

PAULO ROBERTO FORASTIERE

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM CONJUNTO
TRATOR-SEMEADORA-ADUBADORA EM PLANTIO DIRETO DA SOJA**

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
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Forastiere, Paulo Roberto, 1990-
F692d Desempenho operacional de um conjunto
2019 trator-semeadora-adubadora em plantio direto da soja / Paulo
Roberto Forastiere. – Viçosa, MG, 2019.
ix, 79 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 71-76.

1. Máquinas agrícolas. 2. Motores. 3. Máquinas agrícolas -
Consumo de combustível. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.37

PAULO ROBERTO FORASTIERE

**DESEMPENHO OPERACIONAL DE UM CONJUNTO
TRATOR-SEMEADORA-ADUBADORA EM PLANTIO DIRETO DA SOJA**

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: 17 de junho de 2019

Marconi Ribeiro Furtado Júnior

Daniel Mariano Leite

Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)

Laércio Junio da Silva

Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino. Aos meus pais, irmão, minha namorada e família, pelo apoio incondicional, confiança e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade e suporte na realização do doutorado em Engenharia Agrícola.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pelas oportunidades, orientação, ensinamentos e contribuição para realização deste trabalho. Ao professor coorientador Paulo Roberto Cecon, pelos ensinamentos, sugestões e esclarecimentos.

Aos colegas e funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola: Marconi, Diego, Juliana, Tiago, Gustavo, Gefferson, Wilson, Anderson, Daniel, Vantuil, Danilo, Marcelo e Vicente, pelo apoio e companheirismo. A capes, pelo auxílio financeiro, concedido por meio da bolsa de pesquisa, durante o curso de doutorado. Aos demais familiares, colegas e amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

PAULO ROBERTO FORASTIERE, filho de Pedro Forastiere e Elza Virginia Ferreira Forastiere, nasceu no dia 17 de julho de 1990 no, Município de Peabiru, Paraná.

Em 2007 concluiu o ensino médio pela Escola Estadual Olavo Bilac, em Peabiru, Paraná. Graduou-se em Agronomia pela Faculdade Integrado de Campo Mourão, Campo Mourão, Paraná em 2013.

Em 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Mecanização Agrícola, em nível de mestrado, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2016, submeteu-se à defesa pública de dissertação, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

Em agosto de 2016, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Doutorado, área de concentração em Mecanização Agrícola, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa

Em maio de 2019, submeteu-se à defesa pública de tese, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

SUMÁRIO

Resumo	viii
Abstract.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Revisão de literatura	3
2.2. Plantio direto da soja	3
2.3. Desempenho operacional de tratores agrícolas	4
2.4. Desempenho de semeadoras-adubadoras	6
2.5. Demanda energética	7
2.6. Sistema de transmissão.....	9
2.7. Rotação no motor	10
2.8. Qualidade da semeadura.....	11
3. Material e métodos	13
3.1. Área experimental.....	13
3.2. Delineamento experimental	13
3.3. Caracterização da área experimental	15
3.3.1. Análise química do solo	15
3.3.2. Cobertura vegetal (C_{bv}).....	15
3.3.3. Teor de água (T_{as}) e densidade do solo (D_s).....	16
3.3.4. Resistência do solo à penetração (R_{sp})	16
3.4. Conjunto mecanizado	16
3.4.1. Trator	16
3.4.2. Semeadora-adubadora	17
3.4.3. Pulverizador.....	18
3.5. Instrumentação do conjunto Transformax-semeadora-adubadora	19

3.5.1. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora (V_c)	19
3.5.2. Força na barra de tração (F_{bt}).....	19
3.5.3. Consumo horário de Combustível (C_{hc})	20
3.5.4. Patinagem dos rodados motrizes do trator (P_t).....	21
3.6. Parâmetros operacionais obtidos indiretamente	22
3.6.1. Potência Média na Barra de Tração (P_{bt}).....	22
3.6.2 Capacidade Operacional Efetiva (C_{oe}).....	22
3.7. Avaliação dos parâmetros operacionais.....	23
3.7.1. Profundidade do sulco (P_s)	23
3.7.2. Área de solo mobilizada (A_{sm})	24
3.8. Demanda energética da operação de semeadura	24
3.8.1. Consumo específico de combustível (C_{ec}).....	24
3.8.2. Consumo de combustível por área solo mobilizada (C_{cam})	25
3.8.3. Consumo de combustível por área trabalhada (C_{cat})	25
3.8.4. Demanda total de energia do combustível (D_{ec}).....	26
3.8.5. Demanda de energia específica (D_{ee})	26
3.8.6. Eficiência de utilização do combustível (E_{uc})	27
3.9. Avaliação da qualidade da semeadura.....	27
3.9.1. Insumos agrícolas	27
3.9.2. Profundidade de deposição das sementes (P_{ds}).....	27
3.9.3. Patinagem da roda de acionamento semeadora-adubadora (P_{ras})	27
3.9.4. Distribuição longitudinal de plântulas.....	28
3.10. Germinação e emergência de plântulas	28
3.10.1. Teste de germinação em laboratório.....	28
3.10.2. Índice de velocidade de emergência (IVE).....	29
3.10.3. Tempo médio de emergência (TME)	29

3.11. Custo de combustível	30
3.11.1. Custo horário de combustível (C_h)	30
3.11.2 Custo de combustível por área trilhada (C_{at})	30
3.12. Produtividade da cultura (P_{rod})	30
3.13. Análise estatística	31
4. Resultados e Discussão.....	32
4.1. Caracterização da Área Experimental	32
4.2. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora (V_c) e Profundidade do sulco (P_s).	33
4.3. Força na barra de tração (F_{bt}) e Potência na barra de tração (P_{bt}).....	35
4.4. Consumo horário de combustível (C_{hc})	38
4.5. Patinagem dos rodados motrizes do trator (P_t).....	40
4.6. Capacidade operacional efetiva (C_{oe}).	42
4.7. Área de solo mobilizada (A_{sm}).....	43
4.8. Demanda energética da operação de semeadura.	46
4.8.1. Consumo específico de combustível (C_{ec}).....	46
4.8.2. Consumo de combustível por área trabalhada (C_{cat}) e Consumo de combustível por área de solo mobilizado (C_{cam})	48
4.8.3. Demanda total de energia do combustível (D_{ec}) e Demanda específica de energia (D_{ee}).	49
4.8.4. Eficiência de utilização do combustível (E_{uc})	51
4.9. Qualidade da Semeadura	53
4.9.1. Profundidade de deposição da semente (P_{ds}).....	54
4.9.2. Patinagem da roda de acionamento da semeadora-adubadora (P_{ras}).	55
4.9.3. Espaçamentos aceitáveis entre plântulas (E_a).....	57
4.9.4. Espaçamentos múltiplos entre plântulas (E_m).....	60
4.9.5. Espaçamentos Falhos entre plântulas (E_f).	62

4.10. Germinação e emergência de plântulas	63
4.10.1. Índice de velocidade de emergência (IVE) e Tempo médio de emergência (TME).	63
4.11. Custo de combustível	65
4.11.1. Custo horário de combustível (C_h) e Custo de combustível por área trabalhada (C_{at}).....	65
4.12. Produtividade da cultura (Prod).....	68
5. Conclusão	70
6. Referências Bibliográficas.....	71
Apêndice.....	77
Apêndice A.....	78

Resumo

FORASTIERE, Paulo Roberto, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2019. **Desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora em plantio direto da soja.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon e Mauri Martins Teixeira.

É muito importante para o produtor agrícola conhecer o rendimento de seu conjunto mecanizado em termos de custo para a implantação de uma cultura, sabendo a demanda energética e a qualidade da semente. Objetivou-se com este trabalho, avaliar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora durante o plantio direto da cultura da soja na palhada de inverno, considerando a combinação de marchas e rotações no motor do trator. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 3 x 4, com três marchas reduzidas (2R, 3R e 4R) e quatro rotações no motor, (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm) em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. O desempenho do conjunto foi avaliado por meio da demanda energética e qualidade da operação de semente. A combinação da marcha 4R com 1600 rpm e 3R com 2200 rpm no motor do trator apresentaram uma velocidade de semente próximo a 6,23 km h⁻¹. A primeira combinação de marcha e rotação apresentou um consumo de combustível por área trabalhada de 8,8 L ha⁻¹ e uma eficiência de utilização do combustível de 22,13%. Já a segunda combinação de marcha e rotação proporcionou maior consumo de combustível por área trabalhada (13,3 L ha⁻¹) e menor eficiência de utilização do combustível de (15,89%). A maior porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre plântulas (59,09%) foi encontrada operando em 2R com 2200 rpm, entretanto, apresentou maior demanda total de energia do combustível (557,0 MJ ha⁻¹), o que não torna a marcha e a rotação do motor mais apropriada para realizar a operação de semente com o conjunto trator-semeadora-adubadora. A produtividade da soja não foi influenciada pelas variáveis marcha e rotação do motor.

Abstract

FORASTIERE, Paulo Roberto, DSc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2019. **Operational performance of a tractor-seeder-fertilizer of soybean in system no-tillage.** Advisor: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisors: Paulo Roberto Cecon and Mauri Martins Teixeira.

It is very important for the farmer to know the performance of his mechanized set in terms of cost for the implantation of a crop, knowing the energy demand and the quality of the sowing. The objective of this work was to evaluate the operational performance of a tractor-seeder-fertilizer of soybean in system no-tillage in the winter straw, considering the combination of gears and rotations in the tractor's engine. The experiment was conducted in a 3 x 4 factorial scheme, with three reduced gears (2R, 3R e 4R) and four engine rotations, (1600, 1800, 2000 and 2200 rpm) in a randomized block design, with four replications, totaling 48 experimental units. The performance of the set was evaluated by energy demand and quality seedbed operation. The combination of the 4R march with 1600 rpm and 3R with 2200 rpm in the motor of the tractor presented a sowing speed near to 6.23 km h⁻¹. The first combination of gears and rotating showed a fuel consumption per worked area of 8.8 L h⁻¹ and a fuel utility efficiency of 22.13%. The second combination of gear and rotation provided higher fuel consumption per worked area (13.3 L ha⁻¹) and lower fuel utility efficiency of (15.89%). The highest percentage of acceptable seedling spacings (59.09%) was found to be operating in 2R at 2200 rpm, however, it presented higher total fuel energy demand (557.0 MJ ha⁻¹), which does not the rotation of the motor more appropriate to perform the sowing operation with the tractor-seeder-fertilizer set. The soybean yield was not affected by the variables of running and rotation of the engine.

1. Introdução

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é um das principais culturas agrícola com maior crescimento nas últimas três décadas, no Brasil, correspondendo a 49% da área plantada em grãos do país. Segundo o levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), o Brasil na safra 2018/19, aumentou a área cultivada com a cultura em 1,8% em relação à safra passada, correspondendo a 35.775,2 mil hectares. Entretanto, apresentou redução de 4,6% na produtividade, ocasionada por adversidades climáticas severas em importantes estados produtores, como Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Paraná, quando comparada à produtividade da safra passada. Nesse levantamento, a estimativa foi de 113,8 milhões de toneladas.

Para garantir a segurança alimentar nas próximas décadas, o produtor tem incrementado o uso de tecnologia a fim de aumentar a produtividade. A mecanização agrícola é indispensável na agricultura moderna, já que atividades como preparo do solo, semeadura, pulverização e colheita são desenvolvidos com auxílio de máquinas, garantindo melhor produtividade e permitindo o cultivo de áreas maiores.

A avaliação do desempenho de tratores agrícolas, em ensaios de campo, gera informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motomecanizados na agricultura, entretanto é uma tarefa bastante complexa, pois a quantidade de variáveis a serem controladas e analisadas é muito grande.

Com a correta adequação do conjunto mecanizado, obtém-se maior eficiência energética, definida como a capacidade de se produzir a mesma área com o mínimo de recursos utilizados. Requisito fundamental para que se obtenha uma produção agrícola sustentável, estando diretamente relacionada às práticas de manejo dentro do processo produtivo.

A avaliação energética pode ser realizada com base na medição do consumo de combustível por hectare, principal indicador técnico de referência na avaliação da eficiência de utilização do trator agrícola, uma vez que demonstra o envolvimento das diversas variáveis que condicionam o rendimento global da transformação do combustível fornecido ao motor em trabalho útil realizado pelo conjunto mecanizado.

O desempenho eficiente das semeadoras-adubadoras, na implantação da cultura da soja em áreas de produção está diretamente ligado à correta regulagem das mesmas, que vão influenciar diretamente na germinação e na emergência da cultura. A sustentabilidade do sistema de plantio direto está ligada ao uso do solo com o acúmulo de massa seca vegetal,

porém esse sistema pode vir a afetar o desempenho das máquinas agrícolas. Portanto, para o sucesso do sistema de plantio direto, trator-semeadora-adubadora deve trabalhar em sinergia.

Dessa forma, a avaliação de desempenho de máquinas agrícolas é muito importante, especialmente as semeadoras, que tem como principal função depositar, dosar e distribuir uniformemente as sementes, uma vez que, das principais barreiras para a adoção completa do plantio direto é a dificuldade na obtenção de máquinas de semeadura versáteis e resistentes. A variação da uniformidade de distribuição de sementes no sulco de semeadura pode afetar de modo significativo pelo estande de plantas, reduzindo a produtividade de uma cultura.

O conhecimento do custo operacional de máquinas é de suma relevância no processo de tomada de decisão auxiliando, de forma fundamental, o controle e o planejamento da utilização desses equipamentos, em geral, tais custos são expressos em termos de unidade de efetivas de trabalho da máquina. Segundo a Fundação ABC em Abril de 2018, o custo com máquinas na implantação da soja em áreas de produção agrícola foi de R\$ 152,54 h⁻¹, resultante da soma de R\$ 56,98 de um trator de 77 cv, R\$ 75,60 de uma semeadora-adubadora 7 linhas e R\$ 19,69 da mão de obra do operador.

Dentro do contexto apresentado, objetivou-se com este trabalho, avaliar o desempenho operacional de um conjunto trator-semeadora-adubadora durante o plantio direto da cultura da soja na palhada de inverno, considerando a combinação de marchas e rotações no motor do trator.

E como objetivos específicos:

- Caracterizar o solo da área experimental a partir do teor de água, densidade e resistência mecânica à penetração.

- Estimar a demanda energética na operação de semeadura, em função da área e potência requerida na barra de tração, área de solo mobilizada, consumo específico e operacional de combustível, consumo de combustível por área mobilizada, demanda total de energia do combustível, demanda de energia específica e a eficiência de utilização do combustível.

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

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

- Determinar a produtividade da cultura em função dos tratamentos utilizados.

2. Revisão de literatura

2.1. Cultura da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é considerada uma das culturas agrícolas mais importantes no mundo. Originada de clima temperado, possui ampla adaptação aos climas subtropicais e tropicais. É uma planta anual, dicotiledônea, pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, Subfamília Faboideae e gênero *Glycine* (SEDIYAMA; OLIVEIRA; SEDIYAMA, 2016).

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo com uma produção estimada para safra 2017/2018 de 114,9 milhões toneladas do grão e uma área plantada de 33,890 hectares e uma produtividade de 3,362 kg ha⁻¹, ficando atrás somente dos Estados Unidos. O estado do Mato Grosso com a produção total de 31.887,3 mil toneladas e área semeada de 9.518,6 mil hectares e produtividade de 3.350,0 kg ha⁻¹ na safra 2017/18 é o maior estado produtor desta oleaginosa, seguido pelo estado do Paraná com produção de 19.170,5 mil toneladas, com área semeada de cerca 5.464,8 mil hectares e produtividade de 3.508 kg ha⁻¹ (CONAB 2018).

A expansão da soja no Brasil se deu a partir da região Sul do país e sua introdução em novas áreas de plantio foi viabilizada graças à adoção de novas tecnologias, como o uso de sementes de melhor qualidade física, fisiológica, genética e sanitária; a adoção do sistema de plantio direto; o melhoramento da soja para baixas latitudes e para maior resistência às pragas e doenças, introduzindo cultivares mais produtivas e adaptadas às diferentes condições de cultivo (ROCHA et al. 2018).

A soja é uma cultura que apresenta grande importância no cenário mundial da agricultura, devido a grande diversidade de produtos devido a sua composição, podendo ser utilizada para alimentação humana, fonte de matéria prima para alimentação animal e para as agroindústrias. Com isto, pode ser observado o aumento da área cultivada ano a ano.

2.2. Plantio direto da soja

A técnica do plantio direto surgiu pelas mãos dos agricultores da Inglaterra e dos Estados Unidos, na década de 1950, onde os primeiros estudos foram registrados sobre o cultivo sem a necessidade de revolvimento do solo, que tiveram como base e motivação as experiências pioneiras dos produtores daqueles países, que encaravam esta técnica como um avanço tecnológico fundamental na conservação do solo e produção de alimentos (ANDRADE et al. 2018).

Dentre os principais benefícios do sistema de plantio direto estão a conservação do solo, redução no uso da água, menor custo de implantação e aumento de produtividade, sendo esta, uma ferramenta essencial para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários (EMBRAPA, 2014). 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.

O plantio direto é um sistema de manejo do solo no qual a palha e os restos vegetais da cultura anterior são mantidos sobre a superfície, visando, além de outros benefícios, a redução da evaporação da água do solo; nesse sistema não há remoção de solo sob a palhada do cultivo anterior, onde se observa a diminuição de riscos erosivos e a distribuição sistemática da compactação do solo (ALMEIDA et al., 2018). A cada ano, o sistema de plantio direto se torna mais popular. Emprega o preparo do solo somente em certas faixas de solo onde as sementes serão incorporadas, deixando a área restante do solo intacta (ŠARAUSKIS et al. 2017).

Os mecanismos das semeadoras para cortar os resíduos vegetais, mobilizar a camada superficial do solo e depositar as sementes nos sulcos interferem de forma direta no número de plântulas germinadas e desenvolvimento de raízes, e indireta na alteração da estrutura do solo no sulco mobilizado (SILVA et al. 2018).

Roz et al. (2011) estudaram a ação dos mecanismos sulcadores e três pressões da roda compactadora (12,2; 18,5 e 24,1 kPa) de uma semeadora-adubadora no plantio direto, na resistência à penetração, durante a semeadura da soja, sob três teores de água do solo (23,8; 25,5 e 27,5%). O teor de água do solo promoveu alteração na resistência à penetração com a profundidade, no leito de semeadura, independentemente do sulcador e da pressão da roda compactadora. O uso de haste sulcadora proporcionou menor resistência à penetração comparada com o sulcador discos duplos, no leito de semeadura, independente do teor de água e da pressão da roda compactadora. A pressão aplicada pela roda compactadora de 18,5 kPa proporcionou as menores resistências do solo à penetração, quando a haste sulcadora foi utilizada. Sendo que a resistência à penetração foi menor na linha de semeadura do que na entre fileiras, até 0,20 m de profundidade.

2.3. Desempenho operacional de tratores agrícolas

Para garantir a segurança alimentar nas próximas décadas, a mecanização agrícola é indispensável na agricultura moderna, já que atividades como preparo do solo, semeadura,

pulverização e colheita são desenvolvidos com auxílio de máquinas, garantindo melhor produtividade e permitindo o cultivo de áreas maiores. As operações com máquinas agrícolas estão sujeitas a alterações devido a fatores como carga a ser tracionada, velocidade de trabalho, podendo interferir diretamente nos processos agrícolas mecanizados. A melhor forma de obter essas respostas é por meio de ensaios de desempenho operacional (QUEIROZ et al., 2017).

Como principal investimento, fonte de potência de uma propriedade agrícola e devido a sua versatilidade em realizar diversas operações, o trator se tornou um fator de produção fundamental para o desenvolvimento da atividade rural, responsável por transformar energia química contida nos combustíveis, em energia mecânica (MONTANHA, 2012).

Avaliação do desempenho de tratores agrícolas, em ensaios de campo, tem sido gerar informações que possibilitem dimensionar e racionalizar o uso de conjuntos motomecanizados na agricultura. De acordo com Mialhe (1996), para avaliar o desempenho operacional de tratores agrícolas são mensurados força de tração, consumo horário de combustível, consumo específico, velocidade, patinagem dos rodados entre outros.

Para verificar a compatibilidade entre trator e implemento, ou então para dimensionar o implemento corretamente ao trator, faz-se necessário conhecer a força e a potência requerida pelo implemento e máquina agrícola. A força de tração dos tratores depende principalmente da potência do motor, da distribuição de peso nas rodas de tração, do tipo de engate, e das condições de solo (ASAE, 2003). Porém, essa demanda de potência está ligada a inúmeros fatores, tais como características de projeto do implemento, tipo de solo, teor de água, textura, profundidade de trabalho, velocidade, entre outros (SALVADOR et al., 2008; MONTEIRO et al. 2013).

A velocidade do trator influencia diversos aspectos, entre eles o consumo de combustível, a capacidade operacional e a qualidade de semeadura (SILVEIRA et al., 2013). O consumo horário de combustível pode ser afetado pela marcha de trabalho do trator. Cortez et al. (2008) observaram que o uso de marchas de menores velocidades promoveram menor consumo de combustível devido à baixa potência exigida. O consumo específico de combustível também foi afetado pelas marchas, sendo que a marcha de menor velocidade apresentou maior consumo de combustível, devido ao maior tempo para realizar a operação em uma determinada área.

A forma mais adequada e eficiente de expressar o consumo de combustível em máquinas agrícolas é em gramas de combustível por unidade de potência, por hora de trabalho

($\text{g h}^{-1} \text{ kW}^{-1}$), sendo esse parâmetro denominado consumo específico de combustível. Quanto menor o consumo específico de combustível mais eficiente é o motor, devido à razão entre a quantidade de combustível utilizada e a quantidade de energia útil produzida (GOERING et al., 2003).

Para aumentar a velocidade de deslocamento em pequenas proporções, normalmente o operador eleva a rotação de trabalho, resultando em queda de torque do motor e aumento no consumo de combustível. Estima-se que a maioria dos motores dos tratores atualmente disponível no mercado atingem seu torque máximo em rotações inferiores a 1500 rpm. A partir desta faixa de rotação, a reserva de torque começa a diminuir, a potência requerida na barra de tração e o consumo de combustível passa a aumentar gradativamente, à medida que se aumenta ainda mais a rotação do motor sem a troca das marchas (ALMEIDA et al. 2010).

