

RAQUEL SANTANA MILAGRES

**DEMANDA ENERGÉTICA, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DA CULTURA DO
FEIJÃO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E PROFUNDIDADE DE FERTILIZAÇÃO
EM PLANTIO DIRETO**

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

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes

Coorientadores: Paulo Roberto Cecon
José Eustáquio S. Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

M637d
2023

Milagres, Raquel Santana, 1988-

Demanda energética, produtividade e custos da cultura do feijão em função da velocidade e profundidade de fertilização em plantio direto / Raquel Santana Milagres. – Viçosa, MG, 2023.

1 tese eletrônica (115 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.

Referências bibliográficas: f. 104-115.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.423>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Feijão - Cultivo. 2. Cultivos agrícolas - Rendimento. I. Fernandes, Haroldo Carlos, 1959-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 633.3

Bibliotecário(a) responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317

RAQUEL SANTANA MILAGRES

**DEMANDA ENERGÉTICA, PRODUTIVIDADE E CUSTOS DA CULTURA DO
FEIJÃO EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E PROFUNDIDADE DE FERTILIZAÇÃO
EM PLANTIO DIRETO**

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

APROVADA: 16 de junho de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 RAQUEL SANTANA MILAGRES
Data: 19/07/2023 08:45:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Raquel Santana Milagres
Autora

Documento assinado digitalmente
 HAROLDO CARLOS FERNANDES
Data: 14/07/2023 16:07:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Haroldo Carlos Fernandes
Orientador

AGRADECIMENTOS

Obrigada a Deus, por tudo! Por encaminhar meus passos até aqui e da forma como foi.

Ao meu marido Pedro pelo apoio, ajuda, amizade e amor. Aos meus filhos Logan e Yaacov, por existirem e me ajudarem a ser uma pessoa melhor todos os dias.

À minha mãe Bernadete pelas inúmeras ajudas e disponibilidade de tempo para que essa etapa fosse concluída.

Ao Renato Prata por sempre me incentivar.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes que novamente foi muito mais que um orientador, dando força e encorajamento para que tudo ocorresse da melhor forma. O senhor é um exemplo.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pelas ajudas, paciência e exemplo.

Ao professor Marconi Ribeiro Furtado Júnior e ao técnico Vicente pela ajuda na implementação do experimento e demais contribuições no decorrer do processo.

Aos técnicos da sede em Coimbra pela ajuda na condução do experimento.

Aos professores José Eustáquio, Laerte, e ao técnico Wander.

À professora Jârdenia e a estudante Grazielle, pelas contribuições com o trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

RAQUEL SANTANA MILAGRES, filha de Bernadete Fernandes Santana Milagres e Hélio Oliveira Milagres, nasceu em 21 de novembro de 1988, no município de Ponte Nova - MG.

Em 2009 ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, concluindo em 2015.

Cursou em 2014 um período letivo na Universidad Nacional Del Nordeste, Corrientes – Argentina, pelo programa MARCA-MERCOSUL.

Em agosto de 2015, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa em julho de 2017.

Realizou em 2018 estágio pela University of Vermont, Burlington - Estados Unidos.

Em março de 2019 ingressou no mesmo programa a nível de doutorado.

RESUMO

SANTANA MILAGRES, Raquel, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2023. **Demanda energética, produtividade e custos da cultura da cultura do feijão em função da velocidade e profundidade de fertilização em plantio direto.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon e José Eustáquio de Souza Carneiro.

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa reconhecida por suas inúmeras características nutricionais tendo importante papel na segurança alimentar. Além disso, a cultura tem forte influência socioeconômica sendo cultivada em todos os continentes. No Brasil em específico, é cultivada durante todo o ano por pequenos, médios e grandes agricultores, tornando o produto disponível em todas as épocas e gerando emprego. A forma de cultivo do feijão pode resultar na redução da demanda energética, influenciar nos componentes agronômicos e no custo de produção, aumentando a rentabilidade da atividade. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a influência da velocidade operacional e da profundidade da fertilização no plantio direto do feijão, na sua resposta e no seu custo de produção. Foram utilizadas as velocidades operacionais de 0,84 m s⁻¹ (3 km h⁻¹); 1,39 m s⁻¹ (5 km h⁻¹); 2,22 m s⁻¹ (8 km h⁻¹); e 2,78 m s⁻¹ (10 km h⁻¹) e profundidades de fertilização de 0,05; 0,08, 0,10 e 0,13 m, em um esquema de delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. A demanda energética do plantio direto foi feita utilizando-se a força de tração, potência demandada na barra de tração, velocidade de operação, patinagem, capacidade operacional, tempo de preparo, consumo horário e específico de combustível para avaliar o consumo de combustível por área trabalhada, demanda total de energia, demanda específica de energia e a eficiência no uso do combustível. Já para o desempenho da semeadora, desenvolvimento inicial da cultura, rendimento e componentes agronômicos, foram avaliados a distribuição longitudinal das plântulas, o espaçamento médio, índice de precisão da máquina, profundidade real de deposição do fertilizante, porcentagem, índice de velocidade e tempo médio de emergência das plântulas, produtividade, população final, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e o peso de 100 grãos. Foram determinados também o custo de produção, a receita bruta e líquida e a taxa interna de retorno sobre o investimento para análise da viabilidade econômica da produção. Verificou-se que as velocidades operacionais e

profundidades de fertilização não tiveram influência para a ocorrência de espaçamentos normais, duplos e médio entre plântulas, no índice de precisão da máquina, na porcentagem de plântulas emergidas, população final, número de vagens por planta e número de grãos por vagem. Os tratamentos que utilizaram maiores velocidades operacionais e maiores profundidades de fertilização estão estatisticamente no grupo dos tratamentos onde se obteve maior produtividade e rentabilidade.

Palavras-chave: Plantio-direto. Feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Desempenho. Consumo de combustível. Análise de custos.

ABSTRACT

SANTANA MILAGRES, Raquel, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2023. **Energy demand, productivity, and expenses of bean culture, in relation to velocity and fertilizing depth, in direct seeding.** Advisor: Haroldo Carlos Fernandes. Co-advisors: Paulo Roberto Cecon and José Eustáquio de Souza Carneiro.

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a legum known for its several nutritional characteristics, being importante role in food security. In addition, bean crops have Strong sócio-economical influence, as it is planted ll around the world. In Brazil, it is cultivated the whole year by small, médium-sized and big agricultors. Beans are available all year long and generate many jobs. The way the seeding is handled may reduce the energetic demand, influence in the agronomical componentes, and in the production expenses, raising the rentability. In this work, we aimed to evaluate the operacional velocity and the fertilizing depth in a direct seeding, and their consequences on the procution expenses. We used the following velocities: 0.84 m s⁻¹ (3 km h⁻¹); 1.39 m s⁻¹ (5 km h⁻¹); 2.22 m s⁻¹ (8 km h⁻¹); and 2.78 m s⁻¹ (10 km h⁻¹). We used the following depths of fertilization: 0.05; 0.08, 0.10, and 0.13 m, in a scheme of casual blockes, with four repetitions each, totalling 64 experimental unities. The energetic demando of the direct seeding was calculated through the traction force, potency demand in the ctraction bar, operational velocity, sliding, operational capaity, time of preparation, time consuming and specific consuming of fuel per area, total energy demand, specific demando f energy, and efficiency of fuel burned. For the seeder performance, the inicial development of the crop, production, and the agronomic componentes we analyzed the longitudinal distribution of the seedlings, the médium spacement, the precision index of the seeder, the real depth of fertilization, percentage, velocity index and médium period of deedling raise, porductivity, final population, number of legumes per plant, number of grains per legume, and the wight of 100 grains. We also determinated the productions expenses, the ground profit, the liquid profit, and the internal rate of investment return, for the economical viability of the production. We verified that the oprational velocities and the depths of fertilization did not influence in the occurrence of regular spacement, double, and medium between the seedlings, in the precision index of the seeder, in the seedlings raise percentage, in the final population, in the number of legumes per plant, and in the number of grains per legume. However, the essays in which we used greater operational velocity and

higher fertilizing depth are statistically in the group of the essays with greater productivity and rentability.

