4,1108 kW na demanda de potência requerida na barra de tração.

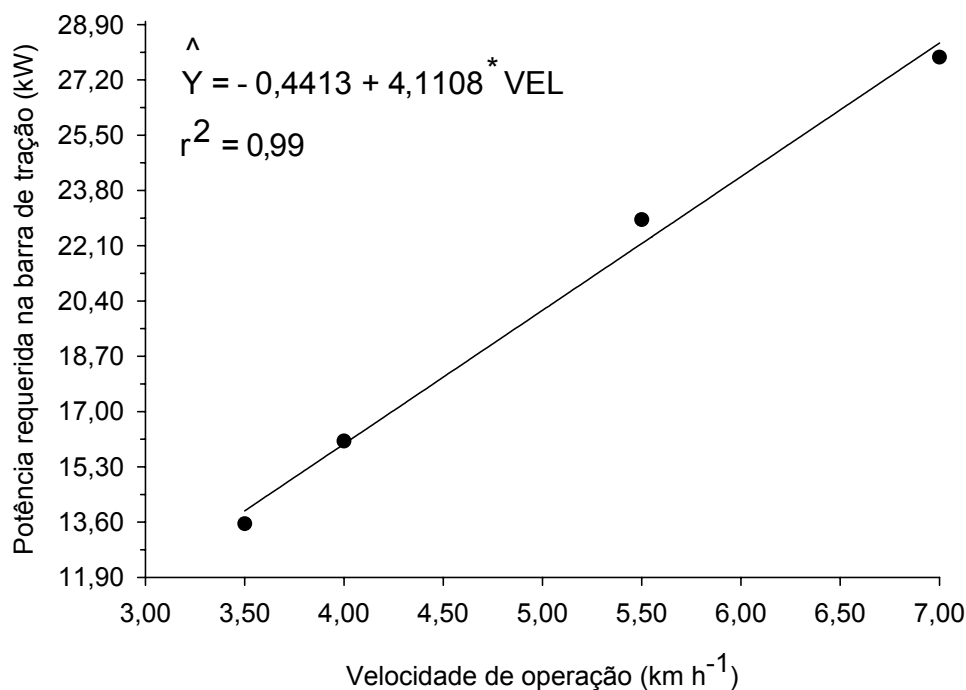


Figura 26 – Estimativa da potência requerida na barra de tração em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

Os maiores valores de potência requerida na barra de tração foram obtidos na maior velocidade de operação. Os valores médios encontrados para a potência média na barra de tração, nas velocidades de deslocamento de 3,5; 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹, foram de 13,95; 16,00; 22,17; e 28,33 kW, respectivamente. Lopes et al. (2005), ao avaliarem o desempenho de um trator com diferentes configurações de pneus e lastragem (com lastro e sem lastro), em função do escalonamento de marchas em quatro velocidades de deslocamento (1,84; 3,18; 4,57; e 5,04 km h⁻¹), encontraram valores superiores aos deste trabalho, nas maiores velocidades. O aumento na velocidade de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ provocou incremento de 102,89% na demanda de potência. Resultados semelhantes foram obtidos por Casão Júnior e Siqueira (2003), Mahl et al. (2004), Silveira et al. (2005a), Modolo et al. (2005) e Bortolotto et al. (2005).

4.8.1.2. Potência Requerida na Barra de Tração por Linha de Semeadura

A análise de variância da velocidade de operação e rotação no eixo do motor e a interação entre ambas apresentaram diferenças significativas pelo teste de F. Fez-se, então, a análise de regressão para determinar entre as variáveis independentes qual a de maior influência na variável em estudo (potência requerida na barra de tração por linha de semeadura).

O gráfico de regressão do parâmetro avaliado (potência média na barra de tração por linha de semeadura) é apresentado na Figura 27.

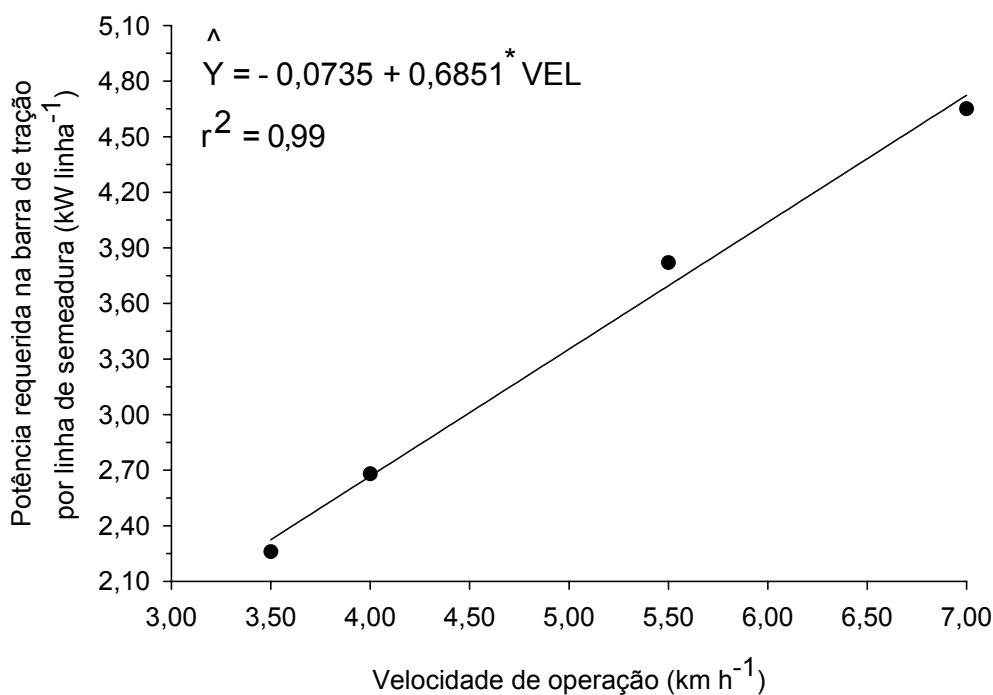


Figura 27 – Estimativa da potência requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

O modelo escolhido pelo coeficiente de determinação (r^2) de maior grau apresentou comportamento linear crescente, com coeficiente de correlação de 0,99. Não se verificou, na análise de regressão, influência da rotação no eixo do motor. Entretanto, na velocidade de operação a

regressão foi significativa, com acréscimo de potência requerida na barra de tração por linha de semeadura com a variação da velocidade de operação. Ou seja, a cada unidade de variação na velocidade de operação há acréscimo de 0,6851 kW na potência requerida na barra, por linha de semeadura. Os valores médios obtidos da variável em estudo foram de 2,32; 2,67; 3,69; e 4,72 kW por linha de semeadura, da menor para a maior velocidade de operação, representando um aumento porcentual de 104,74% quando a velocidade passou de 3,5 para 7,0 km h⁻¹.

4.8.1.3. Potência Requerida na Barra de Tração por Profundidade do Sulco

O resultado da análise de variância (teste de F) da potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco apresentou significância na velocidade de operação e interação entre as variáveis independentes (velocidade *versus* rotação). Isso implicou adotar uma análise de regressão (teste t a 5% de probabilidade), com o intuito de verificar quais fatores independentes têm maior influência na variável em estudo.

Na Figura 28, apresentam-se o gráfico e a equação de regressão da variável potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco.

O modelo foi escolhido pelo coeficiente de determinação (r^2) de maior grau e apresentou comportamento linear crescente, com coeficiente de correlação de 0,99, ou seja, 99% da variação da potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco pôde ser explicada pela análise; e a cada incremento na variação da velocidade de operação ocorre aumento na potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco de 8,6261 kW m⁻¹.

Os valores médios encontrados nesta pesquisa, com as velocidades de deslocamentos de 3,5; 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹, foram de 20,37; 24,68; 37,62; e 50,56 kW m⁻¹, respectivamente, e o aumento na velocidade de operação de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ proporcionou incremento porcentual de 148,21% no requerimento de potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco.

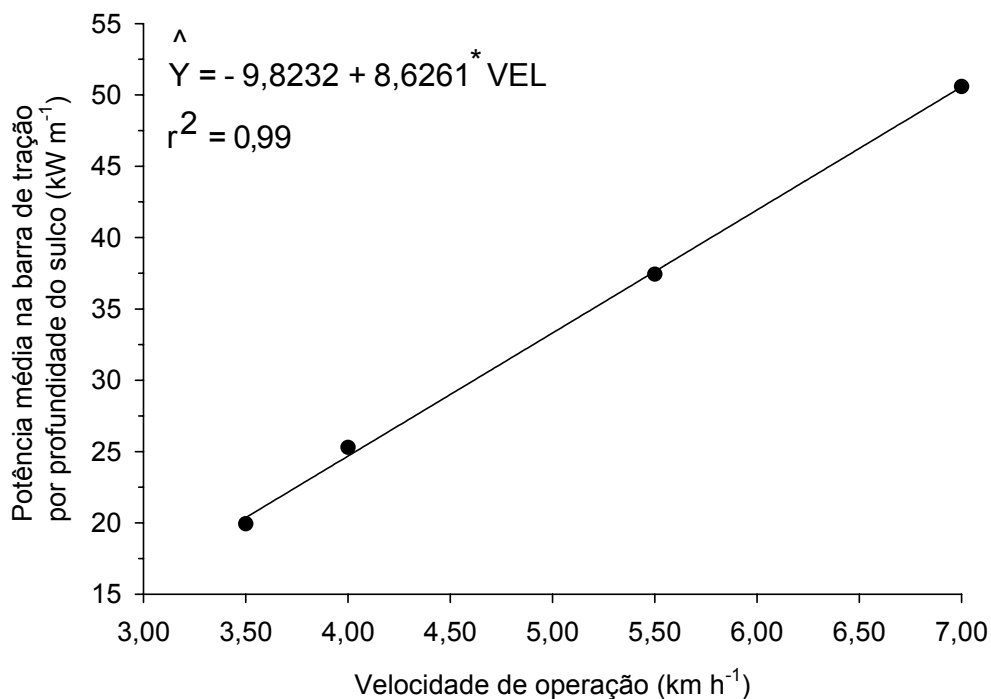


Figura 28 – Estimativa da potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

4.8.1.4. Potência Requerida na Barra de Tração por Área Mobilizada de Solo

A análise de variância da potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo apresentou comportamento semelhante ao verificado no item 4.9.1.3. Como no item anterior, adotou-se a análise de regressão pelo teste t a 5% de probabilidade, para verificar qual dos fatores velocidade de operação ou rotação no eixo do motor tem maior influência sobre a potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo.

A análise de regressão não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) quanto ao fator rotação no eixo do motor. Entretanto, a velocidade de operação mostrou-se significativa ($p < 0,05$) pelo teste de t.

O modelo ajustado para potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo foi escolhido pelo coeficiente de determinação (r^2) de maior grau.

Na Figura 29 são apresentados o gráfico e a equação de regressão da variável potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco.

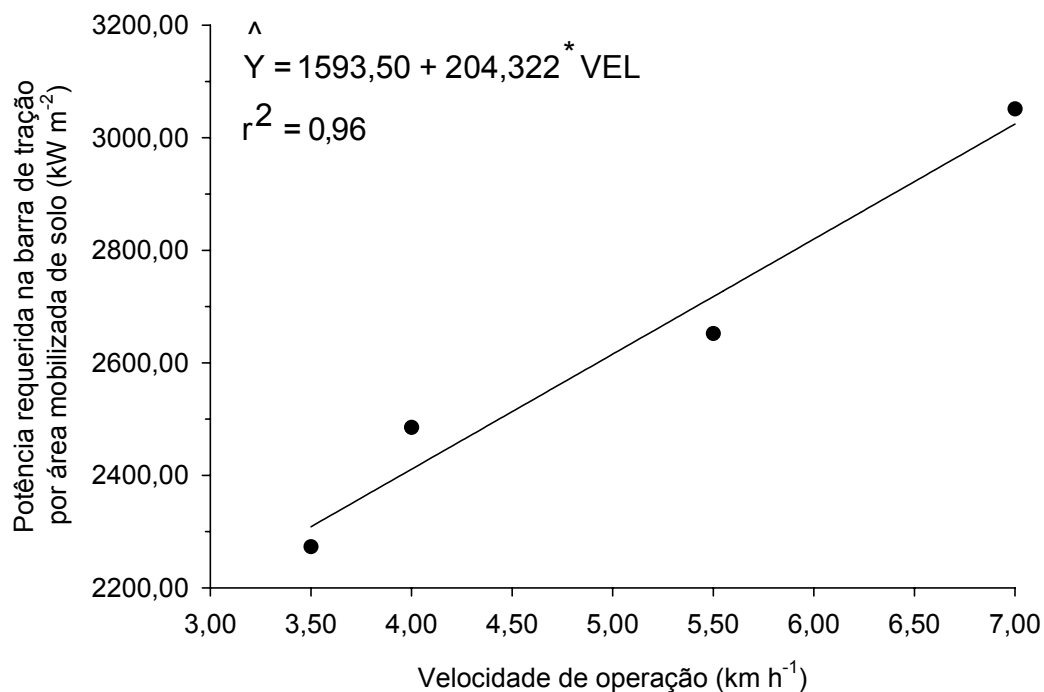


Figura 29 – Estimativa da potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

O modelo encontrado comportou-se de forma linear crescente para toda a variável em estudo, com coeficiente de determinação de 0,96. Portanto, 96% da variação da potência média na barra de tração por área mobilizada de solo pode ser explicada pela variação na velocidade de operação. Isso pode indicar boa correlação para a variável em estudo, e a cada incremento na variação da velocidade de operação ocorre aumento na potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo de 204,322 kW m⁻².

