

WILSON DE ALMEIDA ORLANDO JUNIOR

**DESEMPENHO DE UM CONJUNTO TRATOR-SEMEADORA-
ADUBADORA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE DEPOSIÇÃO DO
ADUBO E DO TEOR DE ÁGUA DO SOLO PARA A CULTURA DO FEIJÃO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

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

T

O71d
2019 Orlando Junior, Wilson de Almeida, 1987-
Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora
em função da profundidade de deposição do adubo e do teor de
água do solo para a cultura do feijão / Wilson de Almeida
Orlando Junior. – Viçosa, MG, 2019.
viii, 75 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 67-75.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Consumo de combustível.
3. Produtividade agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

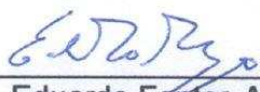
CDD 22. ed. 635.652

WILSON DE ALMEIDA ORLANDO JUNIOR

**DESEMPENHO DE UM CONJUNTO TRATOR-SEMEADORA-
ADUBADORA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE DEPOSIÇÃO DO
ADUBO E DO TEOR DE ÁGUA DO SOLO PARA A CULTURA DO FEIJÃO**

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

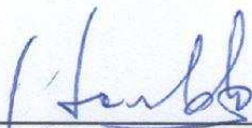
APROVADA: 20 de fevereiro de 2019.



Eduardo Fontes Araujo



Marconi Ribeiro Furtado Júnior



Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus pais, Wilson e Teresinha, por não medirem esforços para me ajudar a conquistar meus objetivos.

Ao meu irmão André, minha irmã Thaís e seu esposo, Lucas, pela amizade.

A minha sobrinha Larissa, pela alegria e carinho.

A minha querida esposa Isabella, pelo carinho, apoio e incentivo.

A Janete, Anísio e família pelo carinho e acolhimento.

A Universidade Federal de Viçosa, por mais uma vez me acolher como aluno e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Professor Dr. Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação, amizade, pelos ensinamentos e pela confiança, contribuindo para a minha formação profissional.

Ao pesquisador Dr. Rogério Faria Vieira, pela amizade e conhecimento transmitido.

Ao professor Dr. Renan Cardoso Lima pela amizade e incentivo.

Ao primo Dr. Elder Sânzio Aguiar Cerqueira, pelos conselhos e incentivo.

Aos Professores Dr. Marconi Ribeiro Furtado Júnior, Dr. Murilo Aparecido Votlarelli, Dr. Paulo Roberto Cecon e Dr. José Eustáquio de Souza Carneiro, pelos esclarecimentos e pelas sugestões.

Ao professor Dr. José Eustáquio de Souza Carneiro, por ter cedido a área experimental para a elaboração deste trabalho.

A todos os professores da Universidade Federal de Viçosa, por, ao longo do curso, terem-se dedicado a transmitir conhecimentos.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola.

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Coimbra, pela imensa boa vontade e disposição em ajudar.

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

Aos meus amigos e colegas da pós-graduação em Mecanização Agrícola, em especial Paulo (Paraná), Tiago (Tião) e Guilherme.

Aos meus demais amigos e familiares, por terem sempre me apoiado e incentivado em todos os momentos.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 A cultura do feijão.....	3
2.2 O plantio direto.....	4
2.3 Teor de água do solo.....	6
2.4 Profundidade de deposição de adubo.....	7
2.5 Patinagem.....	8
2.6 Força de tração, demanda energética e consumo de combustível.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Delineamento experimental.....	13
3.2 Caracterização da área experimental.....	13
3.2.1 Caracterização química e textural do solo.....	13
3.2.2 Caracterização física do solo.....	13
3.2.2.1 Densidade do solo.....	13
3.2.2.2 Teor de água do solo.....	13
3.2.2.3 Resistência do solo à penetração.....	14
3.2.3 Massa seca da cobertura vegetal.....	14
3.3 Máquinas	15
3.3.1 Trator.....	15
3.3.2 Semeadora-adubadora.....	16
3.4. Teste de germinação das sementes.....	18
3.5 Semeadura e tratos culturais.....	18
3.6 Desempenho da semeadora–adubadora com relação à cultura.....	19
3.6.1 Uniformidade de distribuição longitudinal das plântulas....	19
3.6.2 Profundidade de semeadura.....	19
3.6.3 Emergência das plântulas.....	20
3.7 Produtividade de grãos e massa de 100 grãos.....	21

3.8 Instrumentação para coleta de dados, parâmetros operacionais do trator e área de solo mobilizado.....	22
3.8.1 Força de tração.....	23
3.8.2 Velocidade de deslocamento do conjunto.....	23
3.8.3 Consumo horário de combustível.....	24
3.8.4 Área de solo mobilizada.....	25
3.8.5 Patinagem dos rodados motrizes	26
3.9 Parâmetros operacionais obtidos indiretamente.....	26
3.9.1 Potência média na barra de tração (BT).....	26
3.9.2 Capacidade operacional efetiva.....	27
3.9.3 Demanda energética das operações mecanizadas.....	27
3.9.3.1 Consumo específico de combustível.....	27
3.9.3.2 Consumo de combustível por área mobilizada.....	28
3.9.3.3 Consumo de combustível por área trabalhada.....	28
3.9.3.4 Demanda total de energia do combustível.....	28
3.9.3.5 Demanda específica de energia.....	29
3.9.3.6 Eficiência de utilização do combustível.....	30
3.10 Análise estatística.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Caracterização da área experimental.....	31
4.1.1 Caracterização química e textural do solo.....	31
4.1.2. Caracterização física da área experimental.....	32
4.1.2.1.Densidade do Solo.....	32
4.1.2.2. Resistência do solo à penetração antes do plantio.	33
4.1.2.3 Massa da matéria seca da cobertura vegetal.....	34
4.2. Desempenho da semeadora-adubadora em relação à Cultura.....	34
4.2.1. Uniformidade de distribuição longitudinal das plântulas de feijão.....	34
4.2.1.1 Espaçamento entre plântulas.....	34
4.2.1.2 Porcentuais dos espaçamentos aceitáveis, falhos, e múltiplos entre plântulas.....	34

4.2.2. Profundidade de deposição da semente.....	36
4.3. Emergência das plântulas.....	37
4.4. Produtividade de grãos e massa de 100 grãos.....	40
4.5 Parâmetros operacionais do trator e área mobilizada de solo.....	43
4.5.1. Força de tração.....	43
4.5.2. Velocidade de deslocamento do conjunto.....	44
4.5.3. Consumo horário de combustível.....	46
4.5.4. Área de solo mobilizada.....	47
4.5.5 Patinagem dos rodados motrizes.....	49
4.6 Parâmetros operacionais obtidos indiretamente.....	51
4.6.1 Potência média na barra de tração (BT).....	51
4.6.2 Capacidade operacional teórica.....	53
4.6.3 Demanda energética das operações mecanizadas.....	55
4.6.3.1 Consumo específico de combustível.....	55
4.6.3.2 Consumo de combustível por área de solo mobilizada..	57
4.6.3.3 Consumo de combustível por área trabalhada.....	58
4.6.3.4 Demanda total de energia do combustível.....	60
4.6.3.5 Demanda específica de energia.....	62
4.6.3.6 Eficiência de utilização do combustível.....	63
5. CONCLUSÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

RESUMO

ORLANDO JUNIOR, Wilson de Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função da profundidade de deposição do adubo e do teor de água do solo para a cultura do feijão.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Rogério Faria Vieira e Paulo Roberto Cecon.

A mecanização agrícola tem se tornado cada vez mais presente na vida dos produtores. Conseqüentemente, a demanda por energia tem crescido, com destaque para energia proveniente dos combustíveis fósseis. A preocupação em se ter um sistema produtivo e o mais sustentável possível é constante, e uma das vertentes para alcançar este objetivo é otimizar o uso energético e de recursos naturais, como a água. Minas Gerais está entre os estados com maior produção de feijão do Brasil, sendo uma parte considerável produzida com a utilização de máquinas e implementos agrícolas. Objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de um conjunto trator-semeadora adubadora no plantio de feijão em sistema de plantio direto na palha em função de teores de água no solo e de profundidades de deposição do adubo. Foram avaliados 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). O experimento foi instalado em um esquema de parcelas subdivididas, no delineamento em blocos casualizados com três repetições. Nas parcelas foram dispostos os teores de água e nas subparcelas, as profundidades de deposição do adubo. O desempenho do conjunto foi avaliado por meio da demanda energética e qualidade da operação. O teor de água apresentou efeito linear na demanda específica de energia. A maior produtividade foi alcançada no teor de água do solo de 36,4%. A menor demanda energética ocorreu no maior teor de água do solo e na menor profundidade.

ABSTRACT

ORLANDO JUNIOR, Wilson de Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Performance of a tractor-seeder-fertilizer set according to the depth of fertilizer deposition and soil water content for bean cultivation.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisers: Rogério Faria Vieira and Paulo Roberto Cecon.

Agricultural mechanization has become increasingly present in the lives of producers. Consequently, the demand for energy has grown, with emphasis on energy from fossil fuels. The concern to have a productive system and the most sustainable one is constant, and one of the strands to achieve this objective is to optimize the use of energy and natural resources, such as water. Minas Gerais is among the states with the highest bean production in Brazil, a considerable part being produced using agricultural machinery. The aim of this work was to evaluate the performance of a tractor-seeder fertilizer set in the bean plantation under no-till system as a function of soil water contents and depth of fertilizer deposition. Three soil water contents (28.7, 36.4 and 47.6%) and three depths of fertilizer deposition (6.3, 11.3 and 14.8 cm) were evaluated. The experiment was installed in a split-plot arrangement in a randomized block design with three replicates. In the plots were arranged the water contents and in the subplots, the depths of deposition of the fertilizer. The performance of the assembly was evaluated through the energy demand and quality of the operation. The water content had a linear effect on the specific energy demand. The highest productivity was achieved in the soil water content of 36.4%. The lowest energy demand occurred in the highest water content in the soil and the lowest depths.

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada no mundo entre as demais do gênero *Phaseolus*, sendo a segunda leguminosa mais importante para a alimentação de habitantes dos continentes americano, asiático e africano.

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão-comum, sendo a maior produção nos estados do Paraná e Minas Gerais. O feijoeiro é produzido em três safras ao longo do ano: primavera-verão, verão-outono e outono-inverno, com destaque para Minas Gerais que é o maior produtor de feijão de outono-inverno.

As tecnologias introduzidas na agricultura, como o uso de cultivares mais produtivas, resistentes a pragas e doenças, o manejo adequado, adubação e correção do solo, assim como a mecanização, possibilitaram expandir os campos de produção de culturas como milho, soja, trigo, feijão entre outras.

A degradação do solo tem sido uma preocupação por causa da redução da produtividade das culturas, do aumento no custo de produção e dos danos ao meio ambiente. Uma das práticas mais efetivas e eficientes de conservação do solo é o uso do cultivo mínimo ou do plantio direto.

O sistema de plantio direto fundamenta-se no mínimo revolvimento e na rotação de culturas. Sua utilização pode evitar perdas causadas pela erosão que, além do solo, carrega para os cursos d'água alguns insumos como adubos e outros produtos químicos, constituindo-se em fonte de poluição e de degradação dos rios e outros mananciais. Com a prática de plantio direto reduzindo a erosão do solo, há aumento na retenção de água do solo, controle da população de plantas daninhas e redução do custo de produção.

Estudar a eficiência energética de um processo agrícola é fundamental, pois é através dela que se busca diminuir os gastos energéticos sem diminuir a produção, sendo um requisito fundamental para que se obtenha uma produção agrícola sustentável, estando diretamente relacionada às práticas de manejo dentro do processo produtivo.

O uso racional de água, principalmente na agricultura, tem suma importância no cenário econômico e ambiental. O teor de água do solo tem forte influência na resistência mecânica à penetração. Sua falta ou excesso é prejudicial ao desenvolvimento da planta, sendo que seu excesso pode reduzir a aeração do solo que, conseqüentemente, prejudica o desenvolvimento radicular e sua falta pode ocasionar problemas nutricionais, já que as raízes somente absorvem os nutrientes que estão na solução do solo.

Buscando o melhor para o desenvolvimento da planta, além de uma adubação equilibrada, têm-se também os efeitos promovidos pela profundidade de adubação. Uma adubação mais superficial pode acarretar em problemas como danos à germinação e desenvolvimento de raízes superficiais, além de uma planta com baixo volume radicular. A adubação profunda tende a promover o desenvolvimento radicular e aumentar o rendimento da planta, resultando em maior produtividade.

Diante da importância de se conhecer o desempenho do conjunto trator-semeadora-adubadora e tendo em vista a carência de pesquisas com relação ao teor de água do solo e profundidade de adubação, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora de plantio direto no estabelecimento e produtividade da cultura do feijão, em relação ao teor de água do solo e profundidade de deposição do adubo. Os objetivos específicos foram:

- Determinar os parâmetros físicos, químicos e a classe textural do solo;
- Determinar a profundidade de deposição do adubo, a distribuição longitudinal das sementes, a percentagem e o índice de velocidade de emergência das plântulas de feijão e a produtividade de grãos da cultura;
- Estimar a demanda energética na operação de semeadura, determinando-se a potência requerida na barra de tração, o consumo específico de combustível, o consumo específico operacional de combustível e o consumo de combustível por área de solo mobilizado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultura do feijão

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), com produção média anual de 3,4 milhões de toneladas. Os maiores Estados produtores são Paraná (23% do total) e Minas Gerais (21% do total) (CONAB, 2018).

O feijoeiro pode apresentar ciclos variando de 65 a 100 dias, dependendo da cultivar e de fatores ambientais. Esta flexibilidade de ciclo permite que a cultura componha sistemas mais e menos tecnificados, incluindo sistemas de subsistência (FANCIELLI; DOURADO NETO, 2007). O feijão é produzido em três safras ao longo do ano: primavera-verão, verão-outono e outono-inverno (ARAÚJO; FERREIRA, 2006). Minas Gerais é o maior produtor de feijão de outono-inverno, com produção anual de 184 mil toneladas e produtividade média de 2618 kg/ha (CONAB, 2018).

No plantio para a safra primavera-verão não há necessidade de irrigação por coincidir com o período chuvoso. Porém, a colheita pode ser prejudicada se houver excesso de chuvas, ficando, assim, comprometida a qualidade dos grãos e podendo acarretar perda parcial ou total da produção.

No plantio para a safra verão-outono existe o risco de se perder a produção por escassez de chuvas, mas, por outro lado, a colheita será efetuada praticamente livre de chuvas, dando ao produto colhido excelente qualidade.

O feijoeiro é formado por uma raiz principal de onde se originam raízes laterais (secundárias, terciárias, etc.), caule, folha, flor, fruto e semente. O hábito de crescimento é o modo pelo qual a planta exhibe o crescimento do caule e florescimento, sendo classificado como determinado e indeterminado (EMBRAPA, 2005).

O hábito de crescimento determinado é caracterizado por possuir um caule principal e os ramos laterais terminados em uma inflorescência, por possuir um número limitado de nós e pela floração iniciar-se no sentido do ápice para a base da planta. O hábito indeterminado é caracterizado por possuir um caule principal que permite um crescimento contínuo, numa

sucessão de nós e entrenós e pela floração iniciar-se no sentido da base para o ápice da planta.

Os hábitos de crescimento são agrupados e caracterizados em quatro tipos principais: Tipo I, hábito de crescimento determinado, arbustivo e porte da planta ereto; Tipo II, hábito de crescimento indeterminado, arbustivo, porte da planta ereto e caule pouco ramificado; Tipo III, hábito de crescimento indeterminado, prostrado ou semiprostrado, com ramificação bem desenvolvida e aberta e Tipo IV, hábito de crescimento indeterminado, trepador; caule com forte dominância apical e número reduzido de ramos laterais, pouco desenvolvidos (EMBRAPA, 2005).

Ao pesquisarem a eficiência de campo entre cultivares do tipo I, II e III, FARIAS & KRANZ (1982) observaram que o cultivar Carioca tipo III, foi mais produtivo que o Goiano Precoce e Ariana, tipo I e Aroana, tipo II. Segundo os autores, isso se deu em virtude do hábito/tipo de planta que, no caso do Carioca, promoveu maior cobertura do solo em relação aos demais cultivares. Resultado semelhante foi encontrado por Teixeira et al. (2009).

Por outro lado, em áreas irrigadas, predomina-se o uso do feijão do tipo III. No entanto, o uso de feijões do tipo II (hábito de crescimento indeterminado, porte ereto) tem aumentado, principalmente para facilitar a colheita mecânica, mas também por reduzir os prejuízos com o mofo-branco (RAMALHO et al., 2004).

2.2. Plantio direto

Os primeiros estudos científicos sobre sistema de plantio direto começaram na década de 40, na estação experimental de Rothamsted, Inglaterra, após a constatação de que as plantas poderiam crescer e se desenvolver normalmente sem o preparo convencional do solo (KORONKA, 1973). Silva et al. (2009) relataram que por volta de 1970 o sistema de plantio direto começou a ser implementado no Brasil, na região Sul, buscando-se reduzir a erosão do solo e minimizar impactos ambientais provenientes da queimada de restos culturais.

Porém, havia dificuldades para a implantação do sistema de plantio direto. A mecanização pouco evoluída e a falta de semeadoras adaptadas a

esse sistema, capazes de desempenhar as funções desse novo modelo de cultivo, assim como a inexistência de informações sobre a ocorrência de pragas e doenças e a compactação do solo, faziam com que os produtores não adotassem ou mesmo se interessassem pelo sistema de plantio direto. No início da década de 90, em função do surgimento e da disponibilidade de tecnologias específicas ao sistema de plantio direto, aliado ao interesse dos setores públicos e privados em levá-las às propriedades rurais, houve um grande aumento de áreas praticantes desta forma de manejo (ANGHINONI, 2007).

O plantio direto consiste na prática de cultivo em solo minimamente revolvido. As sementes são cultivadas sobre restos de cobertura vegetal, de culturas anteriores ou restos de vegetação. A interferência mecânica para revolver o solo é mínima ao se plantar sementes ou mudas (MOTTER et al., 2015).