Silveira et al. (2013) avaliaram a demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema plantio direto, em função das velocidades de deslocamento (3,5; 4,0; 5,5 e 7,0 km h^{-1}) e rotações no eixo do motor (1.500, 1.900 e 2.100 rpm), na semeadura da cultura do milho. Os autores observaram que o requerimento de potência na barra de tração, média, por linha de semeadura, por profundidade do sulco, por área mobilizada e consumo horário de combustível aumentou com o aumento da velocidade de operação do conjunto mecanizado.

A eficiência de tração do trator é a porcentagem de potência do eixo do trator que é transformada em potência na barra de tração do trator. Este parâmetro de desempenho pode afetar a produtividade e o consumo de combustível do trator. O conhecimento da eficiência do trator é útil para determinar a eficiência energética do motor, bem como auxiliar o operador do trator na seleção do lastro do trator para melhorar a eficiência do trator. A capacidade de tração do trator durante as operações de campo depende da massa do trator, tipo de implemento, textura do solo, velocidade, profundidade trabalho do implemento e força de tração gerada pelas rodas motrizes (SHAFAEI, 2018).

2.4. Desempenho de semeadoras-adubadoras

O ato de semear e adubar consiste em colocar uma certa quantidade de semente e adubo no solo, seguindo as recomendações agronômicas. A fim de que seja executada de maneira eficiente, rápida, uniforme e econômica utilizam-se máquinas que executam essa tarefa, ou seja, a semeadora e adubadora (BALASTREIRE, 1990).

As semeadoras de precisão são responsáveis pela dosagem e distribuição das sementes, ao longo da linha de semeadura, de acordo com um espaçamento pré-determinado. Esse tipo de semeadora é amplamente empregado na semeadura de grãos graúdos, com a dosagem das sementes realizada geralmente por mecanismos dosadores do tipo disco perfurado horizontal ou mecanismos pneumáticos (SILVA, 2015).

De acordo com Kurachi, (1989) o desempenho satisfatório de uma semeadora-adubadora está na regularidade da distribuição longitudinal das sementes, na linha de semeadura, que tem sido apontada por normas de ensaios e trabalhos de pesquisa como uma das características operacionais das semeadoras que mais contribui para obtenção de um estande adequado de plantas e conseqüentemente uma alta produtividade das culturas agrícolas.

A uniformidade da semeadura nas áreas agrícolas pode ser afetada por diversos fatores, tais como a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora e a profundidade de colocação da semente no sulco de plantio. Esses fatores podem afetar significativamente a produtividade de grãos das culturas (SILVA et al., 2017).

Avaliando espaçamentos longitudinais, população e profundidade em 32 áreas de cultivo de milho e 8 áreas de cultivo de soja na região centro sul do Paraná, Reynaldo et al. (2015) observaram que as profundidades variaram bastante entre os produtores avaliados e na maioria dos casos estão fora da profundidade recomendada, sendo que a profundidade indicada para a cultura do milho é em torno de 0,05 m. Segundo os autores, essa variação de profundidade pode ser devido à influência da velocidade de semeadura.

Bottega et al. (2014) avaliaram a influência de três velocidades de deslocamento (3,0, 6,0 e 9,0 km h⁻¹) e duas profundidades de semeadura (0,03 e 0,05 m) na implantação de uma lavoura de milho. As variáveis analisadas foram o índice de velocidade de emergência (IVE) e os espaçamentos entre plantas (múltiplo, falho e aceitável). A profundidade de semeadura não afetou as variáveis estudadas, independente da velocidade de deslocamento adotada. A maior velocidade de deslocamento ocasionou redução média de 48% no espaçamento normal entre plantas, comparando-se com a menor velocidade de semeadura.

2.5. Demanda energética

A análise energética visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total, a eficiência energética refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação entrada/saída (energia convertida/energia consumida) e a energia necessária para produzir ou

processar um quilograma de determinado produto (MATINS et al. 2015; CUNHA et al. 2015).

Segundo Khalil et al., (2017), a eficiência energética, definida como a capacidade de se obter a mesma produção com o mínimo de recursos utilizados, é um requisito fundamental para que se obtenha uma produção agrícola sustentável, estando diretamente relacionada às práticas de manejo dentro do processo produtivo.

Silveira et al. (2013) descreveram a demanda energética de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, em diferentes velocidades de deslocamento, obtidas em função do escalonamento de marchas do trator e de rotações no eixo do motor. A demanda energética foi determinada em função da profundidade de sulco do adubo (m), área de solo mobilizado (m^2), força média na barra de tração (kN), potência média na barra de tração (kW), potência média por linha de semeadura ($kW\ linha^{-1}$), potência por profundidade de sulco ($kW\ m^{-1}$), potência por área de solo mobilizada ($kW\ m^{-2}$), consumo horário de combustível ($L\ h^{-1}$), consumo específico de combustível ($g\ kW^{-1}\ h^{-1}$), consumo específico por área de solo mobilizada ($g\ kW^{-1}\ m^{-2}$).

Feitosa (2018), avaliou a demanda energética das operações mecanizadas necessárias à implantação da cultura da cebola em função de diferentes teores de água (12, 15, 23 e 26%) e sistemas de preparo do solo (P1 = aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento + semeadura; P2 = duas gradagens + encanteiramento + semeadura; P3 = uma gradagem + encanteiramento + semeadura). A demanda energética foi avaliada por meio dos parâmetros consumo de combustível por área trabalhada, demanda total de energia, demanda específica de energia e eficiência de utilização do combustível. Os sistemas de preparo afetaram significativamente a demanda energética das operações. Os teores de água apresentaram efeito linear na demanda específica de energia, verificando-se no sistema P1 que o incremento de 1% no teor de água do solo eleva a demanda energética em $3,43\ MJ\ ha^{-1}$. O sistema P3 mostrou-se o mais adequado do ponto de vista energético à implantação da cultura da cebola.

Devido à necessidade de buscar-se maior eficiência energética na utilização de tratores agrícolas, Farias et al., (2018) avaliaram a capacidade de campo efetiva e o consumo operacional de combustível de um trator utilizando diferentes tamanhos de grades e velocidades de trabalho. Os resultados indicaram que, tecnicamente, a maior velocidade compensa a menor largura de trabalho, porém trabalhar com grade mais larga e com menor

velocidade, proporciona economia de combustível, tornando a operação de gradagem mais eficiente economicamente.

2. 6. Sistema de transmissão

Para um trator ou máquina agrícola, o sistema de transmissão de potência tem duas funções. Além de transmitir potência do motor às rodas, o sistema transforma, dentro das limitações do projeto, o torque e a velocidade do motor, no torque e na velocidade requeridos pelos rodados, realizando operações que vão deste o preparo inicial do solo até a colheita (BARGER, 1951).

A caixa de mudança de marchas é um componente localizado após a embreagem e tem como finalidade, variar a velocidade transmitida para os rodados, mudar o sentido do movimento e aumentar o diminuir o torque transmitido. A caixa de mudança de marcha não multiplica a potência do motor, ela apenas varia o torque e a velocidade. Essa conversão relativa de torque e velocidade pode ser alcançada por meio de uma caixa de engrenagens ou por uma unidade denominada conversor hidráulico de torque.

De acordo com Ribas et al. (2010), a caixa de marchas com maior número de marchas, torna possível realizar operações nas velocidades recomendadas para cada tipo de implemento, proporcionando, assim, maior qualidade ao trabalho, aumento da eficiência operacional e economia de combustível.

A determinação do torque nos rodados motrizes dos tratores agrícolas complementa os ensaios de tração e permite o cálculo da distribuição dos esforços tratórios entre os eixos. Fiorese et al. (2015) avaliaram a demanda de torque nos rodados motrizes de um trator agrícola em função da utilização da tomada de potência auxiliar, da marcha de trabalho e da força na barra de tração (4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 30 kN). As marchas foram B1, B2, C1 e B3 que proporcionaram velocidades de 5,0; 7,0; 8,0 e 9,0 km h⁻¹ operando na rotação nominal do motor 2300 rpm. Os resultados analisados estatisticamente através de equações de regressão indicaram comportamento similar para todas as marchas sendo que, conforme o aumento da força de tração ocorreu crescimento linear da demanda de torque nos eixos motrizes. Na máxima força tracionada pelo trator a distribuição de torque foi de aproximadamente 70% no eixo traseiro e 30% no eixo dianteiro; já para a menor força de tração esta distribuição se inverte entre os eixos.

A busca por operações eficientes mecanizadas sempre foram preocupação dos agricultores, simplesmente por causa do aumento do custo de combustível, mão-de-obra,

reparo e manutenção. Kumar e Pandey (2015) desenvolveram um software para determinar a melhor combinação de marcha e rotação do motor de um trator de 32 kW de potência, que apresenta menor economia de combustível em operações de preparo do solo. Foi realizado ensaio de campo para validar o programa, comparando-se duas marcha L2 (4,86 km h⁻¹) e L3 (6,9 km h⁻¹) e quatro rotações no motor 1382, 1598, 1836, 2066 rpm. A melhor combinação de marcha e rotação no motor do trator foi a marcha L3 com 2066 rpm que produziu menor consumo de combustível por área trabalhada.

2.7. Rotação no motor

Motores de tratores, caminhões pesados e outros veículos utilitários são projetados com fator de carga mais elevado que motores de automóveis. Motores de tratores trabalham com rotação em torno de 2000 rpm com um fator de carga próximo a um por longos períodos de tempo quando estão tracionando um implemento (GEORING et al., 2003).

Segundo Grisso et al. (2014) para garantir a máxima eficiência operacional, um motor de trator deve ser operado perto de sua capacidade nominal. Entretanto, muitas operações de campo, como plantio direto, tratos culturais entre outras, não requerem potência total do trator. De acordo com Fiorese et al. (2015) o maior consumo de combustível encontrado nos motores agrícolas é atingido próximo à rotação de potência máxima com o acelerador totalmente acionado.

Correia et al. (2015) avaliaram o desempenho operacional de uma grade aradora em solo argiloso utilizando três rotações do motor, 1500; 1800 e 2100 rpm, operando na marcha B1, sendo avaliados as velocidades de trabalho alcançadas, a capacidade de campo efetiva, o consumo operacional de combustível, a profundidade de trabalho da grade, a patinação dos rodados do trator, a força de tração requerida e a potência na barra de tração. Os resultados obtidos indicaram que a maior rotação de trabalho proporcionou menor consumo de combustível (17,25 L ha⁻¹) e maior capacidade de campo (0,91 ha h⁻¹). Porém, o aumento da rotação de trabalho proporcionou redução da profundidade de trabalho dos discos da grade (13,1 cm).

O consumo de combustível e emissões de CO e CO₂ dependem da rotação no motor. Janulevičius et al. (2013) monitoram o desempenho de oito tratores da marca Massey Ferguson, modelo MF 6499, todos equipados com o sistema EEM 3 (Electronic Engine Management), que tem a função de medir o consumo de combustível, torque e rotação no motor dos tratores. Com base nos valores apresentado pelo sistema EEM 3, foi determinado

em um período de 1000 h de trabalho o consumo horário de combustível e a emissão de poluentes liberados pela combustão. Os autores encontraram que 73% do combustível consumido foi operando em média (1100 a 1900 rpm) e alta rotação (> 1900 rpm). Já a emissão de CO foi maior com baixo torque no motor e baixa (< 1100 rpm) e media rotação. As maiores emissões de CO₂ foram obtidas em médio e alto torque e elevada rotação no motor.

2.8. Qualidade da semeadura

Conceitos de qualidade cada vez mais se tornam essenciais para a “sobrevivência” da empresa agrícola, pois a importância do aprimoramento das operações agrícolas se faz necessária para a obtenção de resultados viáveis economicamente, ambientalmente e socialmente (ALBIEIRO et al., 2012). Dentre os fatores que influenciam a qualidade de implantação pode-se destacar a velocidade de deslocamento do conjunto trator + semeadora, pois ela determina a distribuição espacial das sementes na linha e a população final de plantas (FANTIN et al. 2016).

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. Os parâmetros básicos utilizados para determinar a eficiência são: o coeficiente de variação geral de espaçamentos e a distribuição longitudinal de sementes, sendo eles a percentagem de espaçamentos aceitáveis, falhos e duplos (KURACHI et al., 1989).

Melo et al. (2013) avaliaram a distribuição longitudinal de sementes de uma semeadora mecânica e uma semeadora pneumática em função de duas velocidades de operação 4 e 7 km h⁻¹. Ao comparar o desempenho das duas semeadoras, verificaram que a semeadora pneumática apresentou melhor desempenho do que a semeadora mecânica, pois o número de espaçamentos não aceitáveis foi menor para a semeadora pneumática na velocidade de 4 km h⁻¹, onde obteve-se apenas 36% de espaçamentos não aceitáveis quando comparado com a velocidade de 7 km h⁻¹.

Para ter êxito na produção de uma cultura, além da adoção de uma série de cuidados necessários, é fundamental conseguir, de imediato, uma boa porcentagem de emergência das plântulas, que propiciará uma população adequada ao melhor desenvolvimento da cultura. De acordo com LOPES et al. (2010), a germinação é afetada por uma série de fatores endógenos, relacionados com a própria semente como grau de maturação, viabilidade, ausência de

dormência, presença de promotores e/ou inibidores da germinação e fatores exógenos, como disponibilidade de água, temperatura, oxigênio e luz.

Para avaliar a germinação de sementes em campo, Maguire (1962) propõe o índice de velocidade de germinação (IVG) como o teste mais empregado para avaliar a velocidade de germinação. As avaliações das plântulas são realizadas diariamente, à mesma hora, a partir do dia em que surgem as primeiras plântulas. Edmond e Drapala (1958) propuseram o cálculo do tempo médio de emergência das plântulas (TME).

Avaliando o índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) da cultura do milho em sistema de plantio direto realizado com três velocidades de semeadura (4 km, 6 km e 8 km h⁻¹) e dois dosadores de sementes (disco horizontal perfurado e sistema pneumático), Bottega et al. (2017) observaram que o dosador pneumático apresentou maior IVE quando comparado ao dosador disco horizontal perfurado, sendo o maior valor observado para velocidade de deslocamento de 6 km h⁻¹. Esse sistema de seleção causa menores danos às sementes, isso porque apresenta número menor de componentes mecânicos envolvidos no processo.

3. Material e métodos

3.1. Área experimental

O experimento foi realizado na fazenda São Domingos, no município de Engenheiro Beltrão, localizado na região central do Paraná, com latitude 23° 50' 53'' Sul e longitude 52° 19' 27'' Oeste, com uma altitude média de 520 metros segundo datum horizontal WGS84. O clima da região é Subtropical Úmido Mesotérmico, com verões quentes e tendência de concentração das chuvas. O solo da região segundo Embrapa (2018) é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico (Figura 1).



Figura 1. Área experimental.

3.2. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 3 x 4, com três marchas (2R = 2^a reduzida, 3R = 3^a reduzida e 4R = 4^a reduzida) e quatro rotações no motor, (1600; 1800; 2000 e 2200 rpm) em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída de 3,15 m de largura por 30 m de comprimento (94,5 m²). Para o tráfego do conjunto trator/semeadora-adubadora, manobras e estabilização dos mesmos antes do início da aquisição dos dados, foram deixados 15,0 m de largura entre as unidades experimentais.

Na Tabela 1 é apresentada a descrição dos tratamentos.

Tabela 1. Relação dos tratamentos realizados no experimento

Tratamento	Descrição
T1	2 ^a Reduzida na Rotação 1600 rpm
T2	2 ^a Reduzida na Rotação 1800 rpm
T3	2 ^a Reduzida na Rotação 2000 rpm
T4	2 ^a Reduzida na Rotação 2200 rpm
T5	3 ^a Reduzida na Rotação 1600 rpm
T6	3 ^a Reduzida na Rotação 1800 rpm
T7	3 ^a Reduzida na Rotação 1200 rpm
T8	3 ^a Reduzida na Rotação 2200 rpm
T9	4 ^a Reduzida na Rotação 1600 rpm
T10	4 ^a Reduzida na Rotação 1800 rpm
T11	4 ^a Reduzida na Rotação 2000 rpm
T12	4 ^a Reduzida na Rotação 2200 rpm

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

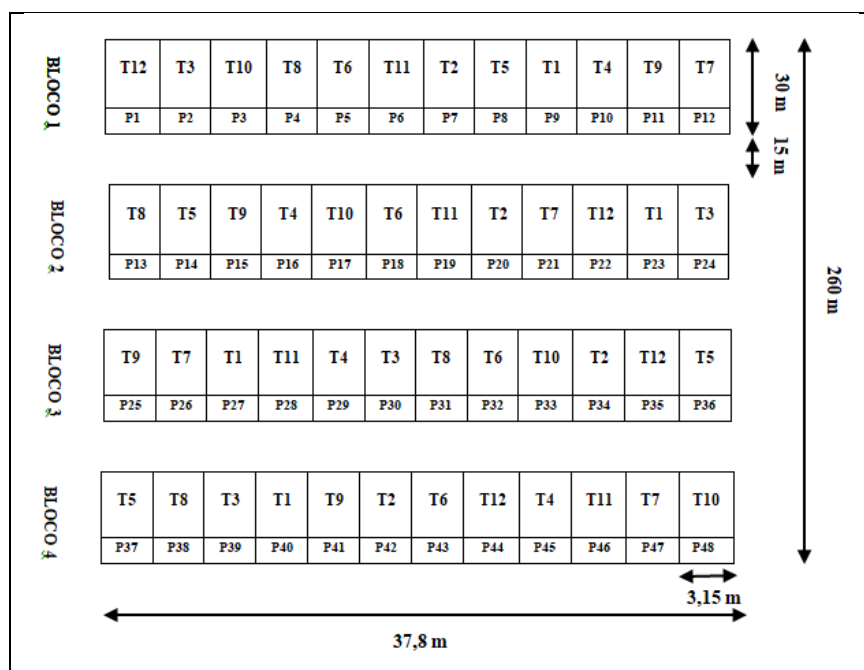


Figura 2. Croqui da distribuição dos blocos e tratamentos na área experimental.

3.3. Caracterização da área experimental

3.3.1. Análise química do solo

Foram retiradas amostras simples na profundidade de 0 – 0,20 m e homogeneizadas, formando uma amostra composta, posteriormente encaminhada para análise de rotina em laboratório.

3.3.2. Cobertura vegetal (C_{bv})

A cobertura vegetal no local do experimento foi proveniente dos restos culturais da cultura de milho safrinha, roçada.

Para estimar a massa de cobertura vegetal, foi construído um quadrado de chapas metálicas (Figura 3) de 0,25 m² (0,50 x 0,50 m), lançado 4 vezes aleatoriamente em cada unidade experimental, antes da operação de semeadura, as amostras foram coletadas e embaladas em sacos de papel, e encaminhadas para estufa a 65 °C até atingir massa constante. Após a secagem os valores foram expressos em t ha⁻¹.



Figura 3. Gabarito utilizado para coleta da cobertura vegetal.

3.3.3. Teor de água (T_{as}) e densidade do solo (D_s)

O teor de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico padrão, no qual as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas (EMBRAPA, 2017). Posteriormente, a determinação da densidade foi feita por meio da divisão do peso seco da amostra pelo volume do anel volumétrico.

A densidade do solo foi realizada em duas faixas 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m de profundidade, no dia da semeadura foram coletadas 4 amostras em todas as unidades experimentais.

3.3.4. Resistência do solo à penetração (R_{sp})

Para determinação da resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLOG-PLG 1020, equipado com uma ponta cônica com área de 129 mm², diâmetro de base 12,83 mm em conformidade com a norma ASAE S313.3 (ASAE, 2009). Foram coletados aleatoriamente 4 pontos em todas as unidades experimentais, na profundidade máxima de 400 mm, sendo coletados e armazenados intervalos de resistência à penetração a cada 10 mm de profundidade.

3.4. Conjunto mecanizado

3.4.1. Trator

Como fonte de potência para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator agrícola modificado denominado “Transformax[®]” (Figura 4), construído a partir do chassi monobloco de um trator FORD, modelo 6600 4x2, com 56,6 kW (77 cv) na rotação nominal do motor (2200 rpm) e massa de 4130 kg.

O Transformax[®] é classificado como um trator porta ferramentas, e foi desenvolvido para trabalhar como uma máquina autopropelida capaz de realizar as operações de pulverização, aplicação de fertilizantes e corretivos agrícolas, sem perder a característica de tracionar outros equipamentos e implementos agrícolas.



Figura 4. Trator modificado “Transfromax[®]”

3.4.2. Semeadora-adubadora

Para realizar a operação de semeadura empregou-se uma semeadora-adubadora, da marca PlantiCenter[®], modelo PENTA-2 de arrasto (Figura 5), dotada de mecanismos dosadores de sementes do tipo disco perfurado horizontal, disco de corte de 18” liso, discos defasados para distribuição de sementes e sulcadores tipo haste (facão) para adubo.



Figura 5. Semeadora-adubadora, vista lateral.

As especificações técnicas da semeadora-adubadora estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações técnicas da semeadora-adubadora PENTA-2

PARÂMETROS	DIMENSÕES
Largura útil	2700 mm
Largura total	3110 mm
Comprimento	4900 mm
Massa (vazia)	2680 kg
Capacidade do reservatório de adubo	450 L
Capacidade do reservatório de sementes	50 L
Número máximo de linhas	7
Potência mínima para tração	55,16 kW (75 cv)
Número de rodados	2

Fonte: Catálogo PlantiCenter[®]

3.4.3. Pulverizador

Para dessecar a área experimental antes da implantação da cultura da soja foi acoplado ao Transformax[®] um pulverizador de barras com capacidade nominal de 2100 L, equipado com uma barra de pulverização de 21,0 m de comprimento e espaçamento entre bicos de 0,50 m (Figura 6).

Durante o ciclo da cultura, os tratos culturais como, aplicação de herbicida, fungicida e inseticida, foram realizados com o pulverizador autopropelido Transformax[®].



Figura 6. Pulverizador autopropelido Transformax[®]

3.5. Instrumentação do conjunto trator-semeadora-adubadora

Os dados foram coletados empregando-se um sistema de aquisição de dados, marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8[®], gerenciado pelo software HBM Catman[®] 2.2 instalado em um computador portátil embarcado no posto de operação do trator avaliado. O sistema foi configurado para obter informações de todos os transdutores utilizados com uma taxa de amostragem de 50 Hz.

No experimento, durante o processo de semeadura foram monitorados força na barra de tração, consumo horário de combustível, patinagem dos rodados motrizes do trator e da semeadora-adubadora e velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora.