Os valores médios da potência média na barra de tração por área mobilizada de solo, nas velocidades de deslocamento estudadas, foram de 2.308,63; 2.410,79; 2.717,27; e 3.023,75 kW m⁻², nas respectivas

velocidades de 3,5; 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹, um aumento porcentual da menor para a maior velocidade de 30,98%.

4.8.2. Consumo de Combustível

4.8.2.1. Consumo Horário de Combustível

A análise de variância do consumo horário de combustível na operação de semeadura do milho apresentou diferença estatística significativa dos fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, bem como a interação entre esses. Como a interação entre os fatores velocidades de deslocamento e rotações no motor da variável consumo horário de combustível apresentou significância, procurou-se, então, verificar, pelo teste de regressão, qual das fontes de variação teria maior influência na variável em estudo (consumo horário de combustível).

O modelo ajustado para consumo horário de combustível foi escolhido pelo coeficiente de determinação (r^2) de maior grau, sendo este de 0,98. Portanto, 98% da variação no consumo horário de combustível pôde ser explicada pela alteração na velocidade de operação e rotação no eixo do motor do conjunto mecanizado. O modelo de superfície estimado usando-se as médias dos tratamentos, com relação à variável consumo horário de combustível em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor, é representado na Equação 13, e a superfície de resposta tridimensional ajustada aos dados de consumo horário de combustível, de acordo com o modelo polinomial de regressão estimado, encontra-se na Figura 30.

$$\hat{Y} = -5,3302 + 1,3192^{**} \text{VEL} + 0,0053^{**} \text{ROT} \quad \text{eq. 13}$$

$$r^2 = 0,98$$

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

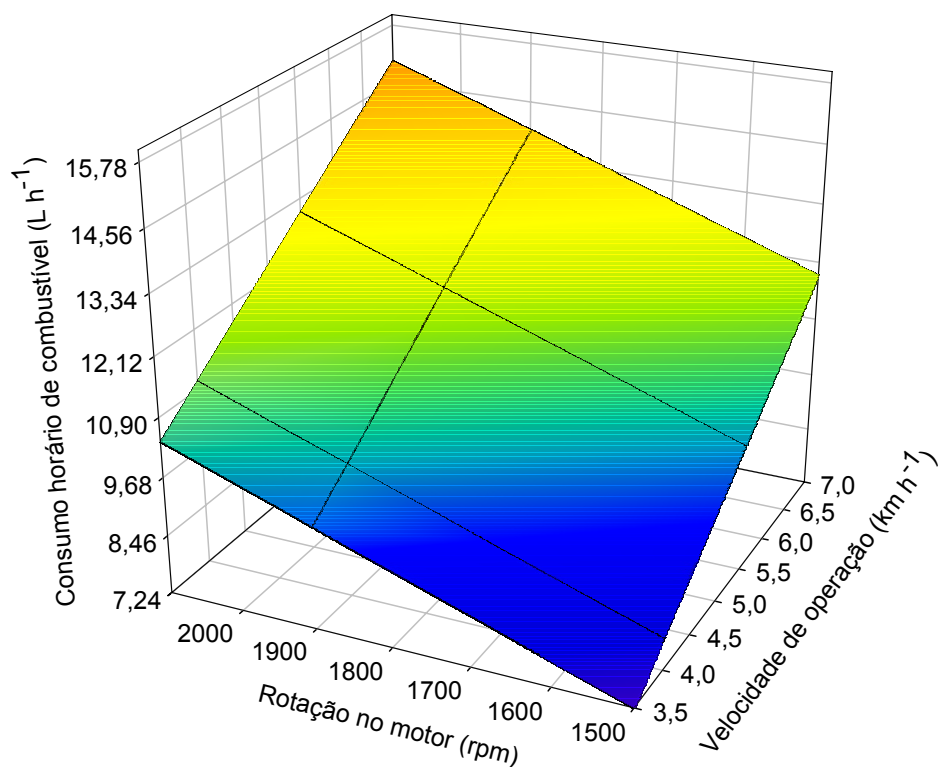


Figura 30 – Efeitos da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor sobre o consumo horário de combustível.

Verificam-se, na equação 13, incrementos no consumo horário de combustível por ocasião da variação na velocidade de operação e da rotação no eixo do motor, ou seja, a cada unidade acrescida na velocidade de operação e na rotação no eixo do motor há aumentos de $1,3192 \text{ L h}^{-1}$ e $0,0053 \text{ L h}^{-1}$, respectivamente. Assim, por essa equação se pode determinar, considerando o escalonamento de marcha e da rotação no eixo do motor aceitável, aquela que melhor responderá ao menor consumo horário de combustível. Portanto, dentro de uma mesma velocidade de operação e variando a rotação no eixo do motor, têm-se aumentos significativos no consumo horário de combustível, os quais variam de 7 a 44%, da menor para a maior rotação no eixo do motor. Silva et al. (2003), alternando a rotação no eixo do motor, encontraram aumento no consumo horário de combustível de 71%, com uma única marcha do trator na operação de semeadura do milho.

Na opção de variar a velocidade de operação do conjunto mecanizado para uma mesma rotação no eixo do motor, o aumento alterou de 6 a 64% no consumo horário de combustível, da menor para a maior velocidade de operação. Mahl et al. (2002), variando a velocidade de operação e mantendo a rotação no eixo do motor, encontraram 38% de aumento no consumo horário de combustível.

Na avaliação inversa, ou seja, reduzindo a rotação no eixo do motor (da maior para a menor rotação) numa mesma velocidade de operação do conjunto, o consumo horário de combustível diminuiu consideravelmente, variando de 7 a 31%. Mantendo a mesma velocidade de operação e reduzindo a rotação no eixo do motor, Grogan et al. (1998) reduziram em 17% o consumo horário de combustível. Esses valores percentuais são muito significativos na hora de computar os custos da produção.

Nota-se, na Figura 30, que nas velocidades de deslocamento do conjunto mecanizado avaliados os menores índices de consumo horário de combustível foram encontrados na velocidade de operação de $3,5 \text{ km h}^{-1}$, nas rotações de 1.500, 1.900 e 2.100 rpm, a qual foi aumentando com o incremento da velocidade, nas respectivas rotações do motor.

Nas operações de semeadura, os tratoristas quase sempre utilizam acelerações máximas e marchas inadequadas, preocupando-se pouco com o consumo de combustível, que deve ser levado em consideração. Dentro desse contexto, pode-se afirmar, considerando a equação e o gráfico de superfície de resposta, que a mudança na rotação de 2.100 para 1.500 rpm, nesse trabalho, nas velocidades de $3,5$; $4,0$; $5,5$; e $7,0 \text{ km h}^{-1}$, proporcionou redução no consumo horário de combustível de 31, 29, 24 e 21%, nas respectivas velocidades de operação avaliadas.

Há consenso entre pesquisadores na combinação de escalonamento de marchas e rotações do motor em operações motomecanizadas, principalmente quando se dispõe de potência acima da requerida para determinadas operações de campo, conforme resultados obtidos por Grogan et al. (1987), Hunt (1995), Miranda et al. (2000), Silva et al. (2003) e Lopes et al. (2005).

4.8.2.2. Consumo Específico de Combustível

A análise de variância da velocidade de deslocamento e da rotação no motor mostrou-se significativa, assim como a interação entre eles pelo teste de F. Isso implicou adotar o teste de regressão (teste de t a 5% de probabilidade) para determinar entre os dois fatores qual é o de maior influência na variável em estudo (consumo específico de combustível).

O modelo ajustado do consumo específico de combustível foi escolhido pelo coeficiente de determinação (r^2) de maior grau. Portanto, o modelo de superfície estimado, usando-se as médias dos tratamentos da variável consumo específico de combustível em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor, foi:

$$\hat{Y} = 181,3930 - 42,6348^{**} \text{VEL} + 0,2779^{**} \text{ROT} \quad \text{eq. 14}$$

$$r^2 = 0,86$$

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se, na equação 14, que a cada unidade aumentada na velocidade de operação ocorre um decréscimo de 42,6348 g kW h⁻¹ no consumo específico de combustível, e aumento dessa mesma ordem na rotação no eixo do motor provoca acréscimo no consumo específico de combustível na ordem de 0,2779 g kW h⁻¹.

A superfície de resposta tridimensional ajustada aos dados de consumo específico de combustível, de acordo com o modelo polinomial de regressão estimado, encontra-se na Figura 31.

Como pode ser visualizado nessa figura, aumento na velocidade de 3,5 para 7,0 km h⁻¹, em uma mesma rotação, acarreta redução no consumo específico de combustível, e alterando a rotação no eixo do motor em uma mesma velocidade de operação ocorre aumento no consumo específico. Esses resultados corroboram os encontrados por Mahl et al. (2004) e Cortez et al. (2007), em que os menores valores de consumo específico de combustível são obtidos nas maiores velocidades de operação.

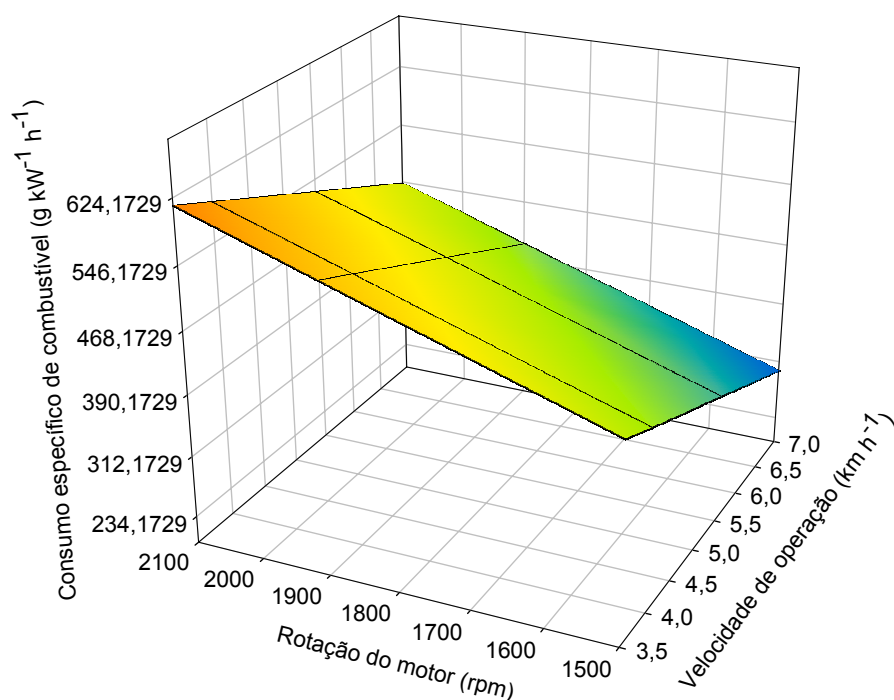


Figura 31 – Efeito da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor sobre o consumo específico de combustível.