A camada de cobertura morta que cobre o solo, além da proteção contra erosão, auxilia no controle de plantas espontâneas, consolida a produção e melhora a fertilidade do solo. Sua conservação afeta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A temperatura, porosidade, teor de água, densidade e resistência à penetração são algumas das propriedades afetadas pelo sistema de manejo do solo (FABRIZZI et al., 2005).

Oliveira et al. (2000) afirmaram que, na Zona da Mata mineira, devido ao seu relevo acidentado e também às chuvas de grande intensidade no verão, problemas pertinentes à conservação do solo e da água, assim como erosão, são frequentes. Entretanto, estes problemas podem ser minimizados com a adoção do sistema de plantio direto, como feito na Região Sul do Brasil, que apresentava problemas similares.

Rodrigues e Gamero (2006), ao avaliarem o desempenho de conjuntos mecanizados em diferentes sistemas de manejo, observaram diferenças significativas na capacidade operacional efetiva e no consumo horário de combustível. Independente da cobertura, o plantio direto apresentou os melhores índices. Observaram também que a cobertura não influenciou significativamente o desempenho dos conjuntos e que a

velocidade de deslocamento não apresentou diferença significativa em função do sistema de preparo e da cobertura vegetal.

Bertolini e Gamero (2010) constataram que na semeadura do milho em plantio direto, comparado ao sistema de cultivo mínimo com escarificação, houve menor força na barra de tração, menor demanda de potência, menor consumo específico de energia por área, menor consumo horário de combustível e menor consumo horário de combustível por área.

2.3. Teor de água do solo

Existem várias metodologias para se determinar o teor de água do solo, cada uma apresentando vantagens e desvantagens. Os métodos de determinação do teor de água do solo podem ser classificados como métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são destrutivos, isto é, impedem sua repetição. Já os indiretos são aqueles que fazem uso de medidas de características relacionadas com o teor de água do solo.

O método gravimétrico padrão, método direto, é o mais utilizado para determinar o teor de água do solo, com base na massa de solo seco em estufa a temperatura de 105°C – 110°C, até atingir massa constante (GAMERO; LANÇAS, 1996). Segundo estes autores, a caracterização dessa variável, a exemplo da densidade do solo, deve ser realizada em camadas de, no mínimo, 10 centímetros de espessura, devendo atingir, pelo menos, a profundidade de mobilização do solo.

Cunha et al. (2002), ao estudarem o comportamento da resistência do solo à penetração em diferentes densidades e teores de água no solo, observaram que a resistência a penetração diminuía a medida que o teor de água aumentava. Resultado semelhante também foi observado por Feitosa (2018).

Ao avaliarem a resistência de um latossolo vermelho distroférrico à penetração em sistema de plantio direto após a semeadura, Ros et al. (2011) observaram que o teor de água do solo promoveu diferença na resistência à penetração com a profundidade, no leito de semeadura, independente do sulcador e pressão na roda compactadora.

2.4. Profundidade de deposição de adubo

Uma operação de semeadura, realizada com qualidade, é de fundamental importância para o sucesso de uma cultura no campo (Garcia et al., 2011). Uma semeadora-adubadora, ao abrir o sulco, realiza o depósito da semente e do fertilizante no solo. A posição relativa entre o adubo e a semente é de suma importância para definir a população inicial e o arranjo entre as plântulas naquela fileira de semeadura (MELLO, 2011), pois, como afirmaram SILVA & SILVEIRA (2002), depositar o adubo misturado com as sementes poderá causar danos à germinação e ao desenvolvimento superficial das raízes.

Foloni et al. (2009) pesquisaram a emergência e a produção de fitomassa de plântulas de *Brachiaria brizantha* em razão da adubação e profundidade de semeadura, observando que a mistura do adubo às sementes prejudicou intensamente a germinação da espécie forrageira.

Em um trabalho conduzido por Teixeira et al. (2018), foi avaliado o efeito de três profundidades de adubação (6, 12 e 18 centímetros) e duas de semeadura (3 e 5 cm), na cultura do milho. Observou-se que os melhores resultados foram quando a deposição da semente se deu a 3 cm de profundidade e a deposição de adubo se deu a 6 centímetros. Os autores também observaram que, para o ganho de matéria seca das raízes, houve interferência direta do fator profundidade de deposição do adubo. Tanto para a profundidade de semeadura 3 e 5 cm, os melhores resultados foram quando o adubo foi depositado a 18 cm de profundidade.

Pesquisando o rendimento do feijoeiro em semeadura direta, considerando-se as profundidades de adubação de 0,05; 0,09; 0,12 e 0,17 m e lâminas de irrigação de 25, 50, 75, 100 e 125%, Lacerda et al. (2014) observaram que houve efeito significativo dos tratamentos quanto à profundidade de adubação na produtividade da cultura. A profundidade de 0,09 m de adubação e a lâmina de 125 % da evapotranspiração proporcionaram a maior produtividade (3045 kg ha⁻¹).

Por outro lado Rinaldi et al. (2009), quando avaliaram o efeito da duas profundidades de adubação (0,05 e 0,10 m) e quatro velocidades de deslocamento (3, 6, 9, 11 km h⁻¹) do conjunto trator-semeadora-adubadora

na cultura do feijão, concluíram que as velocidades de deslocamento do conjunto e as profundidades de adubação não influenciaram a produtividade de grãos do feijão.

2.5. Patinagem

O raio de rolamento de um pneu pode ser entendido como o valor que contribui efetivamente para o seu deslocamento. A patinagem do pneu sobre uma superfície é a diferença entre a velocidade de deslocamento teórica e a real, normalizada pela velocidade rotacional das rodas motrizes (GOERING et al. 2003). Sua ocorrência se dá quando a velocidade rotacional das rodas motrizes não é inteiramente convertida em deslocamento, sendo superior a velocidade real (ZOZ & GRISSO, 2003).

O tipo de pneu, a pressão de inflação, a carga sobre o rodado, a condição de solo, assim como o esforço de tração necessário para determinado implemento e o tipo de superfície que está em contato com a banda de rodagem dos pneus motrizes, influenciam a patinagem (Herzog et al., 2002). Além destes fatores, Lanças & Upadhyaya (1997) relataram que a declividade e o teor de água também afetam a patinagem.

A patinagem das rodas motrizes nos tratores pode ser obtida pela diferença entre as suas rotações com e sem carga no trator, representando os percursos do trator tracionando um implemento e aquele nas mesmas condições depois de desacoplado o implemento (MIALHE, 1996).

Manter a patinagem dentro de limites recomendados em situações específicas é indispensável para garantir uma boa operação agrícola. A menor patinagem dos rodados motrizes proporciona menor compactação do solo, diminui o desgaste dos pneus e dos mecanismos de transmissão (SALVADOR et al. 2008). Ademais, Furtado Júnior (2013) ressaltou que patinagem excessiva nas operações agrícolas ocasiona redução da eficiência tratória e promove o consumo desnecessário de combustível.

Compagnon et al (2013), ao estudarem o desempenho de um conjunto trator-escarificador em dois teores de água (21,9 e 26,2%) e duas profundidades de trabalho (20 e 30 cm), concluíram que o aumento do teor de água do solo proporcionou menor patinagem dos rodados dianteiros e

foram indiferentes para os rodados traseiros.

Já Queiroz et al. (2017), quando avaliaram o desempenho operacional de uma semeadora-adubadora em dois regimes de marcha (3L e 4L com velocidades médias de 1,25 e 1,8 m s⁻¹) e três cargas de fertilizantes no depósito da semeadora-adubadora de fluxo contínuo (100, 75 e 50%), observaram que a patinagem do conjunto foi menor com a maior carga no depósito de fertilizantes.

2.6. Força de tração, demanda energética e consumo de combustível

Diversas variáveis são capazes de interferir diretamente sobre a força de tração requerida pelos implementos, dentre elas, as que estão ligadas ao solo são: declividade, teor de água, tamanho dos agregados, textura, estrutura, declividade, vegetação e restos de culturas anteriores (ASAE, 1996; GABRIEL FILHO et al., 2010).

Wamono et al. (2016) observaram, que a força de tração requerida foi menor em um solo sódico, sem drenagem, quando este foi tratado com gesso. Em sistema de condição de drenagem, a redução da potência foi insignificante.

Milagres et al. (2015), quando estudaram o desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função do mecanismo sulcador e velocidade de deslocamento, observaram que a força de tração para o disco duplo defasado não sofreu influência da velocidade, permanecendo constante. Por outro lado, o mecanismo configurado com facão obteve um comportamento linear positivo, em relação ao aumento da velocidade de operação.

O preparo do solo deve preservá-lo e oferecer condições para o desenvolvimento da planta, mas, além disso, deve ser eficiente quanto ao requerimento de energia, já que esta operação tem grande impacto nos custos de produção de uma cultura. Dessa forma, os equipamentos utilizados no preparo devem consumir o mínimo de energia possível e apresentar o máximo de rendimento nas operações. Por isso, a escolha dos equipamentos e das condições de trabalho deve ser realizada a fim de otimizar as operações (SIQUEIRA, 1999).

O consumo de combustível pode ser entendido como a quantidade consumida em um determinado período de tempo, expresso em litros por hora e pode ser obtido por leitura direta de instrumentos de medição como o fluxômetros. 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).

Compagnon et al. (2013) estudaram o desempenho operacional de um conjunto trator-escarificador de sete hastes em função do dois teores de água no solo (21,9% e 26,2 %) e duas profundidade de trabalho (20 e 30 cm) e concluíram que o aumento do teor de água do solo proporcionou ao conjunto menor consumo horário de combustível.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi conduzido em uma área pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG, no período de 10 de abril a 21 de novembro de 2018 (Figura 1).

A localização geográfica da área está definida pelas coordenadas $20^{\circ} 49' 50''$ de latitude sul e $42^{\circ} 45' 54''$ de longitude oeste, com uma altitude média de 650 m.

O relevo da região é classificado como montanhoso. O clima, conforme a classificação de Köppen é denominado mesotérmico úmido (Cwa), com verão quente e inverno seco (Alvares et al., 2014). A temperatura máxima média é de 27°C e a temperatura mínima média é de 15°C .

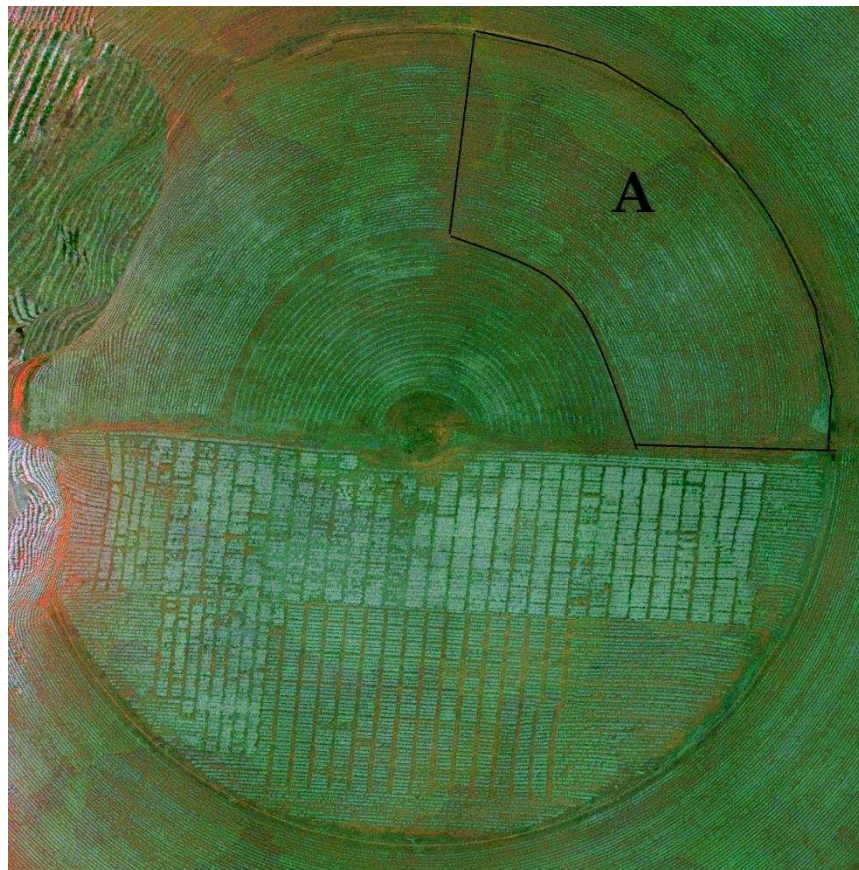


Figura 1 - Área experimental e região do pivô onde foi realizado o experimento (A).

Neste trabalho, utilizou-se a combinação de três teores de água do solo (28,7; 36,4 e 47,6%) e três profundidades de deposição do adubo (6,3; 11,3 e 14,8 cm) em um sistema de plantio direto para a cultura do feijão. O experimento foi instalado em um solo Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico, segundo a classificação da Embrapa (2018).

A semeadora-adubadora foi regulada para depositar a semente a 3,5 cm de profundidade.

Para variação do teor de água do solo foi utilizado um equipamento de irrigação constituído de um pivô central de uma torre, cuja intensidade de aplicação era de 2 mm h⁻¹ e uma vazão de 12,5 m³ h⁻¹.

Foi utilizado um conjunto formado pelo trator ensaiado e trator carga, denominado comboio (Figura 2), que percorria todo o comprimento da parcela experimental com o sistema de aquisição operando. Quando o comboio chegava ao final da parcela, o sistema era pausado e os dados referentes às variáveis operacionais de interesse eram salvos em planilha eletrônica, para posterior análise.



Figura 2 - Comboio formado pelo trator ensaiado e trator carga.

O trator ensaiado trabalhou a uma velocidade média de 6,7 km h⁻¹ na terceira marcha reduzida, com o sistema de tração dianteira auxiliar acionado.

As análises laboratoriais foram efetuadas nos Departamentos de Engenharia Agrícola e de Solos, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

3.1. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os teores de água (28,7; 36,4 e 47,6%) e, nas subparcelas, as profundidades de deposição do adubo (6,3; 11,3 e 14,8 cm), no delineamento em blocos ao acaso com 3 repetições, totalizando 27 unidades experimentais.

3.2. Caracterização da área experimental

3.2.1 Caracterização química e textural do solo

Para esta caracterização foram retiradas amostras simples na profundidade de 0,20 m e misturadas para compor uma amostra composta, sendo levadas ao Laboratório de Análise de Solo, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

3.2.2 Caracterização física do solo

3.2.2.1 Densidade do solo

A densidade do solo na área experimental foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme Embrapa (2017). As amostras foram extraídas com auxílio de um trado nas camadas de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m de profundidade e, posteriormente, acondicionadas em sacos plásticos e lacradas até a chegada ao laboratório, sendo coletados 9 amostras por parcela.

3.2.2.2 Teor de água do solo

Foi utilizado um sensor de umidade para solo, marca FieldScout, modelo TDR-300 e feito uma curva de calibração para correção dos valores. Para obtenção da curva utilizou-se o método gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa na temperatura média de 105 °C por 24 horas, conforme Embrapa (1997). Na condução do experimento, foram realizadas amostragens de solo no dia da operação da semeadura e determinado o teor de água nas faixas de 0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m de

profundidade. Foram coletadas nove amostras de cada parcela experimental, nas profundidades mencionadas anteriormente.

3.2.2.3 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi determinada com o uso de um penetrômetro digital, marca Falker®, modelo PenetroLOG-PLG 1020 (Figura 3), equipado com ponta cônica tipo II. Foram amostrados 10 pontos por parcela, na faixa de 0 a 0,20 m de profundidade, com leitura a cada 10 mm.



Figura 3 - Penetrômetro utilizado.

3.2.3 Massa seca da cobertura vegetal

A massa seca da cobertura vegetal foi coletada antes da semeadura, utilizando-se um quadro de madeira de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) (Figura 4), que foi lançado aleatoriamente sobre a cobertura.



Figura 4 - Quadro de madeira utilizado.

Foram coletadas nove amostras em cada bloco experimental que, posteriormente, foram secadas em estufa a 65°C até atingir massa constante, sendo os valores expressos em kg ha^{-1} . Encontravam-se na área uma cobertura vegetal nativa de pequeno porte e restos culturais de milho e feijão.

3.3 Máquinas

3.3.1 Trator

Foi utilizado um trator agrícola de pneus, marca John Deere[®], modelo 5705 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA) e potência de 63 kW (85 cv) no motor a 2400 rpm (Figura 5). Suas características técnicas são apresentadas na Tabela 1.



Figura 5 - Trator John Deere® modelo 5705.

Tabela 1 - Características técnicas do trator John Deere® modelo 5705

Características técnicas	
Potência do motor na rotação nominal	63 kW
Potência da TDP na rotação nominal do motor	53 kW
Rotação de potência máxima	2400 rpm
Faixa de rotação com potência constante	2000 – 2400 rpm
Torque máximo	330 Nm
Rotação de torque máximo	1600 rpm
Número de cilindros do motor	4
Cilindrada	4500 cm ³
Aspiração	Turboalimentado

3.3.2 Semeadora-adubadora

Foi utilizada a semeadora-adubadora pneumática de precisão, marca Jumil®, modelo POP JM2670PD SH EX, com três linhas de semeadura. As sementes foram dosadas pelo mecanismo pneumático e sua distribuição, realizada por fluxo gravitacional (Figura 6). Entretanto, para o experimento, foi feito o uso de apenas duas linhas da semeadora, espaçadas a 0,5 m.



Figura 6 - Semeadora-adubadora Jumil POP JM2670PD SH EX.

Na tabela 2 são apresentadas as especificações técnicas da semeadora-adubadora utilizada no experimento.

Tabela 2 - Especificações técnicas da semeadora-adubadora.

Parâmetro/Função	Características
Corte da Cobertura Vegetal	Disco de corte liso de 17 polegadas.
Unidade para Fertilizantes	Depósito Individual com capacidade para 75L, sulcador tipo haste sulcadora.
Unidade Semeadora	Pivotada, sulcador disco duplo desencontrado, depósito com capacidade para 55L, sistema de seleção e distribuição de sementes pneumáticas por aspiração.
Controle da Profundidade	Fixo, com barra de regulagem.
Rodas Compactadoras	Compactadores flutuantes em "V".
Sistema de Transmissão	Engrenagens substituíveis para acionamento dos sistemas adubador ou semeador.
Engate	Acoplamento no sistema de levante hidráulico do trator.