3.5.1. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora (V_c)

A velocidade de deslocamento real desenvolvida pelo trator foi obtida com o uso de uma unidade de radar de efeito Doppler, marca Dickey John[®], modelo Radar II. O radar utilizado é capaz de medir velocidades entre 0,53 e 96,6 km h⁻¹, apresentando uma precisão de $\pm 3\%$ para a faixa de velocidade que engloba a utilizada na condução do experimento (Figura 7).

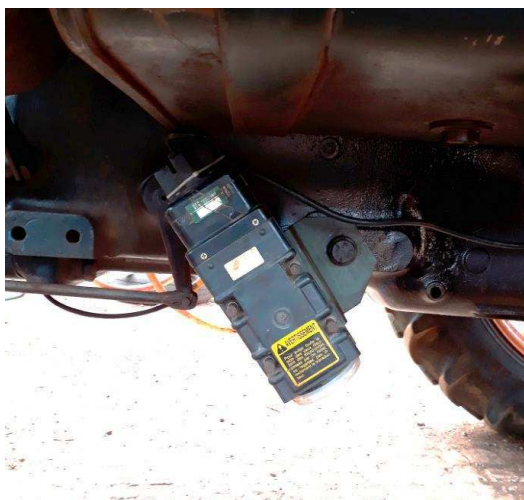


Figura 7. Radar utilizado para medição da velocidade do conjunto trator-semeadura-adubadora.

3.5.2. Força na barra de tração (F_{bt})

A força demandada para tracionar a semeadora foi monitorada com o auxílio de uma célula de carga, marca Kratos[®], com capacidade para 50 kN e com sinal de resposta 306,63 N mv⁻¹ ligada ao sistema de aquisição de dados (Figura 8).

A célula de carga foi alojada entre o trator e a semeadora-adubador em suporte que substituiu a barra de tração do trator avaliado.



Figura 8. Célula de carga e estrutura suporte para instalação no trator

3.5.3. Consumo horário de Combustível (C_{hc})

O consumo horário de combustível foi mensurado utilizando-se um medidor de fluxo volumétrico, instalado no sistema de alimentação de combustível do motor do trator, sendo o volume expresso em unidade de tempo ($L h^{-1}$). O medidor de fluxo de combustível utilizado foi da marca FLOWMATE M-III[®], modelo LSN40, com sinal de saída do tipo impulso e precisão de $1 mL impulso^{-1}$ (Figura 9).

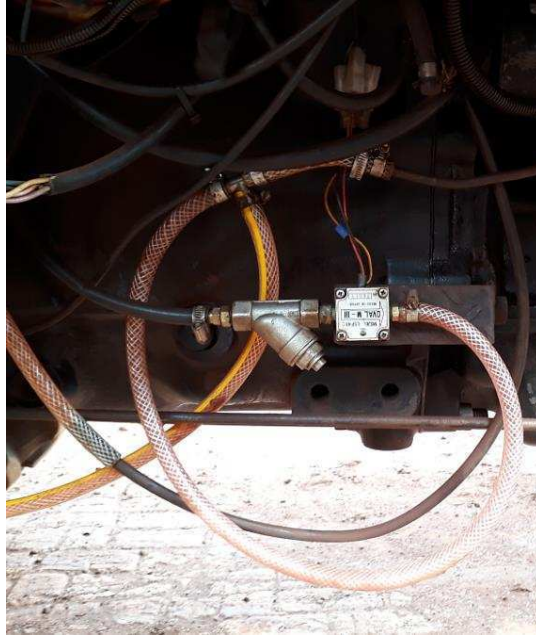


Figura 9. Fluxômetro para determinação do consumo de combustível do trator.

3.5.4. Patinagem dos rodados motrizes do trator (P_t)

A patinagem foi obtida através da relação entre velocidade translacional e rotacional para cada um dos rodados da máquina. A rotação dos rodados foi monitorada através de transdutores indutivos acoplados a cada uma das rodas motrizes (Figura 10).



Figura 10. Sensor indutivo utilizado para determinação da patinagem dos rodados motrizes do Transformax.

A alteração do campo magnético (indução) dos transdutores ocorre pela passagem de aletas equidistantes, dispostas nas extremidades de uma coroa circular afixada na campana do eixo traseiro, servindo assim como sistema referencial. O sistema de aquisição de dados foi configurado para fazer a leitura da frequência de modo que cada alteração corresponde a 1 Hz, sendo assim o sistema foi calibrado para 30 Hz rps⁻¹. Os transdutores utilizados foram da marca Autonics, modelo PRCM 18. Com base nos parâmetros apresentados a patinação foi determinada pela Equação 1:

$$P_t = \frac{V_r - V_t}{V_r} 100 \quad (1)$$

em que,

P_t = Patinação (%);

V_r = Velocidade rotacional (m s⁻¹); e,

V_t = Velocidade translacional (m s⁻¹)

3.6. Parâmetros operacionais obtidos indiretamente

3.6.1. Potência Média na Barra de Tração (P_{bt})

A potência média na barra de tração durante a operação de semeadura foi estimada pela Equação 2.

$$P_{bt} = F_{bt} V_c \quad (2)$$

em que,

P_{bt} = Potência na barra de tração (kW);

F_{bt} = Força de tração média requerida (kN); e,

V_c = Velocidade média do conjunto trator-semeadora-adubadora (m s⁻¹).

3.6.2 Capacidade Operacional Efetiva (C_{oe})

Através da velocidade de trabalho e das medições da largura efetiva da semeadora-adubadora, estimou-se a capacidade operacional teórica através da Equação 3.

$$C_{oe} = \left(\frac{V_c L}{10} \right) f \quad (3)$$

em que,

C_{oe} = Capacidade operacional teórica ($ha\ h^{-1}$);

L = Largura de plantio (m); e,

V_c = Velocidade média do conjunto trator-semeadora-adubadora ($km\ h^{-1}$); e,

f = Eficiência média (%).

Para a capacidade de campo efetiva foi adotado, com base na tabela da ASAE D497.7 (2011), o valor de 65% de eficiência média.

3.7. Avaliação dos parâmetros operacionais

3.7.1. Profundidade do sulco (P_s)

A profundidade do sulco foi determinada utilizando-se réguas graduadas e planilhas para anotações das leituras nas quatro linhas de semeadura, com quatro 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 11.



Figura 11. Determinação da profundidade do sulco de semeadura.

3.7.2. Área de solo mobilizada (A_{sm})

A área mobilizada de solo foi determinada por meio de um perfilômetro, construído com hastes de 0,70 m espaçadas a cada 0,010 m no sentido transversal e uma régua graduada (Figura 12). Foram registradas fotografias do equipamento no momento da coleta de dados utilizando uma câmera digital da marca SONY Cyber-Shot DSC-HX1, 9.1 megapixels e com base nas imagens capturadas foi utilizada a ferramenta “Imagem de Raster”, do software AutoCAD 2011 para quantificar a área mobilizada do solo 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 após a semeadura, obtido com o perfilômetro colocado no mesmo local que o anterior, após a realização da operação de semeadura; e,
- perfil interno do solo mobilizado, obtido após a retirada manual de todo o solo revolvido.



Figura 12. Perfilômetro utilizado para determinação da área mobilizada

3.8. Demanda energética da operação de semeadura

3.8.1. Consumo específico de combustível (C_{ec})

O consumo específico de combustível foi definido como o volume de combustível consumido por unidade de potência por hora de trabalho, sendo calculado pela Equação 4:

$$C_{ec} = \frac{C_{hc}}{P_{bt}} \quad (4)$$

em que,

C_{ec} = Consumo específico de combustível (L kW⁻¹ h⁻¹);

C_{hc} = Consumo horário de combustível (L h⁻¹); e,

P_{bt} = Potência na barra de tração (kW).

3.8.2. Consumo de combustível por área de solo mobilizada (C_{cam})

É a razão entre o consumo específico de combustível e a área de solo mobilizada conforme a Equação 5:

$$C_{cam} = \frac{C_{ec}}{A_{sm}} \quad (5)$$

em que,

C_{cam} = Consumo de combustível por área de solo mobilizada (L kW⁻¹ h⁻¹ m⁻²);

C_{ec} = Consumo específico de combustível (L kW⁻¹ h⁻¹); e

A_{sm} = Área de solo mobilizada (m²).

3.8.3. Consumo de combustível por área trabalhada (C_{cat})

O combustível consumido para realizar o experimento, considerando a área trabalhada, foi determinado de acordo com a Equação 6.

$$C_{cat} = \frac{C_{hc}}{C_{oe}} \quad (6)$$

em que,

C_{cat} = Consumo de combustível por área trabalhada (L ha⁻¹);

C_{hc} = Consumo horário de combustível (L h⁻¹); e,

C_{oe} = Capacidade operacional efetiva (ha h⁻¹).

3.8.4. Demanda total de energia do combustível (D_{ec})

Consiste na quantidade total de energia demandada em uma operação e foi obtida a partir da relação entre o consumo de combustível expresso em litros por hectare e a quantidade de energia liberada pelo mesmo no processo de combustão, representada pelo poder calorífico. A variável foi calculada pela Equação 7.

$$D_{ec} = C_{cat} D P_c \quad (7)$$

em que,

D_{ec} = Demanda total de energia do combustível ($MJ ha^{-1}$);

D = Densidade do combustível ($kg L^{-1}$);

C_{cat} = Consumo de combustível por área trabalhada ($L ha^{-1}$); e,

P_c = Poder calorífico inferior do combustível ($MJ kg^{-1}$).

Neste trabalho, foram utilizados os valores médios de poder calorífico inferior e densidade do diesel, disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo para o ano de 2016 (ANP, 2017), sendo estes:

- Poder calorífico inferior: $10100 kcal kg^{-1}$ ($42,2594 MJ kg^{-1}$);
- Densidade: $0,8400 t m^{-3}$ ($0,8400 kg L^{-1}$).

3.8.5. Demanda de energia específica (D_{ee})

A demanda específica de energia, também denominada taxa de intensidade de energia, corresponde à quantidade de energia efetivamente despendida para tracionar ou acionar um equipamento, e é obtida por meio da relação entre a potência demandada na barra de tração e a capacidade operacional (Equação 8).

$$D_{ee} = \frac{P_{bt}}{C_{oe}} 3,6 \quad (8)$$

em que,

D_{ee} = Demanda específica de energia ($MJ ha^{-1}$);

P_{bt} = Potência na barra de tração (kW); e,

C_{oe} = Capacidade operacional efetiva ($ha h^{-1}$).

3.8.6. Eficiência de utilização do combustível (E_{uc})

A eficiência de utilização do combustível foi calculada por meio da Equação 9.

$$E_{uc} = \frac{D_{ec}}{D_{ec}} 100 \quad (9)$$

em que,

E_{uc} = Eficiência de utilização do combustível (%);

D_{ee} = Demanda específica de energia ($MJ ha^{-1}$);

D_{ec} = Demanda total de energia do combustível ($MJ ha^{-1}$).

3.9. Avaliação da qualidade da semeadura

3.9.1. Insumos agrícolas

Foram utilizadas sementes de soja da variedade AS 3610 Intacta RR2 IPRO, com 100% de pureza e 98% de germinação mínima, ciclo superprecoce conforme dados da empresa (Agroeste). O fertilizante empregado teve a formulação NPK 2-20-18 na dosagem recomendada de $247,93 kg ha^{-1}$.

3.9.2. Profundidade de deposição das sementes (P_{ds})

Para verificar a profundidade da semente, foi retirado o solo da linha de semeadura de todos os tratamentos até localizar as sementes após a operação de semeadura em cada tratamento. Com o auxílio de uma régua graduada, foi medida a distância da semente até o nível do solo, apoiada sobre a superfície do solo.

3.9.3. Patinagem da roda de acionamento semeadora-adubadora (P_{ras})

O deslizamento da roda motriz da semeadora foi determinado em função da velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora e da velocidade rotacional do rodado motriz responsável por acionar os mecanismos dosadores de semente. O monitoramento foi realizado com auxílio de transdutores da marca Autonics, modelo PRCM 18, afixados em um suporte próximo a engrenagem localizada paralela à roda da semeadora.

3.9.4. Distribuição longitudinal de plântulas

Após a estabilização da emergência, foram medidos os espaçamentos (X_i) entre setenta e oito plântulas, amostrados no centro da linha de semeadura. Esses espaçamentos foram distribuídos, em relação ao espaçamento de referência (X_{ref}), em classes de frequência (Tabela 3), que são apresentadas em porcentagem do total de espaçamentos, conforme proposto por Kurachi et al. (1989). Os espaçamentos aceitáveis são aqueles compreendidos entre 0,5 e 1,5 vezes o espaçamento de referência. Os espaçamentos duplos são aqueles menores que 0,5 vezes o espaçamento de referência e os espaçamentos falhos são aqueles maiores que 1,5 vezes o espaçamento de referência. Na avaliação da distribuição longitudinal de plântulas foi considerado espaçamento de referência (X_{ref}) aquele obtido na calibração da semeadora/adubadora por meio da alteração na relação de transmissão das engrenagens do mecanismo dosador de sementes.

Tabela 3. Limites de tolerância para as variações dos espaçamentos (X_i) entre sementes e o tipo de espaçamento considerado

TIPO DE ESPAÇAMENTO	TOLERÂNCIA PARA VARIAÇÃO DE X_i
Múltiplos	$X_i < 0,5 * X_{ref}$
Aceitáveis	$0,5 * X_{ref} \leq X_i \leq 1,5 * X_{ref}$
Falhos	$X_i > 1,5 * X_{ref}$

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

X_{ref} = valor de referência obtido em função do espaçamento e população

Fonte: KURACHI et al. (1989)

3.10. Germinação e emergência de plântulas

3.10.1. Teste de germinação em laboratório

O teste de germinação das sementes foi realizado no Laboratório de Pesquisa em Sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. No teste foi utilizado como substrato o papel germitest, umedecido com água destilada na proporção de 2,5:1 (massa da água: peso do papel), com oito repetições de 50 sementes, que foram colocadas em germinador à temperatura constante de 25 °C. A avaliação da germinação seguiu as recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

3.10.2. Índice de velocidade de emergência (IVE)

O índice de velocidade de emergência das plântulas foi calculado com a Equação 10, adaptada de Maguire (1962). A contagem das plântulas, realizada nos dez metros centrais da linha de semeadura, teve início no primeiro dia de emergência (sexto dia após a semeadura) e foi realizada diariamente até a estabilização do número de plantas (nono dia após a semeadura). Foi considerada planta emergida aquela, que após romper a camada superficial de solo, apresentava o par de cotilédones.

$$IVE = \frac{E_1}{D_1} + \frac{E_2}{D_2} + \dots + \frac{E_n}{D_n} \quad (10)$$

em que,

IVE = índice de velocidade de emergência;

E1, E2, En = número de plantas emergidas, na primeira, segunda,..., última contagem; e,

N1, N2, Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda,..., última contagem.

3.10.3. Tempo médio de emergência (TME)

O tempo médio de emergência das plântulas foi determinado a partir da contagem das plântulas nos dez metros centrais da linha de semeadura. A contagem teve início no primeiro dia de emergência das plântulas (sexto dia após a semeadura) e foi mantida até a estabilização do número de plantas (oitavo dia após a semeadura). No cálculo do tempo médio de emergência foi utilizada a Equação 11, proposta por Edmond e Drapala (1958).

$$TME = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} \quad (11)$$

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.

3.11. Custo de combustível

3.11.1. Custo horário de combustível (C_h)

O cálculo foi realizado com base no consumo de combustível gasto por hora e com o valor do óleo diesel de R\$ 3,19 L⁻¹ no período de realização do experimento (19/10/2017) e determinado pela Equação 12.

$$C_h = C_{hc} \cdot V_d \quad (12)$$

em que,

C_h = Custo horário de combustível (R\$ L⁻¹);

C_{hc} = Consumo horário de combustível, (L h⁻¹); e

V_d = Valor do diesel (R\$ L⁻¹).

3.11.2 Custo de combustível por área tralhada (C_{at})

O cálculo foi realizado usando-se uma relação direta do consumo de combustível gasto por área semeada com o preço do óleo diesel de em consideração o preço do óleo diesel de R\$ 3,19 L⁻¹, (19/10/2017), determinado pela Equação 13.

$$C_{at} = C_{cat} \cdot V_d \quad (13)$$

em que,

C_{at} = Custo de combustível por área trabalhada, (R\$ ha⁻¹);

C_{cat} = Consumo de combustível por área trabalhada, (L ha⁻¹); e

V_d = Valor do diesel (R\$ L⁻¹).

3.12. Produtividade da cultura (P_{rod})

Para determinar a produtividade da cultura da soja, coletaram-se três linhas centrais de um metro cada. Após este processo as plantas foram debulhadas. Posteriormente os grãos foram secos em estufa até atingir 13% de umidade e os valores foram expressos em kg ha⁻¹.

3.13. Análise estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão, utilizando-se o Sistema de Análises Estatísticas R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

Para o fator qualitativo as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste t de Student, ao nível de 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{SQReg}/\text{SQtrat}$) e no comportamento do fenômeno em estudo.

Independentemente da interação de maior grau ser ou não significativa optou-se pelo desdobramento da mesma, devido ao interesse.

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização da Área Experimental

Na Tabela 4, estão apresentados os valores médios da cobertura vegetal (C_{bv}), teor de água no solo (T_{as}), densidade do solo (D_s) e resistência do solo à penetração (R_{sp}), utilizados para caracterizar a área experimental, antes da operação de semeadura.

Tabela 4. Valores médios dos parâmetros utilizados na caracterização da área experimental. (C_{bv} = Cobertura Vegetal; T_{as} = Teor de Água no solo; D_s = Densidade do solo; R_{ps} = Resistência do Solo a Penetração).

C_{bv} (t ha ⁻¹)	T_{as} (0-0,20 m) (%)	D_s (0-0,20 m) (g cm ⁻³)	R_{sp} (0-0,40 m) (kPa)
2,93	28,67	1,22	2766,87

O valor médio de C_{bv} (restos culturais do milho safrinha) na área experimental foi de 2,93 t ha⁻¹. A quantidade de cobertura vegetal sobre a superfície do solo é importante para a manutenção do teor de água no solo e proteção física do solo, além de disponibilizar nutrientes para culturas posteriores, como também suprimir plantas invasoras. Entretanto, a C_{bv} pode influenciar no desempenho do conjunto trator-semeadora-adubadora, por exemplo, na velocidade de semeadura, patinagem, etc.

A caracterização do T_{as} e D_s 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. Os valores médios de T_{as} e D_s encontrados na área experimental na camada de 0 – 200 mm foram de 28,6% e 1,22 g cm⁻³, nos respectivos parâmetros.

No plantio direto existe mínima mobilização do solo na linha de semeadura, e durante os anos ocorre uma compactação subsuperficial, que vai se transferindo para profundidades maiores, devido ao tráfego de máquinas e implementos. Contudo a R_{sp} média na área experimental foi de 2766,87 kPa, que não impediu a emergência e desenvolvimento das plantas, como visto neste trabalho.

4.2. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora (V_c) e Profundidade do sulco (P_s).

As marchas 2, 3 e 4R influenciaram significativamente nas variáveis V_c e P_s , em todas as rotações do motor avaliadas (Tabela 5). A marcha 4R apresentou maior V_c em relação às marchas 2 e 3R independente da rotação no motor do trator (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm). A menor V_c foi de 2,27 km h⁻¹, encontrada trabalhando em 2R com 1600 rpm no motor, e a maior velocidade de semeadura foi 9,53 km h⁻¹, operando com o conjunto mecanizado em 4R com 2200 rpm no motor do trator .

Este comportamento pode ser justificado, uma vez que a caixa de marchas dos tratores e outros veículos é um componente localizado depois da embreagem e tem como finalidade, variar a velocidade de deslocamento do trator de acordo com a operação, mudar o sentido do movimento e aumentar ou diminuir o torque transmitido. A caixa de mudança de marcha não multiplica a potência do motor, ela apenas modifica o torque e a velocidade.

Tabela 5. Valores médios de velocidade de deslocamento do conjunto Transformax-semeadora – adubadora (V_c) e Profundidade do sulco (P_s), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) e 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	V_c (km h ⁻¹)			P_s (mm)		
	2R	3R	4R	2R	3R	4R
1600	2,27 C	4,20 B	6,18 A	139,8 A	131,0 B	127,9 C
1800	2,83 C	4,92 B	7,09 A	138,7 A	129,8 B	125,3 C
2000	3,13 C	5,88 B	7,96 A	138,6 A	128,3 B	123,0 B
2200	3,38 C	6,29 B	9,53 A	138,6 A	128,3 B	123,2 B

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para implantar a cultura da soja na área experimental a semeadora-adubadora foi pré-regulada na extremidade da área experimental, com profundidade média de deposição do adubo (profundidade do sulco) de 145 mm. Nas rotações de 1600 e 1800 rpm houve diferença significativa na P_s entre as marchas avaliadas e não foi observado diferença significativa entre a marcha 3 e 4R, nas rotações de 2000 e 2200 rpm. Os valores mais próximos da profundidade de adubação pré-determinada (145 mm) pode ser observado operando em 2R em todas as rotações no motor.

Este comportamento observado na P_s , pode ser justificado pelo aumento da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, que provocou o empuxo dos

mecanismos sulcadores da semeadora-adubadora. 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.

Os resultados corroboram com Silveira et al. (2011), que avaliaram a profundidade do sulco, em sistema de plantio direto na cultura do milho, em razão de quatro velocidade deslocamento (3,5; 4,0; 5,5 e 7,0 km h⁻¹) de um conjunto trator-semeadora-adubadora, obtidas pelo escalonamento de marchas e rotações no motor do trator (1500, 1900 e 2100 rpm). O aumento da velocidade de semeadura de 3,5 para 7,0 km h⁻¹ reduziu 16,6% à profundidade do sulco.

Os resultados de V_c em função da rotação estão apresentados na Figura 13. O aumento na rotação do motor apresentou efeito linear significativo e positivo na velocidade do conjunto mecanizado, nas três marchas estudadas. A rotação do motor não apresentou influencia significativa na variável P_s em todas as marchas testadas. Desta forma, a média da P_s foi de 139,44 mm para a marcha 2R, 129,28 mm para marcha 3R e 124,82 mm para a marcha 4R.