Fica, assim, evidenciada a possibilidade de trabalhar com rotações menores e velocidades adequadas em função do escalonamento de marcha com o propósito de utilizar eficientemente o combustível não só nas operações de preparo do solo, como também nas operações de semeadura.

4.8.2.3. Consumo de Combustível por Área Trabalhada

Tanto a velocidade de operação quanto a rotação no eixo do motor e a interação entre eles apresentaram diferenças significativas pelo teste de F a 5% de probabilidade, o que implicou adotar o teste de regressão para verificar a influência das variáveis independentes (velocidade *versus* rotação).

O modelo foi escolhido pelo coeficiente de determinação (r^2) de maior grau. Esse coeficiente foi de 0,98, apresentando forte relação entre as variáveis em estudo (consumo de combustível por área trabalhada e velocidade de operação). Contudo, 2% da variação entre as variáveis não

pôde ser explicada, o que pode estar relacionado com a variação na velocidade de operação e a influência da rotação no eixo do motor, que não foram possíveis de ser correlacionadas pela regressão com a variável em estudo (consumo de combustível por área trabalhada).

Na Figura 32 são apresentados o gráfico e a equação de regressão da variável em estudo.

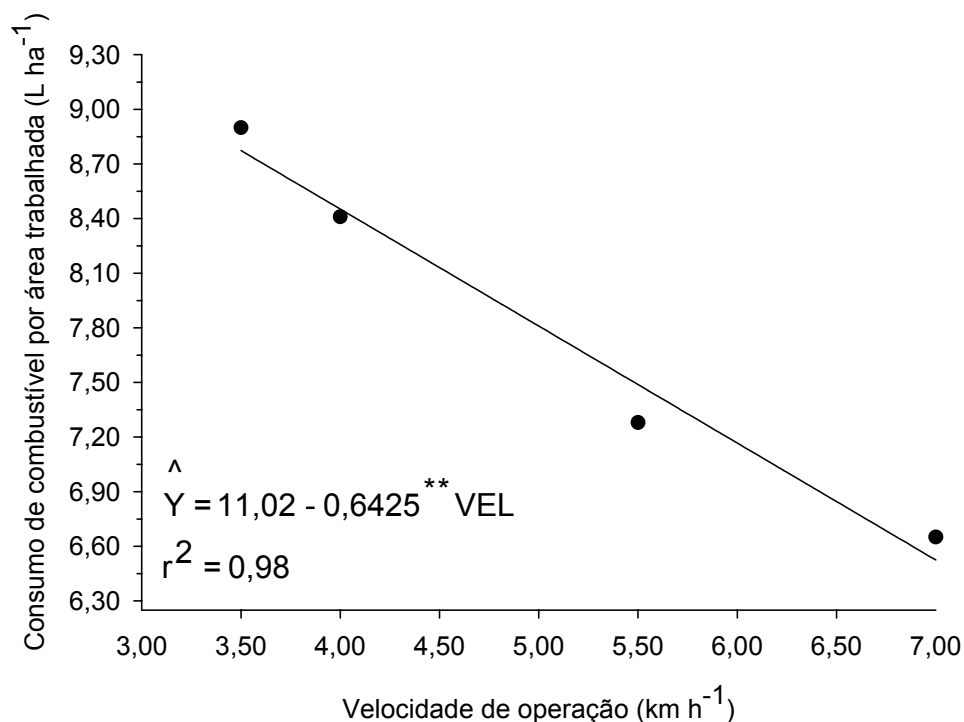


Figura 32 – Estimativa do consumo de combustível por área trabalhada, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

O modelo ajustado para consumo de combustível por área trabalhada comportou-se de forma linear decrescente. Ou seja, à medida que aumenta a velocidade de operação, o consumo de combustível por área trabalhada diminui em 25,66% da maior para a menor velocidade de operação. Resultados semelhantes foram observados por Mahl et al. (2004), Bortolotto et al. (2005) e Cortez et al. (2007). Entretanto, Furlani et al. (2005) encontraram aumento no consumo de combustível por área trabalhada quando passaram da marcha M1 (7,3 km h⁻¹) para a M2 (8,1 km h⁻¹), e sua

queda no M3 (10,5 km h⁻¹), de um conjunto mecanizado em diferentes preparos do solo.

Quanto maior a velocidade de operação, menor o consumo de combustível por área trabalhada, que por sua vez está correlacionado com a capacidade operacional teórica, ou seja, menor capacidade operacional teórica, maior o consumo de combustível por área trabalhada, resultado esse de acordo com o que encontraram Oliveira et al. (2000).

4.8.2.4. Consumo de Específico de Combustível por Área Mobilizada de Solo

A velocidade de operação e a rotação no eixo do motor apresentaram significância pelo teste de F. Isso implicou adotar análise de regressão pelo teste t a 5% de probabilidade, com o intuito de verificar qual fonte de variação (velocidade de operação e rotação no eixo do motor) tem maior influência na variável dependente (consumo específico de combustível por área mobilizada de solo).

O resultado da análise apresentou a velocidade como fonte de variação principal para a variável estudada (consumo de combustível por área mobilizada de solo).

Na Figura 33, mostra-se o modelo polinomial adotado pela escolha do coeficiente de determinação (r^2) de maior grau.

O modelo encontrado apresentou comportamento linear decrescente, com coeficiente de correlação de 0,90, ou seja, 90% da variação do consumo de combustível por área mobilizada de solo pode ser explicada pela análise; a cada incremento na variação da velocidade de operação ocorre decréscimo de 12,9437 g kW⁻¹ h⁻¹ m⁻² no consumo de combustível por área mobilizada de solo (Figura 33). Os maiores valores de consumo de combustível por área mobilizada de solo foram encontrados na menor velocidade de operação.

O decréscimo observado, através da citada equação, no consumo específico de combustível por área mobilizada de solo é reflexo do aumento na área mobilizada de solo (Figura 20), ocasionada pelo incremento na velocidade de operação.

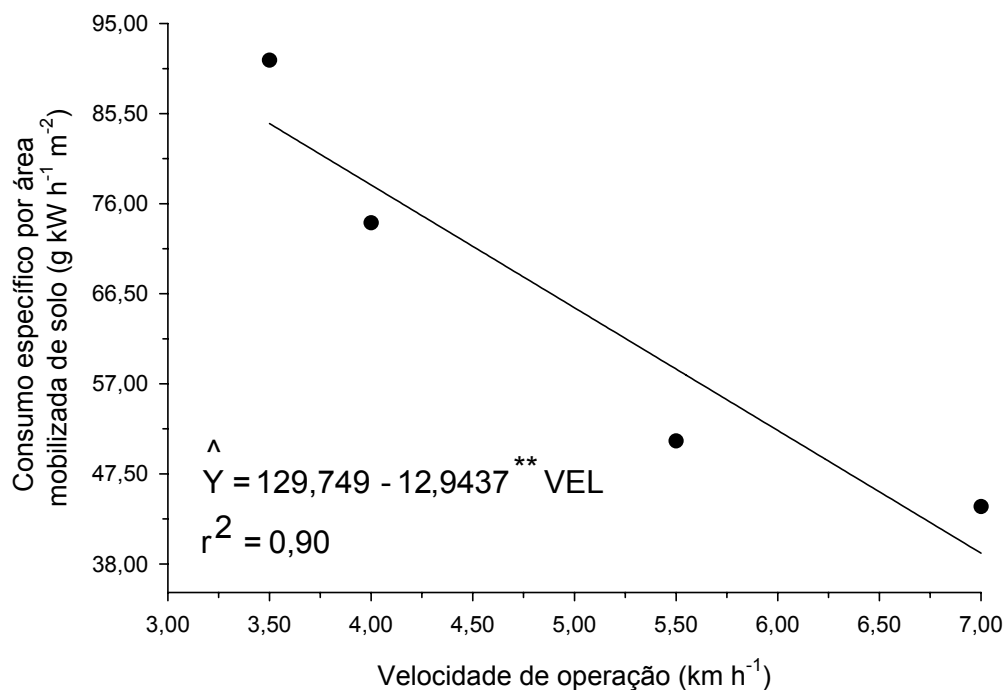


Figura 33 – Estimativa do consumo específico de combustível por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

4.8.2.5. Consumo de Energia

A análise de variância do consumo de energia em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor apresentou diferença estatística significativa pelo teste de F (velocidade de operação, rotação no eixo do motor e a interação entre eles). De posse desse resultado, propôs-se um modelo para a variável em estudo em função da velocidade de operação.

O modelo encontrado apresentou comportamento linear decrescente, com coeficiente de determinação de 0,90. Não se verificou na regressão influência da rotação no eixo do motor. Entretanto, a regressão foi significativa com a variação da velocidade de operação. Ou seja, para cada aumento, em unidade, na velocidade de operação, houve decréscimo de 0,3171 kWh ha⁻¹ no consumo de energia (Figura 34).

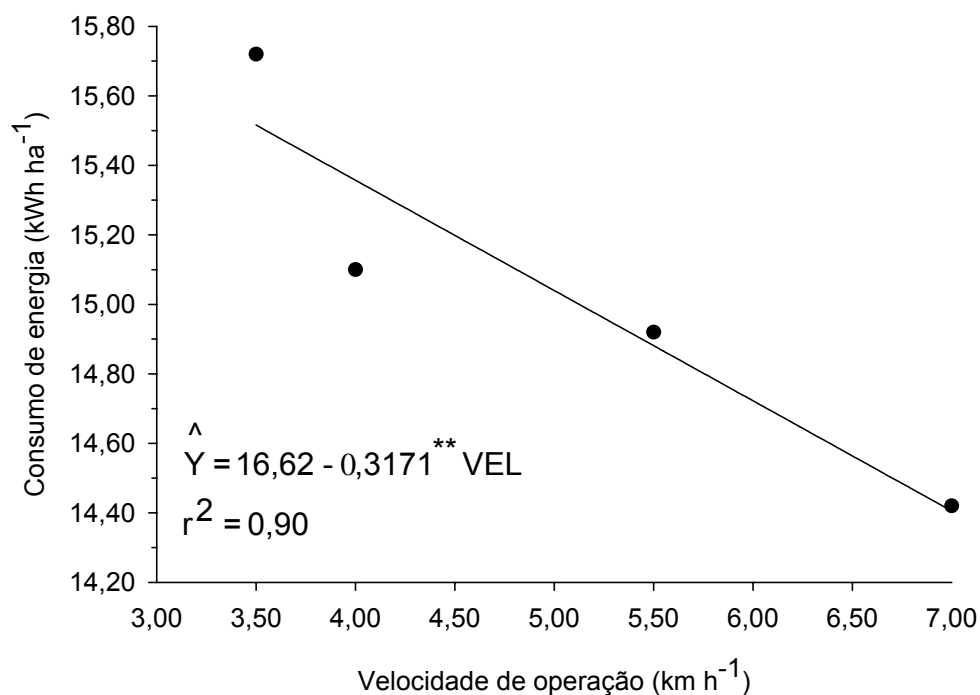


Figura 34 – Estimativa do consumo de energia em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

O aumento na velocidade de operação elevou a demanda de potência requerida na barra de tração. Entretanto, o consumo de energia em função da área trabalhada diminuiu com o aumento da velocidade de operação. Bortolotto et al. (2005), variando a velocidade de operação a uma mesma rotação no eixo do motor, encontraram resultados diferentes ao deste trabalho.

4.9. Qualidade da Semeadura

A qualidade da semeadura é fator de grande importância para o sucesso da produção de grãos. Entre os fatores a serem avaliados estão a profundidade de deposição das sementes e a sua distribuição longitudinal (aceitáveis, múltiplos e falhos), no coeficiente de variação da distribuição longitudinal de sementes e da patinagem dos rodados-motriz da semeadora-adubadora. De acordo com a regulagem da semeadora-adubadora, determinou-se o espaçamento de referência teórico de 0,17 m. Esse valor

possibilitou que fossem classificados como espaçamentos aceitáveis ($0,09 < x_i < 0,26$), múltiplos ($x_i < 0,09$) e falhos ($x_i > 0,26$).

4.9.1. Profundidade de Deposição da Semente

A análise de variância da profundidade de deposição das sementes apresentou diferença significativa pelo teste de F somente na velocidade de operação do conjunto mecanizado, não sendo observado nos demais fatores (rotação no eixo do motor e na interação entre a velocidade de operação e a rotação no eixo do motor).