3.4 Teste de germinação das sementes

O teste de germinação, realizado antes do plantio, foi feito com o uso de papel germitest, umedecido com água destilada na proporção de 2,5:1 (peso da água: peso do papel), com quatro repetições de 50 sementes, que foram colocadas em germinador à temperatura constante de 25 °C. A avaliação dos resultados seguiu as recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). A germinação das sementes (plântulas normais), no quinto dia após a semeadura, foi de 100%.

3.5 Semeadura e tratos culturais

Antes do plantio foi aplicado o herbicida sistêmico glyphosate, na dosagem de 3,0 L ha⁻¹ e, após o controle das plantas daninhas presentes na área, foi efetuado a semeadura. A semeadora-adubadora foi regulada para um espaçamento entre as linhas de 0,50 m, distribuindo-se 12 sementes por metro, para a obtenção de uma população de aproximadamente 240.000 plantas de feijão por hectare.

Foi utilizado a cultivar Ouro Vermelho, cujas plantas possuem hábito de crescimento indeterminado (planta tipo II), porte semi-ereto, floração média de 38 dias, com cor vermelha e forma elíptica das sementes. A massa média de 100 sementes é em torno de 25 g e o ciclo da cultura de 80 a 90 dias, dependendo da época do plantio.

O fertilizante utilizado na, formulação NPK 8-28-16, foi distribuído na dosagem recomendada de 350 kg ha⁻¹.

Foram aplicados os herbicidas Flex 250 para o controle de plantas infestantes de folhas largas, na dose de 600 mL ha⁻¹ e Fusilade 250 EW, para o controle de gramíneas, na dose de 900 mL ha⁻¹. Também foi realizado a capina.

A cultura também recebeu a aplicação de molibdênio, na dose de 200 mL ha⁻¹ aos 25 dias após a emergência.

3.6 Desempenho da semeadora-adubadora com relação à cultura

As características analisadas para verificar o desempenho da semeadora com relação ao plantio do feijão foram: uniformidade de distribuição longitudinal de plântulas e emergência das plântulas (porcentual de emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência de plântulas).

3.6.1 Uniformidade de distribuição longitudinal das plântulas

Após a estabilização da emergência, foram medidos os espaçamentos (X_i) em dez metros, amostrados nas duas linhas de semeadura de cada unidade experimental no centro do cultivo. Posteriormente, os espaçamentos foram classificados em múltiplos, aceitáveis e falhos, conforme Tabela 3, em que foram expressos em porcentagem, calculados sobre o número total verificado.

Tabela 3 - Limites de tolerância das variações dos espaçamentos (X_i) entre plântulas e o tipo de espaçamento considerado

Tipo de Espaçamento	Intervalo de Tolerância para Variação de X_i
Múltiplos	$X_i \leq 0,5 * X_{ref}$
Aceitáveis	$0,5 * X_{ref} < X_i < 1,5 * X_{ref}$
Falhos	$X_i \geq 1,5 * X_{ref}$

X_i = espaçamento entre plântulas obtido a campo. Fonte: adaptado de Kurachi et al. (1989).

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

A metodologia utilizada para a atribuição foi proposta por Kurachi et al. (1989). Os limites adotados foram definidos pela amplitude de variação em relação a um valor de referência, obtido em função do espaçamento e população utilizados.

3.6.2 Profundidade de semeadura

A semeadora-adubadora foi regulada para depositar a semente de feijão a 3,5 cm de profundidade. Logo após sua passagem, foram escavadas as linhas de semeadura, em pontos aleatórios, para avaliar a profundidade real em que a semente foi depositada (Figura 7).



Figura 7 - Avaliação da profundidade de semeadura e deposição de adubo.

3.6.3 Emergência das plântulas

O porcentual, o índice de velocidade e o tempo médio de emergência de plântulas foram determinados nas duas linhas das unidades experimentais, pela contagem do número de plântulas emergidas em cada linha de semeadura, numa área de 5 m², ou seja, nas duas linhas de semeadura espaçadas de 0,5 m em um comprimento de 10,0 m.

A contagem das plântulas iniciou-se no primeiro dia de emergência (sétimo dia após a semeadura), e encerrou-se quando a emergência das plântulas foi estabilizada.

O porcentual de emergência de plantas foi calculado pela razão entre o número de plantas emergidas após a estabilização e o número de sementes depositadas na semeadura.

A determinação do índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) foi realizada utilizando-se a equação (1) (MAGUIRE, 1962).

$$IVE = \frac{E_1}{T_1} + \frac{E_2}{T_2} + \dots + \frac{E_n}{T_n} \quad (1)$$

em que:

IVE = Índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n = Número de plântulas emergidas na primeira, segunda até a última contagem; e

T_1, T_2, T_n = Número de dias da semeadura à primeira, segunda até a última contagem.

O tempo médio de emergência (N_m), em dias, foi calculado de acordo com a equação 2, descrita por Edmond e Drapala (1958).

$$N_m = \frac{E_1 \cdot T_1 + E_2 \cdot T_2 + \dots + E_n \cdot T_n}{E_1 + E_2 + \dots + E_n} \quad (2)$$

em que:

N_m = Tempo médio de emergência (dias);

$E_{1...n}$ = Número de plântulas emergidas desde a primeira contagem; e

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

3.7 Produtividade de grãos e massa de 100 grãos

Quando o feijão atingiu a maturação, as plantas foram colhidas manualmente em uma área plantada de 5,0 m², no centro de cada unidade experimental. Depois de secadas naturalmente, toda esta quantidade foi trilhada.

A massa de 100 grãos foi determinada pela coleta ao acaso e da pesagem de uma amostra de 100 grãos de cada unidade experimental.

As amostras dos grãos foram obtidas aleatoriamente e colocadas em estufa a 105 °C, seguindo-se a metodologia proposta por Brasil (2009); os grãos foram pesados antes de serem acondicionadas na estufa e depois da sua retirada da estufa para determinação, de acordo com a equação 3, do teor de água na amostra.

$$U = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (3)$$

em que:

U = Teor de água.

P_i = Massa inicial da amostra (g);

P_f = Massa final da amostra (g); e

Para que os resultados da massa de 100 grãos não fossem influenciados por diferentes teores de água, os dados obtidos por meio da equação 3 foram corrigidos para 13% de umidade, utilizando-se a equação 4.

$$M_f = \left[1 - \left(\frac{U_i - U_f}{100 - U_f} \right) \right] * M_i \quad (4)$$

em que:

M_f = Massa dos grãos com 13% b.u. (g);

U_i = Teor de água inicial, b.u. (%);

U_f = Teor de água final, b.u. (%); e

M_i = Massa das sementes inicial (g).

Para o cálculo da produtividade, os grãos das parcelas colhidas foram pesados em uma balança com precisão de 0,01 g, padronizando-se para 13% de umidade e extrapolando para kg ha⁻¹.

3.8 Instrumentação para coleta de dados, parâmetros operacionais do trator e área de solo mobilizado

O trator John Deere[®] foi instrumentado com um conjunto de transdutores conectados a 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 (50 dados por segundo).

3.8.1 Força de tração

Uma célula de carga, marca Kratos[®], com capacidade para 50 kN e com sinal de resposta $306,63 \text{ N mV}^{-1}$ ligada ao sistema de aquisição de dados, foi utilizada para monitorar a força demandada para tracionar a semeadora (Figura 8).

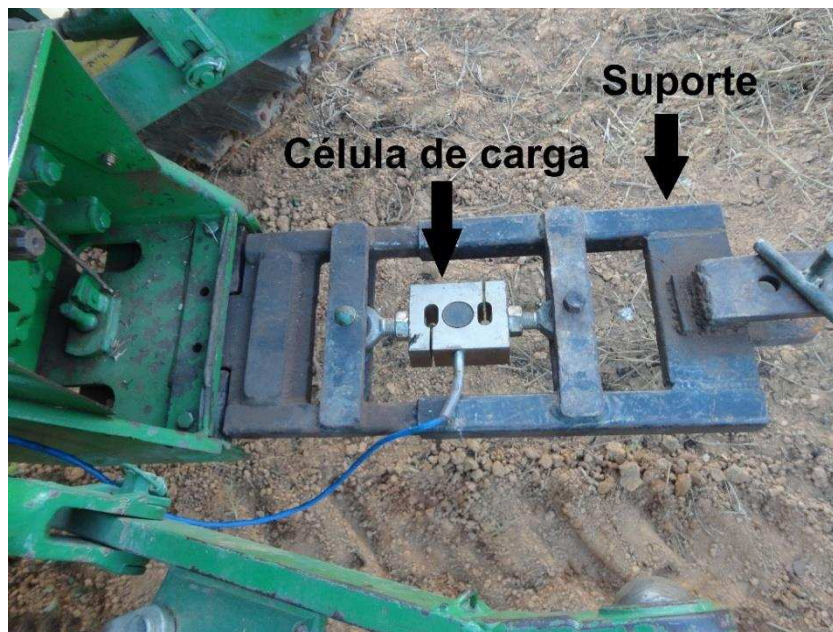


Figura 8 - Célula de carga e estrutura suporte para instalação no trator.

3.8.2 Velocidade do conjunto

A velocidade operacional real desenvolvida pelo trator foi obtida com o uso de uma unidade de radar de efeito Doppler, marca Dickey John[®], modelo Radar II (Figura 9). O radar utilizado é capaz de medir velocidades entre $0,53$ e $96,6 \text{ Km h}^{-1}$, apresentando uma precisão de $\pm 3\%$ para a faixa de velocidade que engloba a utilizada na condução do experimento.



Figura 9 - Radar utilizado para medição da velocidade.

3.8.3 Consumo horário de combustível

Para monitorar o consumo de combustível, o trator foi equipado com um medidor de fluxo volumétrico Flowmate Oval® M-III, modelo LSF41C (Figura 10). O fluxômetro foi instalado no sistema de alimentação do trator, de modo a quantificar o consumo instantâneo de combustível com base na frequência de rotação das engrenagens que o constituem. A calibração do medidor resultou em um fluxo de $3,60 \text{ L h}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$.

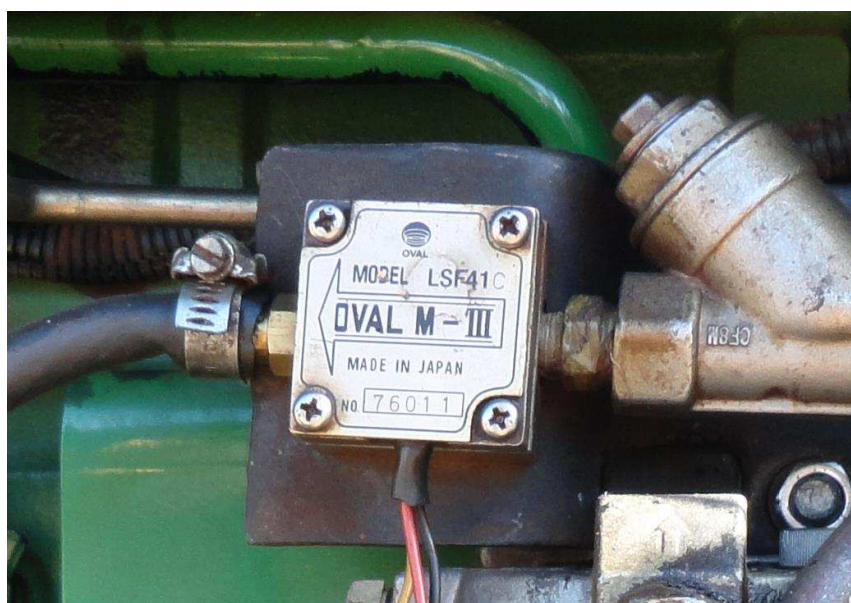


Figura 10 - Fluxômetro utilizado para determinação do consumo de combustível.

3.8.4 Área de solo mobilizado

Foi determinada por meio de um perfilômetro (Figura 11), construído com chapas metálicas e hastes de 700 mm espaçadas a cada 20 mm no sentido transversal e uma régua graduada.



Figura 11 - Perfilômetro utilizado no experimento

Foram registradas fotografias do equipamento no momento da coleta de dados utilizando uma câmera digital da marca SONY Cyber-Shot DSC W570, 16.1 megapixels. Com base nas imagens capturadas foi utilizada uma ferramenta “Imagem de Raster”, do software AutoCAD 2011, para quantificar a área mobilizada 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 semeadura;
- perfil interno do solo mobilizado obtido após a retirada manual de todo o solo revolvido.

3.8.5 Patinagem dos rodados motrizes

Foi obtida através da relação entre velocidade translacional e rotacional para cada um dos rodados da máquina. A rotação dos rodados será monitorada por transdutores indutivos acoplados a cada uma das rodas motrizes. 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 esteve calibrado para 45 Hz rps⁻¹. Com base nos parâmetros apresentados a patinagem foi determinada pela Equação 5.

$$P_t = \frac{V_r - V_t}{V_r} \quad (5)$$

Em que,

P_t = Patinagem dos rodados motrizes (%);

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

V_t = Velocidade translacional (m s⁻¹).

3.9 Parâmetros operacionais obtidos indiretamente

3.9.1 Potência média na barra de tração (BT)

A potência média na BT durante a operação de semeadura foi estimada pela Equação 6:

$$P_{bt} = F_t V_d \quad (6)$$

Em que,

P_{bt} = Potência média na BT (kW);

F_t = Força de tração média requerida (kN); e,

V_d = Velocidade média do trator (m s⁻¹).

3.9.2 Capacidade operacional efetiva

Para determinar a capacidade operacional efetiva foi utilizada a Equação 7, descrita por MIALHE (1974):

$$C_o = \left(\frac{V_m L}{10} \right) * f \quad (7)$$

Em que,

C_o = Capacidade operacional efetiva ($ha\ h^{-1}$);

V_m = Velocidade média de deslocamento ($km\ h^{-1}$);

L = Largura de plantio (m); 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.

3.9.3 Demanda energética das operações mecanizadas

3.9.3.1 Consumo específico de combustível

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 8:

$$C_e = \frac{C_h}{P_{bt}} \quad (8)$$

Em que,

C_e = Consumo específico de combustível ($L\ kW^{-1}\ h^{-1}$);

C_h = Consumo horário de combustível ($L\ h^{-1}$); e,

P_{bt} = Potência requerida durante a realização dos testes (kW).

3.9.3.2 Consumo de combustível por área mobilizada

Para esta determinação foi utilizada a Equação 9:

$$C_{am} = \frac{C_e}{A_m} \quad (9)$$

Em que,

C_{am} = Consumo de combustível por área de solo mobilizado ($\text{kg kW}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$);

C_e = Consumo específico de combustível ($\text{L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$); e

A_m = Área de solo mobilizado (m^2).

3.9.3.3 Consumo de combustível por área trabalhada

Foi determinado de acordo com a Equação 10.

$$C_{cat} = \frac{C_h}{C_o} \quad (10)$$

Em que,

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

C_h = Consumo horário de combustível (L h^{-1}); e,

C_o = Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1})

3.9.3.4 Demanda total de energia do combustível

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 demanda total de energia foi obtida por meio da Equação 11.

$$D_t = C_{cat} D P_c \quad (11)$$

em que,

D_t = 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, quando necessário, 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).

3.9.3.5 Demanda específica de energia

A demanda específica de energia, também denominada taxa de intensidade de energia, corresponde à quantidade de energia efetivamente despendida para tracionar ou acionar uma máquina ou implemento, e é obtida por meio da relação entre a potência demandada na barra de tração e a capacidade operacional efetiva (Equação 12).

$$D_e = \frac{P_{bt}}{C_o} 3,6 \quad (12)$$

em que,

D_e = Demanda específica de energia (MJ ha⁻¹);

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

C_o = Capacidade operacional efetiva (ha h⁻¹).

3.9.3.6 Eficiência de utilização do combustível

A eficiência de utilização do combustível foi calculada por meio da Equação 13, conforme sugerido por Mileusnic et al. (2010).

$$E_c = \frac{D_e}{D_t} 100 \quad (13)$$

em que,

E_c = Eficiência de utilização do combustível (%);

D_e = Demanda específica de energia (MJ ha^{-1});

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

3.10 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à superfície de resposta e regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o teste de T, no coeficiente de determinação e no comportamento biológico do fenômeno.

Todos os procedimentos estatísticos foram feitos utilizando o programa computacional R (R CORE TEAM, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da área experimental

4.1.1. Caracterização química e textural do solo

Com base nos resultados da análise química do solo (Tabela 4), não houve necessidade de correção no pH (potencial hidrogeniônico em água) do solo, saturação por bases (V), acidez trocável (Al^{+3}) e a saturação por Al^{+3} (m), pois as mesmas foram classificadas como fracas (6,1 - 6,9), boas (60,1 - 80,00) e muito baixas ($\leq 0,20$ e $\leq 15,0$), respectivamente. A acidez potencial (H + Al) situou-se na faixa entre 2,5 e 5,00, sendo, assim, classificada como média (ALVAREZ et al., 1999).

Tabela 4 - Características químicas do solo, na camada de 0 - 0,20 m de profundidade, da área experimental

PH	P	K	Ca ²⁺	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	P-rem
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		cmol _c dm ⁻³							%		mg L ⁻¹
6,3	10,9	210	2,8	1,4	0,00	2,5	4,7	4,7	7,2	65,0	0,0	35,3

*Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da UFV, segundo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1997).

As disponibilidades de fósforo (P-rem), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e soma de bases (SB) foram classificadas como boas, pois se enquadravam nas faixas de 30 a 45; 2,41 a 4,00; 0,91 a 1,50; e 3,61 a 6,00, respectivamente. A disponibilidade de potássio (K) e a capacidade de troca de cátions efetiva (t) foram classificadas como boas, pois se encontravam dentro da faixa de 6,7 a 12,0 e 4,61 a 8,00, respectivamente. O fósforo (P) e a capacidade de troca de cátions em pH 7 (T) foram classificadas como média, por estarem dentro da faixa de 8,1 a 12,0 e 4,31 a 8,60, respectivamente.