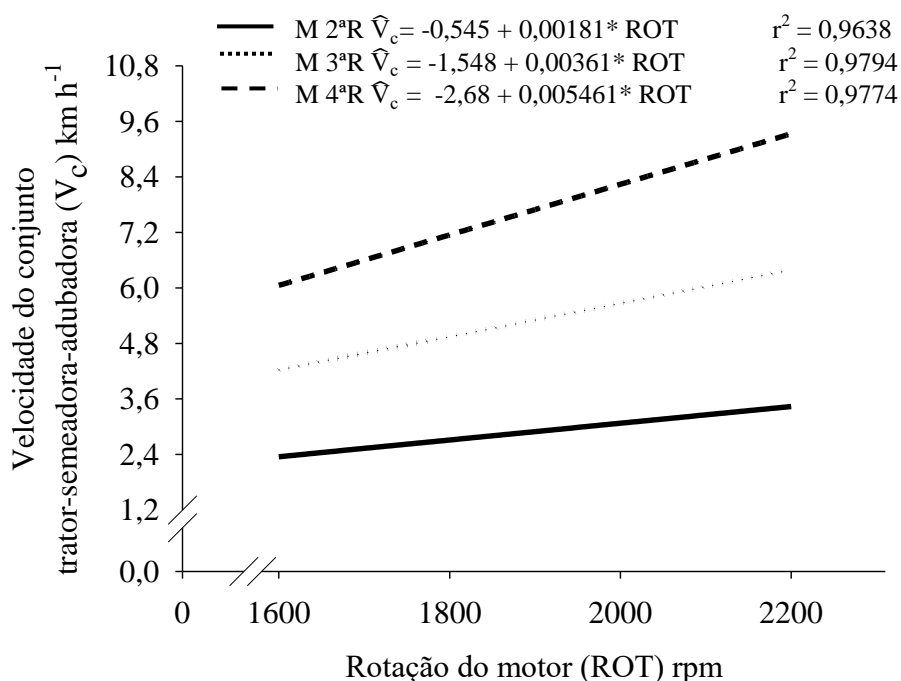


Figura 13. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora (V_c – km h⁻¹) em função da rotação do motor (ROT - rpm) para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O incremento de uma unidade na rotação do motor do trator correspondeu a um aumento de 0,0018, 0,00361, 0,005461 km h⁻¹ na V_c, para as marchas 2, 3 e 4R, respectivamente. Trabalhando com 1600 rpm no motor, a marcha 2ªR apresentou uma V_c de 2,4 km h⁻¹, logo, que a rotação aumentou para 2200 rpm o resultado encontrado foi de 3,4 km h⁻¹. A V_c encontrada na marcha 3R com 1600 rpm foi de 4,2 km h⁻¹ e com aumento para 2200 rpm a V_c foi de 6,4 km h⁻¹. Na marcha 4R o aumento de 1600 para 2200 rpm elevou a V_c de 6,1 km h⁻¹ para 9,3 km h⁻¹, respectivamente.

Com base nos modelos ajustados para V_c, a marcha 3R nas rotações do motor de 2100 e 2200 rpm proporcionaram uma velocidade de semeadura de 6,0 e 6,4 km h⁻¹, respectivamente. Alterando a marcha para 4R e reduzindo a rotação do motor para 1600 rpm e 1700 rpm a velocidade de semeadura foi de 6,1 km h⁻¹ e a 1700 rpm a velocidade foi de 6,6 km h⁻¹. Desta forma com o escalonamento de marchas e alteração da rotação do motor é possível manter a mesma velocidade de semeadura.

Almeida et al. (2010) avaliaram o desempenho energético de um conjunto trator-semeadora, sob diferentes marchas e rotações do motor (6ª marcha a 1500 rpm, 5ª marcha a 1900 rpm, 4ª marcha a 2200 rpm e 5ª marcha a 1500 rpm) e verificaram que o escalonamento de marchas e rotação no motor influenciou significativamente na velocidade de deslocamento.

4.3. Força na barra de tração (F_{bt}) e Potência na barra de tração (P_{bt}).

Os resultados de força e potência na barra de tração em função das marchas para cada rotação do motor estão apresentados na Tabela 6. A menor F_{bt} foi verificada trabalhando em 4R, diferindo-se estatisticamente das marchas 2 e 3R nas rotações de 1600, 1800 e 2000 rpm. Quando se operava em 2200 rpm houve diferença significativa entre as marchas, com maior valor de F_{bt} observado em 2R e menor 4R.

Analisando a P_{bt}, verificou-se diferença significativa das marchas 2, 3 e 4R, nas rotações de 1600, 1800 e 2200 rpm. Já na rotação de 2000 rpm foi observado menor valor de P_{bt} operando na marcha 2R, apresentando diferença significativa das marchas 3 e 4R, que não diferiram-se significativamente entre si.

Tabela 6. Resultados de força na barra de tração (F_{bt}) e Potência média na barra de tração (P_{bt}), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) e 4^a reduzida (4R) para cada rotação do motor (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	F_{bt} (kN)			P_{bt} (kW)		
	2R	3R	4R	2R	3R	4R
1600	14,5 A	13,9 A	12,2 B	9,2 C	16,8 B	21,0 A
1800	14,5 A	13,9 A	11,7 B	11,3 C	19,6 B	23,1 A
2000	14,4 A	13,8 A	11,3 B	12,6 B	23,4 A	25,1 A
2200	14,4 A	13,7 B	11,9 C	13,5 C	23,9 B	29,6 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os menores valores de F_{bt} observado na 4R em todas as rotações testadas podem estar relacionados com o aumento da velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora que conseqüentemente reduziu a profundidade do sulco. De acordo com Silveira et al. (2013), a exigência de força em semeadoras é função de diversos fatores, tais como: tipo de solo e cobertura, mecanismos sulcadores, tamanho da máquina, profundidade de semeadura e adubação, velocidade de semeadura, teor de água e preparo do solo.

A P_{bt} apresentou comportamento oposto da F_{bt} , ou seja, os maiores resultados de P_{bt} foram encontrados semeando na marcha 4R em todas as rotações. Uma possível explicação para o ocorrido pode ser atribuído ao aumento mais pronunciado da velocidade de operação, uma vez que a potência na barra de tração (kW) é produto da F_{bt} (kN) pela velocidade do conjunto mecanizado ($m s^{-1}$).

Os resultados corroboram com Milagres et al. (2015), que avaliaram a demanda de potência de um conjunto trator-semeadora-adubadora em sistema de plantio direto, em função mecanismos sulcadores (disco duplo defasado e facão) e cinco velocidade de deslocamento obtidas combinando-se marcha e rotação no motor. Os autores observaram que a menor velocidade de deslocamento ($3,68 km h^{-1}$) foi a que exigiu a menor potência (4,434 kW) e a maior velocidade ($6,89 km h^{-1}$) foi a que exigiu a maior potência (14,936 kW), resultados encontrados na configuração da semeadora-adubadora com elemento rompedor do solo tipo facão. O mesmo comportamento foi observado com sulcador disco duplo defasado.

As variáveis dependentes, F_{bt} e P_{bt} em função das rotações para cada marcha testada estão apresentados na Figura 14. Quanto a F_{bt} , é possível visualizar que a rotação do motor apresentou efeito linear significativo e negativo na F_{bt} , operando nas três marchas testadas (Figura 15A).

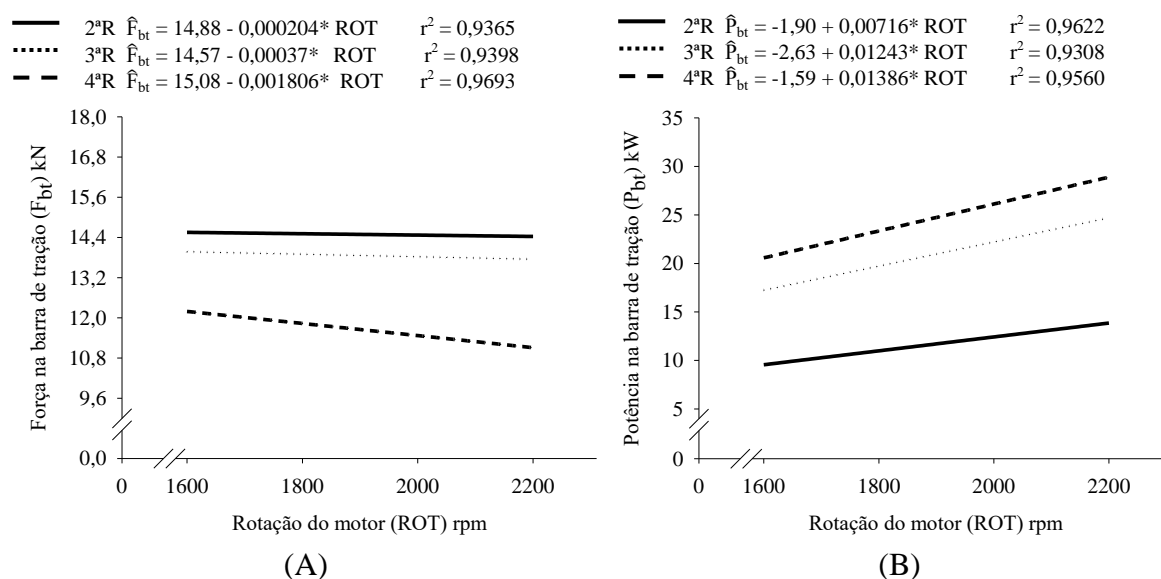


Figura 14. (A) Força na barra de tração (F_{bt} - kN) e (B) Potência média na barra de tração (P_{bt} - kW) em função da rotação do motor (ROT - rpm) para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Tracionando a semeadora-adubadora em 2R, a F_{bt} reduziu 0,000204 kN com o aumento de uma unidade na rotação do motor do trator. O incremento de uma unidade na rotação resulta na redução de 0,000370 e 0,001806 kN operando em 3R e 4R, respectivamente na força na barra de tração. Na marcha 2R com 1600 rpm no motor a F_{bt} foi de 14,56 kN, já com o aumentando da rotação para 2200 rpm a F_{bt} foi 14,43 kN. O aumento de 1600 para 2200 rpm reduziu 1,6% a F_{bt} trabalhando em 3R e 8,9% operando em 4R.

As rotações do motor testadas apresentaram efeito linear significativo e positivo na potência média na barra de tração. O incremento de uma unidade na rotação contribuiu para o aumento de 0,0072, 0,0124 e 0,0139 kW na P_{bt} do trator avaliado, trabalhando em 2, 3 e 4R, respectivamente. Na menor rotação avaliada a marcha 2ªR apresentou uma P_{bt} de 9,56 kW, a marcha 3R de 17,26 kW e a marcha 4R de 20,60 kW. Elevando a rotação do motor do trator para 2200 rpm aumentou a P_{bt} para 13,85 kW na marcha 2R, 24,72 kW na marcha 3R e 28,90 kW semeando em 4R.

Este comportamento pode estar relacionado com aumento de velocidade do conjunto mecanizado. Segundo Almeida et al. (2010), o acréscimo da velocidade do trator em pequenas proporções pode ser realizada elevando-se a rotação do motor, desta forma, contribuindo para o incremento na B_{bt} .

4.4. Consumo horário de combustível (C_{hc})

O menor consumo horário de combustível foi verificado operando em 2R, diferindo-se estatisticamente das marchas 3 e 4R, para cada rotação no motor estudada (Tabela 7). A marcha 4ªR na maior rotação no motor, apresentou maior velocidade de operação ($9,53 \text{ km h}^{-1}$), potência na barra de tração ($29,6 \text{ kW}$), entretando, maior é C_{hc} ($15,7 \text{ L ha}^{-1}$).

Tabela 7. Valores do consumo horário de combustível (C_{hc}), em função das marchas, 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	C_{hc} (L h^{-1})		
	2R	3R	4R
1600	5,8 B	8,1 A	9,9 A
1800	7,8 B	10,7 A	11,4 A
2000	8,5 B	12,0 A	13,3 A
2200	9,6 B	15,3 A	15,7 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O incremento no C_{hc} observado nas marchas 3 e 4R, pode ser justificado pelo aumento na velocidade de semeadura que as marchas proporcionaram dentro de cada rotação no motor testada, desta forma, exigindo maior demanda de torque no motor para tracionar a semeadora-adubadora.

Os resultados de C_{hc} corroboram com os obtidos por Rodrigues et al. (2011) que analisaram o desempenho operacional e energético em quatro sistemas de preparo do solo e quatro velocidades de semeadura ($3,0$; $5,0$; $6,0$; e $9,0 \text{ km h}^{-1}$) da cultura do sorgo. O acréscimo na velocidade de semeadura de $3,0$ para $9,0 \text{ km h}^{-1}$ elevou o consumo horário de combustível de $8,0$ para 12 L h^{-1} em semeadura direta; $8,7$ para $13,0 \text{ L h}^{-1}$ no sistema de preparo com grade pesada + semeadura; $8,9$ para $14,7 \text{ L h}^{-1}$ no sistema de preparo escarificação + semeadura e $8,8$ para $12,5 \text{ L h}^{-1}$ no sistema de preparo gradagem pesada + duas gradagens leves + semeadura.

Analisando o comportamento das rotações, dentro de cada marcha, é possível verificar que a variável rotação do motor, apresentou efeito linear significativo e positivo no C_{hc} . (Figura 15). De acordo com Ramos et al. (2016) e Silveira et al. (2013), a rotação do motor influencia significativamente no consumo horário e específico de combustível, sendo que a

máquina demanda uma menor quantidade de combustível quando trabalha na menor rotação do motor.

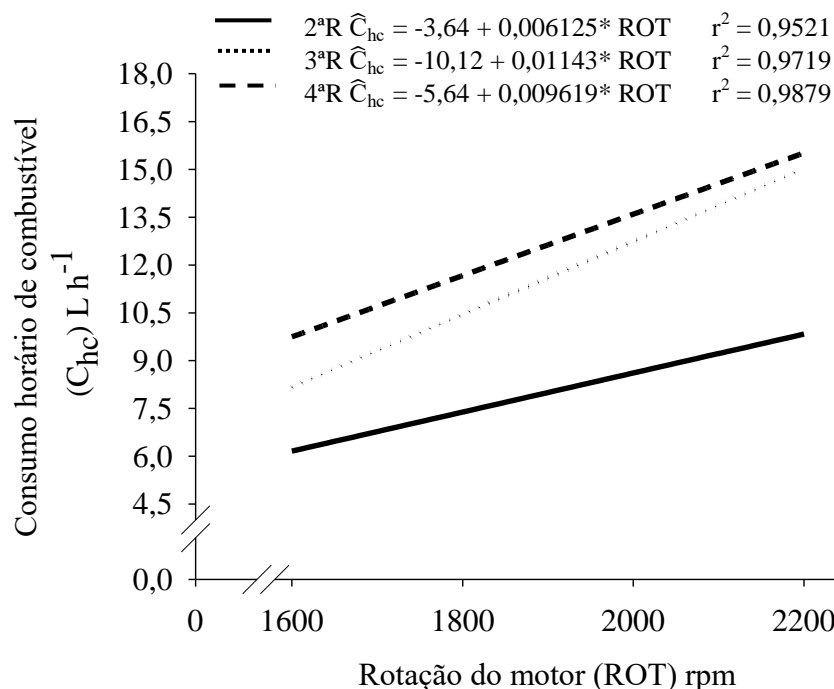


Figura 15. Consumo horário de combustível (C_{hc} – $L h^{-1}$) em função da rotação do motor (ROT - rpm) para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Com o acréscimo de uma unidade na rotação o consumo horário de combustível do trator analisado foi de 0,006125, 0,01143, 0,00961 $L ha^{-1}$ na marcha 2, 3 e 4R, respectivamente. Operando com o trator na implantação da cultura da soja em 2ª R, com uma rotação do motor de 1600 rpm o C_{hc} foi de 6,2 $L h^{-1}$ e 9,8 $L h^{-1}$ alterando a rotação do motor para 2200 rpm na mesma marcha.

Semeando em 3R com um regime de rotação do motor de 1600 rpm o consumo de óleo diesel foi de 8,2 $L h^{-1}$, aumentando para 15,0 $L h^{-1}$ com o acréscimo da rotação para 2200 rpm. Em 4R, operando na menor rotação do motor, o C_{hc} foi de 9,8 $L h^{-1}$, aumentando a rotação para 2200 rpm o C_{hc} foi de 15,5 $L h^{-1}$. Com o acréscimo da rotação, ocorre aumento de injeção de combustível dentro da câmara de combustão, ou seja, maior consumo de combustível.

Combinando 3R com 2100 e 2200 rpm no trator a velocidade média na implantação da cultura foi de 6,2 $km h^{-1}$, velocidade próxima a encontrada na combinação de 4R com 1600 e 1700 rpm (6,3 $km h^{-1}$). Nesta velocidade, o consumo horário médio encontrado na primeira combinação foi de 14,5 $L h^{-1}$, já na segunda combinação o C_{hc} foi de 10,3 $L h^{-1}$. Diante do

exposto, o conjunto mecanizado pode operar com a mesma velocidade consumindo menos combustível.

4.5. Patinagem dos rodados motrizes do trator (Pt)

A P_t foi influenciada pelas marchas (Tabela 8) em todas as rotações do motor avaliadas. Nas rotações de 1600, 1800 e 2200 rpm, as marchas diferiram-se estatisticamente entre si, com maior porcentagem de P_t semeando em 2R. Com 2000 rpm no motor as marchas 3 e 4R não apresentaram diferença significativa na porcentagem de P_t .

A combinação da marcha 2ªR com 1600 rpm no motor apresentou maior porcentagem de P_t (17,7%). Este fato pode ser justificado em função da menor velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora (2,27 km h⁻¹) que manteve os sulcadores do adubo operando em maior profundidade (139,8 mm) e conseqüentemente, demandou maior força (14,5 kN) para tracionar a semeadora-adubadora. Semeando em 4R com 2200 rpm no motor foi observado menor porcentagem de P_t (6,1%), maior velocidade de trabalho (9,53 km h⁻¹), logo reduzindo a profundidade do sulco (123,2 mm) e a força na barra de tração (11,6 kN).

Tabela 8. Valores da patinagem dos rodados motrizes do trator (P_t), em função das marchas, 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	P_t (%)		
	2ªR	3ªR	4ªR
1600	17,7 A	11,9 B	8,4 C
1800	15,6 A	11,4 B	7,9 C
2000	14,1 A	9,7 B	7,1 B
2200	13,5 A	9,5 B	6,1 C

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para avaliar patinagem em função da força de tração e velocidade de deslocamento Cepik et al. (2005) utilizaram um trator agrícola 4x2 TDA de 53 kW de potência no motor e encontraram um acréscimo nos percentuais de patinagem dos rodados da máquina chegando a 20% com o aumento da velocidade de deslocamento e força de tração.

A P_t em função da rotação do motor apresentou efeito linear significativo e negativo, nas três marchas testadas, apresentadas na Figura 16. O acréscimo de uma unidade na rotação

do motor do trator diminuiu em média 0,00682; 0,00451 e 0,00395% a P_t operando nas marchas 2, 3 e 4R, respectivamente.

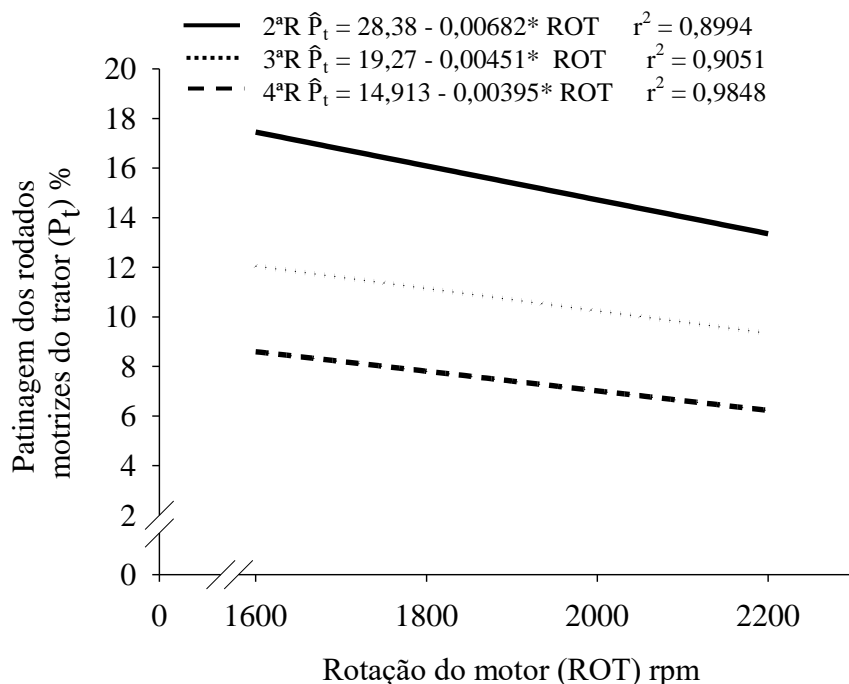


Figura 16. Patinagem dos rodados motrizes do trator ($P_t - \%$) em função da rotação do motor (ROT - rpm) para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Na menor rotação do motor 1600 rpm em 2R, a P_t atingiu 17,5%, já na maior rotação no motor a patinagem dos rodados motrizes do trator reduziu para 13,4%. Operando em 3R com 1600 e 2200 rpm no motor, a P_t foi de 12,1 e 9,3%, respectivamente. O mesmo comportamento pode ser observado semeando na marcha 4R, o acréscimo da rotação no motor de 1600 para 2200 rpm diminuiu 28% a P_t . Os resultados apresentados pela marcha 4R independente da rotação do motor, estão próximos aos sugerido pela ASABE (2006) em solo não mobilizado (8 a 10%).

Em estudo do percentual de patinagem de um trator agrícola (com e sem TDA acionada), Damanauskas e Janulevicius (2015) concluíram que o desempenho operacional de um trator agrícola sem tração dianteira (TDA desligada) pode ser comprometida em função da patinagem que apresentou 11% a mais em relação ao o trator com a TDA ligada. Segundo Molari et al. (2012), Barbosa e Magalhães (2015) uma forma de reduzir o percentual de patinagem de um trator sem TDA é aumentando a área de contato do rodado com a pista,

reduzindo a pressão de insuflação ou optando por rodados com maior largura de banda de rodagem.

4.6. Capacidade operacional efetiva (C_{oe})

O estudo das operações agrícolas visa racionalizar o emprego das máquinas, implementos e ferramentas na execução das operações agrícolas. Os resultados de capacidade operacional efetiva ($ha\ h^{-1}$) em função das marchas para cada rotação no motor do trator estão apresentados na Tabela 9. A C_{oe} apresentou diferença significativa em todas as marchas testadas, independente da rotação estudada.