Keywords: No-tillage. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Performance. Fuel consumption. Cost analysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. A cultura do feijão.....	15
2.2. Demanda energética.....	18
2.3. Plantio direto	20
2.4. Semeadoras-adubadoras	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Tratamentos e delineamento experimental	25
3.2. Caracterização da área experimental.....	26
3.1.2. Análise química e textural do solo.....	26
3.2.2. Matéria seca da cobertura vegetal	27
3.2.3. Teor de água e densidade do solo	27
3.2.4. Resistência do solo à penetração	29
3.3. Máquinas utilizadas.....	31
3.3.1. Trator.....	31
3.3.2. Semeadora-adubadora.....	33
3.4. Instrumentação do trator.	34
3.4.1. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora	34
3.4.2. Consumo de combustível	35
3.4.3. Patinagem dos rodados motrizes.....	36
3.4.4. Força de tração	36
3.5. Parâmetros operacionais obtidos indiretamente	39
3.5.1. Capacidade operacional.....	39
3.5.2. Tempo necessário à implantação da cultura	39
3.5.3. Demanda energética	39

3.5.3.1. Consumo de combustível por área trabalhada.....	39
3.5.3.2. Demanda total de energia do combustível.....	40
3.5.3.3. Demanda específica de energia.....	40
3.5.3.4. Eficiência de utilização do combustível	41
3.6. Avaliações pós-emergência e do desempenho da semeadora-adubadora.	41
3.6.1. Distribuição longitudinal de plântulas.....	41
3.6.2. Percentual de emergência de plântulas	42
3.6.3. Índice de velocidade de emergência	42
3.6.4. Tempo médio de emergência de plântulas.....	43
3.6.5. Índice de precisão da semeadora-adubadora	44
3.6.6. Espaçamento médio.....	45
3.6.7. Profundidade de deposição do fertilizante.....	45
3.7. Componentes agronômicos e produtividade	45
3.7.1. População final.....	45
3.7.2. Produtividade	45
3.7.3. Componentes de rendimento	45
3.8. Custos de produção do feijão.....	45
3.8.1. Custos das operações mecanizadas.....	46
3.8.1.1. Custos fixos.....	46
3.8.1.1.1. Depreciação	47
3.8.1.1.2. Juros sobre o capital investido	47
3.8.1.1.3. Abrigos e seguros.....	48
3.8.1.2. Custos variáveis	48
3.8.1.2.1. Reparos e manutenções	48
3.8.1.2.2. Lubrificantes.....	49

3.8.1.2.3. Mão-de-obra.....	50
3.8.1.2.4. Custo com combustível	51
3.8.1.3. Custo total das operações mecanizadas.....	51
3.8.2. Custo com insumos.....	51
3.8.3. Custo das operações manuais	52
3.8.4. Custo total de produção	53
3.9. Indicadores de eficiência econômica.....	53
3.9.1. Receita bruta.....	53
3.9.2. Receita líquida.....	53
3.9.3. Taxa interna de retorno	54
3.10. Teste de germinação, semeadura, fertilização e tratos culturais	54
3.11. Análise dos dados	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1. Demanda energética	57
4.1.1. Força de tração e potência demandada na barra de tração.....	57
4.1.2. Velocidade medida pelo radar.....	60
4.1.3. Patinagem	61
4.1.4. Capacidade operacional.....	64
4.1.5. Tempo de preparo da área.....	66
4.1.6. Consumo de combustível	68
4.1.7. Consumo específico de combustível	69
4.1.8.V Consumo de combustível por área trabalhada	71
4.1.9. Demanda total de energia	72
4.1.10. Demanda específica de energia.....	74
4.1.11. Eficiência no uso do combustível	76
4.2. Desempenho da semeadora-adubadora e desenvolvimento inicial da cultura...77	

4.2.1. Distribuição longitudinal de plântulas, espaçamento médio, índice de precisão da semeadora-adubadora	77
4.2.2. Profundidade real de deposição do fertilizante, porcentagem de emergência de plântulas, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência de plântulas	80
4.2.3.1. Componentes agronômicos.....	84
4.2.3.1. Produtividade.....	84
4.2.3.2. População final, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos.....	87
4.3. Custos de produção	89
4.3.1. Custos fixos	89
4.3.2 Custos variáveis	92
4.3.3. Custo total de produção	95
4.1.3.4. Receitas bruta, líquida e taxa interna de retorno	99
5. CONCLUSÕES	102
REFERÊNCIAS	104

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum é uma leguminosa, C3, pertencente à família Fabaceae e do gênero *Phaseolus L.*, sendo o *Phaseolus vulgaris*, a espécie mais antiga cultivada e utilizada no mundo. Os principais centros de domesticação da cultura são o México, regiões andinas do Peru e do Chile e na Colômbia.

Além das características nutricionais, o melhoramento genético conferiu a essas plantas diminuição do ciclo, tolerância ao déficit hídrico, à pragas e doenças, mudou a arquitetura das plantas, melhorando a produtividade, facilitando a colheita e o armazenamento. O feijão é também uma planta de autoconsumo, podendo ser consorciado com diversas outras culturas, possui relação simbiótica na fixação de nitrogênio, além de poder ser considerada uma atividade agrícola importante no quesito segurança alimentar e sustentabilidade.

O Brasil está entre os maiores produtores de feijão do mundo, participando ativamente da cadeia econômica mundial. O feijão cultivado durante todo o ano e em todas as regiões do país, por pequenos, médios e grandes produtores, gerando emprego e abastecendo o mercado ininterruptamente.

As dificuldades encontradas pelos produtores estão associadas principalmente a falta de assistência técnica, acesso à créditos e secas ou veranicos durante o ciclo.

Um dos maiores desafios da agricultura moderna é a obtenção da máxima eficiência energética, garantindo mesma produção com o uso mínimo dos insumos agrícolas.

A redução no número de operações mecanizadas e o uso racional dos insumos podem trazer diminuição dos custos de produção, redução de poluição ambiental sem, contudo, diminuir a produtividade das culturas.

Nesse sentido, a adoção do plantio direto pode ser uma opção viável, uma vez que essa prática conservacionista diminui o número de operações realizada por máquinas, diminui os gastos com combustível e conseqüentemente a entrada de recursos no ciclo produtivo. Além disso, o sistema de plantio direto confere vantagens ao produtor como melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo.

O sistema de plantio direto é considerado um sistema mais complexo que o sistema convencional de produção e exige maiores cuidados e conhecimentos técnicos para sua correta adoção e condução. Um dos maiores desafios dessa prática

está associado a compactação dos solos, rotação de culturas, produção e manejo da cobertura vegetal.

Quanto a semeadura independentemente do tipo de sistema adotado, é considerada uma das etapas mais importantes para o sucesso na produção, pois garantirá o estande adequado de plantas podendo interferir na produtividade final e rentabilidade da atividade. A semeadura é influenciada por diversos fatores como a velocidade operacional, tipos de mecanismos sulcadores, tipo de discos dosadores de sementes, profundidade de fertilização e deposição das sementes, cobertura vegetal dentre outros.

Como qualquer atividade produtiva, a forma de cultivo do feijão é baseada na eficiência técnica e econômica, sendo que os fatores que afetam a implantação, desenvolvimento e produtividade da cultura devem ser considerados quando se deseja trabalhar com a cultura.

Sendo assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a demanda energética, o desempenho da semeadora-adubadora, o desenvolvimento inicial, os componentes agrônômicos, a produtividade e os custos na produção de feijão-comum em sistema de plantio direto, variando a velocidade operacional e a profundidade de fertilização. Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a força de tração, potência demandada na barra de tração, velocidade operacional medida por radar, patinagem dos rodados, capacidade operacional, tempo de preparo da área, consumos horário, específico e por área trabalhada de combustível, demanda total e específica de energia e a eficiência no uso do combustível.
- Avaliar a distribuição longitudinal de plântulas, espaçamento médio, índice de precisão da semeadora-adubadora, profundidade real de deposição do fertilizante, a porcentagem, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência de plântulas.
- Avaliar a produtividade, população final, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e o peso de 100 sementes.
- Avaliar as receitas bruta e líquida e a taxa interna de retorno dos diferentes tratamentos analisados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do feijão

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa muito reconhecida como fonte de proteína, carboidratos e minerais, principalmente ferro, sendo um alimento importante no fator segurança alimentar e no combate à desnutrição. Além de sua importância nutricional, a cultura tem forte influência socioeconômica, devido ao seu amplo cultivo e por gerar emprego e renda durante todo o ciclo. O feijão é cultivado em quase todos os estados do Brasil, incorporando diferentes sistemas, níveis tecnológicos e épocas de plantio (safra 'das águas', 'da seca'; de outono-inverno' e 'inverno-primavera'), estando o alimento disponível durante todo o ano segundo as informações de Moura & Brito (2015).