Na Tabela 5 são apresentadas as frações de areia grossa, areia fina, silte e argila, obtidas pela análise granulométrica do solo da área experimental. O solo foi classificado como de textura argilosa, contendo

55% de argila em sua composição (EMBRAPA, 1997).

Tabela 5 - Análise granulométrica do solo, na faixa de 0 - 0,20 m de profundidade.

Partículas	Porcentual (%)
Areia Grossa	22
Areia Fina	11
Silte	12
Argila	55

*Análises realizadas nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos da UFV, segundo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997).

4.1.2. Caracterização física da área experimental

4.1.2.1. Densidade do solo

Os resultados foram representados pela média da área experimental, nas faixas de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm de profundidade (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de densidade do solo (g cm^{-3}) em função dos teores de água das parcelas U1 (28,7%), U2 (36,4%) e U3 (47,6%) e profundidade de deposição de adubo das subparcelas P1 (6,3 cm), P2 (11,3 cm) e P3 (14,8) nas faixas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade.

	U1	U2	U3
P1 (0-10 cm)	0,99	1,27	1,25
P1 (10-20 cm)	1,14	1,32	1,39
P2 (0-10 cm)	1,05	1,27	1,34
P2 (10-20 cm)	1,16	1,36	1,34
P3 (0-10 cm)	1,15	1,19	1,36
P3 (10-20 cm)	1,14	1,33	1,39

4.1.2.2. Resistência do solo à penetração antes do plantio

Na Figura 12 são apresentados os valores médios de resistência do solo a penetração, em Mpa, em função dos teores de água das parcelas (U1, U2 e U3). Solos argilosos, isto é, com teor acima de 35% de argila, são altamente susceptíveis à compactação (EMBRAPA, 2014).

Observou-se que em maiores profundidades, assim como nos menores teores de água do solo, houve aumento na resistência do solo à penetração. Na camada de 0 - 0,20 m, os valores de resistência do solo à penetração variaram de 0 - 3,6 MPa.

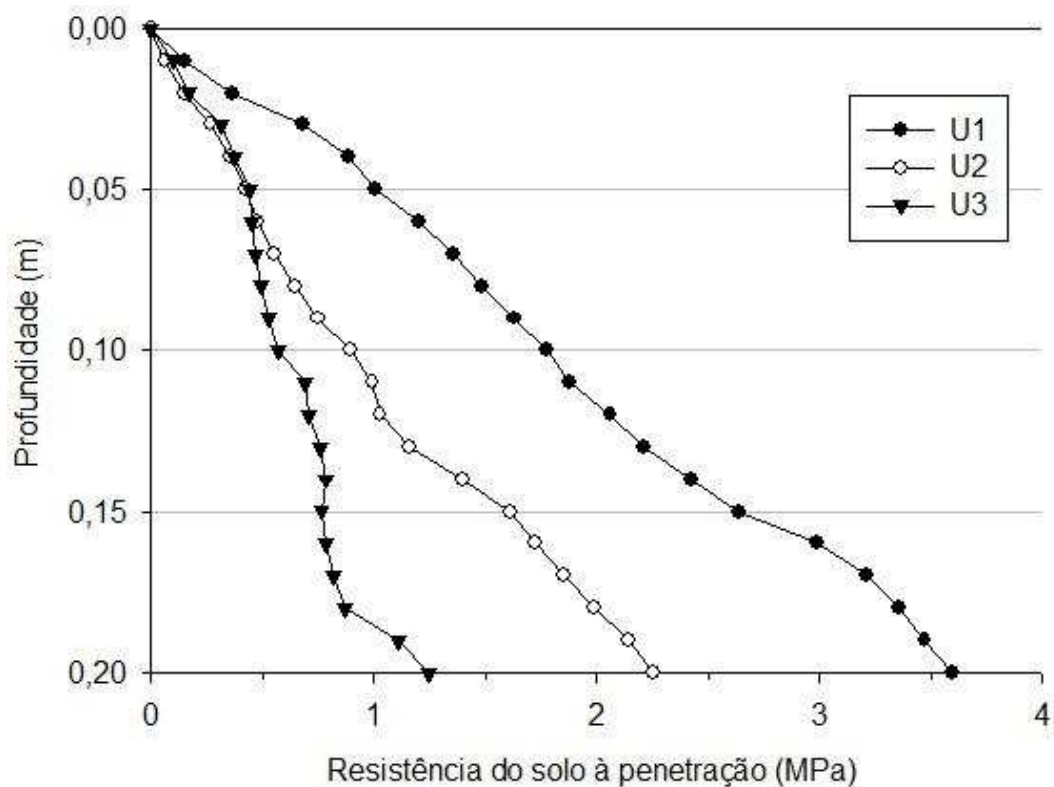


Figura 12 - Resistência do solo à penetração (MPa) antes do plantio, em função da profundidade na área experimental.

Mahl et al. (2008) avaliaram a resistência do solo à penetração (RP), em um Nitossolo Vermelho, em dois sistemas de manejo do solo (plantio direto e escarificação) na cultura do milho. Observaram que, ao avaliar a RP após 4 meses da escarificação, o processo reduziu significativamente a RP. Também verificaram que a RP, nas camadas de 0,20 m no sistema de manejo de plantio direto, variava de 2,54 a 2,82 MPa e, para a mesma camada em sistema escarificado, variava de 1,18 a 1,90 MPa.

4.1.2.3. Massa da matéria seca da cobertura vegetal

O valor médio da massa da matéria seca da cobertura vegetal do solo da área experimental foi de 1.417,45 kg ha⁻¹.

Rinaldi et al. (2009), ao avaliarem a cultura do feijão em um sistema de plantio direto, encontraram um valor médio de 1.090,60 kg ha⁻¹ de massa seca da cobertura vegetal.

4.2. Desempenho da semeadora-adubadora em relação a cultura

4.2.1 Uniformidade de distribuição longitudinal das plântulas de feijão

4.2.1.1. Espaçamento entre plântulas

As médias dos espaçamentos entre plântulas foram avaliadas e classificadas como aceitáveis, falhos ou múltiplos. De acordo com a regulagem da semeadora-adubadora, determinou-se o espaçamento de referência teórico de 8,33 cm. Esse valor possibilitou que fossem classificados como espaçamentos aceitáveis quando $4,16 \text{ cm} < X_i < 12,49 \text{ cm}$, falhos quando $X_i \geq 12,49 \text{ cm}$ e múltiplos quando $X_i \leq 4,16 \text{ cm}$.

4.2.1.2. Porcentuais dos espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos entre plântulas

As variáveis independentes teor de água do solo e profundidade de deposição do adubo não apresentaram efeito significativo, com base no teste t a 5% de probabilidade, no percentual de espaçamentos aceitáveis

(EA), espaçamentos falhos (EF) e espaçamentos múltiplos (EM) entre plântulas. Sendo assim, a equação da reta é constituída pela média dos valores observados das variáveis (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores médios para os espaçamentos entre plântulas.

EA	$\hat{Y} = 65,90$	$R^2 = 0,7627$
EF	$\hat{Y} = 16,01$	$R^2 = 0,5004$
EM	$\hat{Y} = 18,09$	$R^2 = 0,7534$

Para quaisquer que sejam os valores das variáveis teor de água do solo e profundidade de deposição do adubo, as médias encontradas seriam de 65,90% para os espaçamentos aceitáveis, 16,01% para os espaçamentos falhos e 18,09% para os espaçamentos múltiplos.

A velocidade do conjunto trator-semeadora foi constante e a densidade de semeadura foi de 12 sementes por metro, o que indica que não houve muita exigência da semeadora-adubadora.

As sementes, ao se deslocaram no interior do tubo condutor, sofrem desvios de trajetória provocadas pelo deslocamento da semeadora, aumentando o tempo de queda desta até o solo e, conseqüentemente, alterando a uniformidade do espaçamento no sulco de semeadura (SILVA & SILVEIRA, 2002).

Um fato que pode ter contribuído para a ocorrência de espaçamentos falhos é a patinação das rodas de acionamento da semeadora. A ausência de rotação da roda, com um deslocamento da máquina, faz com que sementes não sejam depositadas, já que o disco dosador depende do movimento das rodas da semeadora para seu acionamento.

Quando as sementes são depositadas no espaçamento de referência, quando houver um espaçamento múltiplo e a semente seguinte for depositada no lugar correto, tem-se então um espaçamento falho, o que também pode ocorrer devido a não emergência da plântula no campo e do não preenchimento total do disco dosador de sementes.

Rinaldi (2008), ao avaliar o efeito da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão,

observou que os efeitos de profundidade de deposição do adubo não foram significativos para os espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos entre plântulas, assim como o observado neste estudo.

Feitosa (2018), em seu estudo, observou que o teor de água do solo não influenciou nos espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos de plântulas, no plantio de cebola, corroborando com os resultados deste estudo.

4.2.2. Profundidade de deposição da semente

Em relação à profundidade de deposição da semente no solo, a variável teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e negativo, enquanto a variável profundidade de deposição do adubo apresentou efeito não significativo (Figura 13).

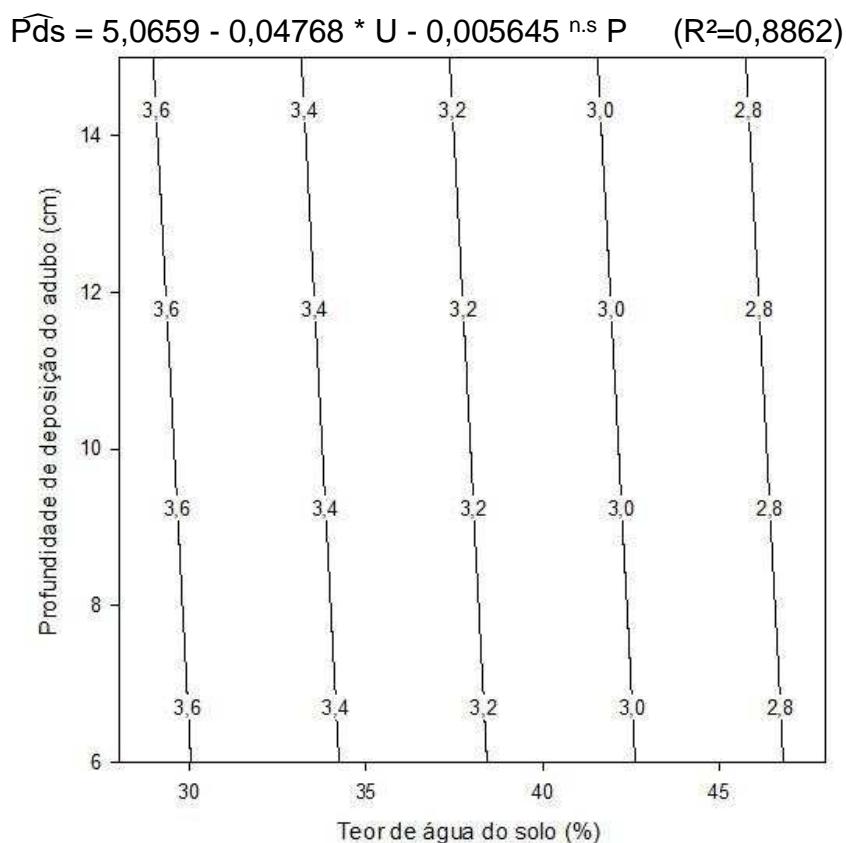


Figura 13 - Profundidade de deposição da semente (cm) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t e n.s não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para um mesmo teor de água do solo, o incremento de uma unidade na profundidade de deposição do adubo resulta no decréscimo da profundidade de deposição da semente em 0,005645 cm. O acréscimo de uma unidade no teor de água do solo apresentou um decréscimo na profundidade de deposição da semente em 0,04768 cm.

Trabalhando no teor de água do solo em 28,7% e com profundidade de deposição de adubo de 6,3 cm, a profundidade de deposição da semente foi de 3,7 cm; já no maior teor de água do solo (47,6%) e na maior profundidade (14,8 cm), obteve-se uma profundidade de deposição da semente de 2,7 cm.

Sendo assim, com o aumento no teor de água do solo, é provável que a causa deste comportamento seja devido a aderência que a semente teve com o solo mais umedecido. Outra causa possível seria em relação a dificuldade da roda compactadora atuar e cobrir melhor a semente, já que o solo estava mais pegajoso, sendo moldado e não rompido.

4.3. Emergência das plântulas

Com relação à emergência das plântulas, foram avaliados o índice de velocidade de emergência (IVE) e o tempo médio de emergência (TME). Para o IVE, a variável teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e positivo; já a variável profundidade de deposição do adubo, apresentou efeito não significativo (Figura 14).

$$\widehat{IVE} = 11,0413 + 0,3324^* U + 0,1142^{n.s} P \quad (R^2=0,8079)$$

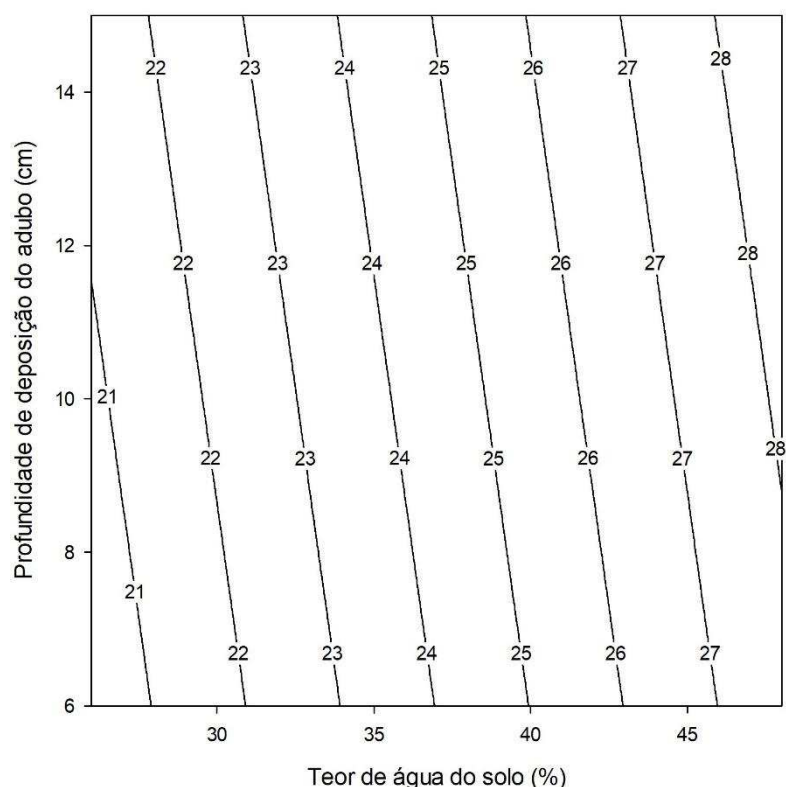


Figura 14 - Índice de velocidade de emergência de plântulas em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t e n.s não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

O IVE foi de 21,30 para o teor de água do solo de 28,7% e uma profundidade de deposição do adubo de 6,3 cm; para um teor de 47,6% e uma profundidade de 14,8 cm, o IVE foi 28,55.

A profundidade de deposição do adubo não apresentou efeito significativo no IVE. Rinaldi et al (2010) não obtiveram diferença significativa para o IVE em relação à profundidade de deposição do adubo, corroborando com o resultado deste estudo.

A rápida germinação e emergência das plântulas de feijão possibilita o cobrimento mais rápido do solo, que contribui para formação de um estande homogêneo. A desuniformidade e a redução do estande de plantas podem levar à diminuição na produtividade de grãos e aumentar a ocorrência de plantas daninhas (MAIA et al., 2011).

O tempo médio de emergência das plântulas foi de 10,86 dias para o teor de água do solo de 28,7% e uma profundidade de deposição do

adubo de 6,3 cm; para um mesmo teor e uma profundidade de 14,8 cm o TME foi 11,3 dias. Com um teor de água do solo de 46,7% o TME foi de 9,36 e 9,80 dias para as profundidades de 6,3 e 14,8 cm, respectivamente (Figura 15).

$$\widehat{TME} = 38,0553 - 1,4887 * U + 0,01847 * U^2 + 0,05148 * P \quad (R^2=0,9870)$$

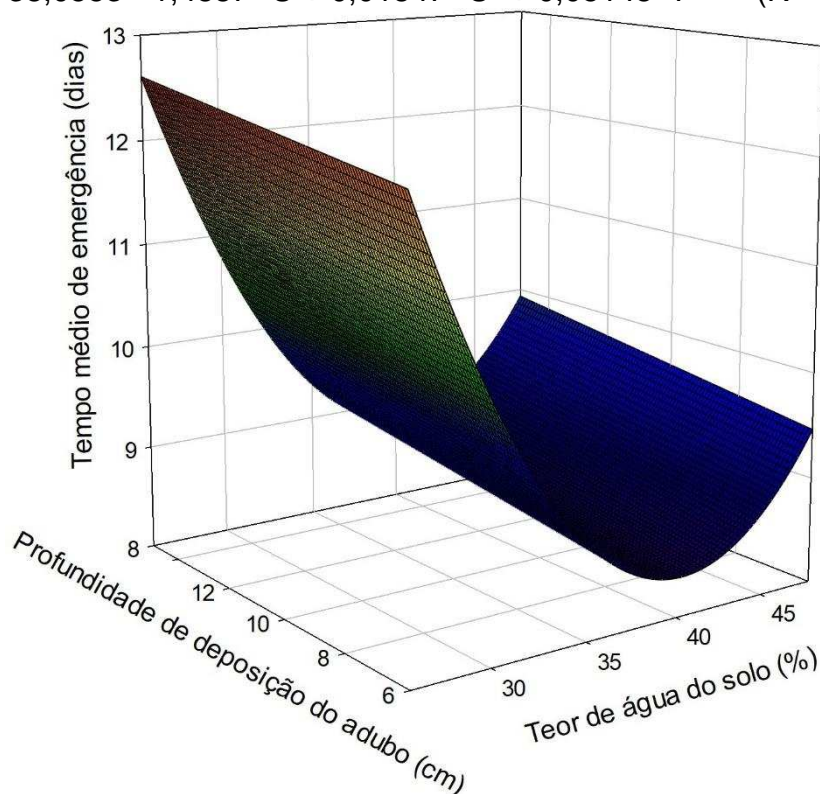


Figura 15 - Tempo médio de emergência de plântulas (dias) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Neste sentido, uma possível explicação para o aumento do teor de água do solo diminuir o TME deve-se ao fato de que a maior quantidade de água no solo contribuiu para diluição do adubo que será utilizado pela plântula. O adubo, depositado em menor profundidade, diminuiu o TME do feijão devido à sua menor distância em relação às sementes. A menor distância entre semente e adubo facilita a absorção do fertilizante. Dessa forma, a semente apresenta menor dependência das suas reservas para o desenvolvimento inicial (RINALDI et al. 2010).