Tabela 9. Valores da capacidade operacional efetiva (C_{oe}), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) e 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	C_{oe} ($ha\ h^{-1}$)		
	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R
1600	0,41 C	0,76 B	1,13 A
1800	0,51 C	0,89 B	1,29 A
2000	0,57 C	1,07 B	1,45 A
2200	0,61 C	1,15 B	1,74 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os menores valores de capacidade operacional efetiva foram encontrados trabalhando em 2^aR em todas as rotações. Este comportamento está relacionado com o aumento da velocidade de semeadura, obtido combinando-se marcha e rotação no motor. Resultados semelhantes foram encontrados por Queiroz et al. (2017), que trabalharam com duas marchas 3L e 4L com 1900 rpm no motor e diferentes cargas no depósito de fertilizantes de uma semeadora-adubadora, verificando que a marcha 3L com 1900 rpm proporcionou uma velocidade do conjunto mecanizado de $4,6\ km\ h^{-1}$ e uma capacidade operacional efetiva de $0,83\ ha\ h^{-1}$, já a marcha 4L elevou a velocidade de operação para $6,3\ km\ h^{-1}$ e a C_{oe} para $1,13\ ha\ h^{-1}$.

A variável rotação do motor apresentou efeito linear significativo e positivo na C_{oe} em todas as marchas (Figura 17). O incremento de uma unidade na rotação aumentou a C_{oe} em $0,00033\ ha\ h^{-1}$ trabalhando em 2R, $0,00066\ ha\ h^{-1}$ em 3R e $0,00099\ ha\ h^{-1}$ em 4R.

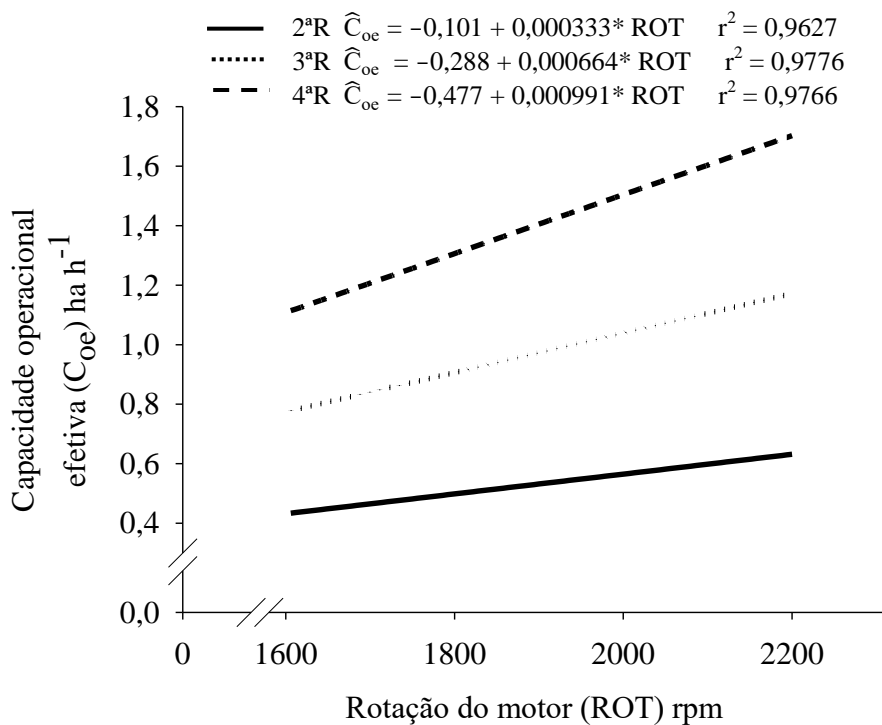


Figura 17. Capacidade operacional efetiva (ha h⁻¹) em função da rotação do motor (ROT - rpm) para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r²) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Realizando a operação de semeadura em 2ªR o aumento da rotação do motor de 1600 para 2200 rpm elevou 31,74% a C_{oe}. O acréscimo de 1600 para 2200 rpm elevou a C_{oe} para 34,18% trabalhando em 3R e 34,70% semeando em 4R. A C_{oe} é obtido a partir de dados relacionados às dimensões dos órgãos ativos da máquina, especificamente da largura de corte e da velocidade de deslocamento.

Analisando a C_{oe} em função da rotação no motor para cada marcha, é possível verificar que duas combinações de marcha e rotação no motor (3R com 2000 rpm e 4R com 1600 rpm) apresentaram a mesma capacidade operacional (1,11 ha h⁻¹). Entretanto, o consumo horário de combustível da combinação de 3R com 2000 rpm foi de 12,74 L h⁻¹, enquanto que na marcha 4R com 1600 rpm no motor o consumo horário de óleo diesel foi de 9,75 L h⁻¹. Com base nos resultados apresentados o conjunto trator-semeadora-adubadora de 7 linhas pode semear a mesma área e reduzir o consumo horário de combustível.

4.7. Área de solo mobilizada (A_{sm})

A área de solo mobilizada foi determinada em função do total de linhas da máquina de semeadura. Os resultados de A_{sm} em função das marchas testadas para cada rotação no

motor do trator estão apresentados na Tabela 10. As marchas apresentam diferença significativa na A_{sm} , com maior área mobilizada operando em 4R, superando a marcha 3R, que por sua vez foi superior a marcha 2R, em todas as rotações no motor testadas.

Tabela 10. Área de solo mobilizado (A_{sm}) em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) e 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	A_{sm} (m ²)		
	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R
1600	0,0358 C	0,0386 B	0,0419 A
1800	0,0374 C	0,0390 B	0,0420 A
2000	0,0378 C	0,0406 B	0,0477 A
2200	0,0381 C	0,0412 B	0,0532 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados apresentados de A_{sm} estão associados ao aumento de velocidade do conjunto mecanizado, que tende a levantar os mecanismos sulcadores aproximando-se da superfície do solo, fazendo com que a profundidade diminuísse, aumentando a área de solo mobilizada, com tendência à desagregação pela haste sulcadora, além do tipo e do ângulo de ataque.

Estudando o efeito de dois sulcadores (disco e haste) e quatro velocidades de operação (0,86; 1,22; 1,47 e 1,94 m s⁻¹) sobre parâmetros de qualidade de semeadura e componentes de produtividade da cultura da soja, Modolo et al. (2012) observaram, que a menor velocidade de deslocamento proporcionou uma área de solo mobilizado de 0,0037 m⁻², enquanto que na maior velocidade a área de solo mobilizado foi de 0,0045 m⁻². A área de solo mobilizado aumentou 35,16% passando da velocidade de 0,86 m s⁻¹ para 1,94 m s⁻¹.

Os resultados da A_{sm} em função da rotação no motor do trator, para cada marcha testada estão apresentados na Figura 18. O aumento da rotação de 1600 para 2200 rpm apresentou efeito linear positivo e significativo na variável A_{sm} , operando em 3^aR. Em 2^a e 4^aR o acréscimo na rotação do motor não influenciou estatisticamente na A_{sm} .

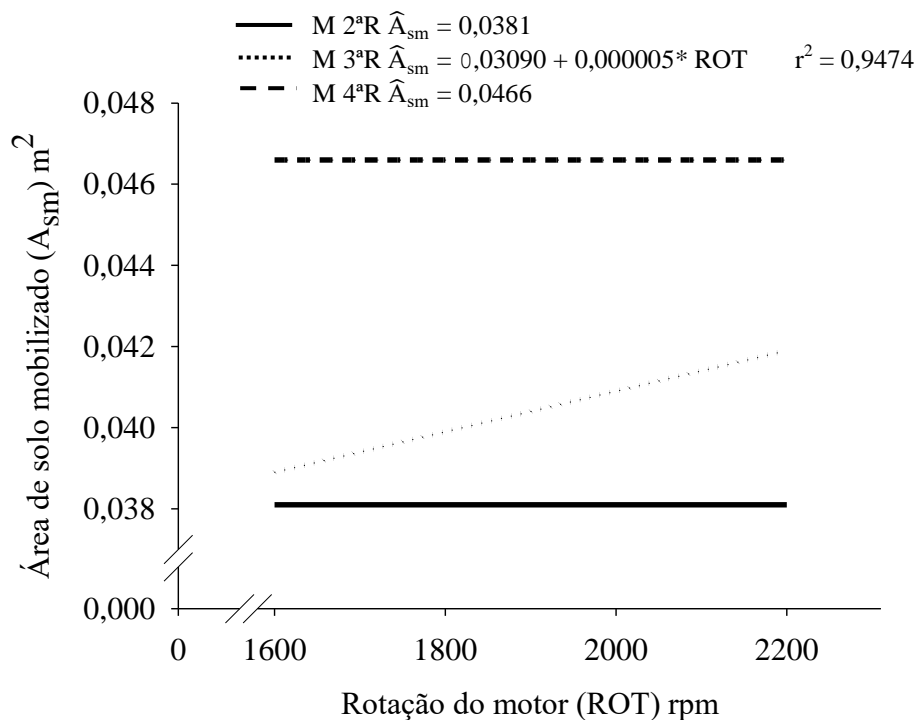


Figura 18. Área de solo mobilizado (A_{sm} – m^2) em função da rotação do motor (ROT - rpm) para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Semeando em 2R e elevando a rotação no motor do trator de 1600 até 2200 rpm, os sulcadores (sete sulcadores) da semeadora-adubadora mobilizaram uma área média de 0,0381 m^2 de solo. Na mesma faixa de rotação no motor do trator em 4R, os sete sulcadores mobilizaram uma média de 0,0466 m^2 de solo. Em 3R o acréscimo da rotação no motor do trator de 1600 para 2200 rpm aumentou apenas 7% a A_{sm} . Este comportamento pode ser justificado pelo aumento na velocidade de semeadura encontrado com elevação da rotação no motor.

De acordo com Garcia, et al. (2011), durante a semeadura mecanizada, diversos fatores interferem no estabelecimento do estande de plantas e na produtividade da cultura, sendo a velocidade de operação da máquina no campo, um deles. Este parâmetro pode influenciar, na patinagem dos rodados, capacidade de campo, velocidade do mecanismo dosador, distância, profundidade e exposição de sementes, área de solo mobilizada, ocorrência de duplos e danos mecânicos.

4.8. Demanda energética da operação de semeadura

4.8.1. Consumo específico de combustível (C_{ec})

A variável C_{ec} foi superior trabalhando em 2R, diferindo-se estatisticamente das marchas 3 e 4R, nas rotações de 1600, 1800 e 2000 rpm. Na maior rotação do motor o consumo específico de combustível foi superior na marcha 2R, apresentando diferença significativa da marcha 4R (Tabela 11).

Tabela 11. Consumo específico de combustível (C_{ec}), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) e 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	C_{ec} (L kW ⁻¹ h ⁻¹)		
	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R
1600	0,63 A	0,48 B	0,47 B
1800	0,67 A	0,55 B	0,49 B
2000	0,67 A	0,55 B	0,55 B
2200	0,71 A	0,64 AB	0,55 B

As médias seguidas de pelo menos uma mesma consequentemente letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O maior C_{ec} foi encontrado operando em 2R com 2200 rpm (0,71 L kW⁻¹ h⁻¹) e o menor foi observado na combinação de 4R com 1600 rpm no motor (0,47 L kW⁻¹ h⁻¹). Na primeira combinação de marcha e rotação do motor o trator consumiu 9,6 L h⁻¹ de óleo diesel e produziu uma potência na barra de tração de 13 kW. Na segunda combinação, a potência na barra de tração aumentou para 21 kW e o consumo horário de combustível foi de 9,9 L h⁻¹. Desta forma, a menor rotação do motor utilizada juntamente com a marcha de maior relação de transmissão, converteu com maior eficiência a energia presente no combustível em energia mecânica.

Avaliando o consumo específico de combustível em função da interação entre sulcadores e velocidades de operação (1,11; 1,67; 2,22 e 2,78 m s⁻¹), Francetto et al. (2015) observaram maior consumo específico na velocidade de 1,11 m s⁻¹, sendo que esta apresentou diferença significativa para as demais. A primeira divergiu em 78,16% para a velocidade de 2,78 m s⁻¹. Tal fato pode ser devido a que o aumento da velocidade proporciona maior incremento da demanda da potência do que do acréscimo no consumo horário. Como resultado, verificou-se melhor aproveitamento da energia liberada pelo combustível nas

maiores velocidades, já que foi necessário menor massa de combustível para originar a mesma quantidade de energia.

As rotações do motor apresentaram efeito linear significativo e positivo no consumo específico de combustível em todas as marchas testadas. Na marcha 2ªR, o incremento de uma unidade na rotação do motor, acrescenta $0,000123 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no C_{ec} . Para as marchas 3ª e 4R, o aumento de uma unidade na rotação do motor eleva o C_{ec} em $0,000239$ e $0,000139 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente (Figura 19).

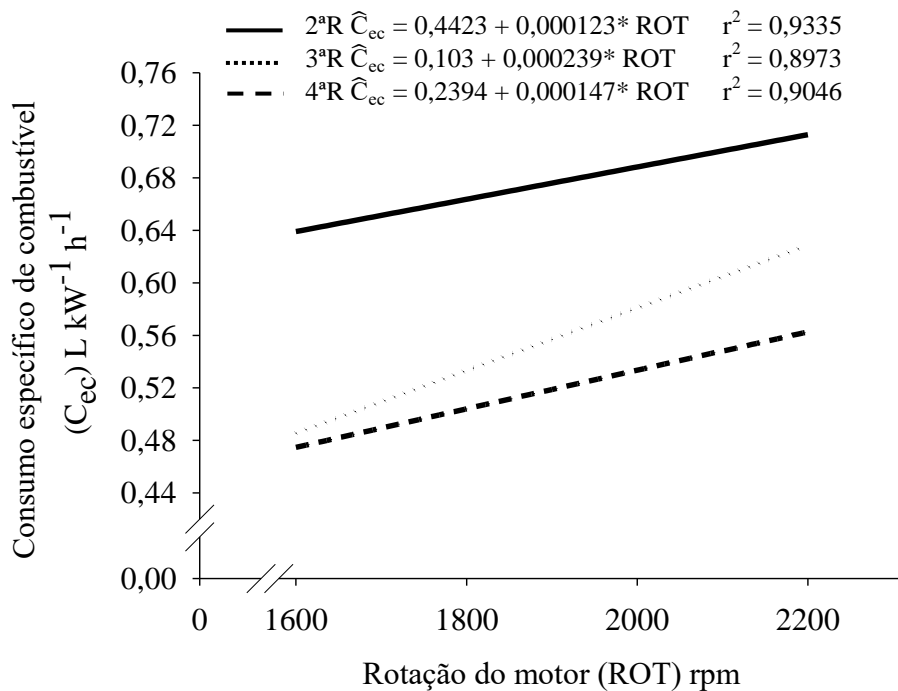


Figura 19. Consumo específico de combustível (C_{ec} - $\text{L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em função da rotação do motor, para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Na rotação de 1600 rpm a marcha 2R apresentou um C_{ec} de $0,64 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$, elevando-se a rotação do motor para 2200 rpm o C_{ec} aumentou para $0,71 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$. O mesmo comportamento pode ser observado para as marchas 3 e 4R, onde o aumento da rotação do motor de 1600 para 2200 rpm, elevou em 22,22 e 16,07% o C_{ec} , concomitantemente. Tal ocorrido pode ser atribuído ao aumento mais pronunciado do consumo horário de combustível em relação a potência na barra de tração.

4.8.2. Consumo de combustível por área trabalhada (C_{cat}) e Consumo de combustível por área de solo mobilizado (C_{cam})

O C_{cat} e o C_{cam} foram influenciados significativamente pela variável marcha em todas as rotações do motor (Tabela 11). Analisando as rotações 1600, 1800 e 2000 rpm é possível verificar, que a 2R apresentou maiores valores de C_{cat} , diferindo-se das marchas 3 e 4R. Na rotação de 2200 rpm, houve diferença significativa entre as marchas, com maior valor de C_{cc} apresentado pela marcha 2R, superando a 3R, que por sua vez foi superior a marcha 4R.

Analisando o C_{cam} é possível verificar que a marcha 2ªR apresentou maior de C_{cam} , diferindo-se estatisticamente das marchas 3 e 4R nas rotações de 1600 e 1800 rpm. Nas maiores rotações no motor, houve diferença estatística no C_{cam} entre as marchas avaliadas, com maior valor encontrado operando em 2R.

Tabela 11. Resultados do consumo de combustível por área trabalhada (C_{cat}) e consumo de combustível por área de solo mobilizada (C_{cam}), em função das marchas, 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	C_{cat} (L ha ⁻¹)			C_{cam} (L kW h ⁻¹ m ⁻²)		
	2R	3R	4R	2R	3R	4R
1600	14,0 A	10,7 B	8,8 B	17,70 A	12,53 B	11,37 B
1800	15,2 A	12,0 B	8,8 B	17,97 A	14,10 B	11,74 B
2000	15,0 A	11,3 B	9,1 B	17,92 A	13,60 B	11,52 C
2200	15,6 A	13,3 B	9,0 C	18,74 A	15,58 B	10,44 C

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os maiores valores de C_{cat} apresentada pela marcha 2R em todas as rotações do motor, pode ser explicado pelas variáveis, capacidade operacional efetiva (C_{oe}) e consumo horário de combustível (C_{hc}). As marchas com maior relação de transmissão (3 e 4R) apresentaram maior consumo horário de combustível, entretanto, maior capacidade operacional efetiva em virtude da maior velocidade do conjunto mecanizado, desta forma, justifica a redução da variável C_{cat} .

Queiroz et al. (2017), avaliaram o desempenho operacional de um conjunto mecanizado trator-semeadora com diferentes cargas no depósito de adubo e regime de marcha do trator e encontraram diferença significativa apenas na variável escalonamento de marcha, sendo que o consumo operacional foi maior na marcha que corresponde à menor velocidade

(3L), conseqüentemente o tempo de operação em uma mesma área na menor velocidade será maior, resultando em maior consumo de combustível por área trabalhado.

O menor C_{cam} apresentado pela marcha 4ªR em todas as rotações no motor avaliadas, pode estar relacionado com o menor consumo específico de combustível encontrado operando nesta marcha, mesmo contribuindo para maior área de solo mobilizada.

A variável independente rotação no motor, não influenciou estatisticamente nas variáveis C_{cat} e C_{cam} , em todas as marchas testadas. Elevando-se a rotação de 1600 para 2200 rpm a maior média do C_{cat} pode ser observada operando em 2R (15 L ha⁻¹) em relação as marchas 3 e 4R (11,8 e 9,0 L ha⁻¹, respectivamente). O mesmo pode ser observado para o C_{cam} , onde a marcha 2R apresentou um C_{cam} médio de 18,09 L kW h⁻¹ m⁻², superando a marcha 3R (13,96 L kW h⁻¹ m⁻²), que por sua vez superou a marcha 4R (11,28 L kW h⁻¹ m⁻²).

Como as rotações do motor avaliadas não influenciaram nas C_{cat} e C_{cam} , o conjunto trator-semeadora-adubadora pode operar na marcha 4R, que por sua vez apresentou menor consumo de combustível tanto em área trabalha como em área de solo mobilizado, reduzindo assim os custos de implantação da cultura da soja.

4.8.3. Demanda total de energia do combustível (D_{ec}) e Demanda específica de energia (D_{ee})

Na Tabela 12, estão apresentados os resultados de D_{ec} e D_{ee} (MJ ha⁻¹), em função da marcha dentro para cada rotação. A marcha 2R, nas rotações de 1600, 1800 e 2000 rpm, apresentou maior D_{ec} , diferindo-se estatisticamente das marchas 3 e 4R. Com 2200 rpm no motor do trator, as marchas 2, 3 e 4R, apresentaram entre elas diferença significativa no resultado da D_{ec} .

Tabela 12. Resultados da demanda total de energia do combustível (D_{ec}) e demanda específica de energia (D_{ee}), em função das marchas, 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	D_{ec} (MJ ha ⁻¹)			D_{ee} (MJ ha ⁻¹)		
	2ªR	3ªR	4ªR	2ªR	3ªR	4ªR
1600	499,1 A	380,2 B	312,7 B	80,0 A	79,5 A	67,2 A
1800	542,5 A	427,6 B	313,9 B	79,7 A	79,0 A	64,8 A
2000	533,2 A	404,0 B	325,5 B	79,5 A	78,9 A	62,0 B
2200	557,0 A	473,8 B	321,6 C	79,3 A	75,1 A	61,4 B

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme o esperado, os resultados de D_{ec} foram maiores operando em 2R em cada rotação testada, uma vez que os maiores valores do consumo de combustível por área trabalhada foi encontrado semeando nesta marcha.

As marchas 2, 3 e 4R na rotação de 1600 e 1800 rpm não apresentaram diferença significativa na D_{ee} (Tabela 12). Na rotação de 2000 e 2200 rpm a marcha 4 R apresentou menor valor de D_{ee} , 62,0 e 61,4 MJ ha⁻¹, respectivamente, diferindo-se estatisticamente das marchas 2 e 3R. A D_{ee} encontrada operando em 4R nas rotações de 2000 e 2200 rpm foi inversamente proporcional à capacidade operacional efetiva e potência na barra de tração.

Este resultado pode ser justificado em função da força na barra de tração e velocidade do conjunto mecanizado. A variável velocidade aumentou a potência requerida na barra de tração e a capacidade operacional efetiva, mas reduziu a força na barra de tração. Esse comportamento apresentado pela força de tração não permitiu maiores valores de potência na barra de tração, desta forma, a capacidade operacional encontrada operando em 4R nas rotações de 2000 e 2200 rpm apresentou maior efeito sobre a redução na D_{ee} .

A rotação do motor do trator não influenciou estatisticamente na demanda total de energia de combustível. As médias de D_{ec} encontradas com aumento da rotação do motor de 1600 para 2200 rpm foram 526,98; 421,53 e 318,29 MJ ha⁻¹ operando em 2, 3 e 4R, respectivamente. A maior média encontrada operando em 2^aR está relacionada com o maior consumo de combustível por área trabalhada encontrada operando nesta marcha.

Na Figura 20 estão apresentados os resultados da D_{ee} em função do aumento da rotação no motor para cada marcha. A variável independente rotação do motor apresentou efeito linear positivo e significativo na D_{ee} nas marchas 2 e 4R, o mesmo não foi observado na marcha 3R, desta forma, apresentou-se a média da variável. Operando em 2R o incremento de uma unidade da rotação no motor diminuiu 0,00114 MJ ha⁻¹ a D_{ee} . Em 4R o acréscimo de unidade na rotação no motor reduziu em 0,0191 MJ ha⁻¹ a D_{ee} .