O modelo encontrado através da análise de regressão da variável em estudo apresentou comportamento linear decrescente, como pode ser observado na Figura 35.

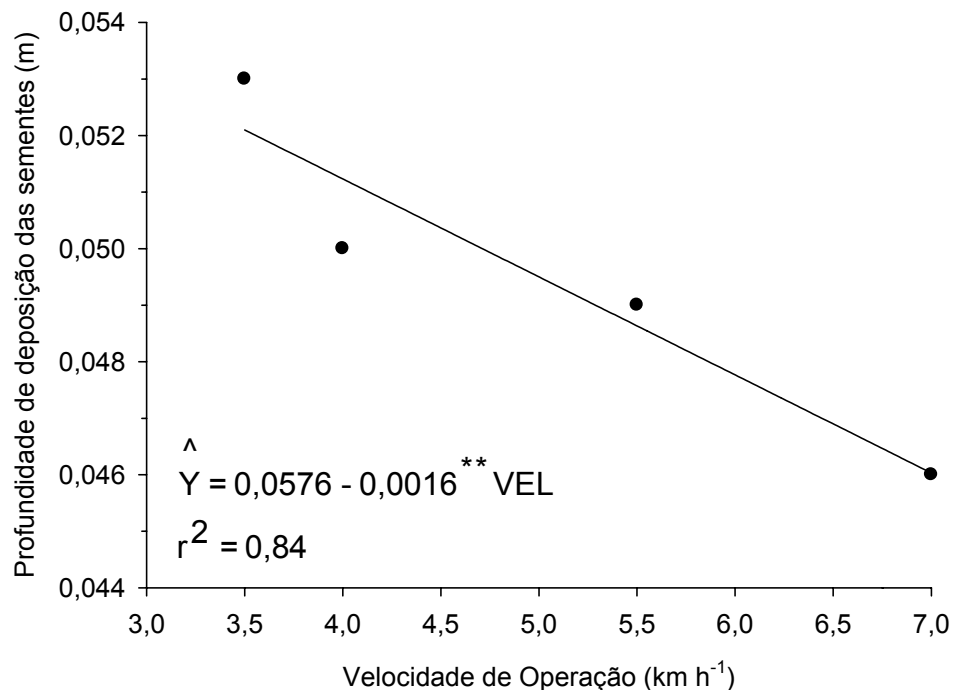


Figura 35 – Estimativa da profundidade de deposição da semente em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

A semeadora-adubadora foi regulada para depositar as sementes a uma profundidade de 0,05 m. Entretanto, ela variou de 0,046 até 0,053 m, da maior para a menor velocidade de operação.

A velocidade de operação é um dos parâmetros que têm grande influência na qualidade da semeadura. O aumento na velocidade de operação acarreta a colocação das sementes no solo mais superficialmente, evitando maior contato com este e impedindo que elas venham a germinar e desenvolver, provavelmente pela diminuição da absorção de água. Esse resultado está relacionado com os mecanismos de controle de profundidade da semeadora-adubadora, um problema que vem sendo observado e discutido por vários autores (ANDREOLI et al., 2002; COSTA et al., 2002; MAHL et al., 2004; SILVEIRA et al., 2005a). Contudo, Furlani et al. (1999) observaram que a profundidade de deposição de semente não foi afetada quando a velocidade passou de 3,0 para 5,0 km h⁻¹. Mesmo com pequena variação na profundidade de deposição da semente, pode-se afirmar que a semeadora-adubadora desempenhou qualidade satisfatória na profundidade de deposição das sementes.

4.9.2. Espaçamentos Aceitáveis

A análise de variância dos espaçamentos aceitáveis de sementes de milho apresentou diferença significativa para a velocidade de operação e para a rotação no eixo do motor pelo teste de F, o que não foi observado na interação entre as fontes de variação (velocidade *versus* rotação). Pela análise de regressão, constatou-se a velocidade de operação como o fator de maior influência na variável em estudo.

O modelo ajustado para o espaçamento aceitável entre sementes apresentou comportamento linear decrescente com o aumento da velocidade de operação (Figura 36). Ou seja, a cada unidade acrescida na velocidade de operação os espaçamentos aceitáveis entre sementes decresceram em 8,9375%. O índice de determinação ($r^2 = 0,95$) possibilita afirmar a forte influência da velocidade de operação na variável em estudo.

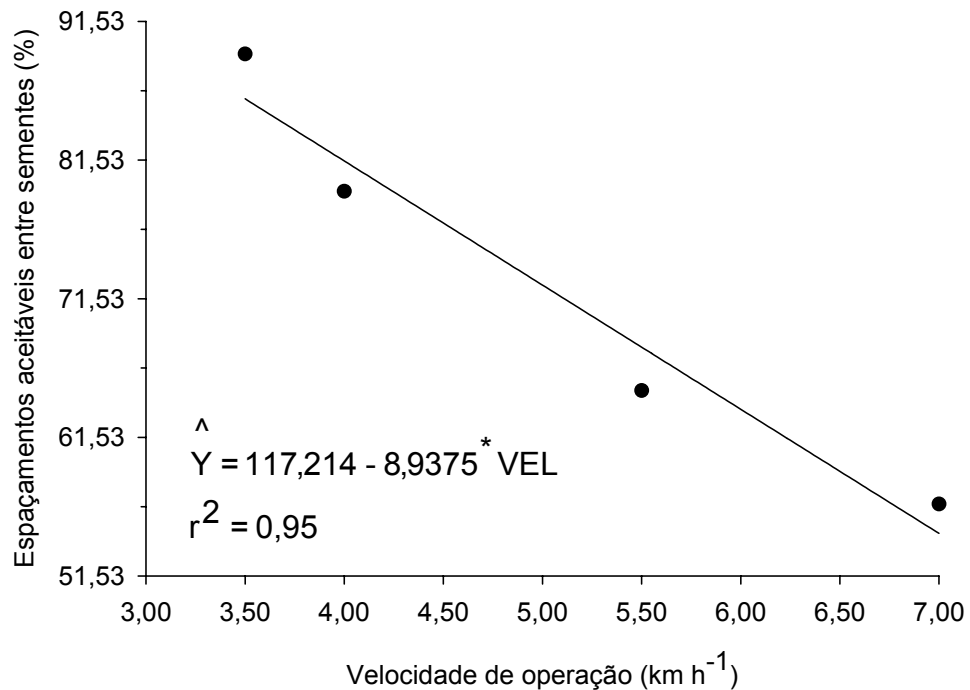


Figura 36 – Estimativa do espaçamento aceitável entre sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

O maior valor percentual de espaçamentos aceitáveis foi obtido na menor velocidade (3,5 km h⁻¹), decrescendo com o aumento na velocidade de operação. Esses resultados corroboram os encontrados por Branquinho et al. (2004) e Garcia et al. (2006). Mantovani et al. (1992), ao avaliarem nove semeadoras-adubadoras de plantio direto, encontraram valores entre 44 e 78% de espaçamentos aceitáveis em diferentes velocidades de deslocamentos.

Os percentuais de espaçamentos aceitáveis encontrados na distribuição longitudinal de sementes nas velocidades de 3,5; 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹ foram de 85,93; 81,46; 68,10; e 54,65%, respectivamente. Esses resultados estão abaixo dos obtidos por Jasper et al. (2006).

Os valores de espaçamentos aceitáveis encontrados neste trabalho estão acima dos estipulados por Coelho (1996), que considera, para semeadoras dotadas de mecanismos do tipo disco horizontal, um espaçamento aceitável de 60%, à exceção da velocidade de operação de 7,0 km h⁻¹, em que obteve percentuais abaixo do estipulado (60%).

Analisando os resultados, percebeu-se que a semeadora-adubadora alcançou bom desempenho nas menores velocidades (3,5 e 4,0 km h⁻¹) e regular em 5,5 e 7,0 km h⁻¹, conforme parâmetros determinados por Tourino e Klingensteiner (1983).

4.9.3. Espaçamentos Múltiplos

Os espaçamentos múltiplos entre sementes não apresentaram diferenças significativas com relação à variável rotação no eixo do motor e à interação entre esta e a velocidade de operação, sendo observadas apenas na velocidade de operação.

A equação de regressão dos espaçamentos múltiplos entre sementes é apresentada na Figura 37.

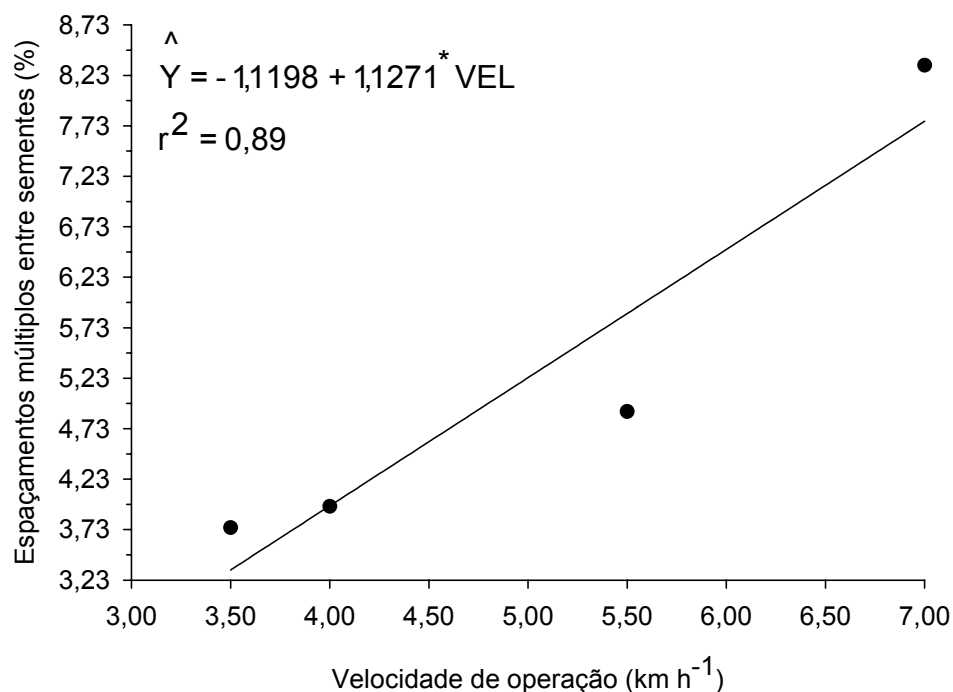


Figura 37 – Estimativa dos espaçamentos múltiplos de sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

Por essa equação, pode-se verificar que, a cada incremento na velocidade de operação do conjunto mecanizado, ocorre aumento de

1,1271% no espaçamento múltiplo de semente, sendo maior nas maiores velocidades de deslocamentos (5,5 e 7,0 km h⁻¹). Os valores médios dos espaçamentos múltiplos de sementes nas velocidades de 3,5 e 5,0 km h⁻¹ estão abaixo dos encontrados por Camilo et al. (2004).

4.9.4. Espaçamentos Falhos

Como ocorrido no resultado dos espaçamentos aceitáveis, tanto a velocidade de operação quanto a rotação no eixo do motor apresentaram diferenças significativas, o mesmo não acontecendo na interação entre os fatores.

Na Figura 38, mostram-se o gráfico de regressão linear e a equação de regressão do modelo adotado.