4.4. Produtividade de grãos e massa de 100 grãos

Para a produtividade de grãos a variável teor de água do solo apresentou efeito quadrático, significativo e a variável profundidade de deposição do adubo apresentou efeito linear, significativo e positivo (Figura 16).

$$\widehat{PROD} = - 31827,4 + 1722,6* U - 20,8172* U^2 + 38,1259* P \quad (R^2=0,9563)$$

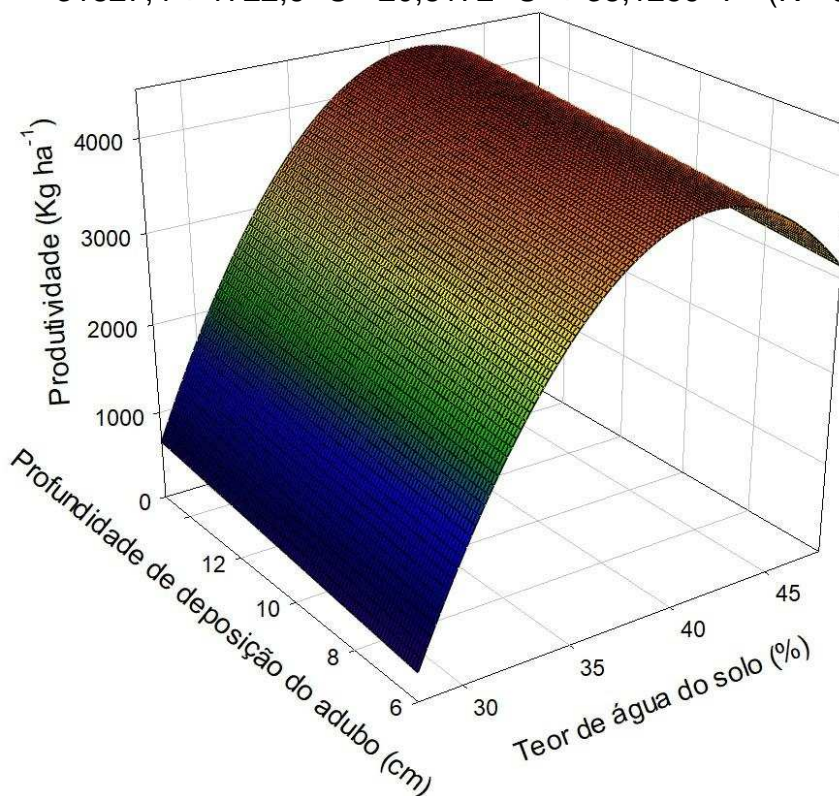


Figura 16 - Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

No teor de água do solo de 41,37%, independente da profundidade de deposição do adubo, nota-se o início do decréscimo da produtividade. Efeito similar ao encontrado neste estudo foi observado por Feitosa (2018) que, ao avaliar o efeito do teor de água do solo na produtividade da cebola, concluiu que esta se eleva com o aumento do teor, atingindo um valor máximo de $91,32 \text{ t ha}^{-1}$ para um teor de água de 19,54%, a partir do qual, a produtividade começa a sofrer redução.

Na figura 17, pode-se observar as diferenças visuais entre os tratamentos. As imagens foram obtidas no mesmo dia e o feijoeiro se encontrava no estágio de desenvolvimento R8, caracterizado pelo enchimento dos grãos e consequente aumento do volume das vagens (Hiolanda et al 2018). O teor de água do solo de 36,4% (U2) apresentou a maior produtividade e, dentro de cada umidade, o melhor resultado foi na maior profundidade (P3).

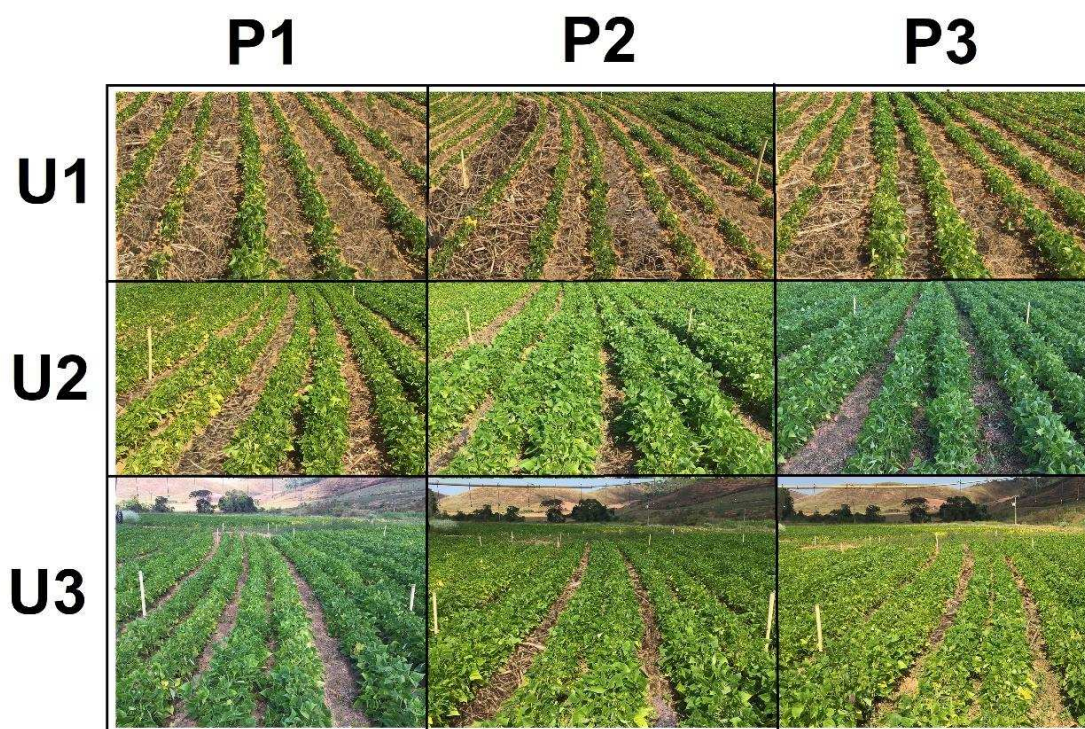


Figura 17 - Comparação do desenvolvimento do feijoeiro entre os tratamentos.

Com relação à massa de 100 grãos, as variáveis apresentaram efeito linear, positivo e significativo (Figura 18).

$$\widehat{MCG} = 18,6611 + 0,1108 * U + 0,0210 * P \quad (R^2=0,7247)$$

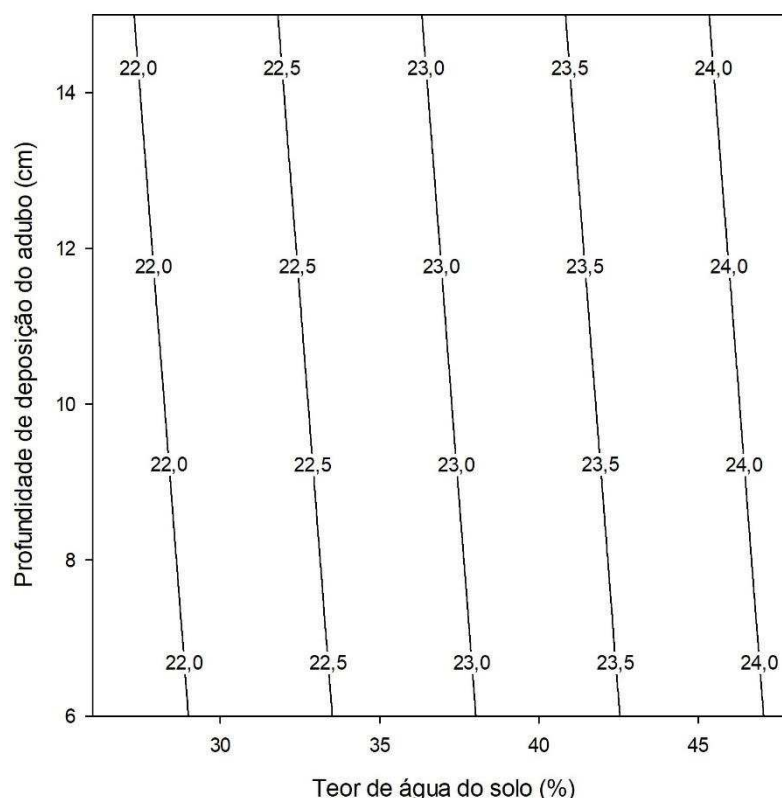


Figura 18 - Massa de 100 grãos (g) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para um mesmo teor de água do solo, o incremento de uma unidade na profundidade de deposição do adubo resulta no acréscimo da massa de 100 grãos em 0,0210. O acréscimo de uma unidade no teor de água do solo apresentou um aumento na massa de 100 grãos de 0,1108g.

Trabalhando com o teor de água do solo de 28,7% e com profundidade de deposição de adubo de 6,3 cm, a massa de 100 grãos foi de 21,97g; já no maior teor de água do solo (47,6%) e na maior profundidade (14,8 cm), obteve-se 24,24g para a massa de 100 grãos.

O maior teor de água do solo contribui para que haja melhor dissolução do adubo, havendo maiores quantidades de nutrientes na solução do solo. Desta forma, a planta utiliza estes nutrientes desde o início de seu ciclo, não dependendo apenas de suas reservas, podendo alcançar um maior rendimento. Além disso, a maior profundidade de deposição do adubo pode ter promovido maior desenvolvimento radicular e,

consequentemente, aumentado a área de solo explorada.

Rinaldi et al (2009), ao avaliarem o efeito de duas profundidades de adubação e duas velocidades de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora na cultura do feijão, observaram que a profundidade de adubação não teve influência significativa na massa de 100 grãos.

4.5. Parâmetros operacionais do trator e área mobilizada de solo

4.5.1. Força de tração

Quanto à força de tração, é possível visualizar que a variável teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e negativo, já variável profundidade apresentou efeito linear, significativo e positivo na força de tração (kN) (Figura 19).

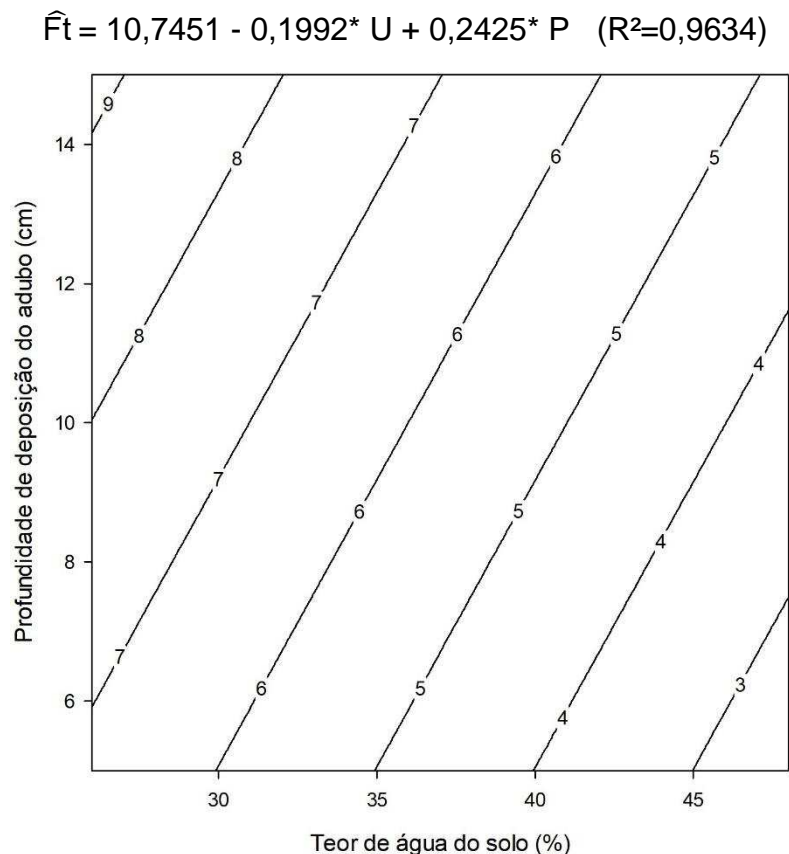


Figura 19 - Força de tração (kN) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Com o incremento de uma unidade na profundidade para um mesmo teor de água do solo, ocorreu um acréscimo de 0,2425 kN na força de tração. Também se observa que com o aumento de uma unidade na variável teor de água do solo para uma mesma profundidade, ocorreu um decréscimo de 0,1992 kN na força de tração.

Trabalhando na profundidade de 6,3 cm e na unidade de 28,7%, a força de tração atingiu 6,5 kN; já com o aumento da profundidade para 14,8 cm e umidade para 47,6 % este valor chegou a 4,8 kN.

O aumento do teor de água do solo diminuiu a resistência mecânica do solo, o que resultou em menor força de tração para tracionar a semeadora-adubadora. Resultados semelhantes aos deste trabalho foram encontrados por Nkakini e Vurasi (2015), que estudaram o efeito da variação do teor de água do solo sobre a força de tração requerida e a demanda energética de um conjunto mecanizado formado por trator e arado de discos. Os resultados mostraram que tanto a força de tração quanto a demanda específica de energia decresceram com o aumento do teor de água do solo.

Já Cepik et al. (2005), quando avaliaram a força de tração na haste sulcadora em função do aumento da profundidade correlacionado com o teor de água, concluíram que, com o aumento da profundidade, houve aumento na força de tração requerida.

4.5.2. Velocidade do conjunto

Os resultados da velocidade operacional do conjunto apresentaram efeito linear, significativo e positivo, para a variável teor de água do solo, enquanto a variável profundidade de deposição do adubo apresentou efeito linear, significativo e negativo (Figura 20).

$$\widehat{VC} = 5,5219 + 0,0334 * U - 0,01205 * P \quad (R^2=0,9806)$$

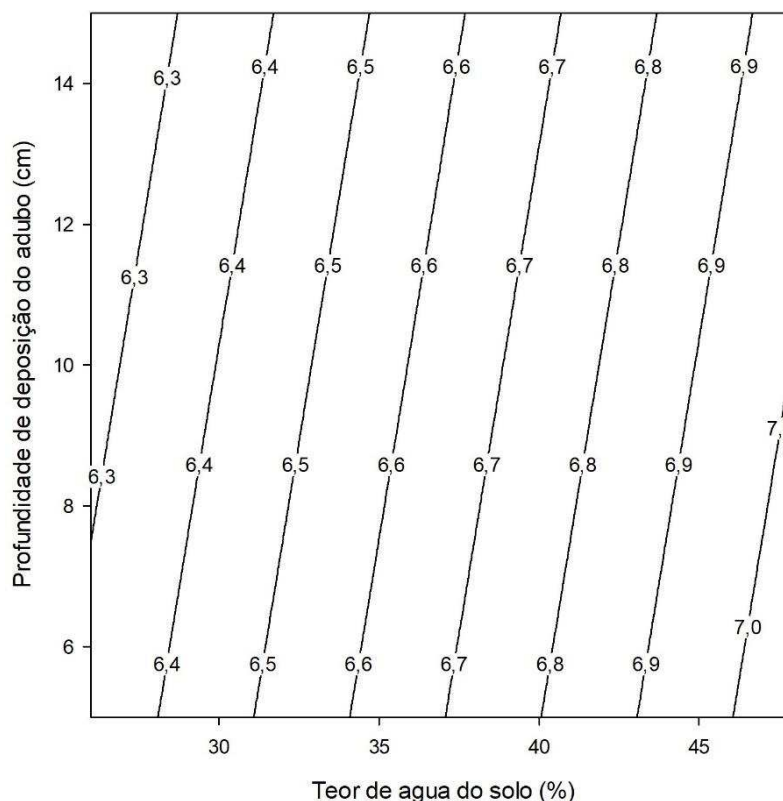


Figura 20 - Velocidade operacional do conjunto (km h⁻¹) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R²) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para um mesmo teor de água do solo, o incremento de uma unidade na profundidade de deposição do adubo resulta no decréscimo da velocidade de deslocamento do conjunto em 0,01205 km h⁻¹. O acréscimo de uma unidade no teor de água do solo apresentou um aumento na velocidade de deslocamento do conjunto de 0,0334 km h⁻¹.

Trabalhando no teor de água do solo em 28,7% e com profundidade de deposição de adubo de 6,3 cm, a velocidade de deslocamento do conjunto foi de 6,4 km h⁻¹; já no maior teor de água do solo (47,6%) e na maior profundidade (14,8 cm), obteve-se uma velocidade de deslocamento do conjunto de 6,9 km h⁻¹.

Este resultado ocorreu devido à patinagem dos rodados do trator, visto que, em solos mais secos, o pneu patinou mais, reduzindo assim sua velocidade real. Concomitantemente, a profundidade de adubação também afetou diretamente a velocidade do conjunto, já que em maiores

profundidades houve também maior patinação dos rodados.

Cepik et al. (2005) encontraram resultados semelhantes. Observaram que os valores mais elevados de patinação das rodas motrizes do trator foram em solos secos e friáveis e também nas maiores profundidades de atuação. Tal situação tem influência direta na velocidade real do conjunto.

4.5.3. Consumo horário de combustível

De acordo com os dados apresentados, a variável teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e negativo; já a variável profundidade de deposição de adubo apresentou efeito linear, significativo e positivo (Figura 21).