A planta tem origem na América Latina e teve três centros de domesticação, dois com maior expressividade, que se deram no México e regiões andinas do Peru e Chile e o terceiro, com menor expressividade na Colômbia. Devido a diversidade de ambientes de cultivo, o feijão foi dividido em seis raças e doze grupos gênicos que são baseados no porte da planta, hábito de crescimento, altitude e precipitação (EMBRAPA, 2021).

O feijão é classificado como pertencente à família Fabaceae e gênero *Phaseolus* L., sendo o *Phaseolus vulgaris*, a espécie mais antiga cultivada e também mais utilizada no mundo todo, além de ser cultivado em todos os continentes (Santos et al., 2015).

As fases de desenvolvimento dessa planta são divididas em fases vegetativas e fases reprodutivas, sendo essas subdivididas em dez etapas (V0; V1; V2; V3; V4 e R5; R6; R7; R8; R9). Essas fases vão desde a germinação (V0) até a maturação (R9) onde as vagens descolorem, as folhas passam pelo amarelecimento e posterior queda e quando as sementes perdem umidade. (EMBRAPA, 2018).

Durante o ciclo da cultura, as fases V4 e R8 são as mais longas e que apresentam maiores riscos quanto às condições edafoclimáticas. Segundo Mota & Zahler (1994), a temperatura ótima para o ciclo é de 21 °C. A demanda hídrica do ciclo é de 250-350 mm de água (EMBRAPA, 2018). Questões ligadas à umidade do ar devem ser observadas principalmente para ciclos irrigados a fim de controlar doenças foliares.

Quanto a fertilidade, o feijoeiro é uma planta exigente devido ao ciclo curto e ao sistema radicular superficial e pouco desenvolvido, sendo importante a pronta disponibilidade dos nutrientes (EMBRAPA, 2018). Qualquer limitação logo após a germinação pode comprometer o rendimento final (ANDRADE et al., 2015). A fertilização da cultura deve ser feita conforme recomendação agrônômica para diferentes regiões e tipos de solo. Para se ter êxito com a cultura é preciso durante o ciclo também fazer o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças visto que as condições do país são altamente propícias a ocorrência dos mesmos (PAULA JÚNIOR et al., 2015).

As pragas mais frequentes do feijoeiro podem atacar as folhas, as flores e as vagens, comprometendo o desenvolvimento das plantas. São elas: a cigarrinha (*Empoasca kraemeri* Ross & Moore); as lagartas (*Elasmopalpus lignosellus* Zeller e *Agrotis ipsilon* Hufnagel); os ácaros (*Tetranychus urticae* Koch e *Polyphagotarsonemus latus* Banks); a mosca-branca (*Bemisia tabaci* Gennadius e *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring), transmissora do vírus do mosaico dourado (*Bean golden mosaic virus* - BGMV); e as vaquinhas (*Diabrotica speciosa* Germar e *Lagriá vilosa* Fabr.). As principais doenças causadas por fungos no feijoeiro são a Mancha-Angular (*Pseudocercospora griseola*); a Antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*); a Ferrugem (*Uromyces phaseoli*); o Mofo-Branco (*Sclerotinia sclotiorum*) e a Podridão-Radicular (*Fusarium solani* e *Rhizoctonia solani*). O Crestamento-Bacteriano-Comum é causado pela bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. e, para os vírus tem-se o Mosaico-Dourado (*Bean golden mosaic vírus*) e o Mosaico comum (*Bean common mosaic vírus*) (EMBRAPA, 2021; QUINTELA & BARBOSA, 2015; PAULA JÚNIOR et al, 2015).

A Produção mundial de feijão no ano de 2021 foi de 27.715.023,7 toneladas com uma área de 35.920.593 hectares. A Ásia foi responsável por 43,3% dessa produção, seguida pela América com 27,5%, depois África com 26,8%, Europa com 1,5% e a Oceania com 0,9%. O maior produtor mundial é a Índia, com os últimos dados relatando uma produção de 6.120.000 toneladas de grãos, seguido pelo Brasil 2.899.864 toneladas e Myanmar com 2.483.070,28 toneladas (FAO, 2023). Vale ressaltar que esses valores são para o ano de 2021, sendo que os três maiores produtores mundiais variam no decorrer dos anos entre esses três países.

O Brasil exportou em 2021, 153.450,61 toneladas de feijão e importou 83.106,78 toneladas. Os maiores exportadores são Myanmar, seguido pelos Estados

Unidos, Argentina, Canadá e China. E os maiores importadores são a Índia, China, Estados Unidos, México e Itália (FAO, 2023).

Os maiores consumidores per capita do grão são Ruanda com 34,13 kg hab⁻¹, seguidos por Uganda com 22,65 kg hab⁻¹, Nicarágua 21,4 kg hab⁻¹, El Salvador 17,32 kg hab⁻¹, Brasil 16,07 kg hab⁻¹ e Cuba 15,49 kg hab⁻¹ (FAO, 2023).

No Brasil, a média da produção é de 1.051 kg ha⁻¹, produção total de aproximadamente 2.900.000 toneladas. Os estados de Minas Gerais e Paraná são responsáveis por aproximadamente 40% da produção nacional (CONAB, 2023).

A maior parte do feijão produzido no Brasil é feito por pequenos e médios agricultores e com baixo nível tecnológico, sendo a escassez ou má distribuição das chuvas, o fator limitante para um baixo rendimento médio da cultura. Porém, a possibilidade de cultivar o feijão em terceira e quarta épocas de plantio ('outono-inverno' e 'inverno-primavera') incentivou o interesse de produtores com maior nível tecnológico (BORÉM & CARNEIRO, 2015).

Segundo a EMBRAPA (2021), as dificuldades encontradas por pequenos produtores estão ligadas à assistência técnica, nível tecnológico e dificuldade de manejar e controlar pragas e doenças, secas e veranicos em fases determinantes (V4 e R8), dificuldade de acesso a créditos o que leva muitas vezes a obtenção de baixas produtividades.

O preço do feijão sofre grandes flutuações, porém é um produto viável financeiramente para pequenas produções, além de manter a estabilidade de oferta no país (CONAB, 2023).

A produção de feijão é uma ótima opção para pequenos agricultores uma vez que é um alimento para autoconsumo garantindo certo grau de segurança alimentar (COSTA et al., 2015). Os autores também destacaram vantagens na produção da cultura como: possuir ciclo curto, poder fazer o plantio consorciado com outras culturas, garantindo diversidade de produção, pela colheita manual ser viável, pela possibilidade de secagem dos grãos ao sol, pela não obrigatoriedade de maquinário para o beneficiamento e por ter facilidade de comercialização da produção excedente.

Além das inúmeras informações já consolidadas quanto a ser um alimento saudável, por possuir proteínas, fibras, minerais, bioativos que mitigam doenças cardiovasculares, hipertensão, dentre outras, Uebersax et al., (2023) enfatizaram na sua revisão sobre a importância que a produção do feijão possui para a sustentabilidade agrícola global e segurança alimentar, vantagens que a cultura

possui nesse sentido, como: ciclo curto, consórcio com outras culturas, serem plantas com fixação simbiótica de nitrogênio, terem passado por melhoramento genético garantindo tolerância à déficit hídrico, à pragas e doenças, terem modificado a arquitetura da planta melhorando a produtividade e a colheita, facilidade de armazenamento e perdas pós-colheita relativamente baixas. Por fim os autores afirmaram que os aspectos inerentes da produção do feijão, tanto para pequenos quanto para grandes produtores, contribuem significativamente para a sustentabilidade global e segurança alimentar.

2.2. Demanda energética

A agricultura é um sistema de produção que exige maior demanda energética quando comparada a outros setores econômicos (ESKANDARI, 2023). Os processos mecanizados nas lavouras como a semeadura e a colheita são amplamente utilizados na agricultura e tem importante impacto no consumo de energia (IMRAN et al., 2020).

Segundo Nassir et al., (2021) os consumos de energia nos sistemas agrônômicos podem ser divididos em processos realizados antes do plantio, após o plantio e após a colheita. Os consumos de energia antes do plantio são aqueles ligados a construção de máquinas e insumos agrícolas e a energia utilizada para instalação e abastecimento de água. Os consumos pós plantio incluem a energia consumida no preparo do solo, aplicação de insumos e para a colheita. Já o consumo pós-colheita inclui a energia consumida com transporte, embalagem e armazenamento dos produtos.