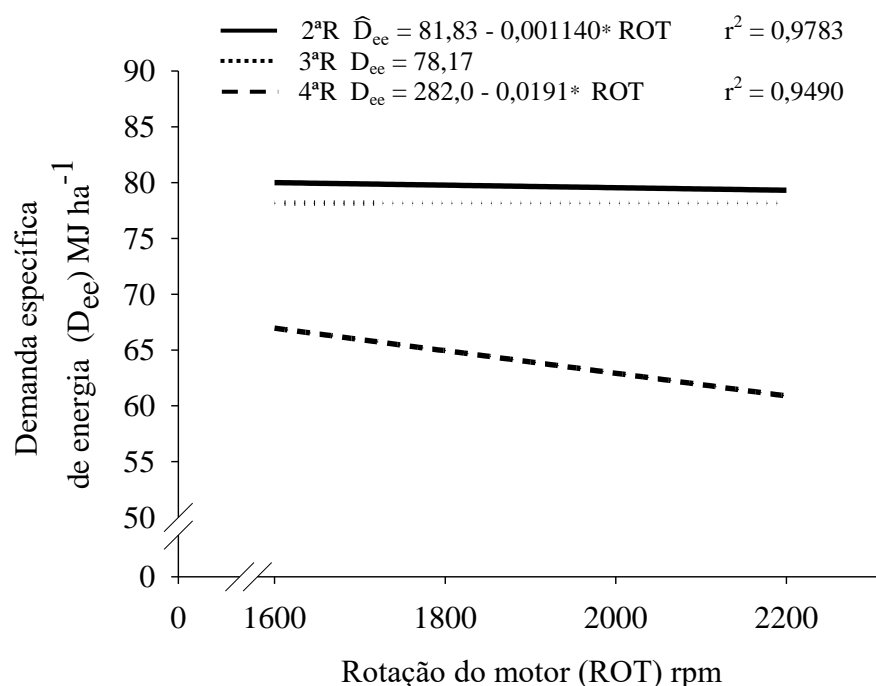


Figura 20. Demanda específica de energia (D_{ee} – MJ ha⁻¹) em função da rotação do motor (ROT - rpm), para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Operando com o trator em 2R com 1600 rpm no a D_{ee} foi de 80,0 MJ ha⁻¹ e com 2200 rpm a demanda de energia reduziu para 79,3 MJ ha⁻¹. Em 4R com 1600 e 2200 rpm no motor, a D_{ee} foi de 66,9 e 60,7 MJ ha⁻¹, respectivamente. O estudo das rotações para cada marcha testada influenciou na D_{ee} de forma semelhante ao estudo das marchas para cada faixa de rotação do motor analisada.

Analisando três teores de água no solo 28,7; 36,4 e 47,6% e três profundidades de deposição do adubo 6,3; 11,3 e 14,8 cm na implantação da cultura do feijão em sistema de plantio direto, Orlando Junior (2019) verificou que menores teores de água no solo e maior profundidade de adubação aumentaram a potência na barra de tração e consequente maior a demanda específica de combustível.

4.8.4. Eficiência de utilização do combustível (E_{uc})

Os valores da E_{uc} indicam quanto da energia liberada pela queima do combustível foi efetivamente utilizada para produzir tração. A marcha 2R apresentou menor valor de E_{uc} , diferindo-se das marchas 3 e 4R na rotação de 1600 rpm. Com 1800 rpm a marcha 4R apresentou maior E_{uc} e diferiu-se apenas da marcha 2R. Na rotação de 2000 rpm do motor não houve diferença significativa na E_{uc} entre as marchas, já maior rotação no motor do trator a

maior E_{uc} pode ser observado operando em 4ªR, que diferiu-se estatisticamente das marchas 2 e 3R, (Tabela 13).

Tabela 13. Resultados da eficiência de utilização do combustível (E_{uc}), em função das marchas, 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) 4ª reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	E_{uc} (%)		
	2ªR	3ªR	4ªR
1600	16,02 B	20,97 A	22,13 A
1800	14,72 B	18,67 AB	21,00 A
2000	14,95 B	20,15 A	19,39 A
2200	14,22 B	15,89 B	19,15 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As marchas 3 e 4R nas menores rotações do motor apresentaram maiores valores de E_{uc} . Com estas combinações de marcha e rotação do motor a operação de semeadura da soja apresentou menor demanda total de energia 312,7 MJ ha⁻¹, em função do menor consumo de combustível por área trabalhada. De acordo com Ranjabarian et al. (2017), valores de E_{uc} menores que 10% indicam que o conjunto trator-implemento está mal dimensionado, com baixa carga ou baixa eficiência de tração. Valores superiores a 20% indicam uma boa combinação entre trator e carga. Desta forma, a semeadora-adubadora de 7 linhas está bem dimensionada para o trator.

Feitosa (2018), ao avaliar a demanda de energia na implantação da cebola em três sistemas de preparo do solo (uma aração + duas gradagens + duas operações de encanteiramento; duas gradagens + uma operação de encanteiramento e uma gradagem + uma operação de encanteiramento) e quatro teores de água (12, 15, 23 e 26%), verificou que o sistema com maior número de operações, apresentou maior eficiência de utilização do combustível, entretanto não torna o sistema mais adequado à implantação da cultura da cebola, uma vez que ele apresentou maior consumo de combustível por área trabalhada e maior demanda total de energia, quando comparado aos outros sistemas de preparo do solo.

Os resultados da E_{ua} em função da rotação no motor, para cada marcha testada estão apresentados na Figura 21. O aumento da rotação do motor de 1600 para 2200 rpm não influenciou significativamente na E_{uc} nas marchas 2 e 3R que apresentaram uma eficiência média de 14,98 e 18,92%, respectivamente. Em 4R a rotação do motor apresentou efeito

linear significativo e negativo na variável E_{uc} . O acréscimo de uma unidade na rotação do motor reduziu 0,005262% à eficiência do combustível.

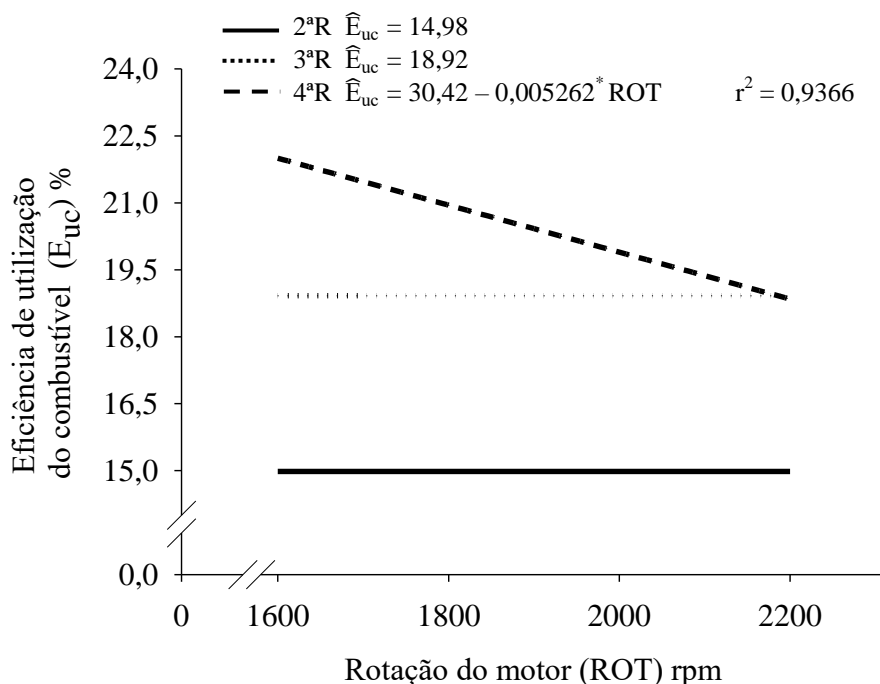


Figura 21. Eficiência de utilização do combustível (E_{uc} - %) em função da rotação do motor (ROT - rpm), para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Trabalhando em 4ª R com 1600 rpm no motor do trator a E_{uc} foi de 22%, com incremento na rotação do motor para 2200 rpm a eficiência reduziu para 18,84%. O decréscimo na E_{uc} com aumento da rotação no motor pode estar relacionado com o acréscimo na demanda total de energia do combustível (D_{ec}) e redução na demanda específica de energia (D_{ec}). Isso significa que o trator consumiu mais energia, não convertendo a totalidade mesma em produção.

4.9. Qualidade da Semeadura

A qualidade da semeadura é fator de grande importância para o sucesso da produção de grão. Entre os fatores a serem avaliados estão a profundidade de deposição das sementes, distribuição longitudinal de plântulas (aceitáveis, múltiplos e falhos) e da patinação dos rodados de acionamento da semeadora-adubadora. De acordo com a regulagem da semeadora-adubadora, determinou-se o espaçamento de referência teórico de 0,077 m. Esse valor

possibilitou que fossem classificados como espaçamentos aceitáveis ($0,038 \leq X_i \leq 0,115$), múltiplo ($X_i < 0,038$) e falho ($X_i > 0,115$).

4.9.1. Profundidade de deposição da semente (P_{ds})

A profundidade de semeadura da cultura da soja foi pré-determinada na extremidade da área experimental, com profundidade média de 35 mm. Os resultados das profundidades de deposição de sementes (P_{ds}), em função das marchas testadas para cada rotação no motor do trator estão apresentados na Tabela 14. Em 1600 rpm não houve diferença significativa na P_{ds} em função da marcha testada.

Tabela 14. Resultados da profundidade de deposição de semente (P_{ds}), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	P_{ds} (mm)		
	2R	3R	4R
1600	35,0 A	34,2 A	32,8 A
1800	34,7 A	34,2 A	31,6 B
2000	34,5 A	33,7 A	27,1 B
2200	34,5 A	33,2 A	25,3 B

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os menores valores de P_{ds} foram encontrados semeando em 4R, diferindo-se estatisticamente das marchas 2 e 3R, nas rotações de 1800, 2000 e 2200 rpm. A redução na profundidade de semeadura pode estar relacionada com o aumento de velocidade do conjunto mecanizado, que provocou o empuxo dos mecanismos sulcadores de sementes. Operando em 4R a velocidade foi de 7,09, 7,96 e 9,53 km h⁻¹ na rotação de 1800, 2000 e 2200 rpm, já nas marchas 2 e 3R nas mesmas rotações a velocidade média de trabalho não ultrapassou 6,3 km h⁻¹.

De acordo com Trogello et al. (2013) além dos fatores manejo de palhada e mecanismos sulcadores, a velocidade de operação é outro fator que assume grande importância na operação de semeadura, uma vez que, a mesma pode influenciar na qualidade de abertura e fechamento de sulco, profundidade de deposição de sementes e uniformidade de distribuição das mesmas ao longo da linha de semeadura.

A rotação do motor apresentou efeito linear significativo e negativo na variável P_{ds} (Figura 22). O acréscimo de uma unidade na rotação reduziu a profundidade em 0,000788 mm trabalhando em 2R, 0,001756 mm em 3R e 0,01352 mm em 4R.

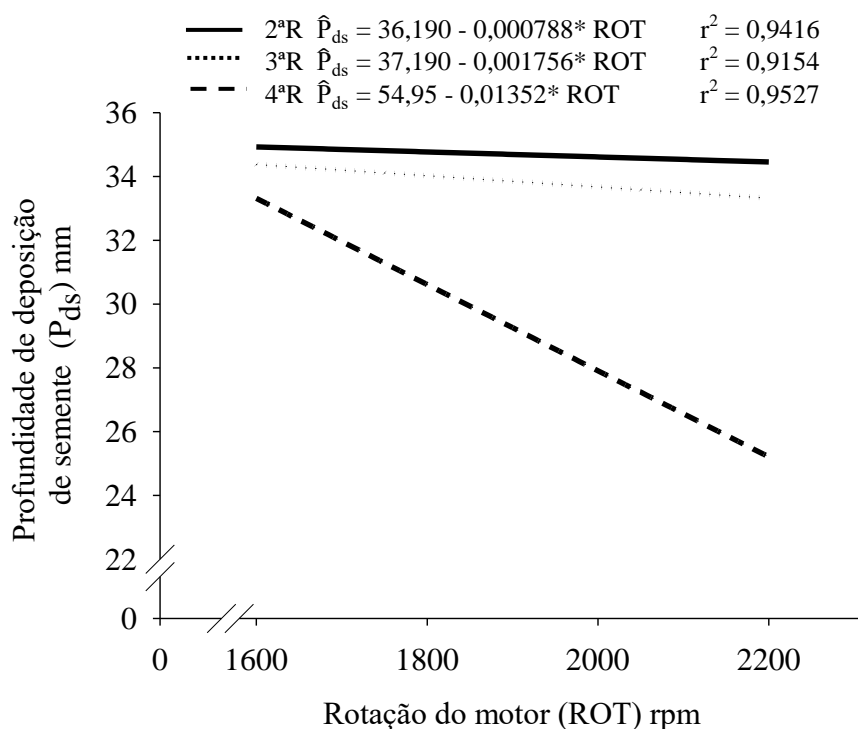


Figura 22. Profundidade de deposição de semente (P_{ds} – mm) em função da rotação do motor (ROT – rpm), para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Com aumento da rotação do motor de 1600 para 2200 rpm, mantendo a marcha 2ªR, a P_{ds} reduziu apenas 1,34%. Semeando em 3R com 1600 rpm a profundidade de deposição de semente foi 34,38 mm e 33,32 mm na rotação do motor de 2200 rpm. O mesmo comportamento pode ser observado em 4R, na menor rotação a P_{ds} foi de 33,31 mm e na maior rotação a P_{ds} reduziu para 25,20 mm. Estes resultados podem ser explicados pelo acréscimo na velocidade de semeadura proporcionado pelo aumento da rotação no motor do trator.

4.9.2. Patinagem da roda de acionamento da semeadora-adubadora (P_{ras})

A semeadura realizada em 2R apresentou menores valores de P_{ras} , diferindo-se estatisticamente das marchas 3 e 4R na rotação de 1600 rpm. Nas rotações de 1800, 2000 e 2200 rpm, as marchas apresentaram diferença significativa na P_{ras} (Tabela 15).

Tabela 15. Resultados da patinagem da roda de acionamento da semeadora-adubadora (P_{ras}), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	P_{ras} (%)		
	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R
1600	1,22 B	3,22 A	4,00 A
1800	2,03 C	3,55 B	5,37 A
2000	2,94 C	3,76 B	5,70 A
2200	2,94 C	3,91 B	7,00 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A marcha 2R apresentou as menores porcentagens de P_{ras} em todas as rotações do motor. Este fato pode ser justificado em função da combinação do aumento da velocidade de semeadura, proporcionado pela combinação das marchas e rotação do motor. Vale et al. (2010) afirmaram que o aumento da velocidade de deslocamento faz com que ocorra um aumento no deslizamento dos rodados da semeadora.

Os valores médios encontrados na combinação de 1800, 2000 e 2200 rpm em 4R estão acima dos propostos Balastreire (1990), que determinou para pneus lisos 8% e para pneus ranhurados, 4%. Neste trabalho, a semeadora-adubadora estava equipada com pneus ranhurados.

Os resultados da P_{ras} em função da rotação no motor do trator avaliado nas três marchas testadas estão representados na Figura 23. A variável rotação apresentou efeito linear positivo e significativo na P_{ras} apenas operando com o trator avaliado em 3 e 4R. Na marcha 2R não foi observado efeito significativo da rotação do motor na P_{ras} , sendo assim, foi apresentada a média da variável independente (2,23%).

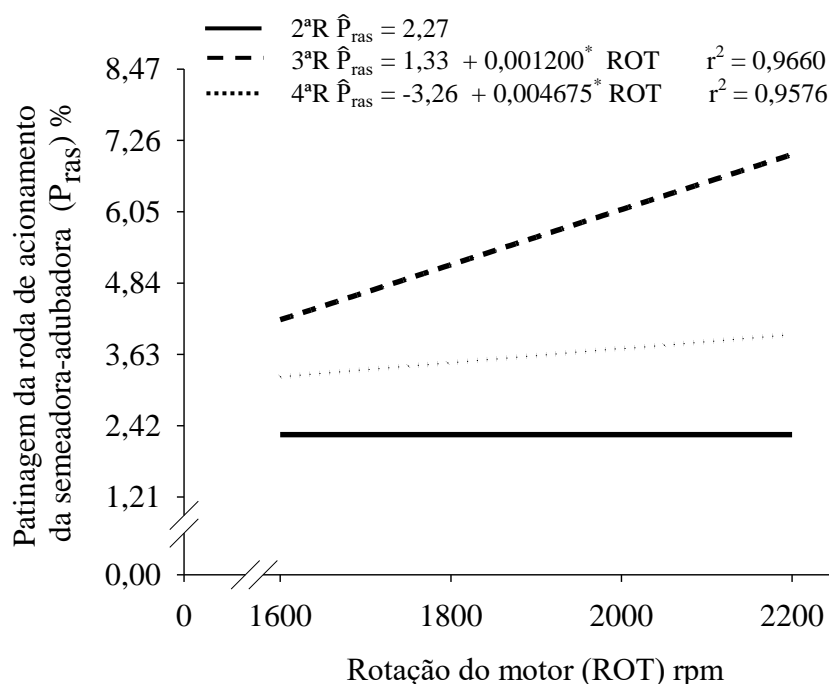


Figura 23. Patinagem da roda de acionamento da Semeadora-adubadora (P_{ras} - %) em função da rotação do motor (ROT - rpm), para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O acréscimo de uma unidade na rotação elevou a P_{ras} em 0,0012 e 0,004675% para a 3 e 4R, respectivamente. Deslocando-se com o trator em 3R com 1600 rpm a patinagem da roda de acionamento da semeadora-adubadora aumentou 18,1% em relação a rotação no motor de 2200 rpm. Já na marcha 4R o incremento foi de 40,5%.

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 consequência, redução no número de plantas.

4.9.3. Espaçamentos aceitáveis entre plântulas (E_a)

As marchas 2, 3 e 4R não apresentaram diferença significativa na porcentagem de E_a , nas rotações do motor de 1600, 1800 e 2000 rpm. Na maior rotação no motor testada, houve diferença significativa na porcentagem de E_a entre as marchas 2ª e 4ª R e semelhança das duas marchas com a 3R (Figura 16).

Tabela 16. Valores de Espaçaamentos aceitáveis entre plântulas (E_a), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	E_a (%)		
	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R
1600	56,49 A	58,44 A	50,32 A
1800	57,14 A	57,47 A	49,90 A
2000	56,82 A	52,27 A	48,38 A
2200	59,09 A	46,75 AB	44,81 B

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A menor porcentagem de E_a foi observada na marcha 4R com 2200 rpm. Nesta combinação de marcha e rotação foi encontrada a maior velocidade de operação (9,53 km h⁻¹) e patinação da roda de acionamento da semeadora-adubadora (7,00%). Com o aumento da patinação da roda de acionamento, os mecanismos dosadores param de dosar sementes ou distribuem em espaçaamentos considerados como falhos e múltiplos.

Os resultados corroboram com Reynaldo et al. (2016) que avaliaram a influencia de seis velocidades de semeadura, 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 e 12,0 km h⁻¹ em relação à qualidade de distribuição longitudinal e à produtividade da soja. Os autores observaram que o aumento da velocidade do conjunto mecanizado de 2,0 para 12 km h⁻¹ reduziu 21,45% os espaçaamentos aceitáveis, ou seja, reduziu-se o número de plantas dosadas no espaçamento correto entre sementes. A produtividade mais elevada foi encontrada trabalhando em 4,0 km h⁻¹.

Com base nos resultados apresentados de E_a , velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora (V_c), capacidade operacional efetiva (C_{oe}), consumo de combustível por área trabalhada (C_{cat}) e eficiência de utilização do combustível (E_{uc}) pode-se determinar a melhor combinação de marcha e rotação no motor para operação de semeadura com o conjunto trator-semeadora-adubadora.

A maior porcentagem de E_a foi verificado operando em 2R com 2200 rpm no motor (59,09%). Entretanto, quando a V_c foi de 3,38 km h⁻¹ resultou numa C_{oe} de 0,61 ha h⁻¹, C_{cat} de 15,6 L ha⁻¹ (maior C_{cat} observado) e E_{uc} de 14%. O fato da combinação 2^aR com 2200 rpm no motor ter apresentado maior porcentagem de E_a não torna a combinação de marcha e rotação no motor a mais adequada para realizar a operação de semeadura.

Operando em R com 1600 rpm a porcentagem de E_a foi de 50,32%, a velocidade do conjunto mecanizado foi de 6,18 km h⁻¹ com uma C_{oe} de 1,13 ha h⁻¹, um C_{cat} de 8,8 L ha⁻¹ e uma E_{uc} de 22,13%. Com base nos resultados apresentados, fica evidente que a operação de semeadura realizada com o conjunto trator-semeadora-adubadora, deve ser realizada nesta combinação de marcha e rotação do motor.

Analisando dois dosadores de sementes, disco alveolado horizontal e pneumático e cinco velocidade de semeadura da soja, Jasper et al. (2011) constaram que ao elevar a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora, ambos os dosares apresentaram redução na porcentagem de espaçamentos aceitáveis, entretanto a maior porcentagem de espaçamentos aceitável foi verificada operando com o dosador pneumático 54,4% com uma velocidade de semeadura de 4 km h⁻¹.

Os E_a não foram influenciados pelas rotações no motor avaliadas, operando nas marchas 2 e 4R, sendo assim, independente da rotação do motor a porcentagem média de E_a foi de 57,23% e 48,40%, para as respectivas marchas. Na 3R o aumento na rotação do motor de 1600 para 2200 rpm, apresentou efeito linear negativo e significativo na porcentagem de espaçamento aceitáveis entre plantas (Figura 24).