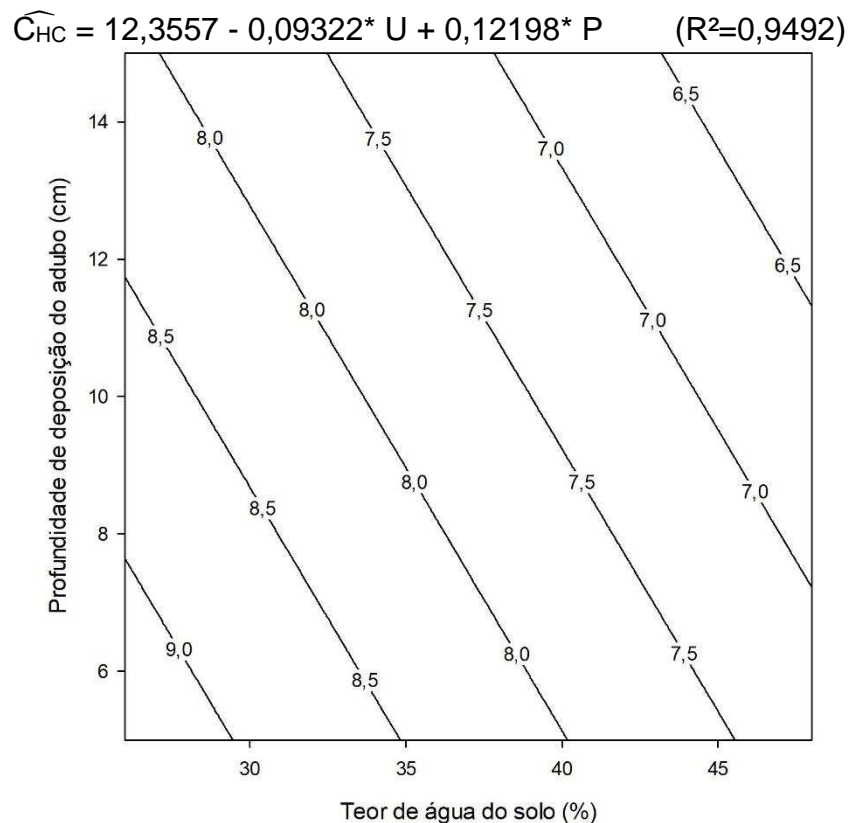


Figura 21 - Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) em função do teor de água do solo ($U - \%$) e da profundidade de deposição do adubo ($P - cm$). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A adição de uma unidade no teor de água do solo para uma mesma profundidade de deposição de adubo resulta no decréscimo de $0,09322 L h^{-1}$ no consumo horário de combustível. Para um mesmo teor de água do

solo, o incremento de uma unidade na profundidade de deposição do adubo resulta no acréscimo de $0,12198 \text{ L h}^{-1}$ na potência na barra de tração.

Na menor profundidade de deposição do adubo, bem como no menor teor de umidade do solo, houve um consumo horário de combustível de $10,4 \text{ L h}^{-1}$. Por outro lado, na situação com o maior teor de água do solo e maior profundidade de deposição do adubo o consumo horário de combustível foi de $9,7 \text{ L h}^{-1}$.

O aumento no teor de água do solo ocasiona menor resistência às hastes da semeadora-adubadora, fazendo com que haja menor consumo horário de combustível, já que é exigido menos do trator para tracioná-la. Todavia, a medida que maiores profundidades do solo são trabalhadas, há um aumento natural da resistência devido à compactação, ainda mais se tratando de um solo argiloso, isto é, um solo mais susceptível a este efeito.

Resultados equivalentes aos deste estudo foram encontrados por Namdari et al. (2011), que avaliaram a influência do teor de água do solo no consumo de combustível para o preparo do solo realizado com um arado de aivecas, concluíram que o teor de água influenciou significativamente o consumo de combustível, sendo este superior para a condição de solo com menor teor.

4.5.4. Área de solo mobilizado

Com relação a área de solo mobilizado, as variáveis independentes estudadas não apresentaram efeito sobre a variável dependente (Figura 22).

$$\widehat{ASM} = 0,03343 + 0,000637^{n.s} U - 0,009614^{n.s} P + 0,00050^{n.s} P^2 \quad (R^2=68,12)$$

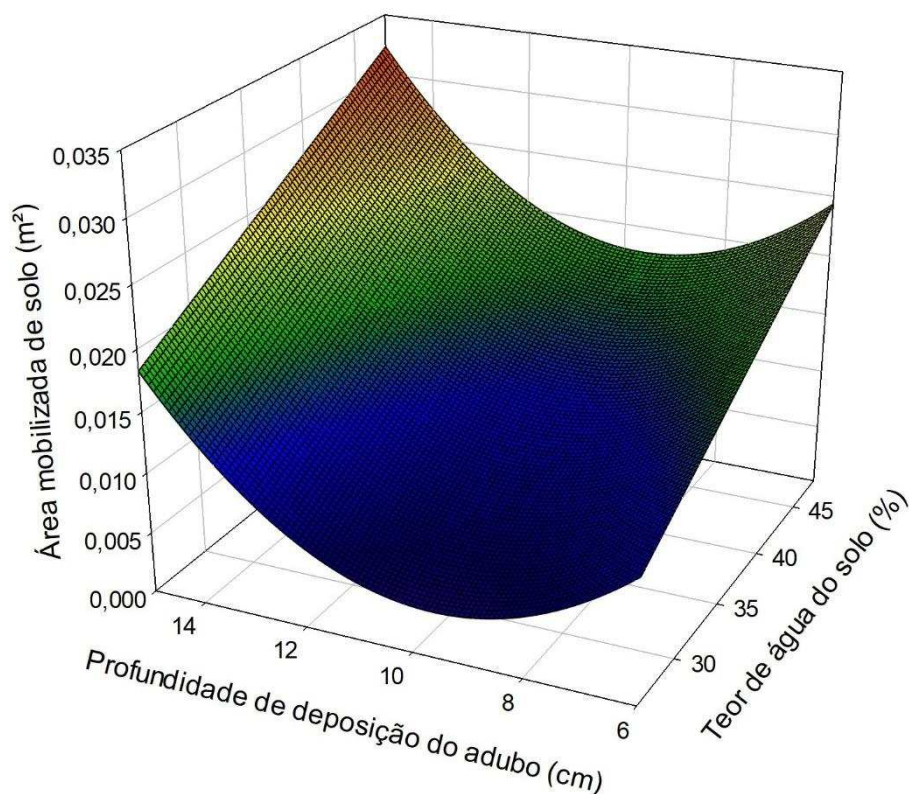


Figura 22 - Área de solo mobilizado (m²) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R²) – ^{n.s} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Apesar de não significativo, nota-se uma tendência da profundidade de deposição do adubo em relação a área de solo mobilizado, que é descendente até a profundidade de 9,61 cm, onde começa a crescer, independente do teor de água do solo.

Cepik et al. (2005) avaliaram o volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água do solo (0,10; 0,14 e 0,23 Kg Kg⁻¹), da profundidade (6 e 12 cm) e da velocidade de operação. Verificaram que o maior volume de solo mobilizado pela haste sulcadora foi obtido em solo friável na maior velocidade e maior profundidade (135,9 m³ ha⁻¹). Em todos os ensaios, estes autores também observaram que os maiores valores de volume de solo mobilizado foram obtidos quando a profundidade de operação da haste sulcadora foi de 12 cm.

4.5.5. Patinagem dos rodados motrizes

Quanto à patinagem dos rodados motrizes traseiros (P_{RMT}) do trator, é possível visualizar que as variáveis estudadas apresentaram efeito significativo. Entretanto, para a variável teor de água do solo, o efeito foi linear e negativo, enquanto que para a variável profundidade de deposição de adubo o efeito foi linear e positivo (Figura 23).

Em relação à patinagem dos rodados motrizes dianteiros (P_{RMD}) do trator, a variável teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e positivo e a variável profundidade de deposição de adubo apresentou efeito não significativo (Figura 24).

$$\widehat{P_{RMT}} = 11,6591 - 0,2689 * U + 0,2391 * P \quad (R^2=0,8323)$$

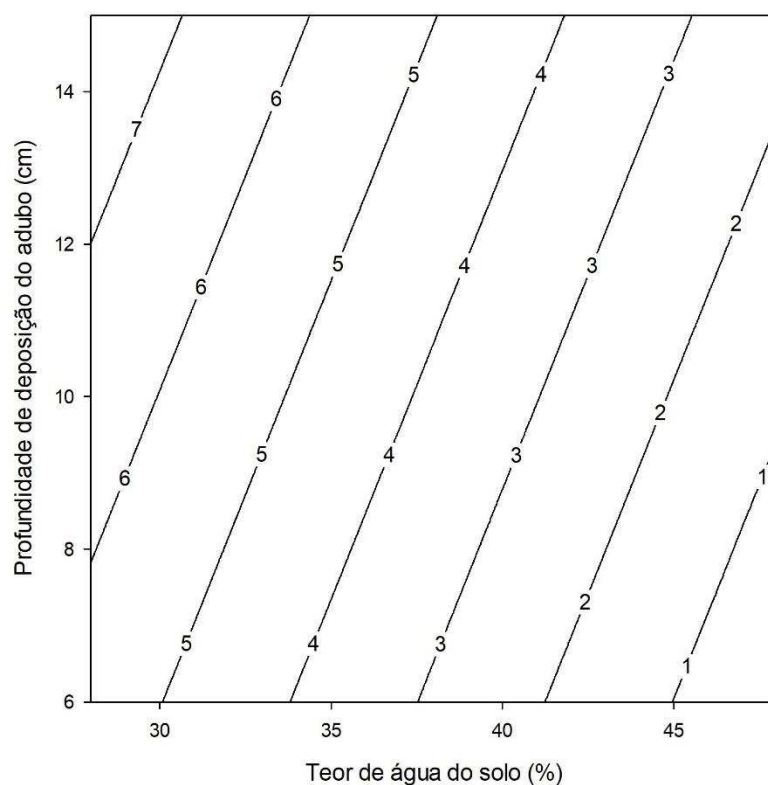


Figura 23 - Patinagem (%) dos rodados motrizes trazeiros em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t e n.s não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

$$\widehat{P}_{RMD} = 12,7963 - 0,2721 * U + 0,2114^{n.s} P \quad (R^2=0,8513)$$

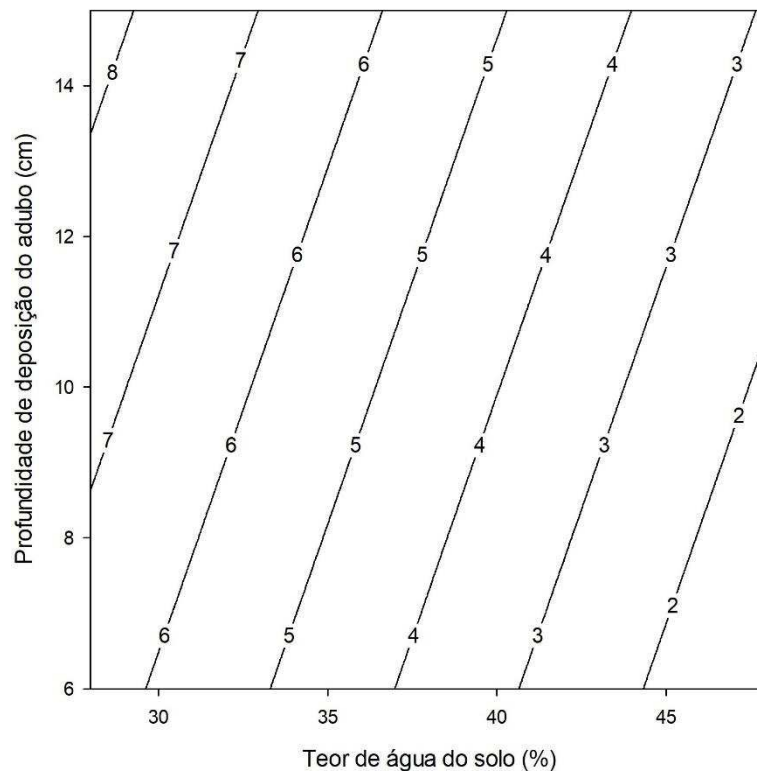


Figura 24 - Patinagem (%) dos rodados motrizes em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t e n.s não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para um mesmo teor de água do solo, o incremento de uma unidade na profundidade de deposição de adubo resulta no acréscimo de 0,23 e 0,21 % na patinagem dos rodados motrizes traseiros e dianteiros, respectivamente. Em contrapartida, para uma mesma profundidade de deposição de adubo, o acréscimo de uma unidade no teor de água do solo ocasiona um decréscimo na patinagem de 0,26 % na patinagem dos rodados motrizes traseiros e 0,27% para os dianteiros.

O trator operou com o sistema de tração dianteira auxiliar (TDA) ligado; isto fez com que a patinagem diminuísse, pois, nesta condição, o trator divide o esforço tratório entre seus dois eixos motrizes, facilitando seu deslocamento.

Com o conjunto depositando adubo na profundidade de 6,3 cm na área com teor de água do solo a 28,7%, a patinagem obtida foi de 5,4 e 6,3% para os rodados motrizes traseiros e dianteiros,

respectivamente. Trabalhando com o teor de água do solo de 47,6% e com a profundidade de deposição de adubo de 14,8 cm, foi de 2,3 para os rodados motrizes traseiros e 2,9% para os dianteiros.

Com a TDA ligada, o eixo dianteiro tende a rotacionar mais que o eixo traseiro, essa diferença é chamada de avanço cinemático e visa corrigir as diferenças entre os diâmetros das rodas dianteiras, que são menores, em relação as traseiras. Tal característica pode ser uma possível explicação para os rodados dianteiros terem apresentado uma patinagem ligeiramente maior do que os traseiros.

Estudando o desempenho de um conjunto trator-escarificador em dois teores de água (26,2 e 21,9%) e duas profundidades de trabalho (20 e 30 cm), Compagnon et al. (2013) observaram que a patinagem foi menor onde havia o maior teor de água do solo, assim como observado neste estudo.

4.6. Parâmetros operacionais obtidos indiretamente

4.6.1. Potência média na barra de tração (BT)

Os resultados da potência média na barra de tração do trator, avaliados quando tracionava a semeadora-adubadora, demonstraram que o teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e negativo; já a profundidade de deposição do adubo apresentou efeito linear, significativo e positivo na potência demandada na barra de tração (Figura 25).

$$\widehat{P}_{bt} = 17,9832 - 0,3151 \cdot U + 0,4248 \cdot P \quad (R^2=0,9538)$$

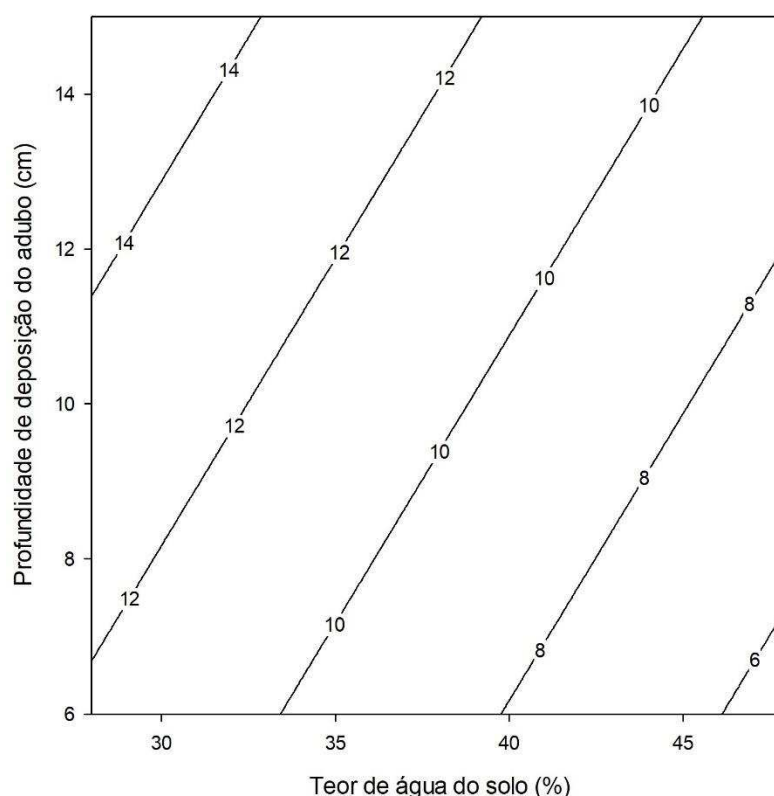


Figura 25 - Potência média na barra de tração em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A adição de uma unidade no teor de água do solo, para uma mesma profundidade de deposição de adubo, resulta no decréscimo de 0,31 kW de potência na barra de tração. Para um mesmo teor de água do solo, o incremento de uma unidade na profundidade de deposição do adubo resulta no acréscimo de 0,42 kW na potência na barra de tração.

Com o conjunto operando na área com o teor de água do solo de 28,7% e com a profundidade de deposição de adubo de 6,3 cm, a potência disponível na barra de tração foi de 11,6 kW. Na situação de trabalho onde o teor de água do solo foi de 47,6% e a profundidade de deposição do adubo foi 14,8 cm, a potência na barra de tração foi de 9,2 kW.

A potência média na barra de tração mostrou-se inversamente proporcional ao teor de água do solo, pois, quanto menor o teor, maior foi o percentual de patinação dos rodados do trator em estudo. Quanto maior o percentual de patinação dos rodados, menor é a velocidade translacional da

máquina, o que condiciona redução do resultado do produto da força de tração e velocidade. Vale ressaltar que o trator utilizado no experimento apresenta uma potência nominal no motor de 63 kW e a potência na barra de tração nas condições em que o teor de água do solo era 28,7 % e a profundidade de deposição de adubo foi 14,8 cm, atingiu 15,22 kW, ou seja, foi exigido 24% de sua capacidade.

Compagnon et al (2013) avaliaram o desempenho de um conjunto trator-escarificador em dois teores de água e duas profundidades de trabalho e observaram que a potência na barra de tração aumentou com a profundidade de trabalho.