A demanda energética do setor agrícola deve-se ao uso de cultivares de alto rendimento, alta aplicação de fertilizantes, defensivos agrícolas e ao uso da mecanização (Eskandari, 2023; Eskandari & Mosavian, 2023). Segundo esses autores a avaliação do consumo de energia dos sistemas agrícolas deve ser amplamente analisada para adoção de medidas que tornem o uso de insumos mais eficientes, diminuindo a energia de entrada e aumentando a energia de saída. Destacaram o uso de sementes de alta qualidade, cultivos mínimos, plantio direto, consórcio e rotação de culturas como métodos para aumentar a eficiência dos sistemas.

Nassir et al., (2021) avaliaram a energia consumida em relação a entrada e saída de energia na produção de trigo, cevada e aveia e observaram que a irrigação foi responsável pelo maior consumo de energia, seguida pelo combustível utilizado

para as operações com o trator e as colhedoras, sendo a cultura da cevada a que obteve maior eficiência energética, seguida pelo trigo e cevada.

Segundo Özgöz et al. (2017) o preparo do solo é a operação agrícola com maior requerimento energético, sendo a escolha do sistema a ser adotado e sua época de execução de fundamental importância para a preservação do meio ambiente.

De acordo com Sarauskis et al., (2017) o consumo de combustível nas operações agrícolas depende do tipo solo, profundidade de trabalho e da velocidade de operação. Estes autores sugeriram mensurar o consumo de combustível por área trabalhada como um indicador de comparação entre diferentes sistemas de preparo do solo para a escolha mais atrativa a ser adotada em relação ao consumo de energia e redução dos custos das operações individuais e da produção total.

Menor número de operações é uma forma de diminuir as entradas de energia nos sistemas agrícolas. Eskandari & Attair (2015) compararam o balanço energético da semeadura direta do arroz com o transplântio e concluíram que o plantio direto aumenta a eficiência energética e a sustentabilidade na produção do arroz, uma vez que esse sistema apresentou menor consumo de óleo diesel, eletricidade, irrigação, mão-de-obra e energia total.

A avaliação energética também foi estudada por Lal et al. (2019) que observaram na substituição da semeadura convencional pelo plantio direto uma redução no aporte de energia em 56% na produção do milho, Lu et al. (2018) observaram diminuição de 28,7% no trigo de inverno e Ali et al. (2018) encontraram uma redução de 29% na entrada de energia para a produção do feijão fava. Esses autores observaram que a redução no número de operações mecanizadas, além de diminuir a demanda energética e ser mais eficiente energeticamente foi capaz de produzir feijão em condições de sequeiro com elevado rendimento e qualidade.

Sarauskis et al. (2020) compararam o plantio direto com a semeadura convencional com diferentes profundidades de aração na produção de feijão e concluíram que o plantio direto teve maior eficiência energética ($84.800 \text{ MJ ha}^{-1}$), emitiu menor quantidade de gases causadores do efeito estufa e consumiu menor quantidade de combustível sem comprometer a produtividade.

Nesse sentido, Feitosa (2018) avaliou diferentes métodos de preparo e teores de água no solo para o plantio da cebola. A autora observou maior consumo de combustível, demanda total de energia e demanda específica de energia para os sistemas de semeadura que utilizavam maior número de operações mecanizadas.

Diferentes métodos são utilizados para avaliar a demanda energética das máquinas agrícolas, sendo a 'demanda total de energia' ou 'taxa total de intensidade de energia do combustível', sugerida por Mileusnic et al. (2010) uma forma de calcular a quantidade total de energia requerida em uma operação agrícola através do consumo de combustível. Sendo essa, uma forma eficaz de contabilizar por meio do poder calorífico e densidade do combustível o quanto os implementos e máquinas agrícolas contribuem para a demanda energética da implementação e condução das lavouras.

2.3. Plantio Direto

O sistema de plantio direto consiste basicamente na semeadura sem o preparo do solo em área total. Segundo Cruz et al. (2001) os princípios para utilização dessa prática são a mobilização mínima e local do solo para a semeadura; rotação de culturas; controle químico de plantas invasoras e uso de semeadoras equipadas com elementos capazes de cortar a palhada sobre solo e fazer a abertura do sulco para deposição de sementes e fertilizantes.

Os mesmos autores destacaram que a qualificação da mão-de-obra quanto ao manejo de pragas, doenças, plantas invasoras, manutenção da cobertura vegetal assim como conhecimento na fertilização e operação das máquinas irão determinar o sucesso da adoção dessa prática conservacionista. Juntamente a isso, a sistematização do terreno, correção da acidez do solo e eliminação de camadas compactadas devem ser trabalhadas antes da adoção do plantio direto. Outra informação relevante abordada pelos autores é a substituição da utilização da energia mecânica do preparo do solo, provinda de energia não renovável (óleo diesel) utilizado em sistemas convencionais por produtos químicos (energia química) no controle de plantas infestantes.

Os objetivos do sistema de plantio direto são a redução do custo de produção, melhoria da qualidade e produtividade, recuperação da estrutura do solo e diminuição dos impactos ambientais gerados pela agricultura através redução no uso de máquinas (ARAÚJO & CAMELO, 2015).

Os desafios do plantio direto são a compactação do solo; diversificação, produção e entrada de matéria orgânica e seu corte; estratificação vertical dessa matéria e manejo de ervas daninhas (PEIXOTO et al., 2020). Os autores associaram tais desafios principalmente à implementação e gestão mal- conduzidas desse tipo de

sistema como a rotação inadequada de culturas, sucessão e consórcio; má construção da fertilidade do solo e tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade. Sugeriram ainda que uma forma de mitigar tais efeitos negativos para o sistema seja a adoção do preparo ocasional do solo, o que aumenta a produtividade em regiões com restrição hídrica e com solos com baixa capacidade de retenção de água, possibilita correção e fertilização do solo, aumenta o carbono da biomassa microbiana e reduz a compactação do solo.

Ao fazerem uma revisão bibliográfica a respeito do plantio direto, Salomão et al. (2020) concluíram que esse sistema através da rotação de culturas e da deposição dos resíduos vegetais sobre o solo, tem a capacidade de restaurar a biodiversidade, fertilidade e a estrutura dos solos através da decomposição palhada.

Em um experimento conduzido por Sequinatto et al. (2014) em uma área naturalmente degradada com elevado grau de compactação, foram feitos tratamentos com diferentes culturas de cobertura, profundidade de fertilização e condições de tráfego de máquinas. Os autores verificaram aumento da matéria orgânica do solo e de suas frações, diminuição da densidade do solo, aumento da macroporosidade e porosidade total do solo. Concluíram que áreas degradadas com elevado grau de compactação podem ter seus solos reestruturados atingindo qualidade física para o desenvolvimento da agricultura quando adotado o plantio direto.

Shakoor et al. (2021) analisaram cinquenta publicações revisadas por pares e concluíram aumento no rendimento da cevada em 43,76% e de 4,49 do trigo no plantio direto.

Já para Su et al. (2021a) a produtividade com plantio direto é controversa. Por isso utilizaram algoritmos de aprendizado de máquina com intenção de comparar os rendimentos dos cultivos convencionais com os do plantio direto. Os autores utilizaram dados da literatura disponíveis de 1980 a 2017 para oito culturas. A conclusão foi que o plantio direto no geral tem um menor rendimento quando comparado ao sistema convencional e que os plantios direto com rotação de culturas e cobertura residual tendem a ter maiores rendimentos do que quando esse sistema é conduzido sem adoção dessas práticas.

Esses mesmos autores, Su et al. (2021b), também trabalharam com dados da literatura de 1980 a 2020 para simular através de algoritmos de aprendizado de máquina a probabilidade de ganho no rendimento das culturas se fosse feita a mudança em todo o mundo do sistema convencional para o sistema de plantio direto.

Concluíram que o plantio direto possui 50% de chances de superar o cultivo convencional em área mais secas, que a retenção dos resíduos é a prática do plantio direto que tem maior impacto positivo na produtividade e que esse tipo de sistema é adequado se direcionada para regiões e culturas específicas e determinadas.

No Brasil o sistema de plantio direto foi introduzido na década de 70 principalmente devido a erosão causada pelo impacto das chuvas nos solos descobertos, desde então a adoção desse tipo de sistema tem aumentado (FERNANDES et al., 2019). Fato confirmado por Llanillo et al. (2020) que analisaram dados dos Censos Agropecuários de 2006 a 2017 do IBGE e observaram aumento de 17,9 para 33 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2023), correspondendo a um aumento de 51,2 para 61% na área total de lavouras no Brasil.