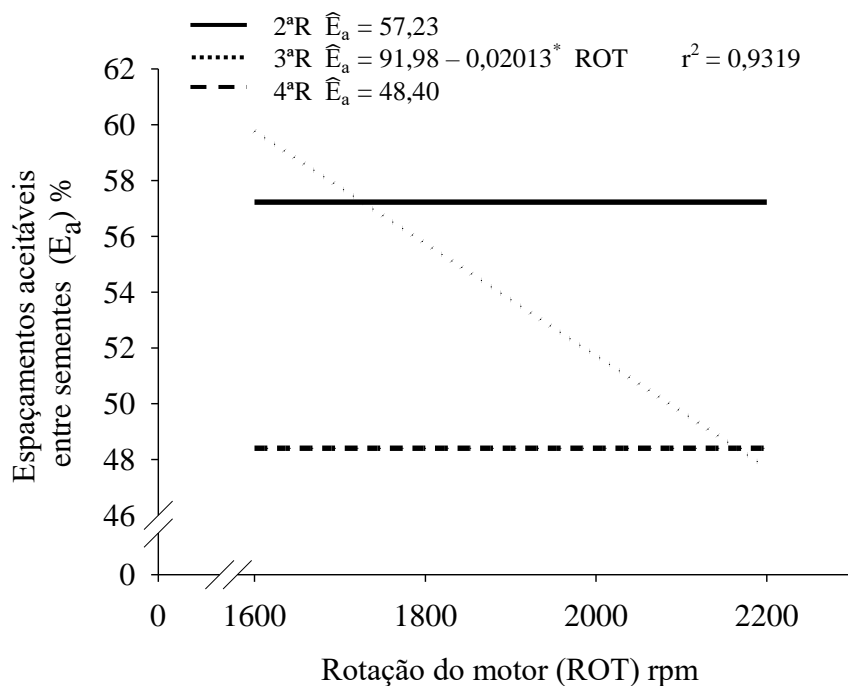


Figura 24. Espaçamentos aceitáveis entre plântulas (E_a - %) em função da rotação do motor (ROT - rpm), para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Trabalhando em 3R o incremento de uma unidade na rotação do motor apresentou um decréscimo 0,02013% nos espaçamentos aceitáveis. Analisando a marcha 3R é possível verificar que a menor rotação do motor apresentou um E_a de 59,77% e na maior rotação do a variável reduziu para 47,69%.

4.9.4. Espaçamentos múltiplos entre plântulas (E_m).

Os espaçamentos múltiplos entre plântulas em função da marcha para cada rotação no motor estão apresentados na Tabela 17. Nas rotações de 1600 e 2200 rpm no motor, os E_m não apresentaram diferença significativa em função das marchas 2, 3 e 4R. Operando com 1800 rpm no motor do trator, observa-se que a marcha 4R apresentou maiores valores de E_m e diferiu-se estatisticamente da marchas 2 e 3R. Semeando com 2000 rpm no motor, as marchas 2 e 4R apresentaram diferença significativa entre si nos espaçamentos múltiplos entre plântulas, com os maiores valores observados trabalhando em 4R.

Tabela 17. Valores de espaçamentos múltiplos entre plântulas (E_m), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	E_m (%)		
	2R	3R	4R
1600	16,23 A	20,60 A	25,00 A
1800	21,11 B	21,00 B	26,75 A
2000	18,18 B	24,99 AB	30,84 A
2200	21,10 A	27,60 A	30,52 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A maior porcentagem de E_m pode ser observada na combinação de 4^aR com 2000 rpm. Este comportamento pode estar relacionado pelo acúmulo de mais de uma semente por furo do disco dosador e velocidades de semeadura. Segundo Reynaldo et al. (2016) velocidades mais baixas, entre 2 e 4 km h⁻¹, podem reduzir os espaçamentos múltiplos. Geralmente esse problema é originado pela alta taxa de dosagem de sementes, aliado ao deficiente sistema condutor que causa vibrações no mesmo, proporcionando o atrito da semente com o mesmo e retardando o fluxo de queda das sementes, resultando em alto número de plantas duplas no estande final da cultura.

O acréscimo na rotação do motor de 1600 para 2200 rpm, nas marchas 2 e 4R, não influenciaram na porcentagem de espaçamento múltiplos entre plantas. Na marcha 3R o acréscimo da rotação de 1600 para 2200 rpm aumentou a porcentagem de E_m , com efeito linear positivo e significativo (Figura 25).

A marcha 2R apresentou a menor média da porcentagem de E_m , em relação à marcha 4R, ou seja, o aumento da porcentagem de espaçamentos duplos é favorecido com a diminuição dos espaçamentos aceitáveis. Em 3R o aumento de uma unidade na rotação no motor, proporciona o acréscimo de 0,012% nos E_m .

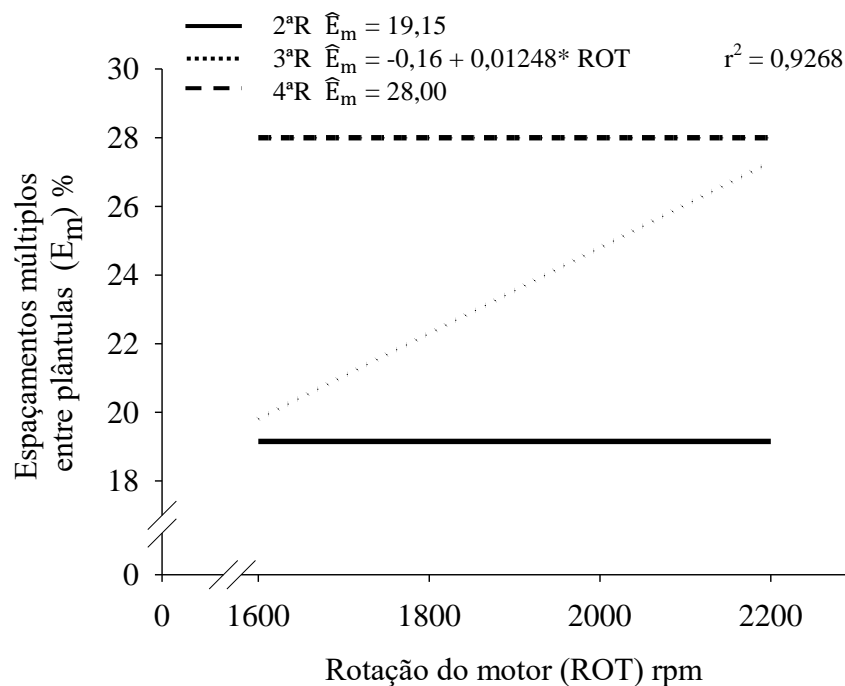


Figura 25. Espaçamentos múltiplos entre plântulas (E_m - %) em função da rotação do motor (ROT - rpm), para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Semeando em 3R com 1600 rpm no motor do trator a porcentagem de E_m foi de 19,81% e 27,31% aumentando a rotação no motor para 2200 rpm. De acordo com Shneider et al. (2018) o excesso de velocidade pode acarretar maior porcentagem de espaçamentos múltiplos entre plantas provocando o aumento de vagens da soja sem semente devido a competição intraespecíficas entre as plantas.

4.9.5. Espaçamentos falhos entre plântulas (E_f)

Os resultados de espaçamentos falhos entre plântulas estão apresentados na Tabela 18. As marchas testadas não apresentaram diferença significativa no E_f para cada rotação no motor.

Tabela 18. Valores de Espaçamentos falhos entre plântulas (E_f), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	E_f (%)		
	2R	3R	4R
1600	27,27 A	20,95 A	23,00 A
1800	21,75 A	21,53 A	23,34 A
2000	25,00 A	22,73 A	23,48 A
2200	19,18 A	25,65 A	24,68 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A porcentagem de espaçamentos falhos entre plântulas podem ser favorecidos pela não germinação das sementes, mortalidade de plântulas acarretada por pragas, ao não preenchimento total do disco dosador de sementes, o que fez com que o espaçamento entre algumas plantas adjacentes na linha de plantio fosse maior que o recomendado.

O incremento da rotação no motor de 1600 para 2200 rpm, não afetou significativamente a porcentagem de espaçamentos falhos entre plântulas. Independente da rotação do motor a marcha 4^aR apresentou maior média de E_f (23,63%), superando a marcha 2R (23,50%) que por sua vez superou a marcha 3R (22,73%).

Santos et al. (2017) avaliaram o desenvolvimento inicial e a qualidade de semeadura da cultura da soja em função de diferentes velocidades de deslocamento da semeadora em solos de diferentes classes texturais e verificaram que a medida que se aumentou a velocidade de deslocamento da semeadora, a porcentagem de espaçamentos normais e número de plantas por metro reduz, aumentando a porcentagem de espaçamentos falhos e duplos em ambos os solos.

4.10. Germinação e emergência de plântulas

4.10.1. Índice de velocidade de emergência (IVE) e Tempo médio de emergência (TME)

O resultado do teste de germinação, em laboratório, do lote de sementes utilizado na semeadura da cultura da soja foi de 99%, o que caracteriza sementes de alta qualidade, uma vez que, para a empresa, esse índice de germinação mínima era de 98%.

Os resultados do IVE e TME em função das marchas 2, 3 e 4R para cada rotação no motor estão apresentados na Tabela 19. Nas rotações de 1600, 2000 e 2200 rpm o IVE não apresentou diferença significativa em função das marchas estudadas. A diferença significativa no IVE foi encontrada entre as marchas 2R e 4R na rotação de 1800 rpm.

Tabela 19. Resultados do índice de velocidade de emergência (IVE) e Tempo médio de emergência (TME), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	IVE			TME		
	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R
1600	13,79 A	15,19 A	16,82 A	8,50 A	7,75 A	7,73 A
1800	15,29 B	16,37 AB	17,00 A	8,26 A	7,63 A	7,53 A
2000	15,65 A	16,41 A	17,06 A	8,04 A	7,41 A	7,47 A
2200	15,83 A	16,93 A	17,17 A	8,03 A	7,40 AB	7,37 B

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A diferença das marchas 2 e 4R no IVE, encontrada na rotação de 1800 rpm, pode estar relacionado com a velocidade do conjunto mecanizado (V_c) e profundidade de deposição de sementes (P_{ds}). A combinação de 2R com 1800 rpm, apresentou uma velocidade de semeadura de $2,83 \text{ km h}^{-1}$ e P_{ds} de 34,7 mm. Substituindo para 4^aR na mesma rotação a V_c foi de $7,09 \text{ km h}^{-1}$, reduzindo a P_{ds} para 31,6 mm.

Avaliando influência da profundidade de semeadura na emergência e no crescimento inicial de plântulas de soja, Aisenberg et al. (2014) observaram menores valores do índice de velocidade de emergência com o com o aumento da profundidade de semeadura e nas condições em que o trabalho foi conduzido, a profundidade de semeadura de 15 mm proporciona ambiente mais favorável para a emergência de plântulas e o crescimento inicial das plantas de soja.

As marchas 2, 3 e 4R não influenciaram estatisticamente no TME, operando nas rotações no motor de 1600, 1800 e 2000 rpm. Na maior rotação avaliada, houve diferença significativa no TME entre as marchas 2 e 4R, com menor tempo de emergência semeando em 4R (Tabela 12). Nesta combinação de marcha e rotação no motor (4R com 2200 rpm), a velocidade de semeadura aumentou 64,5% e reduziu 26,6% a profundidade de deposição de semente em relação a combinação de 2R com 2200 rpm. Diante do exposto, a redução na profundidade de semeadura proporcionou menor camada de solo sobre a semente reduzindo o TME.

Os resultados de IVE e TME em função da rotação do motor para as três marchas estão representados na Figura 26. A rotação do motor apresentou efeito linear significativo e positivo no IVE semando em 4R, sendo que o acréscimo de uma unidade na rotação do motor do trator aumentou 0,00447 o IVE.

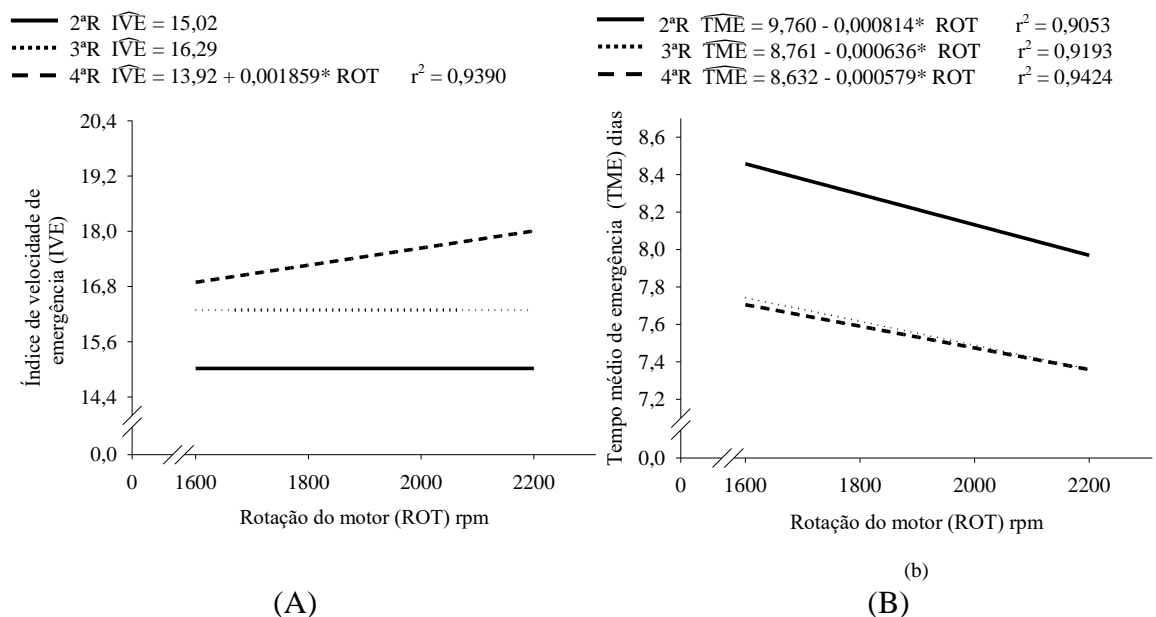


Figura 26. (A) Índice de velocidade de emergência (IVE) e (B) tempo médio de emergência (TME - dias) em função da rotação do motor (ROT - rpm), para as marcha 2ª reduzida (2ªR), 3ª reduzida (3ªR) e 4ª reduzida (4ªR), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Em 4R com 1600 rpm no motor o índice de velocidade de emergência foi de 16,89, elevando a rotação do motor para 2200 rpm o IVE foi de 17,16 (Figura 26A). O aumento do IVE pode estar relacionado com a redução da profundidade de semeadura encontrada na maior velocidade de semeadura (4R a 2200 rpm), ou seja, sementes mais próximas da superfície do solo emergem primeiro.

Na Figura 26B, é possível verificar que a rotação apresentou efeito linear significativo e negativo no TME em todas as marchas. Operando com trator na menor rotação no motor em 2R o TME foi de 8,4 dias, com aumento da rotação para 2200 rpm o tempo médio de emergência reduziu para 7,9 dias. Analisando a 3R o TME foi de 7,4 e 7,3 na rotação de 1600 e 2200 rpm, respectivamente. Na 4R o aumento da rotação do motor de 1600 rpm no para 2200 rpm reduziu 5,19% o TME.

Desta forma a diferença no tempo médio de emergência encontrada em todas as marchas avaliadas pode ser atribuída à profundidade de sementeira que reduziu com aumento da rotação do motor, uma vez que esta variável contribuiu para o aumento na velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado. Na maior V_c (4R com 2200 rpm) a profundidade de sementeira foi de aproximadamente 25,20 mm, ou seja, um decréscimo de aproximadamente 10 mm em relação a profundidade de referência.

4.11. Custo de combustível

4.11.1. Custo horário de combustível (C_h) e Custo de combustível por área trabalhada (C_{at})

O consumo de combustível do trator agrícola engloba um dos custos mais elevados nas operações agrícolas sendo que o total consumido está diretamente ligado a fatores como a adequação e condição do conjunto mecanizado, profundidade da operação, tipo e condição de solo, número total de operações utilizadas no processo de preparação do solo (MONTANHA et al., 2011).

Os resultados do C_h e C_{at} em função das marchas 2, 3 e 4R, para cada rotação no motor estão apresentados na Tabela 20. Analisando o C_h é possível verificar que a marcha 2ª R diferiu-se estatisticamente das marchas 3 e 4R, nas rotações no motor de 2000 e 2200 rpm. Nas rotações de 1600 e 1800 rpm, houve diferença significativa no C_h entre as marchas 2 e 4R, sendo que a marcha 3ª R apresentou semelhança entre elas.

Pode-se verificar que a marcha 2R proporcionou uma redução de 41,5% no C_h em relação à marcha 4R na rotação de 1600 rpm, 31,2% na rotação de 1800 rpm, 40,2% na rotação de 2000 rpm e 38,5% na rotação de 2200 rpm. Esses resultados podem ser explicados em função do consumo horário de combustível.

Tabela 20. Resultados do custo horário de combustível (C_h) e custo de combustível por área trabalhada (C_{at}), em função das marchas, 2^a reduzida (2R), 3^a reduzida (3R) 4^a reduzida (4R) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	C_h (R\$ h ⁻¹)			C_{at} (R\$ ha ⁻¹)		
	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R	2 ^a R	3 ^a R	4 ^a R
1600	18,61 B	26,08AB	31,83 A	44,85 A	34,17 B	28,10 B
1800	25,15 B	34,39AB	36,60 A	48,75 A	38,42 AB	28,21 B
2000	27,30 B	38,33 A	45,71 A	47,92 A	36,31 B	29,25 B
2200	30,92 B	49,07 A	50,31 A	50,05 A	42,58 B	28,90 C

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Estudando a C_{at} , a marcha 2R apresentou maior valor de C_{at} , diferindo-se estatisticamente das marchas 3 e 4R nas rotações de 1600 e 2000 rpm no motor. Na rotação de 1800 rpm, houve diferença significativa no C_{at} entre as marchas 2^a e 4^aR, sendo que a marcha 3^aR não apresentou diferença significativa entre as demais marchas. Na maior rotação no motor, o C_{at} diferiu-se estatisticamente entre as marchas avaliadas.

A marcha 4^aR apresentou maior capacidade operacional de semeadura, reduzindo o C_{at} em 37,3% em relação à marcha 2R na rotação de 1600 rpm, 42,1% na rotação de 1800 rpm e 38,9% na rotação de 2000 rpm no motor do trator. Já na rotação de 2200 rpm, a marcha 2^a R apresentou maior valor de C_{at} (R\$ 50,00 ha⁻¹), superando a marcha 3R (R\$ 42,5 ha⁻¹), que por sua vez foi superior a marcha 4R (R\$ 28,9 ha⁻¹). Esses valores podem ser justificados, pois com menores velocidades de operação se tem maior tempo para percorrer determinada área, enquanto nas maiores velocidades esse tempo é menor e, conseqüentemente, o custo passa a ser menor.

A variável C_h foi influenciada pela alteração da rotação do motor de 1600 para 2200 rpm em todas as marchas testadas, apresentando efeito linear significativo e positivo. Com acréscimo de uma unidade na ROT o custo horário de combustível aumentou R\$ 0,01954, 0,03645 e 0,03228 h⁻¹ operando em 2, 3 e 4 R, respectivamente (Figura 27).

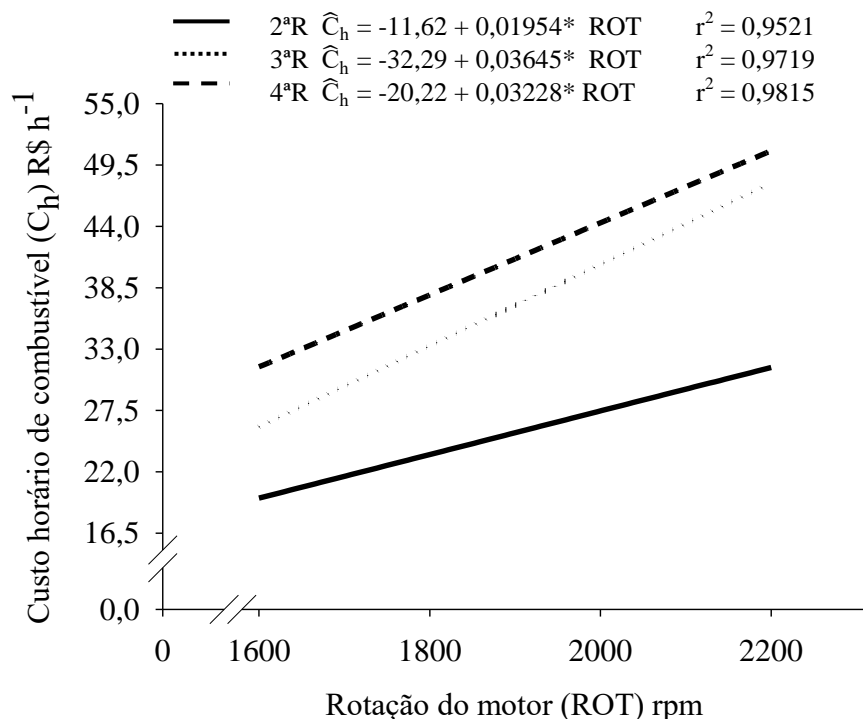


Figura 27. Custo horário de combustível ($C_h - R\$ h^{-1}$) em função da rotação do motor (ROT - rpm), para as marcha 2ª reduzida (2R), 3ª reduzida (3R) e 4ª reduzida (4R), coeficiente de determinação (r^2) * - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Operando em 2R com 1600 rpm no motor do trator o C_h foi de $R\$ 19,64 h^{-1}$, elevando a rotação para 2200 rpm o custo horário de combustível aumentou para $R\$ 31,37 h^{-1}$. Na marcha 3R o C_h foi de $R\$ 26,03$ e $47,90 h^{-1}$, trabalhando com 1600 e 2200 rpm do motor, respectivamente. Semeando em 4ªR o aumento da rotação de 1600 para 2200 rpm elevou 38,12% o C_h .

Os menores valores de C_h podem ser observados semeando com o conjunto mecanizado na rotação de 1600 rpm em todas as marchas. Este fato pode ser justificado pelo aumento do consumo horário de combustível com acréscimo na rotação no motor. O aumento da rotação no motor proporcionou maior consumo horário de combustível, entretanto, maior potência na barra de tração.

Mantendo uma velocidade média de $6 km h^{-1}$, a operação de semeadura da soja pode ser realizada em duas combinações de marcha e rotação do motor, 3R com 2200 rpm e 4R com 1600 rpm. Na primeira combinação a potência média na barra de tração foi de 24,3 kW e o consumo horário médio de combustível foi de $15,15 L h^{-1}$. Já na segunda combinação de marcha e rotação do motor o consumo horário médio de combustível reduziu 34,71%, enquanto que a potência média na barra de tração apresentou um decréscimo de apenas

14,40%. Desta forma, pode-se reduzir o C_h mantendo a mesma capacidade operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora, minimizando os custos de produção em uma propriedade agrícola.