4.6.2. Capacidade operacional efetiva

As variáveis teor de água do solo e profundidade de deposição do adubo apresentaram efeito linear, significativo e positivo; e efeito linear, significativo e negativo em relação à capacidade operacional efetiva, respectivamente (Figura 26).

$$\widehat{Coe} = 0,358928 + 0,002174 * U - 0,000783 * P \quad (R^2=0,9806)$$

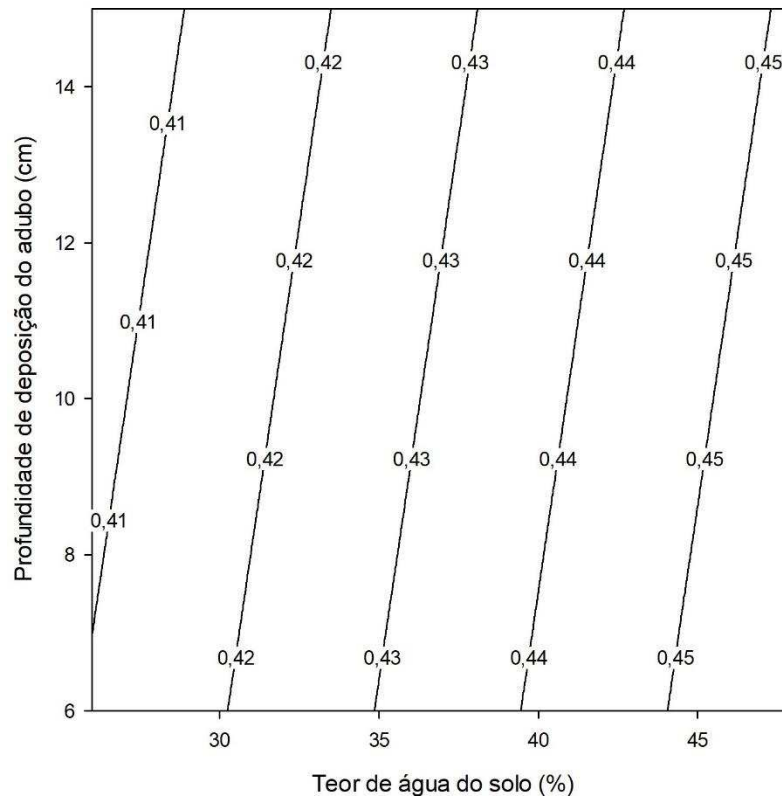


Figura 26 - Capacidade operacional efetiva em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A capacidade operacional efetiva sofreu um acréscimo de 0,002174 ha h⁻¹ para cada unidade adicionada ao teor de água do solo numa mesma profundidade de deposição de adubo. Para um mesmo teor de água do solo, cada unidade adicionada à profundidade de deposição de adubo resulta num decréscimo de 0,000783 ha h⁻¹.

A capacidade operacional efetiva alcançou 0,41 ha h⁻¹ quando o conjunto trabalhou no teor de água do solo de 28,7 % e na profundidade de deposição do adubo de 6,3 cm. Entretanto, no teor de água do solo de 47,6 % e na profundidade de deposição de adubo de 14,8 cm, a capacidade operacional efetiva foi de 0,45 ha h⁻¹.

Neste sentido, nota-se que o teor de água do solo afetou diretamente a patinação, sendo estas inversamente proporcionais. Um maior teor de água do solo resultou em menor patinação que, conseqüentemente, resulta em maior velocidade de deslocamento. Sendo a capacidade operacional

produto da velocidade de deslocamento e da largura de plantio, uma maior velocidade resultará numa maior capacidade operacional. Para a profundidade de deposição de adubo, houve maior percentual de patinagem, o que diminui a capacidade operacional efetiva do conjunto.

Avaliando o desempenho de um conjunto trator-semeadora em dois teores de água do solo (21,9 e 26,2%) e duas profundidades de semeadura 20 e 30 cm), Compagnon et al. (2013) observaram que a capacidade operacional apresentou diferença significativa apenas em relação ao teor de água do solo, com 0,91 ha h⁻¹ no menor teor de água do solo e 0,89 ha h⁻¹ no maior teor de água do solo.

4.6.3. Demanda energética das operações mecanizadas

4.6.3.1 Consumo específico de combustível

As variáveis independentes teor de água do solo e profundidade de deposição do adubo, influenciaram significativamente no consumo específico de combustível (Figura 27), pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

$$\widehat{CEC} = 0,4807 + 0,02330 * U - 0,03214 * P \quad (R^2=0,9089)$$

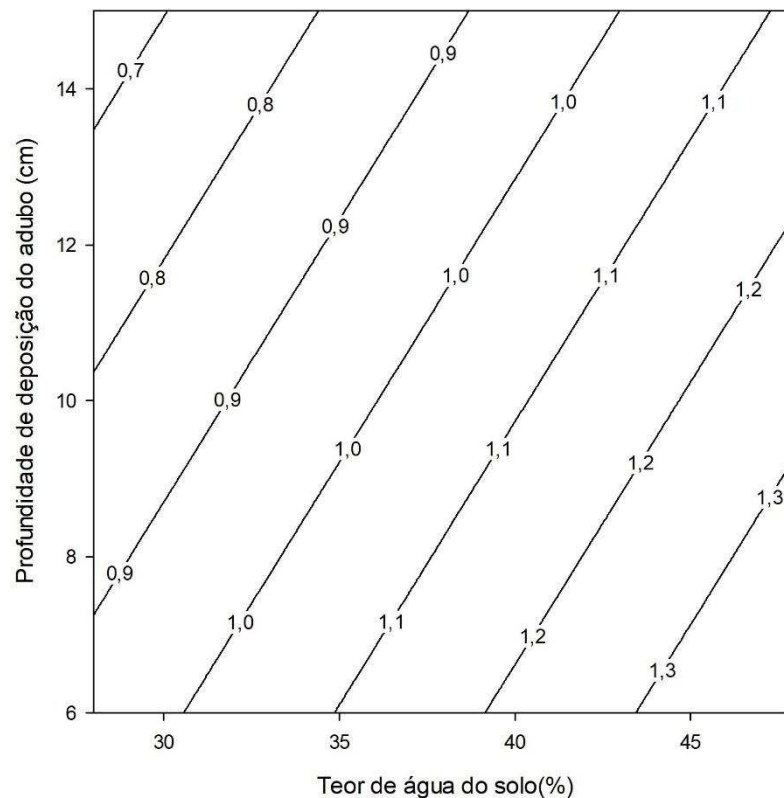


Figura 27 - Consumo específico de combustível em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para uma mesma profundidade de deposição de adubo, uma unidade adicionada ao teor de água do solo promove um aumento de $0,02330 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no consumo específico de combustível. Com a adição de uma unidade na profundidade de deposição do adubo para um mesmo teor de água do solo, há uma diminuição de $0,03214 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no consumo específico de combustível.

O consumo específico de combustível foi $0,95 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ quando o trator trabalhou onde o teor de água do solo era equivalente a 28,7 % e a profundidade de deposição do adubo era de 6,3 cm. Na situação onde o teor de água do solo era 46,7% e a profundidade de deposição de adubo era 14,8 cm, o consumo específico de combustível foi $1,11 \text{ L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Neste sentido, como o consumo específico de combustível é inversamente proporcional à potência e, durante o estudo, observou-se que quanto maior o teor de água do solo menor era a potência requerida na

barra de tração, pode-se concluir que este comportamento é justificado pela redução da potência na barra de tração.

4.6.3.2 Consumo de combustível por área de solo mobilizada

Com relação ao consumo por área mobilizada de solo, tanto o teor de água do solo quanto a profundidade de deposição do adubo apresentaram efeito não significativo (Figura 28).

$$\widehat{C}_{am} = -16,5978 - 0,1992^{n.s} U + 24,2704^{n.s} P - 1,3371^{n.s} P^2 \quad (R^2=0,6964)$$

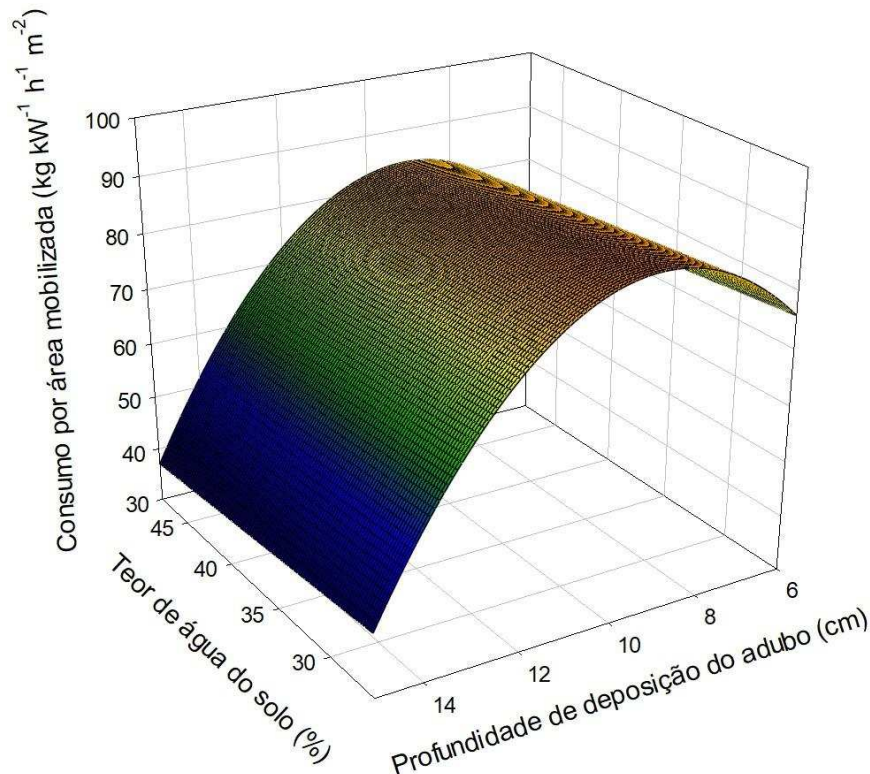


Figura 28 - Consumo de combustível por área de solo mobilizada em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) ^{n.s} – não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para um maior teor de água do solo, tem-se um menor consumo de combustível por área. Tal fato pode ser justificado pela resistência do solo que diminui proporcionalmente com o aumento no teor de água, assim como a ocorrência de menor patinação dos rodados, aumentando a capacidade de campo, isto é, diminuindo o tempo de operação e, conseqüentemente, menores quantidades de combustível sendo consumida.

Apesar de o efeito não ser significativo, nota-se uma tendência da profundidade de deposição do adubo, em relação ao consumo por área mobilizada, que é ascendente até a profundidade de 9,07 cm, onde começa a decrescer, independente do teor de água do solo.

Avaliando o requerimento energético de um implemento conjugado de preparo de solo, modelo RP 2000 da STARA, nas profundidades de 15, 20, 25 e 30 cm e nas velocidades de operação de 2,0; 3,0 e 5,0 Km h⁻¹ Fernandes et al. (2007) observaram que o menor consumo de combustível por volume de solo mobilizado foi obtido na velocidade 2,76 Km h⁻¹ e a 25 cm de profundidade.

4.6.3.3 Consumo de combustível por área trabalhada

Com relação ao consumo por área trabalhada, ambas as variáveis apresentaram efeito linear e significativo, sendo que para a variável teor de água do solo houve efeito negativo e para a variável profundidade de deposição do adubo, efeito positivo (Figura 29).

$$\widehat{C}_{cat} = 65,2748 - 0,6688 * U + 0,6548 * P \quad (R^2=0,9496)$$

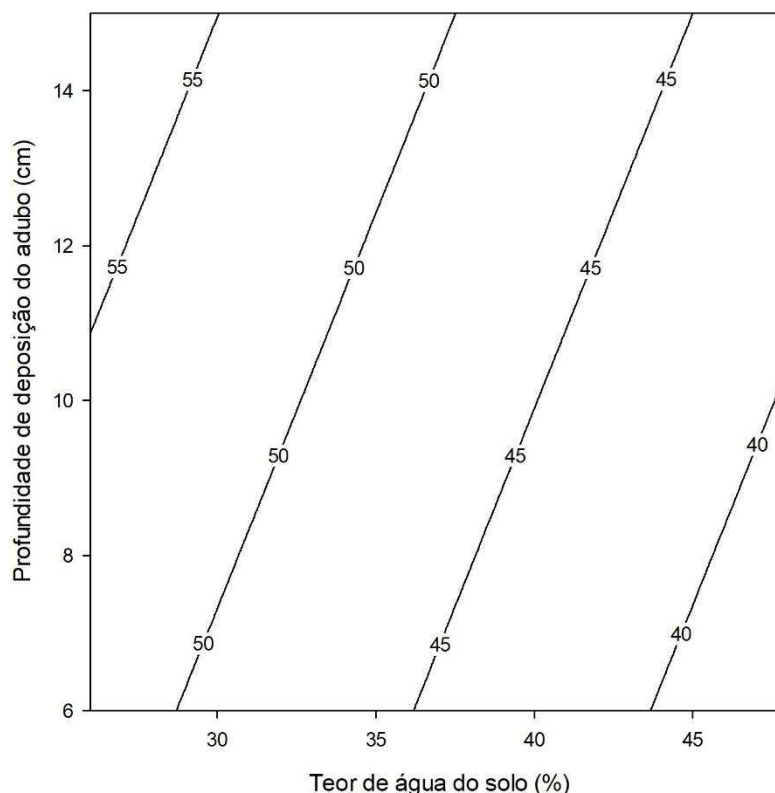


Figura 29 - Consumo de combustível por área trabalhada em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R²) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para um mesmo teor de água do solo tem-se, com o incremento de uma unidade na profundidade de deposição de adubo, um acréscimo de 0,6548 L ha⁻¹ no consumo de combustível por área trabalhada. Para uma mesma profundidade de deposição de adubo, ao se acrescentar uma unidade no teor de água do solo tem-se um decréscimo de 0,6688 L ha⁻¹ no consumo de combustível por área trabalhada.

O consumo de combustível por área trabalhada foi equivalente a 50,20 L ha⁻¹, quando a operação foi realizada na profundidade de deposição de adubo de 6,3 cm e no teor de água do solo de 28,7%. Para a profundidade de 14,8 cm e teor de água do solo de 47,6%, o consumo de combustível por área trabalhada chegou a 43,13 L ha⁻¹.

Quando a semeadora-adubadora foi regulada para aumentar a profundidade de deposição de adubo, houve uma redução da velocidade teórica do conjunto. Também foi observado que, em menores teores de água

no solo, houve maiores valores de patinagem dos rodados, o que diminuiu a eficiência do conjunto, resultando no aumentando significativo de consumo por área trabalhada.

Diferente do encontrado neste trabalho, Feitosa (2018) avaliou a demanda energética na produção de cebola em quatro teores de água no solo (12, 15, 23 e 26 %) e três sistemas de preparo. Foi observado que a interação entre os teores de água e os sistemas de preparo do solo não influenciou significativamente o consumo de combustível por área trabalhada.

4.6.3.4 Demanda total de energia do combustível

De acordo com os dados apresentados, a variável teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e negativo, já a variável profundidade de deposição de adubo apresentou efeito linear, significativo e positivo (Figura 30).

$$\hat{D}_t = 1158,65 - 11,8364 \cdot U + 11,6232 \cdot P \quad (R^2=0,9705)$$

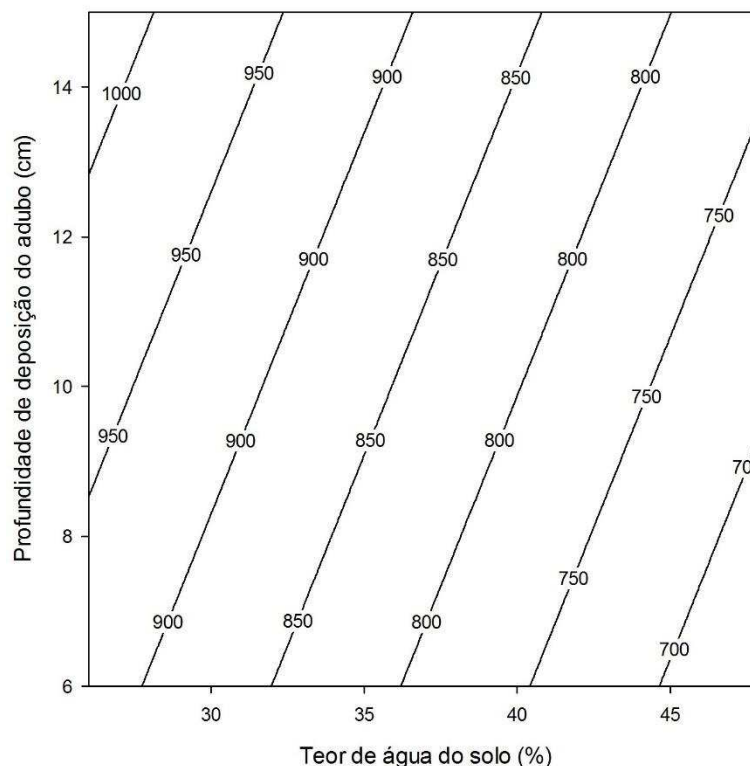


Figura 30 - Demanda total de energia (MJ ha^{-1}) do combustível em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para um mesmo teor de água do solo tem-se, com a adição de uma unidade na profundidade de deposição de adubo, um acréscimo de 11,6232 MJ ha⁻¹ na demanda total de energia do combustível. Para uma mesma profundidade de deposição de adubo, ao se acrescentar uma unidade no teor de água do solo, tem-se um decréscimo de 11,8364 MJ ha⁻¹ na demanda total de energia do combustível.

A demanda total de energia foi de 892,17 MJ ha⁻¹, quando o conjunto trabalhou no teor de água do solo de 28,7 % e na profundidade de deposição do adubo de 6,3 cm e de 767,26 MJ ha⁻¹, quando o teor foi 47,6% e a profundidade de deposição do adubo foi 14,8 cm.