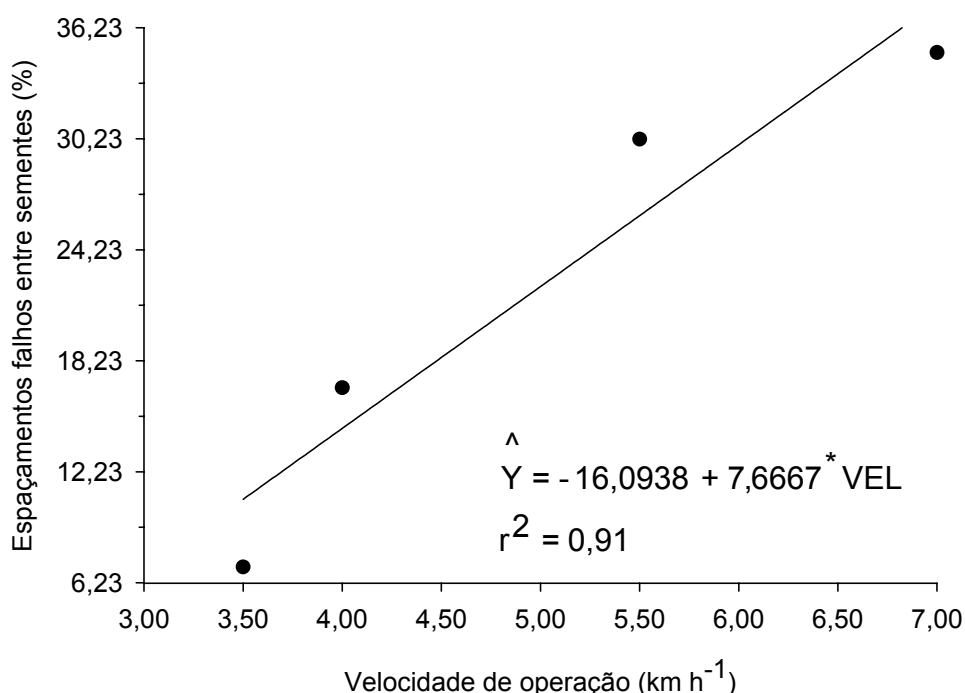


Figura 38 – Estimativa dos espaçamentos falhos de sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

Verifica-se na Figura 38, com relação aos dados médios de espaçamentos falhos entre sementes, comportamento linear crescente, com

coeficiente de determinação (r^2) de 0,91, com forte relação com a variável estudada (espaçamentos falhos). Contudo, 9% da variação não pôde ser explicada pela análise, e a cada aumento na velocidade de operação do conjunto mecanizado os espaçamentos falhos tiveram incremento na ordem de 7,6667% (Figura 39).

É evidenciado que o aumento na velocidade de operação do conjunto mecanizado influi na diminuição dos espaçamentos aceitáveis e no aumento do número de espaçamentos falhos, contribuindo para o insucesso do estande de plantas no campo.

4.9.5. Coeficiente de Variação da Distribuição Longitudinal de Sementes

A fonte de variação que apresentou diferença significativa pelo teste de F foi a velocidade de operação, o que não se observou nos demais fatores (rotação no eixo do motor e interação entre a velocidade de operação e a rotação no eixo do motor).

Na Figura 39, apresenta-se o gráfico da estimativa do coeficiente de variação da distribuição longitudinal de sementes no leito de semeadura em função da velocidade de operação, bem como a equação do modelo proposto pela análise de regressão e escolhido pelo coeficiente de determinação (r^2). Verifica-se, nessa equação, que a cada unidade de variação na velocidade de operação do conjunto mecanizado o coeficiente de variação da distribuição longitudinal de sementes aumenta em 7,3486%.

O coeficiente de variação da distribuição longitudinal de sementes deve ficar abaixo de 50% (COELHO, 1996), não sendo observado nas velocidades de 5,5 e 7,0 km h⁻¹, em que se verificou maior variabilidade dos dados, demonstrando, nessas velocidades, que a distribuição não foi uniforme. Resultados semelhantes foram observados por Silveira et al. (2005b) quando avaliaram tipos de mecanismos dosadores de sementes em função da velocidade de operação de duas semeadoras-adubadoras, e diferentes dos obtidos por Mahl et al. (2004) quando avaliaram a eficiência de distribuição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento.

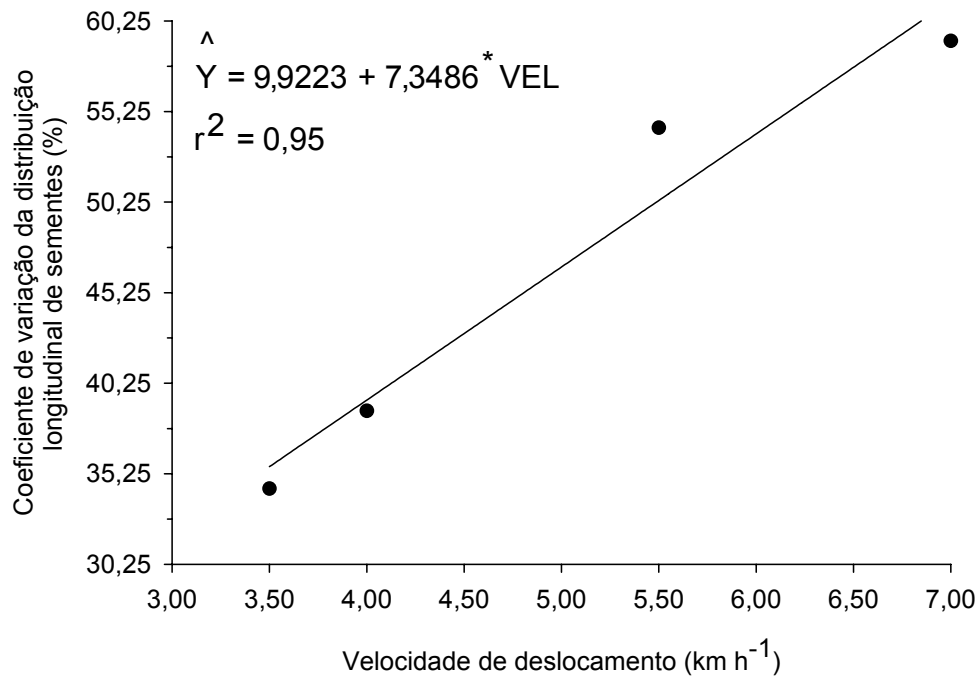


Figura 39 – Estimativa do coeficiente de variação para a distribuição longitudinal de sementes em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

Pode-se definir como velocidades ideais de operação para a semeadura, sem causar variações na distribuição de sementes, as velocidades de 3,5 a 4,0 km h⁻¹. Entretanto, Silveira (1989) definiu a velocidade de 5,0 km h⁻¹ como a ideal. Já Klein et al. (2002) definiram como ideais as velocidades entre 3,6 e 10,8 km h⁻¹, com o mesmo mecanismo dosador.

4.9.6. Patinagem dos Rodados-Motriz da Semeadora-Adubadora

Não se observou significância da interação entre os fatores (velocidade de operação e rotação no eixo do motor), sendo o mesmo verificado na rotação do eixo do motor. Contudo, a velocidade de operação do conjunto mecanizado foi significativa a 1%, pelo teste de F. Esse resultado evidencia que a patinagem dos rodados da semeadora-adubadora se comporta como uma variável não só dependente da velocidade de operação, mas de outros fatores, como teor de água no solo, preparo do solo e cobertura vegetal na superfície do solo.

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios da patinagem dos rodados da semeadora-adubadora.

Tabela 7 – Valores médios da patinagem dos rodados-motriz da semeadora-adubadora em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor do trator

Velocidade (km h ⁻¹)	Rotação no Eixo do Motor (rpm)			Média
	1.500	1.900	2.100	
3,5	1,53	1,31	1,38	1,41 B
4,0	2,65	2,35	2,70	2,57 A
5,5	2,51	2,55	2,52	2,52 A
7,0	2,44	2,77	2,48	2,56 A
Médias	2,28 a	2,24 a	2,27 a	
CV (%)	12,57			

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha e de mesmas letras maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As maiores velocidades de deslocamento proporcionaram os maiores índices de patinagem dos rodados da semeadora-adubadora. Oliveira et al. (2000) não encontraram variação na patinagem dos rodados da semeadora com a variação da velocidade de operação. Entretanto, segundo eles, nas maiores velocidades a patinagem dos rodados da semeadora foi maior.

Os valores médios encontrados estão abaixo dos obtidos por Reis et al. (2002) e abaixo também dos propostos por Balastreire (1990), que determinou para pneus lisos 8% e para pneus ranhurados, 4%. Neste trabalho, foram utilizados pneus militares (6,50 x 16).

A existência de patinagem dos rodados da semeadora-adubadora, mesmo estando dentro dos padrões estabelecidos (ASAE, 1996; BALASTREIRE, 1990), faz com que os mecanismos acionadores deixem de depositar as sementes, ocasionando, com isso, falhas na semeadura e, como conseqüência, redução na população final de plantas. Nesse quesito, pode-se afirmar que a patinagem dos rodados da semeadora-adubadora

teve pouca influência na distribuição longitudinal de sementes no leito de semeadura, atribuindo a isso outros fatores, como a velocidade de preenchimento da célula e o tamanho das sementes, entre outros.

A análise de variância da patinagem dos rodados-motriz da semeadora-adubadora é apresentada na Tabela 8A (Apêndice A).

4.9.7. Germinação de Sementes

4.9.7.1. Índice de Velocidade de Emergência

O resultado do teste de germinação, em laboratório, do lote de sementes utilizado na semeadura foi de 100%, o que caracteriza sementes de alta qualidade, uma vez que, para a empresa, esse índice de germinação mínima era de 98%.

Os fatores velocidade de operação e a rotação no eixo do motor, assim como a interação entre ambas, mostraram-se significativos a 1%, pelo teste de F. Por esse resultado verificaram-se, por meio de um teste de regressão (teste de t a 5% de significância), quais variáveis independentes teriam maior influência na variável em estudo.

Na Figura 40, têm-se a equação de regressão e o gráfico da estimativa do índice de velocidade de emergência das sementes.

O índice de velocidade de emergência no leito de semeadura apresentou modelo de regressão linear, tendo a variável independente velocidade de operação como fator de maior influência sobre a variável em estudo (índice de velocidade de emergência). O comportamento desse modelo é decrescente com o aumento da velocidade de operação, ou seja, a cada incremento na velocidade ocorre um decréscimo de 4,5747 no índice de velocidade de emergência (Figura 44), o que corresponde a 41% da maior para a menor velocidade de operação. Portella et al. (1997) e Faganello et al. (1999) não observaram diminuição no índice de emergência com o aumento da velocidade de operação.

Os maiores índices foram verificados nas menores velocidades de deslocamento (3,5 e 4,0 km h⁻¹). Silveira (2004) encontrou resultados opostos aos desta pesquisa.

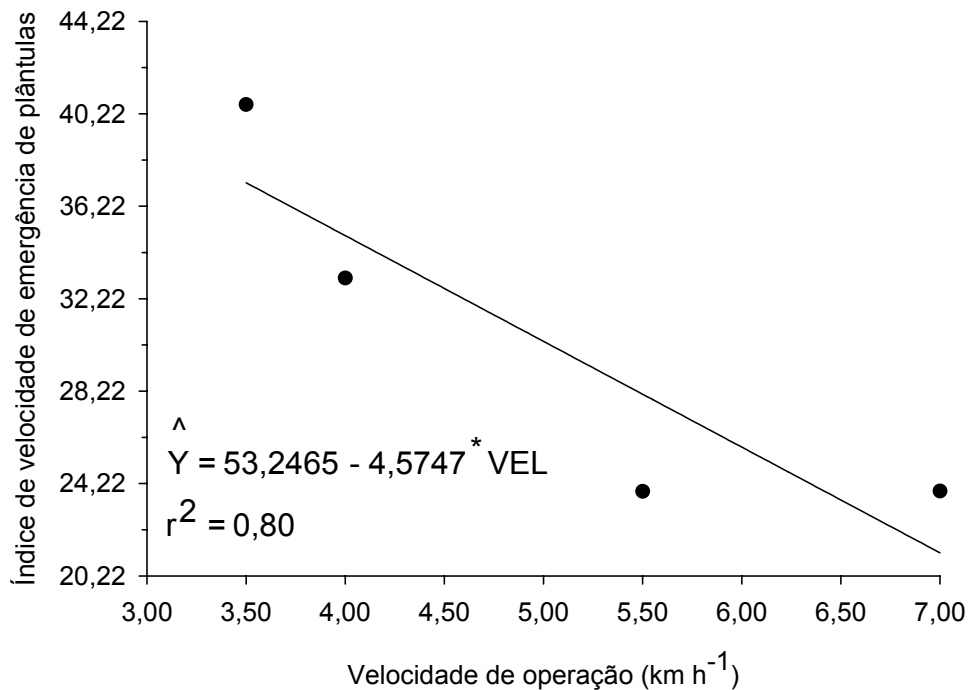


Figura 40 – Estimativa do índice de velocidade de emergência de plântulas de milho em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

4.9.7.2. Tempo Médio de Emergência

A análise de variância indicou que os fatores apresentaram significância, bem como interação entre eles no nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F. Isso implica analisar a interação dos fatores por um teste de regressão (teste t a 5% de probabilidade).