2.4. Semeadoras-adubadoras

A utilização de equipamentos para semeadura data a época dos persas e hindus sendo adotada pelos europeus apenas no final do século XVII. Em 1936 Joseph Locatelli de Corinto desenvolveu uma semeadora constituída de depósito cilíndrico de madeira, com eixo rotativo de conchas que jogavam a semente em tubos que conduziam as sementes até a superfície do solo. Em 1785 James Cook projetou uma semeadora cujo princípio chegou aos dias atuais sendo constituída por depósito de sementes, eixos e transmissões, tubos e sulcadores. A partir de então, diversos tipos de semeadoras surgiram no mercado, variando conforme a cultura e tipos de mecanismos dosadores, como é o caso das semeadoras pneumáticas que começaram a serem fabricadas e utilizadas com maior intensidade a partir de 1974 (BALASTREIRE, 1987).

As semeadoras são classificadas quanto a forma de distribuição, forma de acionamento, quanto ao tamanho das sementes, tipo de mecanismo dosador de sementes e quanto ao material dosador (BALASTREIRE, 1987).

A distribuição pode ser em linha (contínua, de precisão, em quadrados e em grupos) ou a lanço (aéreas e terrestres). O acionamento pode ser manual, de tração animal, motorizadas ou tratorizadas. Quanto ao tamanho das sementes é classificado para sementes miúdas ou graúdas. Para o mecanismo dosador de sementes, tem-se na semeadura em linha o disco perfurado vertical/horizontal/inclinado; cilindro canelado; correia perfurada; discos alveolados; orifício regulador e dosador pneumático. E para semeadura à lanço tem-se os tipos rotor centrífugo; canhão

centrífugo e difusor. Por fim, são classificadas como semeadoras aquelas máquinas onde apenas sementes são dosadas e depositadas no solo, semeadora-adubadoras máquinas que dosam e distribuem no solo sementes e fertilizantes e semeadora-adubadora-calcareadoras máquinas que além das sementes e fertilizantes também dosam e distribuem no solo calcário (BALASTREIRE, 1987).

Segundo Alonço et al. (2015) a semeadura é uma das etapas do ciclo que deve ser realizada com o máximo de qualidade e precisão uma vez que está associada ao rendimento das culturas.

Características na implantação, assim como no desenvolvimento e produtividade das culturas, são influenciadas pelo desempenho operacional das semeadoras-adubadoras.

Vários fatores são estudados para verificar tal fato, como por exemplo a velocidade de semeadura associada a profundidade de fertilização e deposição das sementes, tipo de mecanismo rompedor do solo, mecanismo dosador dentre outros.

Novak & Ransom (2018) fizeram o acompanhamento durante dois anos em trinta e oito campos semeados com a cultura do milho no estado de Dakota do Norte (EUA) e constataram que a velocidade de semeadura juntamente com o tipo de preparo do solo e os resíduos vegetais eram os principais fatores que afetavam a distribuição de plântulas.

Marques Filho & Ventura (2021) semearam a cultura do milho nas velocidades de 3; 5; 7 e 9 km h⁻¹ e observaram que o aumento da velocidade diminuiu o número de plantas emergidas, o estande final e a produtividade. Vasconcellos et al. (2018) utilizando velocidades de 6; 8; 10 e 12 km h⁻¹ no plantio direto do trigo concluíram que o aumento da velocidade influenciou negativamente a emergência das plântulas e a produtividade. A produtividade do milho e a uniformidade de semeadura também foram afetadas negativamente pelo aumento da velocidade segundo Fernandes et al. (2019). Ferreira et al. (2019) também observaram efeito significativo para população final e produtividade com o aumento dessa variável na semeadura.

Já Correia et al. (2020) encontraram maiores espaçamentos duplos e falhos e a diminuição dos espaçamentos aceitáveis com velocidades acima de 4,5 km h⁻¹ na semeadura da soja. Resultados semelhantes aos de Bertelli et al. (2016) que obtiveram a diminuição da uniformidade de semeadura com aumento de espaçamentos falhos ao testar as velocidades de 5, 6; 7; 8, 6 e 10 km h⁻¹. O mesmo resultado ocorreu com Cortez et al. (2020) com as velocidades de 3; 5; 7 e 9 km h⁻¹ e

Alonço et al. (2015) nas velocidades de 5; 7,5 e 10 km h⁻¹, ambos para a cultura do milho.

Além das velocidades de 5, 9; 7,2 e 8,6 km h⁻¹, Souza et al. (2019) também avaliaram a profundidade de 0,06 e 0,08 m para o plantio, com discos duplos e sulcador. Os autores constataram que o aumento da velocidade reduziu o número de sementes por metro, a germinação, o índice de velocidade de emergência e a população de plantas, já o sulcador trabalhando a profundidade de 0,08 m proporcionou maior germinação das sementes, população de plantas e profundidade de deposição das sementes, porém a distribuição longitudinal das plântulas não foi influenciada nem pela velocidade nem pela profundidade de corte no solo.

Orlando Junior et al. (2021) avaliaram o desempenho de uma semeadora-adubadora pneumática na semeadura do feijão variando o teor de água no solo e a profundidade de fertilização, os autores encontraram maior produtividade com fertilização à 0,11 m de profundidade e maior demanda energética da semeadura para solos mais secos.

A utilização de semeadoras pneumáticas combinadas juntamente com a variação da velocidade, foram testadas por Bottega et al. (2017); Alonço et al. (2015) e Cortez et al. (2020), que concluíram que menores velocidades proporcionam um estande mais uniforme de plântulas independentemente do mecanismo de distribuição das sementes. Segundo o último autor, esse tipo de semeadora permite que a operação seja realizada com maiores velocidades sem perder a qualidade na cultura. Bottega et al. (2017) concluíram que dosadores pneumáticos proporcionam também melhor estande e maior velocidade de emergência de plântulas quando comparados aos dosadores do tipo disco horizontal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área experimental pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada no município de Coimbra – MG (Figura 1). As coordenadas geográficas são 42°48' 47" longitude oeste, 20°51'48" latitude sul, com altitude média de 716 m. A região apresenta relevo montanhoso e seu clima é classificado, segundo Köppen (1948) como mesotérmico úmido (Cwa) com verão quente e inverno seco. A temperatura máxima média é de 26°C e a mínima média é de 14°C. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Câmbico (EMBRAPA, 2018).



Figura 1. Área experimental.

Fonte: Raquel Santana

3.1. Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi instalado em um esquema de parcelas subdivididas, em que nas parcelas foram dispostas quatro profundidades de fertilização $P1 = 0,05$; $P2 = 0,08$; $P3 = 0,10$ e $P4 = 0,13$ m e nas subparcelas quatro velocidades operacionais $V1 = 0,84$ (3 km h^{-1}); $V2 = 1,39$ (5 km h^{-1}); $V3 = 2,22$ (8 km h^{-1}) e $V4 = 2,78 \text{ m s}^{-1}$ (10 km h^{-1}). Os tratamentos foram constituídos pela combinação desses dois fatores, e dispostos no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, totalizando

64 unidades experimentais e 16 tipos de tratamento (Quadro 1). Cada subparela teve dimensão de 1,5 m de largura e 30 m de comprimento (45 m²).

Quadro 1. Tratamentos

Tratamentos	Descrição dos tratamentos
T1 – V1XP1	Velocidade de 0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m de profundidade
T2– V2XP1	Velocidade de 1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m de profundidade
T3– V3XP1	Velocidade de 2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m de profundidade
T4– V4XP1	Velocidade de 2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹)à 0,13 m de profundidade
T5 – V1XP2	Velocidade de 0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m de profundidade
T6– V2XP2	Velocidade de 1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m de profundidade
T7– V3XP2	Velocidade de 2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m de profundidade
T8– V4XP2	Velocidade de 2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹)à 0,08 m de profundidade
T9– V1XP3	Velocidade de 0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m de profundidade
T10– V2XP3	Velocidade de 1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,1 0m de profundidade
T11– V3XP3	Velocidade de 2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m de profundidade
T12– V4XP3	Velocidade de 2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹)à 0,10 m de profundidade
T13– V1XP4	Velocidade de 0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05m de profundidade
T14– V2XP4	Velocidade de 1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m de profundidade
T15– V3XP4	Velocidade de 2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m de profundidade
T16– V4XP4	Velocidade de 2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹)à 0,05 m de profundidade

3.2. Caracterização da área experimental

3.2.1. Análise química e textural do solo

Foram coletadas amostras simples nos quatro blocos na camada de 0,20 m e misturadas compondo uma amostra composta. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa e seguiram a metodologia descrita pela EMPRAPA (2011).