Neste sentido, a demanda total de energia do combustível é diretamente proporcional ao consumo por área trabalhada, sendo que esta é inversamente proporcional à capacidade operacional teórica. O teor de água do solo influenciou diretamente na capacidade operacional teórica, visto que em menores teores de água, observou-se que a velocidade do conjunto também era menor. Para a profundidade de deposição do adubo, foi visto que, ao elevá-la, havia maior exigência para tracionar a semeadora-adubadora e maior percentual de patinagem, conseqüentemente diminuindo a velocidade de deslocamento do conjunto. Desta forma, conclui-se que, quanto menor a capacidade operacional teórica, maior será a demanda energética do combustível.

Feitosa (2018), ao avaliar a demanda energética na implantação da cultura da cebola em três sistemas de preparo de solo e quatro teores de água na implantação da cultura da cebola, encontrou valores de 15726,39 MJ ha⁻¹ para o preparo de solo constituído de uma aração, duas gradagens e duas operações de encanteiramento.

A maior parte dos gastos energéticos está associada ao preparo de solo para plantio (Heidarisoltanabadia e Tahani, 2016). Entretanto, neste estudo, o sistema adotado foi o de plantio direto na palha e utilizaram-se apenas duas linhas da semeadora-adubadora, o que justifica os baixos valores observados.

4.6.3.5 Demanda específica de energia

De acordo com os dados apresentados, a variável teor de água do solo apresentou efeito linear, significativo e negativo; já a variável profundidade de deposição de adubo apresentou efeito linear, significativo e positivo (Figura 31).

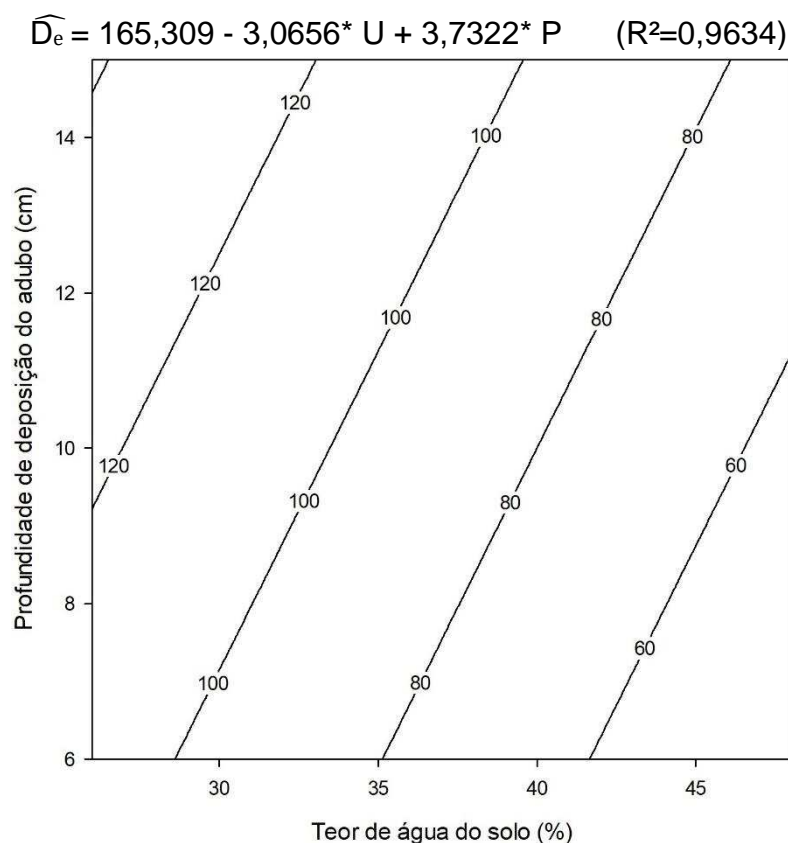


Figura 31 - Demanda específica de energia (MJ ha⁻¹) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R²) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Para um mesmo teor de água do solo tem-se, com acréscimo de uma unidade na profundidade de deposição de adubo, um incremento de 3,7322 MJ ha⁻¹ na demanda específica de energia. Para uma mesma profundidade de deposição de adubo, ao se acrescentar uma unidade no teor de água do solo, tem-se um decréscimo de 3,0656 MJ ha⁻¹ na demanda específica de energia do combustível.

A demanda específica de energia foi de 100,83 MJ ha⁻¹, quando o conjunto trabalhou no teor de água do solo de 28,7% e na profundidade de

deposição do adubo de 6,3 cm e de 74,62 MJ ha⁻¹, quando o teor foi 47,6% e a profundidade de deposição do adubo foi 14,8 cm.

A demanda específica é a relação entre potência na barra de tração e capacidade operacional. Desta forma, a demanda energética é inversamente proporcional à capacidade operacional e diretamente proporcional a potência na barra de tração. Quando se trabalhou em menores teores de água do solo, maior foi a potência na barra de tração, visto que havia maior resistência do solo. Observou-se também que, em maiores profundidades de deposição do adubo, havia maior resistência aos mecanismos sulcadores da semeadora-adubadora, sendo necessário mais potência na barra de tração. A partir disto, conclui-se que quanto menor o teor de água do solo e maior a profundidade, maior será a demanda energética.

Diferente dos resultados neste estudo, Feitosa (2018), ao avaliar a demanda energética na implantação da cultura da cebola em três sistemas de preparo e quatro teores de água, observou que a demanda específica de energia não foi afetada significativamente pela interação entre os teores de água do solo.

4.6.3.6 Eficiência de utilização do combustível

Com relação à eficiência de utilização do combustível, ambas as variáveis apresentaram efeito linear e significativo, sendo que para a variável teor de água do solo, houve efeito negativo e, para a variável profundidade de deposição do adubo, houve efeito positivo (Figura 32).

$$\widehat{Ec} = 15,6180 - 0,2225* U + 0,3025* P \quad (R^2=0,9509)$$

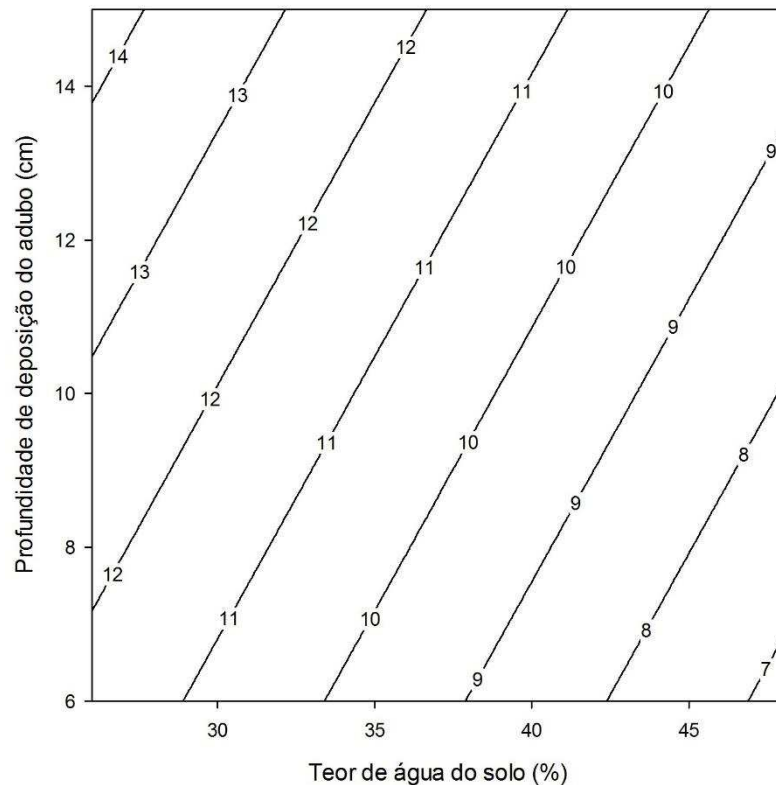


Figura 32 - Eficiência de utilização do combustível (%) em função do teor de água do solo (U - %) e da profundidade de deposição do adubo (P - cm). Equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * – significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Mantendo-se o teor de água do solo, com acréscimo de uma unidade na profundidade de deposição de adubo, há um incremento de 0,3025% na eficiência de utilização do combustível. Para uma mesma profundidade de deposição de adubo, ao se adicionar uma unidade no teor de água do solo, tem-se um decréscimo de 0,2225% na eficiência de utilização do combustível.

A eficiência de utilização do combustível foi de 11,13% quando o conjunto trabalhou no teor de água do solo de 28,7% e na profundidade de deposição do adubo de 6,3 cm e de 9,5%, quando o teor era 47,6% e a profundidade de deposição do adubo era 14,8 cm.

Segundo Ranjabarian et al. (2017), valores de eficiência 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, ou alta eficiência de tração.

Assim, os valores encontrados mostram que o conjunto operacional escolhido estava mal adequado, havendo perda energética.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que:

- A maior produtividade de grãos foi no teor de água do solo de 36,4% e, dentro de cada teor, nas maiores profundidades de deposição do adubo.
- Teores de água no solo entre 45 e 47% maximizaram o índice de velocidade de emergência.
- No maior teor de água do solo e na menor profundidade de deposição do adubo foram obtidos os menores tempos médios de emergência de plântulas.
- O menor consumo de combustível ocorreu no teor de água do solo de 47,6% e nas menores profundidades de deposição do adubo.
- Recomenda-se um estudo econômico para avaliar quais tratamentos apresentam um maior retorno financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2017**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017> > Acesso em: 07 ago. 2018.

ALVARES, A. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2014.

ALVARES V., V. H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G; ALVAREZ V., V. H. (cds.). **Recomendação par o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 359 p., 1999.

ANGHINONI I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: Novais, R.F.; Alvarez, V. H. V.; Barros, N.F.; Fontes, R. F. F.; Cantarutti, R. B. & Neves JCL (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira da Sociedade do Solo. p. 873-928, 2007.

ARAÚJO, G. A. A.; FERREIRA, A. C. B. Manejo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. 2. ed. Viçosa: UFV, p. 87-114, 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data: ASAE D497.7**. ASABE Standards. St. Joseph, Michigan, 2011b.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS
Agricultural machinery management data: ASAE standards S313.2. St. Joseph, Michigan, 1996.

BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A. Demanda energética e produtividade da cultura do milho com adubação de pré-semeadura em dois sistemas de manejo de solo. **Energia na Agricultura**, v. 25, n.3, p. 01-23, 2010.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília, 395 p., 2009.

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 do solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n.2, p. 447-457, 2005.

COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A.; OSHIRO, K. A.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T. Desempenho de um conjunto trator-escarificador em dois teores de água do solo e duas profundidades de trabalho. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n.1, p. 52-58, 2013.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B. MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo a penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v.10, n. 14, p. 01-04, 2002.

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

EMBRAPA. **Cultivo do Algodão irrigado**, 2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7717&p_r_p_-996514994_topicold=1305>. Acesso em: 1 de Janeiro de 2019.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF, 2017. 573 p.: Il. Color.

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

EMBRAPA. **Sistema Plantio Direto**, 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500pergunta_ssystemaplantiodireto.pdf>. Acesso em: 10 de Julho de 2017.

EMBRAPA. **Descritores Mínimos Indicados para Caracterizar cultivares/Variedades de Feijão Comum (Phaseolus vulgaris L.)**, 2005. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/194060/1/doc184.pdf>>. Acesso em: 18/11/2018.

FABRIZZI, K. P.; GARCIA, F. O.; COSTA, J. L.; PICONE, L. I. Soil water dynamics, physical properties and corn wheat response to minimum and no-tillage system in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, v. 81, n.1, p.57-69, 2005.

FANCELLI, L; DOURADO-NETO, D. **Produção de Feijão**. Piracicaba: O autor, 180p., 2007.

FARIAS, R. T.; KRANZ, W. N. Determinação de espaçamento e densidades adequados para as cultivares de diferentes portes. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1982. p. 18-19.

FEITOSA, J. R. **Demanda energética, produtividade e custos de produção de cebola em função do sistema de preparo do solo.** 2018. 159f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

FERNANDES, H. C.; MION, R. L.; SILVEIRA, J. C. M.; RINALDI, P.C.; MODOLO, A. J. Avaliação da demanda energética numa operação conjugada de preparo do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v 54, n. 312, p. 132-138, 2007.

FOLONI, J. S. S.; CUSTÓDIO, C. C.; POMPEI, F. P.; VIVAN, M. R. Instalação de espécie forrageira em razão da profundidade no solo e contato com fertilizante formulado NPK. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 39, n. 1, p. 7-12, 2009.

FURTADO JÚNIOR, M. R. **Análise operacional de um trator agrícola em função da pressão interna dos pneus e inclinação da linha de tração.** 2013. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

GABRIEL FILHO, A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 333-339, 2010.

GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. P. 463-514.

GARCIA, R. F.; VALE, W. G.; OLIVEIRA, M. T. R.; PEREIRA, É. 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. Tractions and transport devices. In: **Off-Road Vehicle Engineering Principles**. St. Joseph, Mich.; ASAE. Copyright American Society of Agricultural Engineers, 2003 (rev. Printing 2006). Cap. 13, p. 351-382.

HECKLER, J. C.; SALTON, J.C. Coleção Sistema Plantio Direto 7. **Palha: Fundamento do Sistema de Plantio Direto**. Embrapa, Dourados, MS, 2002.

HEIDARISOLTANABADIA M.; TAHANI, B. An Investigation into Energy Consumption for Onion Cropping. **ISESCO Journal of Science and Technology**, v. 12, n. 21, p. 50-56, 2016.

HERZOG, R. L. S., LEVIEN, R., BEUTLER, J. F., TREIN, C. R. **Patinagem das rodas do trator em função da profundidade do sulcador e doses de resíduos sobre o solo na semeadura da soja**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. Anais...Salvador: UFB, 2002. CD-ROM.

HIOLANDA, R.; MACHADO, D. H.; CANDIDO, W. J.; FARIA, L. C., DALCHIAVON, F. C. Desempenho de genótipos de feijão carioca no Cerrado Central do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n.3, p.815-824, 2018.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. O.; Silveira, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v. 48, p. 49 - 62, 1989.

LACERDA, E. G., FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M. M.; LEITE, D. M.; HADDADE, I. R. Rendimento do feijoeiro em semeadura direta considerando-se a profundidade de adubação e lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 3, p. 205-210, 2014.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. **Pneus radiais para tratores**. Guia para a seleção correta da pressão de inflação. Energia na Agricultura, FCA/UNESP, Botucatu, 1997. 33p. Boletim Técnico nº 1.

MAIA, L. G. S.; SILVA, C. A.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Variabilidade genética associada à germinação e vigor de sementes de linhagens de feijoeiro comum. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 361-367, mar./abr. 2011.

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.

MAHL, D.; SILVA, R.B.; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, supl., p. 741-747, 2008.

MELLO, A. **Distribuição longitudinal e produtividade do milho em função da velocidade de deslocamento e da profundidade de deposição da semente**. 2011. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2011.

MILAGRES, R. S.; FURTADO JUNIOR, 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**, v. 23, n. 2, p. 143-153, 2015.

MIALHE, L. G. **Maquinas Agrícola – Ensaio & Certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, 1996, 723 p.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G.; VALLE, D.; MELLO, I. **Plantio Direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. 1^o edição. p.144. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

NAMDARI, M.; RAFIEE, S.; JAFARI, A. CO₂ emission as a result of the fuel consumption and tillage quality in different tillage conditions. **International journal of environmental sciences**, v. 1, n. 7, p. 1659, 2011.

NKAKINI, S. O.; VURASI, N. M. Effects of moisture content, bulk density and tractor forward speeds on energy requirement of disc plough. **Technology**, v. 6, n. 7, p. 69-79, 2015.

OLIVEIRA, M.L.; VIEIRA, L.B.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, C.M.; DIAS, G. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1455-1463, 2000.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAMALHO, M.A.P., ABREU, A.F.B., CARNEIRO, J.E.S., 2004. **Cultivares**. Informe Agropecuário 24, EPAMIG, 25, 21-32.

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.

RINALDI, P. C. N. **Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2013. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; VIEIRA, L. B. Profundidade de adubação e velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora na cultura do feijão. **Revista Ceres**, v 56, n. 3, p. 249-255, 2009.

RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M. M.; SILVEIRA, J. C. M.; JÚNIOR MAGNO, R. G. Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora no estabelecimento inicial da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Engenharia na agricultura**, v. 18, n. 2, p. 123-130, mar./abr. 2010.

RODRIGUES, J. G. L.; GAMERO, C. A. Demanda energética e capacidade de campo efetiva em diferentes sistemas de manejo do solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 21, n. 4, p. 55-62, 2006.

ROS, V. V.; SOUZA, C. M. A.; VITORINO, A. C. T.; RAFULL, L. Z. L. Resistência de um latossolo vermelho distroférrico à penetração em sistema de plantio direto após a semeadura. **Engenharia Agrícola**, v.31, n. 6, não paginado, 2011.

SALVADOR, N.; BENEZ, S.H.; MION, R.L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.2, p.256-62, 2008.

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

SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p. 257-263, 2001.

SIQUEIRA, R. **Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. 1999. 191 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus Botucatu, Botucatu, SP.

TEIXEIRA, H. R. S.; LIMA, E. A.; MIELEZRSKI, F.; SILVA, A. S.; OLIVEIRA, A. M. Efeito da profundidade de adubação e semeadura na cultura do milho. **Cultura Agrônômica**, v.27, n.1, p. 91-100, 2018.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, R.P.; SILVA, A. G.; FREITAS, R.S. Competição entre feijoeiros e plantas daninhas em função do tipo de crescimento dos cultivares. **Planta Daninha**, v.27, n.2, p. 235-240,2009.

WAMONO, A. W.; STEELE, D. D.; DESUTTER, T.; LIN, Z.; JIA, X.; CLAY, D. Gypsum lowers drawbar power in Northern Great Plains subsurface-drained sodic soils. **Transactions of the ASABE**, v. 59, n.6, p. 1661-1669, 2016.

ZOZ, F. M.; GRISSO, R. D. **Traction and Tractor Performance**. ASAE Distinguished Lecture Series – Tractor Design No. 27, Agricultural Equipment Technology Conference , 9-11 February 2003, Louisville, Kentucky, USA, ASAE Publication Number 913C0403.