A Figura 41 contém a equação de regressão do modelo ajustado, bem como o gráfico de regressão. Verifica-se, nessa figura, que o comportamento do modelo foi linear crescente, sendo a velocidade de operação o fator de maior representatividade na variável estudada (tempo médio de emergência de plântulas). A cada incremento na velocidade de operação ocorreu um aumento de 0,2621 dia no tempo médio de emergência. Essa diferença no tempo médio de emergência pode ser atribuída à posição da semente ao ser depositada no solo pelos mecanismos de deposição, o que pode também ocasionar a falta de contato entre as sementes e o solo.

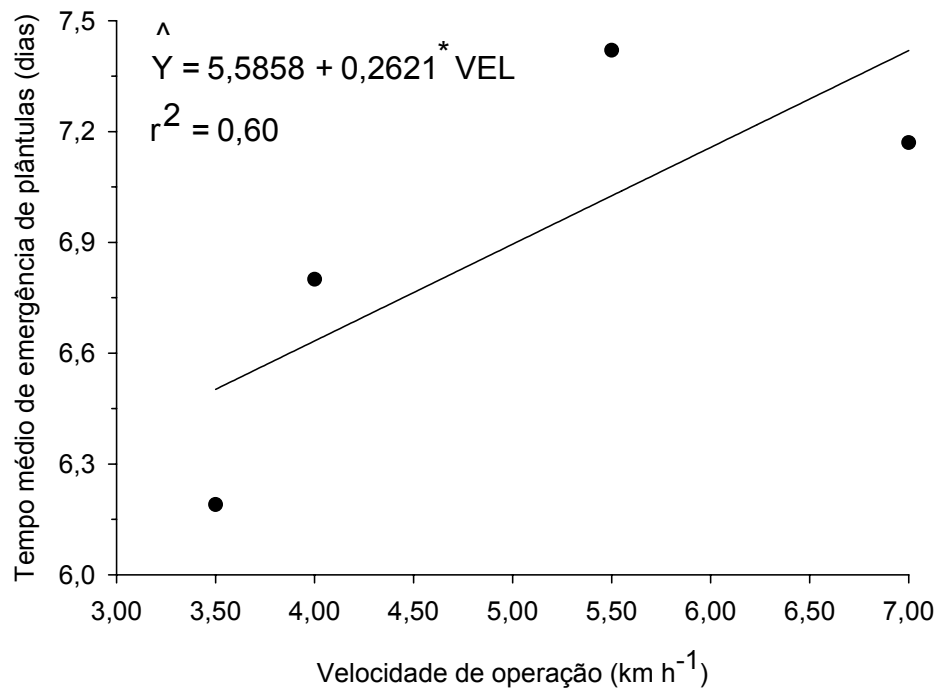


Figura 41 – Estimativa do tempo médio de emergência de plântulas de milho (dias) em função da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

4.10. Custo Horário de Combustível

Pela análise de variância, tanto as fontes de variação (velocidade de operação e rotação no eixo do motor) quanto a interação entre elas foram significativas pelo teste de F.

O desdobramento da interação entre velocidade de operação *versus* rotação no eixo do motor do conjunto mecanizado, quanto à variável em estudo (custo horário de combustível), está apresentado na Tabela 8. Pode-se verificar nessa tabela, em todas as velocidades de deslocamento, que a rotação de 1.500 rpm foi a que proporcionou menor custo horário de combustível (R\$ h⁻¹), ressaltando-se que, à medida que aumenta a velocidade para uma mesma rotação, o custo eleva-se em 13,87%, de 3,5 para 4,0 km h⁻¹; 41,61%, de 3,5 para 5,5 km h⁻¹; e de 59,56%, de 3,5 para 7,0 km h⁻¹. A maior rotação (2.100 rpm) proporcionou os maiores custos horários de combustíveis.

Tabela 8 – Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor para o custo horário de combustível (R\$ h⁻¹)

Velocidade (km h ⁻¹)	Rotação no Eixo do Motor (rpm)			Média
	1.500	1.900	2.100	
3,5 km h ⁻¹	13,70 C d	17,02 B d	20,40 A c	17,04 D
4,0 km h ⁻¹	15,60 C c	18,93 B c	20,09 A c	18,21 C
5,5 km h ⁻¹	19,40 C b	22,95 B b	26,24 A b	22,86 B
7,0 km h ⁻¹	21,86 C a	26,22 B a	28,47 A a	25,52 A
Médias	17,64 c	21,28 b	23,80 a	

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha e de mesmas letras maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em uma operação de semeadura com jornada de trabalho diária de 10 horas, ao final do dia somente em combustível (diesel) poder-se-iam economizar 37,33% da maior para a menor velocidade de operação, com a menor rotação (1.500 rpm). Mantendo uma velocidade de operação de 3,5 km h⁻¹ e alternando a rotação no eixo do motor de 2.100 para 1.500 rpm, essa economia poderia ser de 32,84%.

4.11. Custo de Combustível por Área Trabalhada

As fontes de variação (velocidade de operação e rotação no eixo do motor), bem como a interação entre esses fatores, apresentaram significância de 1%, pelo teste F.

De posse da análise de variância, utilizou-se o desdobramento da interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, através do teste de média da discussão dos resultados apresentados na Tabela 9. Verifica-se, nessa tabela, que o custo de combustível por área trabalhada foi menor, em média, na maior velocidade de operação (R\$ 12,56 ha⁻¹), enquanto na menor rotação a média foi maior (R\$ 14,60 ha⁻¹). Esses valores podem ser explicados, pois com menores velocidades se tem maior tempo para percorrer determinada área, enquanto nas maiores velocidades esse tempo é maior e, conseqüentemente, o custo passa a ser menor.

Tabela 9 – Interação entre os fatores velocidade de operação e rotação no eixo do motor, com relação ao custo de combustível por área trabalhada (R\$ ha⁻¹)

Velocidade (km h ⁻¹)	Rotação no Eixo do Motor (rpm)			Média
	1.500	1.900	2.100	
3,5 km h ⁻¹	16,70 B a	17,18 A a	16,57 B a	16,82 A
4,0 km h ⁻¹	15,25 B b	15,55 B b	16,86 A a	15,89 B
5,5 km h ⁻¹	13,67 B c	14,05 A c	13,57 B b	13,76 C
7,0 km h ⁻¹	12,79 A d	12,50 AB d	12,40 B c	12,56 D
Médias	14,60 b	14,82 a	14,85 a	

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na linha e de mesmas letras maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Variando a velocidade de operação para uma mesma rotação no eixo do motor (da menor para a maior), ocorre decréscimo no custo de combustível por área trabalhada, à exceção da rotação de 2.100 rpm, em que na velocidade de 4,0 km h⁻¹ o custo foi maior que a 3,5 km h⁻¹, em razão, provavelmente, de algum obstáculo no solo. Esse resultado pode ser atribuído ao maior consumo de combustível por área trabalhada (Figura 32) e às menores reduções na capacidade operacional teórica (Figura 25) do conjunto mecanizado em relação à maior velocidade de operação (7,0 km h⁻¹).

Neste trabalho, pôde-se verificar que muitos são os fatores que implicam sucesso ou insucesso na semeadura, entre os quais a velocidade de operação foi o de maior relevância. Em razão disso, pode-se definir um intervalo de velocidade de operação em função do escalonamento de marcha em função da rotação do motor a ser utilizada para um desempenho satisfatório quanto à qualidade da semeadura, bem da redução no consumo de combustível. Esse intervalo foi de 3,5 a 5,0 km⁻¹. Portanto, é possível, nesse tipo de trator e nessa configuração de semeadora-adubadora, determinar escalonamentos de marchas em função da rotação do motor, com o objetivo de minimizar os custos de produção.

5. CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação do conjunto mecanizado permitiram as seguintes conclusões:

- O aumento da velocidade de operação do conjunto mecanizado foi o fator de maior influência sobre a regularidade na profundidade de deposição das sementes e do adubo, na distribuição de sementes no leito de semeadura, na demanda de força na barra de tração, no requerimento de potência na barra, na área mobilizada de solo e na capacidade operacional teórica do conjunto mecanizado.

- O aumento da velocidade de operação de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ reduziu a força requerida na barra de tração.

- Foi possível aumentar a capacidade operacional teórica em 120,23% na operação de semeadura, quando se aumentou a velocidade de operação de 3,5 para 7,0 km h⁻¹.

- A patinação dos rodados-motriz do trator e da semeadora-adubadora não foi influenciada pela variação na velocidade de operação e pela rotação no eixo do motor.

- O consumo horário e o consumo específico de combustível foram influenciados pela variação na velocidade de operação e pela rotação no eixo do motor.

- O aumento da velocidade de operação do conjunto mecanizado de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ influenciou a qualidade da semeadura do milho, principalmente nas maiores velocidades (5,5 e 7,0 km h⁻¹).
- A rotação no eixo do motor de 1.500 rpm em todas as velocidades de operação ensaiadas (3,5; 4,0; 5,5; e 7,0 km h⁻¹) foi a que apresentou menor custo horário (R\$ h⁻¹) com combustível.
- Houve redução no custo de combustível gasto por área trabalhada em função do aumento da velocidade de operação e da capacidade operacional teórica.
- As velocidades de 3,5 a 5,0 km h⁻¹ na rotação de 1.500 rpm proporcionaram os melhores resultados, sendo, assim, ideais para a operação de semeadura, nessa conformação de trator e semeadora-adubadora.
- Quanto aos aspectos econômico e qualitativo na operação de semeadura, é possível, técnica e eficientemente, reduzir a rotação do eixo do motor com marchas adequadas, com o intuito de minimizar o consumo de combustível em operações de semeadura.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer – In:____. **ASAE standards 1995**. St. Joseph, MI, 1995. p. 683. (ASAE S313.2).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In:____. **ASAE standards 1996**. St. Joseph, Michigan, 1996. p. 332-339. (ASAE S313.2).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management. In:____. **ASAE standards 1996**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1996a. p. 326-331. (ASAE D496.2 MAR94).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural Machinery Management Data. In:____. **ASAE standards 1996**: Standards Engineering Practices Data. St. Joseph, 1996b. p. 332-9. (ASAE D-497.2).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Uniform terminology for agricultural machinery management. In:____. **ASAE standards 1996**: Standards Engineering Practices Data. St. Joseph, 1996c. p. 324-25. (ASAE S495 DEC94).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and definitions for agricultural tillage implements. In:____. **ASAE Standards 1997**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1997. p. 254-75.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. S209.5. Agricultural tractor test code. In:____. **ASAE Standards 1999**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1999a. p. 44-48.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management. In:____. **ASAE standards 1999**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1999b. p. 359-366. (ASAE D497.4 JAN98).

ANDREOLI, C.; ANDRADE, R.V.; ZAMORA, S.A.; GORDON, M. **Qualidade da semente e densidade de semeadura no estabelecimento e na produtividade do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 15 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 1, dez. 2002, EMBRAPA-MG).

ARAÚJO, A.G.; CASÃO JUNIOR, R.; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) em solos argilosos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 226-37, 1999.

ARAÚJO, A.G.; CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Mecanização do plantio direto**: problemas e soluções. Londrina, PR: IAPAR, 2001. 18 p. (Informe da Pesquisa, 137).

ARAÚJO, A.G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para semear. **Cultivar Máquinas**, n. 2, p. 10-11, 2001.

AREND, L.; FORCELLINI, F.; WEISS, A. Desenvolvimento e testes de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 801-808, 2005.

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

BOLLER, W.; GAMERO, C.A. Acúmulo de matéria seca e supressão de plantas daninhas por culturas para cobertura do solo. **Revista plantio direto**, Passo Fundo, RS, n. 69, p. 40, 2002.

BORTOLOTTO, V.C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTO, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora sob diferentes velocidades de deslocamento e tipos de cobertura vegetal no plantio direto da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 357-362, 2005.

BRANQUINHO, K.B.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P.; GROTTA, D.C.C.; BORSATTO, E.A. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de operação do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 374-380, 2004.

BRASIL, Ministério da Agricultura e reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**, Brasília, Coordenação de Laboratório Vegetal – CLAV, 1992. 365 p.