Os valores da análise química são apresentados na Tabela 1 e os da análise textural na Tabela 2.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	t	T	V	MO	P-Rem
H ₂ O	mg/dm ³		----- Cmol _c /dm ³ -----						%	dag/kg	Mg/L
5,72	18,9	104	2,28	1,44	3,2	3,99	3,99	7,19	55,5	3,63	32,6

Tabela 2. Resultado da análise textural do solo.

Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classificação textural	Tipo de solo
----- Kg/kg -----					
0,106	0,096	0,186	0,612	Muito argilosa	3

Os valores obtidos da análise química do solo foram interpretados conforme Alvarez et al. (1999). A acidez ativa do solo (pH) apresenta nível classificado quimicamente como média (5,1 – 6,0) e agronomicamente como boa (5,5 – 6,0). Os níveis de potássio disponível (K), magnésio trocável (Mg²⁺), soma de base (SB) e fósforo remanescente (P-Rem) foram classificados como bom. O cálcio trocável (Ca²⁺), a acidez potencial (H+Al), a saturação por base (V) média, a CTC efetiva (t), CTC em pH 7 (T) e a matéria orgânica (MO) apresentaram nível médio.

3.2.2. Material seca da cobertura vegetal

A matéria seca foi coletada antes da semeadura utilizando-se um quadro de madeira de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m). Foram coletadas dez amostras em cada bloco experimental, embaladas em sacos de papel e posteriormente secas em estufa a 65°C até atingir massa constante.

O valor encontrado foi de 3.357 kg ha⁻¹ com os restos culturais da cultura do milho anteriormente cultivado na área.

3.2.3. Teor de água e densidade do solo

Foram coletadas três amostras indeformadas de solo em cada bloco, nas camadas de e 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m de profundidade para análise do teor de água e da densidade do solo. Para a coleta foi utilizado um trado manual (Figura 2).

O teor de água no solo foi determinado pelo método gravimétrico padrão, em que o solo das amostras foi colocado em estufa a temperatura de 105 – 110°C por 24

horas. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme EMBRAPA (2017).



Figura 2. Trado manual utilizado para coleta de teor de água no solo e densidade.

Fonte: Raquel Santana

Os resultados podem ser vistos no Tabela 3, e esses foram resultados da média das amostras coletadas por parcela. Como esperado, a maiores profundidades tem-se maior teor de água no solo.

Tabela 3. Resultado do teor de água e densidade do solo.

Amostra	Teor de água no solo (kg/ kg)	Densidade do solo (kg/ dm³)
Parcela 1 (0 – 0,10 m)	0,17	1,50
Parcela 1 (0,10 – 0,20 m)	0,18	1,56
Parcela 2 (0 – 0,10 m)	0,17	1,50
Parcela 2 (0,10 – 0,20 m)	0,22	1,47
Parcela 3 (0 – 0,10 m)	0,13	1,62
Parcela 3 (0,10 – 0,20 m)	0,15	1,55
Parcela 4 (0 – 0,10 m)	0,15	1,46
Parcela 4 (0,10 – 0,20 m)	0,23	1,45

3.2.4. Resistência do solo à penetração

Foi utilizado um penetrômetro digital, marca Falker, modelo PenetroLOG-PLG 1020, equipado com uma ponta cônica com área de 129 mm², diâmetro de base 12,83 mm em conformidade com a norma ASAE S313.3 (ASABE STANDARDS, 2004) (Figura 3). Foram coletados aleatoriamente dez pontos em cada bloco, na profundidade 0,35 m, com os dados sendo coletados e armazenados em intervalos de 1 cm.



Figura 3. Resistência à penetração do solo da área experimental.
Fonte: Raquel Santana.

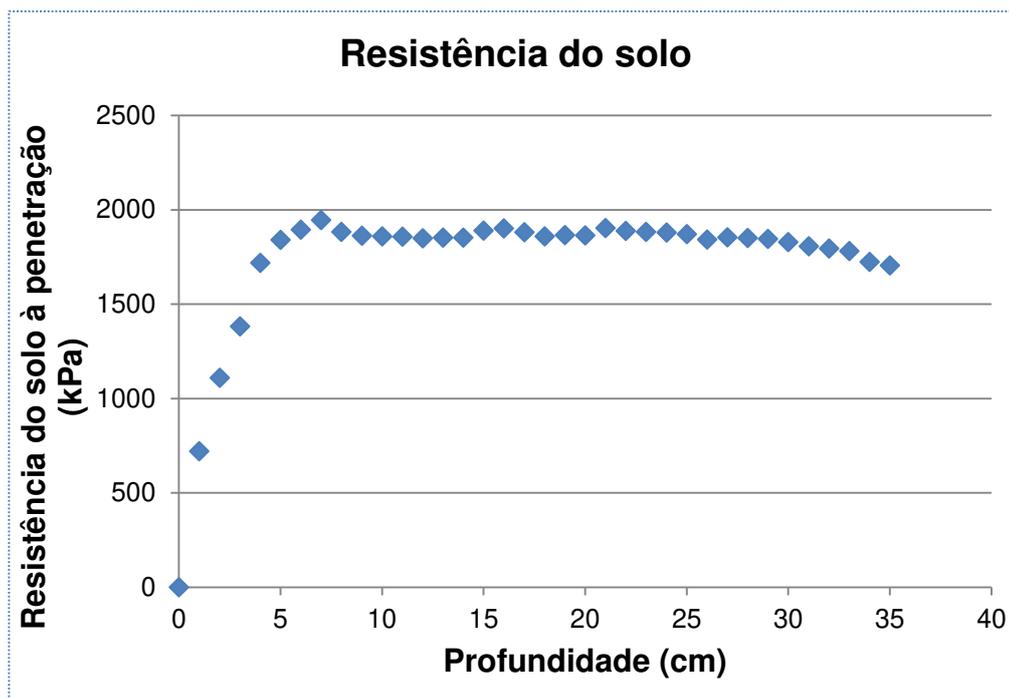


Figura 4. Resultado da resistência à penetração mecânica apresentada pelo solo na área experimental.

A resistência do solo à penetração variou de 0 – 2000 kPa, na faixa de 0 – 0,035 m de profundidade (Figura 4). Resistências do solo acima de 2000 kPa podem limitar o acesso e a absorção de água e nutrientes pelas raízes e comprometer o rendimento das culturas (TAVARES FILHO & TESSIER, 2009; GIRARDELLO et al., 2014). Contudo, a área experimental apresentou limites de resistência à penetração no limite, principalmente nas faixas de maior exploração pelas raízes.

3.3. Máquinas utilizadas

3.3.1. Trator

Foi utilizado um trator agrícola de pneus da marca John Deere®, modelo 5705 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar) com potência de 62,56 kW (85 cv) no motor a 2250 rpm, segundo a norma SAE J1995 (Figura 5 e Quadro 2).



Figura 5. Trator utilizado no experimento.

Fonte: Raquel Santana.

Quadro 2. Características técnicas do trator John Deere® 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
Relação peso/potência	498,29 kW N-1

Fonte: John Deere®

3.3.2. Semeadora-adubadora

Foi utilizada a semeadora-adubadora de precisão pneumática da marca Jumil®, modelo POP JM2670PD SH EX, com três linhas de semeadura, espaçadas a 0,5 m, e mecanismo para dosagem das sementes pneumática (Figura 6 e Quadro 3).



Figura 6. Semeadora-adubadora utilizada no experimento.

Fonte: Raquel Santana.

Quadro 3. 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 pneumático 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. Instrumentação do trator

Foi utilizado o sistema de aquisição de dados, Spider 8[®], da marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), comandado pelo software HBM Catman[®] 2.2. O sistema capta os sinais dos sensores e transdutores instalados no trator na frequência de 50 Hz (50 dados por segundo) e os transferem para um notebook embarcado no posto de operação do trator.

O sistema instalado coletou dados da velocidade operacional, consumo de combustível, patinagem, força de tração e potência disponível na barra de tração do conjunto trator-semeadora durante a operação de semeadura direta da cultura do feijão.

3.4.1. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora

A velocidade operacional em campo do trator, foi obtido com o uso de uma unidade de radar de efeito Doppler, marca Dickey John[®], modelo Radar II (Figura 7). O radar utilizado é capaz de medir velocidades entre 0,53 e 96,6 Km h⁻¹ e tem precisão de aproximadamente $\pm 3\%$ para os limites de velocidade utilizados no experimento.



Figura 7. Radar utilizado no experimento.

Fonte: Raquel Santana.