As rotações estudadas no motor não influenciaram estatisticamente no C_{at} em todas as marchas. Independente da rotação do motor a marcha 2R apresentou uma média de C_{at} de R\$ 47,90 ha^{-1} , a marcha 3R R\$ 37,86 ha^{-1} e a marcha 4R R\$ 28,61 ha^{-1} , resultados, diretamente proporcional ao consumo de combustível por área trabalhada e inversamente proporcional ao custo horário de combustível.

Em uma propriedade agrícola produtora de cereais, os custos de produção são mais relevantes quando expressos em custo por hectares (R\$ ha^{-1}), pois leva em consideração a capacidade operacional de uma máquina e o quanto ela consome de energia para preparar uma determinada área.

4.12. Produtividade da cultura (Prod)

Como ultima etapa de um ciclo de produção de grãos, a produtividade da cultura da soja em função das marchas do trator para cada rotação no motor está representada na Tabela 21. As marchas testadas não apresentaram diferença estatística na P_{rod} para cada rotação no motor avaliada.

Tabela 21. Resultados da produtividade da cultura da soja (P_{rod}), em função das marchas, 2ª reduzida (2ªR), 3ª reduzida (3ªR) 4ª reduzida (4ªR) para cada rotação no motor testada (1600, 1800, 2000 e 2200 rpm).

ROT	P_{rod} (kg ha^{-1})		
	2R	3R	4R
1600	3989,15 A	3737,24 A	3906,30 A
1800	3972,13 A	3902,87 A	3842,36 A
2000	3897,81 A	3593,97 A	3819,09 A
2200	3978,59 A	3856,60 A	3716,00 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Castela Junior et al. (2014) através do escalonamento de marcha e aceleração aferidas pelo próprio trator, avaliaram o efeito de três velocidades (5,6 $km\ h^{-1}$ na marcha 1B; 7,6 $km\ h^{-1}$ na marcha na marcha 3B e 9,0 $km\ h^{-1}$ na marcha 4B) na semeadura direta da soja, na região de Cáceres-MT e verificaram que o aumento da velocidade do conjunto mecanizado

não influenciou estatisticamente a produtividade da cultura da soja. Os autores ressaltaram que o aumento da velocidade de deslocamento resulta em maior capacidade operacional, sem prejudicar a produtividade da cultura da soja.

A variável rotação do motor não apresentou efeito sobre a produtividade da cultura para todas as marchas. A maior média de P_{rod} foi observada semeando com o Transformax em 2R (3971,88 kg ha⁻¹), superando a 4ªR (3839,89 kg ha⁻¹), que por sua vez superou a 3R (3757,27 kg ha⁻¹). Este fato pode ser atribuído a maior porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre plântulas encontrado trabalhando em 2R. No entanto, a soja tem possibilidade de compensar um percentual mais elevado de falhas/duplas do que o milho, pelo maior número de estruturas reprodutivas que esta planta forma ao final do seu ciclo.

Neste trabalho, pode-se verificar que são muitos os fatores que implicam no sucesso ou insucesso na implantação de uma lavoura, porém a produtividade da soja não foi influenciada pelas variáveis estudadas. Em razão disso, pôde-se definir uma marcha e uma rotação no motor do trator para um desempenho satisfatório do trator quanto à qualidade da semeadura.

5. Conclusão

As marchas e as rotações do motor testadas influenciaram na demanda energética, custo com combustível e na qualidade de semeadura do conjunto trator-semeadora-adubadora, mas não afetaram a produtividade da cultura da soja.

A marcha com maior relação de transmissão (4R) juntamente com a menor rotação do motor (1600 rpm) apresentaram menor demanda energética e conseqüentemente menor custo com combustível. Esta combinação de marcha e rotação do motor contribuiu para melhor distribuição longitudinal de sementes, maior índice de velocidade de emergência de plântulas e menor tempo médio de emergência de plântulas.

6. Referências Bibliográficas

AISENBERG, G. R.; PEDÓ, T.; AUMONDES, T. Z.; VILLELA, F. A. Vigor e desempenho de crescimento inicial de plantas de soja: efeito da profundidade de semeadura. **Centro Científico Conhecer**, v.10, n.18, (2014).

ALBIERO, D.; MACIEL, A.J.S.; MILAN, M.; MONTEIRO, L.A.; MION, R.L. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. **Ciência Agrônômica**, v. 43, n.1, p. 86-95, 2012.

ALMEIDA, V.; ALVES JÚNIOR, J.; MESQUITA, M.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. **Comparação da viabilidade econômica da agricultura irrigada por pivô central em sistemas de plantios convencional e direto com soja, milho e tomate industrial**. Gl. Sci Technol, Rio Verde, v.11, n.02, p.256-273, mai/ago. 2018.

ALMEIDA, R. A. S.; TAVARES-SILVA, C. A.; SILVA, S. L.; SILVA, S. L.; Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. **Revista Agrarian**. Dourados, v.3, n.7, p.63-70, 2010.

ALONÇO, P. A.; ALONÇO, A. S.; MOREIRA, A. R.; CARPES, D. P.; PIRES, A. L. Distribuição longitudinal de sementes de soja com diferentes tratamentos fitossanitários e densidades de semeadura. **Engenharia na Agricultura**, v.26, n.1, p.58-67, 2018.

ANDRADE, A. T.; TORRES, J. L. R.; PAES, J. M. V.; TEIXEIRA, J. M. V. C. M.; CONDÉ, A. B. T. Desafios do Sistema Plantio Direto no Cerrado. **Informe Agropecuário**, v. 39, n. 302, p. 18-26, 2018.

ASAE. D497.4 – **Agricultural machinery management data**. In: Standards 2003. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, p. 373-380. 2003.

BARBOSA, L.A.P.; MAGALHAES, P.S.G. Tire tread pattern design trigger on the stress distribution over rigid surfaces and soil compaction. **Journal of Terramechanics**, v. 58, p.27–38, 2015

BARGER, E. L.; LILJEDAHN, J. B.; CARLETON, W. M.; McKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores**, cap. 16, p. 275-300, 1951.

BOTTEGA, E. L.; VIAN, T.; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M. Diferentes dosadores de sementes e velocidades de deslocamento na semeadura do milho em plantio direto, **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, n.7, p. 1-5, 2018.

BOTTEGA, E. L.; BRAIDO, R.; PIAZZETTA, OLIVEIRA NETO, A. M.; GURERRA, N. Efeitos da profundidade e velocidade de semeadura na implantação da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, n. 2, p. 74-78, 2014.

CASTELA JUNIOR, M.A.; OLIVEIRA, T.C.; FIGUEIREDO, Z.N.; SAMOGIM, E.M.; CALDEIRA, D.S.A. Influencia da velocidade da semeadora na semeadura direta da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19, p.1199-1207, 2014.

CEPIK, C.T.C.; TREIN, C.R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.447-457, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos V. 5- SAFRA 2017/18- N. 9 - **Nono levantamento**, JUNHO 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 9 de Maio de 2019.

CORREIA, T. P. S.; SOUSA, S. F. G.; TAVARES, L. A. F.; SILVA, P. R. A.; RIQUETTI N. B. Disk harrow operational performance in three engine rotation speeds. **Científica**, v.43, n.3, p.221-225, 2015.

COX, W. J.; CHERNEY, J. H.; SHIELDS, E. Soybeans compensate at low seeding rate but not at high thinning rates. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 4, p. 1238-1243, 2010.

CUNHA, J. P. B.; CAMPOS, A. T.; MARTINS, F. G. L.; PAULA, V. R.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, F. C. Demanda energética de diferentes manejos de solo no cultivo de milho. **Bioscience Journal**, v.31, n.3, p.808-817, 2015.

DAMANAUSKAS, V.; JANULEVICIUS, Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems. **Journal of Terramechanics**, v.60, p.63-73, 2015.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of American Society for Horticultural Science**, v. 71, p. 428-434, 1958.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília-DF, 2018, 5 ed. 590p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Brasília-DF, 2017,3 ed. 573p.

FANTIN, N. A. M; MEERT L.; HANEL A.; Alencar, J. R. C. C.; PETEAN, L. P., Componentes de produção e qualidade de semeadura de soja em função de diferentes velocidades do conjunto trator + semeadora, **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.9, n.3, p.7-15, 2016.

FARIAS, M. S.; SCHLOSSER, J. F.; MARTINI A. T.; BERTOLLO, G. M.; ALVEZ, J. V. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante operação de gradagem, **TECNO-LÓGICA**, v. 22, n. 2, p. 213-216, 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-FIESP. Safra Mundial de Soja 2017/18 - 11º Levantamento do USDA. <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja>. Acesso em: 9 de Maio de 2019.

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

FIGLIANO, D. A.; SANDI, J.; MARASCA, I.; FERREIRA, F. M.; SPADIM, E. R.; LANÇAS K. P. Torque nos rodados motrizes de um trator agrícola submetido a ensaios de tração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.9, p.903–909, 2015.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. D. S.; BELLÉ, M. P.; FRANCK, C. J.; DAUTO, P. C. (2015). Comportamento operacional de associações entre sulcadores e discos de corte para sistema de semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 542-554, 2015.

HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Análise econômica de diferentes arranjos espaciais de plantas de soja. Londrina: Embrapa Soja, p. 8, 2017.

GARCIA, R.F.; VALE, W.G.; OLIVEIRA, M.T.R.; PEREIRA, E.M.; AMIM, R.T.; BRAGA, T.C. Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p.417-422, 2011.

GOERING, C.E.; STONE, M.L.; SMITH, D.W.; TURNQUIST, P.K. Engine performance measures. In: *Off-Road Vehicle Engineering Principles*. St. Joseph, Mich.; ASAE. Copyright American Society of Agricultural Engineers, cap. 2, p.19-36, 2003.

GRISSE, R.; PITMAN, R.; JHON V.; GARY, T. “Gear Up and Throttle Down” to Save Fuel. **Virginia Cooperative Extension**, 2014.

JANULEVIČIUS, A.; JUOSTAS, A.; PUPINIS, G. Engine performance during tractor operational period. **Energy Conversion and Management**, v. 68, p. 11-19, 2013.

JASPER, R; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P.S.M; ROCIL, J; GARCIA, L.C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.102-110, 2011.

KHALIL, A.; DHEHIBI, B.; KASSAM, S. N.; AW-HASSAN, A. Energy consumption in onion and potato production within the province of El Hajeb (Marrocos): Towards energy use efficiency in commercialized vegetable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 1, 2017.

KUMAR, N.; PANDEY, K. P. A visual basic program for predicting optimum gear and throttle position for best fuel economy for 32 kW tractor. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.119, p. 217–227, 2015.

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*, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-62, 1989.

LOPES, H.M.; SOUZA, C.M. Efeitos da giberelina e da secagem no condicionamento osmótico sobre a viabilidade e o vigor de sementes de mamão (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.30, p.181-189. 2008.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MARTINS, F. G. L.; BARBOSA, J. A.; CARVALHO, R. C. S.; VELOSO, A. V.; MARIN, D. B. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Energia Agricultura**, vol. 30, n.4, p.418-428, 2015.

MELO, R. P.; ALBIERO, D., MONTEIRO, L. A.; SOUZA F. H.; SILVA J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense, **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 94-101, 2013.

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

MILAGRES, R. S.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; SILVA, A. C.; FONTES, J. M.; Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função do mecanismo sulcador e velocidade de deslocamento. **Engenharia na agricultura**, viçosa - mg, v.23 n.2, 2015.

MODOLO, A.J.; FRANCHIN, M.F.; TROGELLO, E.; ADAMI, P.F.; SCARSI, M.; CARNIELETTO, R. Semeadura de milho com dois mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo. **Engenharia Agrícola**. v.33, p.1200-1209, 2013.

MOLARI, G.; BELLENTANI, L.; GUARNIERI, A.; WALKER, M.; SEDONI, E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. **Biosystems Engineering**, v.111, p.57-63, 2012.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; SANCHEZ, P. A.; CAMPOS, F. H.; LANÇAS, K. P. Consumo de combustível de um trator agrícola no preparo do solo para a cultura do algodão irrigado em função da pressão de inflação nos pneus. **Revista Energia na Agricultura**, ISSN 1808-8759, 2011.

MONTANHA, G. K.; GUERRA, S. P. S.; SANCHEZ, P. A.; HEUN, J. e LANÇAS, K. P. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando o equipamento canteirador. **Energia na Agricultura**, vol.27, n.2, p.44-59, 2012.

MONTEIRO, L. M.; ALBIERO, D.; SOUZA, F. H.; MELO, R. P.; CORDEIRO, I. M. Rendimento na barra de tração de um trator agrícola com diferentes relações de peso e potência. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.70-75, 2013.

QUEIROZ, R. F.; MOTA, W. A.; MACEDO, D. X. S.; COSTA, E.; CHIODEROLI, C. A. Cargas no depósito de fertilizante de uma semeadora-adubadora e desempenho operacional. **Ciências Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 271-277, abr-jun, 2017.

RAMOS, C. R.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; SANDI, J. Fuel consumption of a sugarcane harvester in different operational settings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 588-592, 2016.

RANJBARIAN, S.; ASKARI, M.; JANNATKHAH, J. Performance of tractor and tillage implements in clay soil. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 2, p. 154-162, 2017.

REYNALDO, É. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D.; Influencia da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. **Engenharia na agricultura**, v.24 n.1, (2016).

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; NIETIEDT, G. H. Transmissões presentes em tratores agrícolas no Brasil, **Ciências Rural**, online, 2010.

ROCHA, B. G. R.; AMARO, H. T. R.; PORTO, E. M.V.; GONÇALVES C. C.; DAVID, A, M. S. S.; LOPES, E. E. B. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Ciências Agrárias**, v.41, n.2, 2018.

RODRIGUES, J. G. L.; GAMERO, C. A.; NASCIMENTO, F. M.; FERNANDES, J. C. Demanda energética de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro. **Revista Energia na Agricultura**. vol. 26, n.1, p.65-76, 2011.

ROZ, V.V.; SOUZA, C.M.A.; VITORINO, A.C.T.; RAFULL, L.Z.L. Oxisol resistance to penetration in no-till system after sowing. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.1104-1114, 2011.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo antes e depois da subsolagem. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.3, p.378-383, 2008. ISSN 1806-6690.

SANTOS, T. D.; MEERT, L.; BORGHI, W. A.; SILVA, P. S.; FIGUEIREDO, A. S. T. Desenvolvimento inicial de plantas de soja e qualidade de semeadura em função da velocidade de deslocamento da semeadora e textura do solo. **Applied Research & Agrotechnology**, v.10, n.2, (2017).

ŠARAUSKIS, E.; VAITAUSKIENĖ, K.; ROMANECKAS, K.; JASINSKAS, A.; BUTKUS, V.; KRIAUCIŪNIENĖ, Z. Fuel consumption and CO₂ emission analysis in different strip tillage scenarios. **Energy**, v. 118, p. 957-968, 2017.

SCHENEIDER, J.; FELDMANN, N. A.; MÜHL, F. R. Efeitos do acréscimo excessivo de velocidade na semeadura da soja relacionado a eficiência fisiológica da planta. **Ciência Agroveterinárias e Alimentos**, v.1, n.3, (2018).

SEDIYMA, T.; OLIVEIRA, R. C. T.; SEDIYAMA, H. A. A soja. In: SEDIYAMA, T.(Ed.) **Produtividade da Soja**. Mecenas: Londrina, p. 11-18. 2016.

SHAFAEI, S. M.; LOGNAVI, M.; KAMGAR, S. An extensive validation of computer simulation frameworks for neural prognostication of tractor tractive efficiency. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 155. p. 283-297, 2018.

SILVA, A. C.; **desempenho dinâmico de uma semeadora-adubadora em função do mecanismo dosador e da carga aplicada pela roda compactadora**. 2015. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

SILVA F. R. ; ALBUQUERQUE J. A.; BORTOLINI, D.; COSTA, A.; FONTOURA, S. M. V. Semeadura direta com diferentes mecanismos sulcadores: alterações em propriedades de

um Latossolo Bruno e produtividade das culturas. **Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 3, p. 428-434, 2018.

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.44-52, 2013.

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES H. C.; MODOLO, A. J. SILVA, S. L.; TROGELLO, E. Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds. **Revista Ceres**, v. 58, n.3, p. 293-298, 2011.

SILVA, J. G.; NASCENTE, A. S.; SILVEIRA, P. M. Velocidade de semeadura e profundidade da semente no sulco afetando a produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n.1, Jan-Abr. 2017, p.77-85, 2017.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; DALLACORT, R. Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho. **Bragantia**, vol.72, n.1, pp.101-109, 2013.

VALE, W. G., GARCIA, R. F., JÚNIOR, D. C.; GRAVINA, G. A.; KLAVER, P. P. C.; JÚNIOR, J. F. D. S. V. (2010). Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora direta. **Global Science Technology**, v. 03, n. 03, p. 67-74, 2010.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Tabela 1. Resumo da análise variância das variáveis velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora (V_c), profundidade do sulco (P_s), força na barra de tração (F_{bt}) e potência na barra de tração (P_{bt}), em função da marcha e rotação do motor.

F.V.	G.L	Quadrados Médios			
		V_c	P_s	F_{bt}	P_{bt}
Bloco	3	0,0155	6,986	0,3056	2,966
Marcha	2	91,6855**	751,509**	35,6141**	720,934**
Rotação	3	10,5508**	20,098**	0,5106 ^{n.s}	99,583**
Marcha x Rotação	6	1,0303**	2,776 ^{n.s}	0,2190 ^{n.s}	6,209**
Resíduo	33	0,0290	1,185	0,6669	1,544
CV (%)		40,96	4,50	10,76	32,66

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

* Significativo a 5%

^{n.s} Não significativo

Tabela 2. Resumo da análise variância das variáveis consumo horário de combustível (C_{hc}), patinagem dos rodados motrizes do trator (P_t), capacidade operacional efetiva (C_{oe}) e área de solo mobilizada (A_{sm}), em função da marcha e rotação do motor.

F.V.	G.L	Quadrados Médios			
		C_{hc}	P_t	C_{oe}	A_{sm}
Bloco	3	0,9415	2,096	0,07452	<0,000000
Marcha	2	94,9659**	250,401**	3,06335**	0,000337**
Rotação	3	66,3832**	21,957**	0,35133**	0,000073**
Marcha x Rotação	6	2,4666 ^{n.s}	1,199 ^{n.s}	0,03392**	0,000027**
Resíduo	33	1,4751	1,478	0,00181	<0,000000
CV (%)		28,98	32,86	41,61	11,52

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

* Significativo a 5%

^{n.s} Não significativo

Tabela 3. Resumo da análise variância das variáveis consumo específico de combustível (C_{ec}), consumo de combustível por área trabalhada (C_{cat}), consumo de combustível por área de solo mobilizada (C_{cam}) e demanda total de energia do combustível (D_{ec}), em função da marcha e rotação do motor.

F.V.	G.L	Quadrados Médios			
		C_{ec}	C_{cat}	C_{cam}	D_{ec}
Bloco	3	0,001750	11,794	1,299	14862
Marcha	2	0,105622**	146,206**	188,663**	184239**
Rotação	3	0,023408**	4,617*	2,389 ^{n.s}	5818*
Marcha x Rotação	6	0,002153 ^{n.s}	1,245**	3,090 ^{n.s}	1569 ^{n.s}
Resíduo	33	0,002300	1,241	1,407	1564
CV (%)		15,30	24,10	21,51	24,10

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

* Significativo a 5%

^{n.s} Não significativo

Tabela 4. Resumo da análise variância das variáveis demanda específica de energia (D_{ee}), eficiência de utilização do combustível (E_{uc}), profundidade de deposição de sementes (P_{ds}) e patinação da roda de acionamento da semeadora-adubadora (P_{ras}), em função da marcha e rotação do motor.

F.V.	G.L	Quadrados Médios			
		D_{ee}	E_{uc}	P_{ds}	P_{ras}
Bloco	3	299,98	8,381	6,986	0,2037
Marcha	2	1208,80**	126,194**	751,509**	42,2815**
Rotação	3	28,59 ^{n.s}	21,544 ^{n.s}	20,098**	7,0963**
Marcha x Rotação	6	8,45 ^{n.s}	4,256 ^{n.s}	2,776**	1,0382**
Resíduo	33	18,02		1,185	0,1257
CV (%)		12,55	18,31	9,67	41,40

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

* Significativo a 5%

^{n.s} Não significativo

Tabela 5. Resumo da análise variância das variáveis espaçamentos aceitáveis entre plântulas (E_a), espaçamentos múltiplos entre plântulas (E_m), espaçamentos falhos entre plântulas (E_f) e índice de velocidade de emergência (IVE), em função da marcha e rotação do motor.

F.V.	G.L	Quadrados Médios			
		E_a	E_m	E_f	IVE
Bloco	3	43,428	4,565	8,092	0,9523
Marcha	2	286,405**	225,183**	3,825 ^{n.s}	14,4993**
Rotação	3	9,112 ^{n.s}	4,464 ^{n.s}	1,606 ^{n.s}	4,1289 ^{n.s}
Marcha x Rotação	6	79,624 ^{n.s}	34,868**	11,269 ^{n.s}	0,7546 ^{n.s}
Resíduo	33	48,183	7,687	9,676	2,1738
CV (%)		14,56	17,62	14,09	9,92

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

* Significativo a 5%

^{n.s} Não significativo

Tabela 6. Resumo da análise variância das variáveis tempo médio de emergência (TME), custo horário de combustível (C_h), custo de combustível por área trabalhada (C_{at}) e produtividade da cultura (P_{rod}), em função da marcha e rotação do motor.

F.V.	G.L	Quadrados Médios			
		TME	C_h	C_{at}	P_{rod}
Bloco	3	0,05861	6,32	120,02	0,9523
Marcha	2	2,40507**	1047,04**	1487,80**	14,4993 ^{n.s}
Rotação	3	0,38949 ^{n.s}	694,17**	46,98*	4,1289 ^{n.s}
Marcha x Rotação	6	0,00899 ^{n.s}	30,24 ^{n.s}	12,67 ^{n.s}	0,7546 ^{n.s}
Resíduo	33	0,15594	16,45	12,63	2,1738
CV (%)		6,32	29,63	24,10	10,65

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

* Significativo a 5%

^{n.s} Não significativo