CAMILO, J.A.; FERNANDES, H.C.; MODOLO, A.J.; RESENDE, R.C. Influência de mecanismos rompedores e velocidades de trabalho no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto do feijão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 203-211, 2004.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RALISCH, R.; SILVA, A.L.; LADEIRA, A.S.; SILVA, J.C.; MACHADO, P.; ROSSELTO, R. **Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense**. Londrina, PR: IAPAR, 1998. 47 p. (Circular, 105).

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAUJO, A.G.; RALISCH, R. **Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Primeiro de Maio – PR: resultados de avaliação**. Londrina, PR: IAPAR, 2000a. 14 p.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAUJO, A.G.; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora MAGNUM 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 523-532, 2000b.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAUJO, A.G.; RALISCH, R.; MEDEIROS, G.B.; MONICE, R.; SIQUEIRA, R.; SILVA, A.L.; LADEIRA, A.S.; SILVA, J.C.; MACHADO, P. **Desempenho das semeadoras-adubadoras MPS 1600 e MPS 1000 Imasa, em solos argilosos**. Londrina, PR: IAPAR, 2000c. p. 1-44. (Circular, 111).

CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A.G. **Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Marechal Cândido Rondon – PR: resultados de avaliação**. Londrina, PR: IAPAR, 2001. 26 p.

CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Resultados das avaliações do desempenho de semadoras-adubadoras diretas na Costa Oeste Paranaense**. Londrina, PR: IAPAR, 2003. 132 p.

CASCAVEL, 2007. Disponível em: <<http://www.br/celepar/seet/prtur/cidades/cascavel>>. Acesso em: 17 abr. 2007.

COELHO, J.L.D. Ensaio e certificação das máquinas para a semeadura. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 551-70.

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

CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; LOPES, A. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 502-510, 2006. CD-Rom.

CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; GROTTA, D.C.C.; REIS, G.N. Consumo de energia na operação de semeadura em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, MS. **Anais...** Bonito, MS: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. CD-Rom.

CORRÊA, I.M.; YANAI, K.; MAZIERO, J.V.G. Trator agrícola: patinagem, patinamento ou deslizamento? **Engenharia Rural**, v. 6, n. 2, p. 59-62, 1995.

COSTA, M.; STIPP, O.J.; MODOLO, A.J.; SILVA, S.L.; GABRIEL FILHO, A. Força de tração requerida por uma semeadora-adubadora em diferentes profundidades de deposição de sementes de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. CD-Rom.

DELAFOSSÉ, R.M. **Máquinas sembradoras de grano grueso**. Oficina Regional de La FAO para America Latina y el Santiago: Caribe: FAO, 1986. 48 p.

DLG Automação Industrial Ltda. **PNT-2000 Penetrômetro Geo-referenciado**. Manual do usuário. Versão 1.3. 36 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2. ed. Brasília, 1997. 204 p.

FAGANELLO, A.; SATTler, A.; PORTELLA, J. A. **Eficiência de semeadoras na emergência de plântulas de milho (*Zea mays* L.) sob sistema plantio direto**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 1999. (Comunicado Técnico,16).

FERNANDES, H.C.; OLIVEIRA, A.D.; PANEQUE, P.R. Comparação de diferentes sistemas de preparo do solo e semeadura com relação ao consumo de energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. CD-Rom.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; ABRAHÃO, F.Z.; LEITE, M.A.S. Características da cultura do milho (*Zea mays* L.) em função do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 177-186, 1999.

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

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; TIMOSSI, P.C. Manejo: trituradores e roçadoras. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 18, p. 27-9, 2003.

FURLANI, C.E.A.; GAMERO, C.A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R.P. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P.; REIS, G.N. Exigências de uma semeadora-adubadora de precisão variando a velocidade e a condição da superfície do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 920-923, 2005.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.L.; MODOLO, A.J.; SILVEIRA, J.C.M. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de Cobertura vegetal. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 781-789, 2004. CD-Rom.

GARCIA, R.F.; QUEIROZ, D.M.; FERNANDES, H.C.; PETERNELLI, L.A. Desempenho operacional de conjunto trator - recolhadora de feijão. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 199-206, 2005. CD-Rom.

GARCIA, L.C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A.J.; BLUM, J. Influência da velocidade de operação na semeadura do milho. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 520-527, 2006. CD-Rom.

GONÇALVES, W.S. **Influência da velocidade operacional e da carga aplicada pelas rodas compactadoras sobre o estabelecimento inicial da cultura do milho em sistema de plantio direto**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GOODMAN, M.M.; SMITH, J.S.C. Botânica. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Eds.). **Melhoramento e produção do milho**. Campinas, SP, Brasil: Fundação Cargill, 1987. p. 41-69.

GRISSE, R.D.; KOCHER, M.F.; VAUGHAN, D.H. Predicting tractor fuel consumption. **Journal Applied Engineering Agriculture**, ASAE, v. 20, n. 5, p. 553-561, 2004.

GROGAN, J.; MORRIS, D.A.; SEARCY, S.W.; STOUT, B.A. Microcomputer-based tractor performance system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 38, p. 227-43, 1987.

HARRIGAN, T.M.; ROTZ, C.A. Draft of major tillage and seeding equipment. In: INTERNATIONAL WINTER MEETING, 1994, Atlanta. **Proceedings...**St. Joseph: ASAE, 1994. 21 p. (Paper 941533).

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 9. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 336 p.

JASPER, R.; JANSZEN, U.; JASPER, M.; GARCIA, L. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n.1, p. 292-299, 2006. CD-Rom.

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

KLEIN, V.A.; SIOTA, T. A.; ANESI, A.L.; BARBOSA, R. Efeito da velocidade na semeadura direta da soja. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 75-82, 2002.

KOPPEN, W. **Climatologia com un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

KURACHI, S. A. H.; SILVEIRA, G. M.; COSTA, J. A. et al. **Código de avaliação de semeadoras e/ou adubadoras**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico de Campinas, 1986. 138 p. (Documentos, IAC, 3).

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.O.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras, tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v. 48, n. 2, p. 249-62, 1989.

LILJEDAHL, J.B.; CARLETON, W.M.; TURNQUIST, P.K.; SMITH, D.W. Traction. In: _____. **Traction and their power units**. Connecticut: Avi Publish Company, 1995. n. 2, p. 219-26.

LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; ABRAHÃO, F. Z.; LEITE, M. A. S.; GROTTA, D.C.C. Efeito do preparo do solo e da velocidade de semeadura na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 1, p. 68-73, 2001.

LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P. Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 5, n.1, p. 24-31, 2003.

LOPES, A.; LANÇAS, K.P.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; NAGAOKA, A.K.; REIS, G.N. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 366-370, 2005

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; SILVA, A. R. B.; GERMINO, R. Demanda energética de semeadora-adubadora em função da velocidade de semeadura e condições de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. CD-Rom.

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

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, A.R.B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de Milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.

MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S. **Avaliação do desempenho de semeadoras adubadoras de milho no campo.** Brasília: Embrapa, 1990. 49 p.

MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F.E.C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 1579-86, 1992.

MARCHESAN IMPLEMENTOS E MÁQUINAS AGRÍCOLAS “TATU” S.A. **Manual de operação e manutenção.** [S.l.], 2004. 88 p. (Revisão 04).

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes.** 1. ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 1987. p. 51-80.

MELO FILHO, G.A.; RICHETTI, A. Aspectos socioeconômicos da cultura do milho. In: **EMBRAPA Milho: informações técnicas.** Dourados, MS, 1997. p. 13-38.

MELLO, L.M.M.; PINTO, E.R.; YANO, E.H. Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho em função da velocidade de semeadura e tipos de dosadores. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 563-567, 2003.

MIALHE, L.G. **Manual da mecanização agrícola.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MIALHE, L.G. Ensaio & Certificação de Tratores. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação.** Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. Cap. 8, p. 385-462.

MIRANDA, N.O.; OLIVEIRA, M.; NUNES, R.L. Desempenho operacional de trator com tração dianteira auxiliar na subsolagem de um inceptisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 97-102, 2000.

MODOLO, A.J.; GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S.L.; GNOATTO, E. Força de tração necessária em função do número de linhas de Semeadura utilizadas por uma semeadora-adubadora de precisão. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 465-473, 2005. CD-Rom.

MODOLO, A.J.; SILVA, S.L.; GABRIEL FILHO, A.; SILVEIRA, J.C.M.; GNOATTO, E. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora de precisão com diferentes unidades de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 473-479, 2005.

MOLIN, R. Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura do milho. **Revista Batavo**, p. 33, 2000.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento. Capacidade operacional e custos. In: GONÇALVES, J.L.M.; SCAPE, J.L. (Eds.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, SP: Instituto de Pesquisas Florestais, 2002. p. 409-436.

MOREIRA, C.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; MENEZES, J.F.; COSTA, J.A.S. **Desempenho de mecanismos dosadores-distribuidores de sementes em plantadeiras-adubadeiras**. Campinas, SP: IAC, 1978. 22 p. (Circular, 90).

MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1997. p.1-16.

NAGAOKA, A.K.; NOMURA, R.H.C. Tratores: semeadura. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 18, p. 24-6, 2003.

OLIVEIRA, M.L. **Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em duas classes de solo com diferentes tipos de cobertura vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

ÖZMERZI, A.; KARAYEL, D.; TOPAKEI, M. Effect of sowing depth on precision seeder uniformity. **Biosystems Engineering**, v. 82, n. 2, p. 227-230, 2002.

PECHE FILHO, A. Qualidade total na agricultura. In: SIMPÓSIO DE QUALIDADE TOTAL NA AGRICULTURA, 1., 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1994. p. 19-35.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativo. Piracicaba, SP: FEALQ, 2002.

PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, V.C.; BORTOLOTTI, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora pneumática submetida a três velocidades e diferentes coberturas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD-Rom.

PORTELLA, J.A.; SATTTLER, A.; FAGANELLO, A. Regularidade de distribuição de sementes e de fertilizantes em semeadoras para Plantio Direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD-Rom.

REIS, E.F.; VIEIRA, L.B.; SOUZA, C.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES, H.C. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de plantio direto em diferentes teores de água em solo argiloso. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 10, n. 1-4, p. 61-68, 2002.

REIS, E.F.; CUNHA, J.P.A.N.; FERNANDES, H.C.; RONDÓN, P.P. Influência de mecanismos rompedores de solo no desempenho de uma semeadora-adubadora de plantio direto. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Havana – Cuba, v. 12, n. 4, 2003.

SANTOS, S.R.; PEREIRA, J.O.; WEIRICH NETO, P.H.; FEY, E. Espaço entre orifícios de discos dosadores e sementes de milho na eficiência de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 300-308, 2003.

SIEMENS, J.C.; DOSTER, D.H. Costs and return. In: —. **Conservation tillage systems and management**: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p. 34-41.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J. S.S. **Qualidade física do solo**: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal, SP: Funep, 2002. p. 1-18.

SILVA, A.R.B.; BENEZ, S.H.; MAHL, D.; LEITE, M.A.S.; PONTES, J.R.V.; GREGO, C.R.; MARQUES, J.P.; COSTA, A.M. Avaliação de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função de diferentes mecanismos sulcadores e velocidades de deslocamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. CD-Rom.

SILVA, J.G.; SILVEIRA, P.M. **Avaliação de uma semeadora adubadora na cultura do milho**. Santo Antonio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, dez. 2002. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2).

SILVA, S.L.; GABRIEL FILHO, A.; SILVEIRA, J.C.M.; RICIERI, R.P. Redução do consumo de combustível em função da rotação no eixo do motor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. CD-Rom.

SILVEIRA, G.M. **As máquinas para plantar**. Rio de Janeiro: Globo, 1989. 257 p.

SILVEIRA, J.C.M. **Velocidade de operação, profundidade de semeadura, demanda de potência e desenvolvimento inicial da cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema plantio direto**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2004. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

SILVEIRA, J.C.M.; MODOLO, A.J.; SILVA, S.L.; GABRIEL FILHO, A. Força de tração e potência em duas velocidades de deslocamento e duas profundidades de deposição de sementes. **Revista Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 125-128, 2005a.

SILVEIRA, J.C.M.; GABRIEL FILHO, A.; TIEPPO, R.C.; TORRES, D.G.B.; BALDESSIN JÚNIOR, A.; BOLIGON, F. Uniformidade de distribuição de plantas e estande de milho (*Zea may* L.) em função do mecanismo dosador de sementes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 467-472, 2005b.