3.4.2. Consumo de combustível

Para medir o consumo de combustível dos tratamentos, foi instalado no sistema de alimentação do trator um medidor de fluxo volumétrico Flowmate Oval® M-III, modelo LSF41 que quantifica o consumo instantâneo de combustível com base na frequência de rotação das engrenagens (Figura 8).

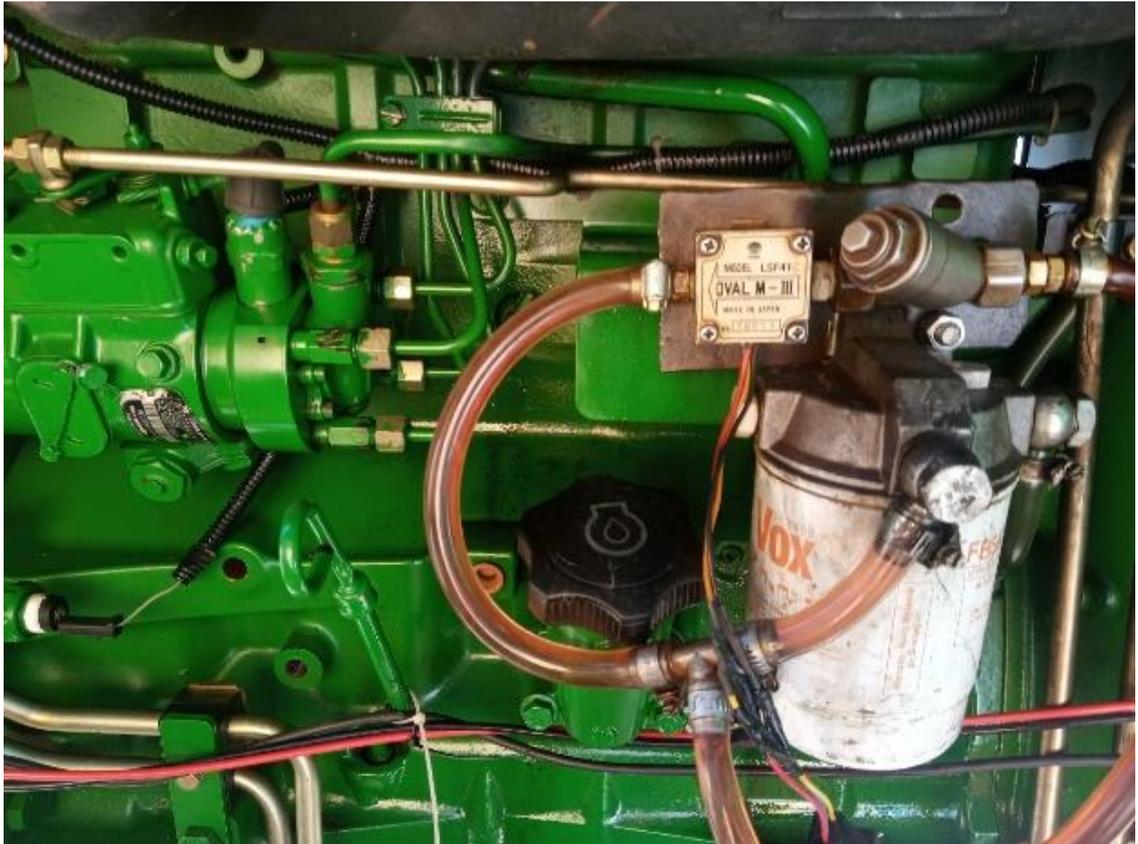


Figura 8. Medidor do fluxo volumétrico utilizado no experimento.

Fonte: Raquel Santana.

3.4.3. Patinagem dos rodados motrizes

A patinagem do trator foi obtida pela relação entre a velocidade rotacional e translacional dos rodados do trator. Foram instalados em uma roda dianteira e uma roda traseira transdutores indutivos da marca Autonics, modelo PRCM 18, cilíndrico, com distância de detecção de 5mm e 18 mm de diâmetro (Figura 9). Essa variável foi medida para caracterizar as condições de trabalho. A patinagem foi obtida por meio da Equação 1:

$$Pt = \frac{Vr - Vt}{Vr} \quad (\text{Equação 1})$$

em que,

P_{rm} = Patinagem das rodadoss motrizes (%);

V_r = Velocidade rotacional ($m\ s^{-1}$);

V_t = Velocidade translacional ($m\ s^{-1}$).



Figura 9. Transdutor indutivo utilizado no experimento.

Fonte: Raquel Santana.

3.4.4. Força de tração

A força de tração requerida pelo trator para tracionar a semeadora-adubadora montada no sistema de levante hidráulico nos diferentes tratamentos foi medida utilizando-se um esquema de comboio composto pelo conjunto mecanizado mais um trator utilizado para tracionar este conjunto (Figura 10). Nesse esquema, é feita a tração primeiramente do conjunto motomecanizado trator–semeadora-adubadora, e depois apenas do trator. Foi instalada uma célula de carga da marca Kratos (capacidade 50 kN) inserida entre os dois tratores (Figura 11).



Figura 10. Esquema de comboio utilizado no experimento.



Figura 11. Célula de carga utilizada no experimento.

3.5. Parâmetros operacionais obtidos indiretamente

3.5.1. Capacidade operacional

A capacidade operacional é a relação entre a área trabalhada por um conjunto mecanizado (largura de trabalho teórica x comprimento da parcela) e o tempo gasto para a realização da operação. A capacidade operacional foi calculada por meio da Equação 2.

$$C_o = \frac{A}{t} \quad (\text{Equação 2})$$

em que,

C_o = Capacidade operacional (ha h⁻¹);

A = Área trabalhada (ha);

t = Tempo gasto na execução da operação (h).

3.5.2. Tempo necessário à implantação da cultura

O tempo gasto para execução da semeadura por hectare em cada tratamento foi calculado como sendo o inverso da capacidade operacional efetiva, por meio da Equação 3.

$$T_a = \sum \frac{1}{C_o} \quad (\text{Equação 3})$$

em que,

T_a = Tempo necessário à implantação de um hectare de feijão em semeadura direta (h ha⁻¹);

C_o = Capacidade operacional (ha h⁻¹).

3.5.3. Demanda energética

3.5.3.1. Consumo de combustível por área trabalhada

O consumo de combustível por área trabalhada nos diferentes tratamentos foi calculado por meio da Equação 4.

$$C_a = \sum \frac{C_h}{C_o} \quad (\text{Equação 4})$$

em que,

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

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

C_o = Capacidade operacional ($ha h^{-1}$).

3.5.3.2. Demanda total de energia do combustível

Essa variável quantifica o total de energia necessária em uma operação. Ela é obtida a partir da relação entre o consumo de combustível ($L ha^{-1}$) e a quantidade de energia liberada pelo mesmo no processo de combustão, através do poder calorífico ($MJ kg^{-1}$) e da densidade do combustível ($kg L^{-1}$) (Equação 5). No presente trabalho foram utilizados os valores médios de poder calorífico inferior ($10100 kcal kg^{-1}$ ou $42,2594 MJ kg^{-1}$) e da densidade do Diesel ($0,8400 t m^3$ ou $0,8400 kg L^{-1}$), fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo para o ano de 2022 (ANP, 2022).

$$D_t = C_a D P_c \quad \text{(Equação 5)}$$

em que,

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

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

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

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

3.5.3.3. Demanda específica de energia

É a quantidade de energia efetivamente despendida para tracionar ou acionar máquinas e implementos, no caso, a quantidade de energia despendida para acionar a semeadora-adubadora. Também chamada de taxa de intensidade de energia, foi calculada pela relação entre a potência demandada na barra de tração e a capacidade operacional, conforme a Equação 6.

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

em que,

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

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

C_o = Capacidade operacional ($ha h^{-1}$).

3.5.3.4. Eficiência de utilização do combustível

A eficiência de utilização de combustível foi calculada segundo Mileusc et al. (2010) pela Equação 7.

$$E_c = \frac{D_e}{D_t} 100 \quad (\text{Equação 7})$$

em que,

E_c = Eficiência de utilização de combustível (%);

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

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

3.6. Avaliações pós-emergência e do desempenho da semeadora-adubadora

As avaliações do desempenho e pós emergência foram feitas após a estabilização da cultura. Foram analisados cinco metros de todas as linhas das unidades experimentais.

3.6.1. Distribuição longitudinal de plântulas

Os espaçamentos foram analisados em relação ao espaçamento de referência (X_{ref}), em classes de frequência (Quadro 4), que são apresentadas em porcentagem do total de espaçamentos, conforme adaptação proposta por Kurachi et al. (1989). O espaçamento de referência ($X_{ref} = 0,06 \text{ m}$) foi obtido conforme o número de sementes distribuído na linha da semeadura (Figura12).