SIQUEIRA, R.; ARAÚJO, A.G.; CASÃO JÚNIOR, R.; RALISCH, R. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine max* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. CD-Rom.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R. **Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Entre Rios do Oeste-PR: resultados de avaliação**. Londrina, PR: IAPAR, 2002. 42 p.

SUGUISAWA, J.; SILVA, S.S.S.E.; MILAN, M. Qualidade operacional de semeadura mecanizada de milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. CD-Rom.

TOMPKINS, F.D.; HART, W.E.; FREELAND, R.S.; WILKERSON, J.B.; WILHELM, L.R. Comparison of tractor ground speed measurement techniques. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 13, n. 2, p. 369-74, 1988.

TOURINO, M.C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 13., 1983, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 1983. v. 2, p.103-116.

TRINTIN, C.G.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, V.C. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora para plantio direto, submetido a três velocidades de operação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 127-131, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **SAEG**: sistema de análises estatísticas. Versão 9.0, 2006.

WISMER, R.D.; LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 1, p. 8-14, 1973.

APÉNDICE

APÊNDICE A

Tabela 1A – Análise de variância da biomassa da cobertura vegetal

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	6687741,3958	2229247,1319	5,96**
Tratamentos	11	4395931,7292	399630,1572	1,07 ^{ns}
Resíduos	33	12336841,3542	373843,6774	
Total	47	23420514,4792		

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 2A – Análise de variância do teor de água (TA) no solo, na profundidade de 0 até 0,10 m

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	13,2701	4,4234	0,97 ^{ns}
Tratamentos	11	25,7493	2,3408	0,51 ^{ns}
Resíduos	33	151,1300	4,5797	
Total	47	190,1494		

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 3A – Análise de variância do teor de água (TA) no solo, na profundidade de 0,10 até 0,20 m

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	111,8580	37,2860	3,50*
Tratamentos	11	96,2313	8,7483	0,82 ^{ns}
Resíduos	33	351,6704	10,6567	
Total	47	559,7598		

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

* Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 4A – Análise de variância da massa específica do solo (MES), na profundidade de 0 até 0,10 m

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	0,0324	0,0108	2,73 ^{ns}
Tratamentos	11	0,0340	0,0031	0,78 ^{ns}
Resíduos	33	0,1307	0,0040	
Total	47	0,1972		

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 5A – Análise de variância da massa específica do solo (MES), na profundidade de 0,10 até 0,20 m

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	0,0203	0,0068	2,78 ^{ns}
Tratamentos	11	0,0294	0,0027	1,10 ^{ns}
Resíduos	33	0,0803	0,0024	
Total	47	0,1299		

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 6A – Análise de variância da profundidade do sulco de deposição de adubo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,000035	0,0000117	-
VEL	3	0,002701	0,000900	41,959 ^{**}
ROT	2	0,000064	0,000032	1,481 ^{ns}
VEL x ROT	6	0,000355	0,000059	2,758 [*]
Resíduos	33	0,000708	0,000022	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 7A – Análise de variância da área mobilizada de solo em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0000033	0,0000011	-
VEL	3	0,0000596	0,0000199	9,607**
ROT	2	0,0000141	0,0000071	3,411*
VEL x ROT	6	0,0000655	0,0000109	5,275**
Resíduos	33	0,0000683	0,0000021	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8A – Análise de variância da velocidade de operação do conjunto mecanizado obtido pelo radar

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0998	0,0333	-
VEL	3	113,7052	37,9017	675,7190**
ROT	2	0,0742	0,0371	0,6610 ^{ns}
VEL x ROT	6	2,5498	0,4250	7,5763**
Resíduos	33	1,8510	0,0561	

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

* Significativo a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 9A – Análise de variância da rotação no eixo do motor do conjunto mecanizado, obtida pelos sensores

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	349,2292	116,4097	-
VEL	3	968,2292	322,7431	1,4344 ^{ns}
ROT	2	2649432,1250	1324716,0625	5887,6104**
VEL x ROT	6	6597,7082	1099,6181	4,8872**
Resíduos	33	7425,0208	225,0006	

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 10A – Análise de variância da patinagem dos rodados-motriz do trator em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	5,0561	1,6854	-
VEL	3	27,8175	9,2725	1,940 ^{ns}
ROT	2	12,0119	6,0059	1,256 ^{ns}
VEL x ROT	6	70,6459	11,7743	2,463 [*]
Resíduos	33	157,7491	4,7803	

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade

^{*} Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 11A – Análise de variância da patinagem dos rodados-motriz da semeadora-adubadora em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	13,4506	1,2228	-
VEL	3	12,6079	4,2026	43,7200 ^{**}
ROT	2	0,0215	0,0108	0,1120 ^{ns}
VEL x ROT	6	0,8212	0,1369	1,4238 ^{ns}
Resíduos	33	3,4606	0,0961	

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade.

^{**} Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 12A – Análise de variância da força na barra de tração em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,098354	0,032785	-
VEL	3	10,53758	3,512525	21,974 ^{**}
ROT	2	0,564479	0,282239	1,766 ^{ns}
VEL x ROT	6	1,009201	0,168200	1,052 ^{ns}
Resíduos	33	5,275123	0,159852	

^{**} Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 13A – Análise de variância da força requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,002732	0,0009107	-
VEL	3	0,292710	0,0975701	21,974**
ROT	2	0,015679	0,0078399	1,766 ^{ns}
VEL x ROT	6	0,028033	0,0046722	1,052 ^{ns}
Resíduos	33	0,146531	0,0044403	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 14A – Análise de variância da força requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	3,146685	1,048895	-
VEL	3	62,57864	20,85955	12,814**
ROT	2	6,29898	3,14949	1,935 ^{ns}
VEL x ROT	6	22,40675	3,73446	2,294 ^{ns}
Resíduos	33	53,71945	1,62786	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 15A – Análise de variância da força média na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	887786,0	295928,7	-
VEL	3	3704379,0	1234793,0	8,068**
ROT	2	1562622,0	781310,9	5,105*
VEL x ROT	6	3371434,0	561905,7	3,671**
Resíduos	33	5050875,0	153056,8	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 16A – Análise de variância da capacidade operacional teórica em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0000867	0,00002891	-
VEL	3	8,361609	2,787203	3980,693**
ROT	2	0,0023886	0,00119429	1,706 ^{ns}
VEL x ROT	6	0,217606	0,03626762	51,798**
Resíduos	33	0,023106	0,00070018	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 17A – Análise de variância da potência requerida na barra de tração em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,73572	0,24524	-
VEL	3	1531,565	510,5217	1383,496**
ROT	2	2,79821	1,399104	3,792*
VEL x ROT	6	60,43454	10,07242	27,296**
Resíduos	33	12,17728	0,369009	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 18A – Análise de variância da potência requerida na barra de tração por linha de semeadura, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0204368	0,00681225	-
VEL	3	42,54348	14,18116	1383,496**
ROT	2	0,0777279	0,3886399	3,792*
VEL x ROT	6	1,678737	0,2797895	27,296**
Resíduos	33	0,338258	0,1025024	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 19A – Análise de variância da potência requerida na barra de tração por profundidade do sulco, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	14,54868	4,849559	-
VEL	3	6704,137	2234,712	406,092**
ROT	2	24,95737	12,47868	2,268 ^{ns}
VEL x ROT	6	157,0284	26,17140	4,756**
Resíduos	33	181,5982	5,502975	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 20A – Análise de variância da potência requerida na barra de tração por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	131079,6	0,00002891	-
VEL	3	3897533,0	2,787203	3980,693**
ROT	2	2110238,0	0,00119429	1,706 ^{ns}
VEL x ROT	6	11066450,2	0,03626762	51,798**
Resíduos	33	7305388,0	0,00070018	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 21A – Análise de variância do consumo horário de combustível, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,2793	0,0931	-
VEL	3	158,9762	52,9921	687,048**
ROT	2	85,8918	42,9459	556,798**
VEL x ROT	6	2,8532	0,4755	6,165**
Resíduos	33	2,5453	0,0771	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 22A – Análise de variância do consumo específico de combustível, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	392,5848	130,8616	-
VEL	3	170656,6	56885,54	0,0000**
ROT	2	231624,4	115812,2	0,0000**
VEL x ROT	6	56430,73	9405,122	0,0000**
Resíduos	33	6551,483	198,5298	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 23A – Análise de variância do consumo de combustível por área trabalhada, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0082	0,0027	-
VEL	3	38,0503	12,6835	1355,312**
ROT	2	0,1658	0,0829	8,859**
VEL x ROT	6	1,9405	0,3234	34,559**
Resíduos	33	0,3088	0,0094	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 24A – Análise de variância do consumo específico de combustível por área mobilizada de solo, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	281,9213	93,97377	-
VEL	3	16784,64	5594,880	22,624**
ROT	2	2761,495	1380,748	5,583**
VEL x ROT	6	4354,572	725,7621	2,935*
Resíduos	33	8160,807	247,2972	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 25A – Análise de variância do consumo de energia em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0968	0,0323	-
VEL	3	10,3701	0,2778	21,974**
ROT	2	0,5555	0,1655	1,766**
VEL x ROT	6	0,9932	0,1573	1,052**
Resíduos	33	5,1913		

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 26A – Análise de variância da profundidade de deposição das sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0000	0,0000	-
VEL	3	0,0003	0,0009	15,926**
ROT	2	0,0000	0,0000	0,882 ^{ns}
VEL x ROT	6	0,0004	0,0000	0,456 ^{ns}
Resíduos	33	0,0007	0,0000	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 27A – Análise de variância dos espaçamentos aceitáveis de sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	80,0456	26,6819	-
VEL	3	7546,191	2515,397	236,616 ^{**}
ROT	2	139,9089	69,9544	6,580 ^{**}
VEL x ROT	6	100,1953	16,6992	1,571 ^{ns}
Resíduos	33	350,8138	10,6307	

^{**} Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 28A – Análise de variância dos espaçamentos múltiplos de sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	48,2747	16,0916	-
VEL	3	162,5977	54,1992	3,397 [*]
ROT	2	20,1172	10,0586	0,630 ^{ns}
VEL x ROT	6	49,4141	8,2357	0,516 ^{ns}
Resíduos	33	526,5820	15,9570	

^{*} Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 29A – Análise de variância dos espaçamentos falhos de sementes, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	20,4427	6,8142	-
VEL	3	5799,609	1933,203	136,135**
ROT	2	109,8307	54,9154	3,867*
VEL x ROT	6	82,6172	13,7695	0,970 ^{ns}
Resíduos	33	468,6198	14,2001	

* Significativo a 5%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 30A – Análise de variância do coeficiente de variação da distribuição longitudinal de sementes em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	144,9092	48,3031	-
VEL	3	5134,538	1711,513	18,875**
ROT	2	335,1476	167,5738	1,848 ^{ns}
VEL x ROT	6	466,2174	77,7029	0,857 ^{ns}
Resíduos	33	2992,302	90,6758	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Tabela 31A – Análise de variância do índice de velocidade de emergência das sementes, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	99,5704	33,1901	-
VEL	3	2358,3640	786,1212	111,903**
ROT	2	248,0636	124,0318	17,656**
VEL x ROT	6	203,6920	33,9487	4,833**
Resíduos	33	231,8258	7,0250	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 32A – Análise de variância do tempo médio de emergência das plântulas de milho, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	1,2049	0,4016	-
VEL	3	10,2513	3,4171	44,550**
ROT	2	1,9275	0,9637	12,565**
VEL x ROT	6	1,6934	0,2822	3,680**
Resíduos	33	2,5312	0,0767	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 33A – Análise de variância do custo de combustível gasto por hora, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,9869	0,3290	-
VEL	3	567,8368	189,2789	688,4272**
ROT	2	306,8520	153,4260	558,0264**
VEL x ROT	6	10,2213	1,7035	1,1965**
Resíduos	33	9,0732	0,2749	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 34A – Análise de variância do custo de combustível gasto por área trabalhada, em função da velocidade de operação e da rotação no eixo do motor

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F
REP	3	0,0313	0,0104	-
VEL	3	135,9083	45,3028	1353,3313**
ROT	2	0,5944	0,2972	8,87810**
VEL x ROT	6	6,9389	1,1565	34,5477**
Resíduos	33	1,1047	0,0335	

** Significativo a 1%, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.