Quadro 4. Limites de tolerância para as variações dos espaçamentos (X_i) entre semente e o tipo de espaçamento considerado.

Tipo de Espaçamento	Intervalo de tolerância para variação de X_i
Duplos	$X_i \leq 0,5 * X_{ref}$
Normais	$0,5 * X_{ref} < X_i \leq 1,5 * X_{ref}$
Falhos	$X_i > 1,5 * X_{ref}$

X_i = espaçamento entre sementes obtido a campo.

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

Fonte: Adaptado de KURACHI et al. (1989).



Figura 12. Medição da distribuição longitudinal das plântulas no campo.
Fonte: Raquel Santana.

3.6.2. Porcentagem de emergência de plântulas

A porcentagem de emergência de plântulas foi calculado por meio da Equação 8.

$$PEP = \frac{Np}{Ns} 100 \quad (\text{Equação 8})$$

em que,

PEP = Porcentagem de emergência de plântulas (%);

Np = Número de plantas emergidas;

Ns = Número de sementes viáveis distribuídas na linha de plantio pela semeadora.

3.6.3. Índice de velocidade de emergência

O índice de velocidade de emergência foi calculado pela equação adaptada de Maguire (1962), Equação 9 (Figura 13).

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n} \quad (\text{Equação 9})$$

em que,

IVE = Índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n = Número de plantas emergidas, na primeira, na segunda, ..., na última contagem;

N_1, N_2, N_n = Número de dias da semeadura, à, primeira, segunda, ..., última contagem.



Figura 13. Análise dos dias e do número plântulas emergidas até a estabilização da cultura.

Fonte: Raquel Santana.

3.6.4. Tempo médio de emergência de plântulas

O tempo médio de emergência foi calculado por meio da Equação 10, proposta por Edmond & Drapala (1958) (Figura 14).

$$N_m = \frac{E_1 N_1 + E_2 N_2 + E_n N_n}{E_1 + E_2 + E_n} \quad (\text{Equação 10})$$

em que,

N_m = Tempo médio de emergência (dias);

E_1, E_2, E_n = Número de plantas emergidas, na primeira, na segunda, ..., na última contagem;

N_1, N_2, N_n = Número de dias da sementeira, à, primeira, segunda, ..., última contagem.



Figura 14. Análise dos dias e do número plântulas emergidas até a estabilização da cultura.

Fonte: Raquel Santana.

3.6.5. Índice de precisão da semeadora-adubadora

O índice de precisão de distribuição das sementes da semeadora-adubadora foi calculado por meio da Equação 11, sugerida por Kachman & Smith (1995).

$$I_p = \frac{S}{X_{ref}} 100 \quad (\text{Equação 11})$$

em que,

I_p = Índice de precisão (%);

S = Desvio padrão dos espaçamentos aceitáveis (cm);

X_{ref} = Espaçamento de referência (cm).

3.6.6. Espaçamento médio

O espaçamento médio foi determinado pela média aritmética do total de espaçamentos.

3.6.7. Profundidade real de deposição do fertilizante

Foram realizadas dez leituras, com régua graduada em centímetros, em todas as linhas das unidades experimentais logo após a semeadura e determinado o valor médio.

3.7. Componentes agronômicos e produtividade

3.7.1. População final

Trinta dias após a semeadura foi feita a contagem do número de plantas nos cinco metros das linhas centrais de cada unidade experimental. Os valores obtidos serviram para estimar a população final de plantas por hectare de cada tratamento empregado.

3.7.2. Produtividade

Quando o feijão atingiu a maturação fisiológica (87 dias após a semeadura) foram colhidos nas linhas centrais de todos os tratamentos cinco metros para estimar a produtividade (aproximadamente 70 plantas). As plantas foram secas naturalmente até atingir umidade de aproximadamente 13%. Os resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

3.7.3. Componentes de rendimento

Após a colheita e secagem das plantas de feijão, foram contabilizados o número de vagens por planta; o número de grãos por vagem e o peso de 100 grãos para cada tratamento.

3.8. Custos de produção do feijão

O custo de produção da cultura do feijão foi estimado contabilizando-se as despesas envolvidas no ciclo desde a semeadura até a colheita. Foram consideradas as despesas com as operações mecanizadas e a irrigação, manuais e com os insumos agrícolas.

3.8.1. Custo das operações mecanizadas

Os custos com as máquinas agrícolas e com o sistema de irrigação podem ser divididos em custos fixos, que são aqueles que independem da quantidade do uso da máquina (número de horas trabalhadas) e em custos variáveis, que são os custos que dependem da intensidade de utilização da máquina.

Os custos fixos são depreciação, juros sobre o capital investido e abrigos e seguros. Já os custos variáveis são os feitos com reparos e manutenções, lubrificantes, mão-de-obra e combustível.

Os cálculos para o trator e a semeadora-adubadora foram feitos por meio de dados disponibilizados pela CONAB (2010) no que se refere a vida útil em anos, vida útil em horas e no valor residual das máquinas (Quadro 5).

Para os cálculos com o sistema de irrigação, foi adotado o valor de R\$ 20.000,00 para aquisição do sistema, e o custo da lâmina de água (mm) juntamente com a energia elétrica foi de R\$ 2,00. Foi considerado o consumo de 15 mm/ semana, com irrigação por aspersão durante 9 semanas. Nesse caso os custos fixos incluem a depreciação e os juros sobre o capital investido. Já os custos variáveis, utilizou-se o custo operacional (gasto com energia elétrica, mão-de-obra e água de irrigação) e pelo custo com a manutenção (5% do valor inicial do sistema), segundo Marouelli & Silva (2011) (Quadro 5).

Quadro 5. Valores de aquisição, vida útil e valor residual das máquinas utilizadas.

Máquinas	Valor de aquisição (R\$)	Data da aquisição	Vida útil (anos)	Trabalho anual (horas)	Valor Residual (%)
Trator John Deere	91.182,00	2009	10	1000	20
Semeadora-adubadora	25.000,00	2013	5 - 10	200	20
Sistema de irrigação por aspersão	20.000,00	—	—	—	5 % do Valor inicial

3.8.1.1. Custos fixos

3.8.1.1.1. Depreciação

A depreciação está associada com o desgaste natural da máquina à medida que está envelhece e com o surgimento de novas máquinas, tornando a máquina usada obsoleta.

A depreciação foi calculada pelo método linear (ASABE, 2011a) por meio da Equação 12.

$$D = \frac{V_a - V_r}{V_u} \quad (\text{Equação 12})$$

em que,

D = Depreciação (R\$ h⁻¹);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$);

V_r = Valor residual ao final da vida útil (R\$);

V_u = Vida útil (anos).

3.8.1.1.2. Juros sobre o capital investido

Também chamado de custo de oportunidade, os juros são o valor que o capital empatado na aquisição das máquinas poderia render em uma conta bancária. Os juros e o investimento médio em máquinas foram calculados segundo Painter (2011) pela Equação 13 e pela Equação 14.

Foi considerada uma taxa anual de juros aplicada ao Programa Moderfrota para o ano de 2021/2022 de 8,8 % a.a. (Brasil, 2021).

$$J = i \frac{(IMM)}{H_a} \quad (\text{Equação 13})$$

em que,

J = Juros sobre o capital investido (R\$ h⁻¹);

i = Taxa de juros (decimal);

IMM = Investimento médio na máquina (R\$);

H_a = Número estimado de horas trabalhadas por ano (h).

$$IMM = \frac{V_a + V_r}{2} \quad (\text{Equação 14})$$

em que,

IMM = Investimento médio na máquina (R\$);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$);

V_r = Valor residual ao final da vida útil (R\$).

3.8.1.1.3. Abrigos e seguros

Os custos com abrigos e seguros, são a parcela de gastos destinados a conservação contra intempéries, roubos e acidentes (Equação 15).

A ASABE (2011a) recomenda a adoção de valores de 0,75% a.a. para abrigos e 0,25% a.a. para seguros.

$$A/S = \frac{(T_A + T_S) V_a}{H_a} \quad (\text{Equação 15})$$

em que,

A/S = Custo de abrigos e seguros (R\$ h⁻¹);

T_A = Taxa referente a abrigo (decimal);

T_S = Taxa referente a seguro (decimal);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$);

H_a = Número estimado de horas de trabalho por ano (h).

3.8.1.2. Custos variáveis

3.8.1.2.1. Reparos e manutenções

À medida que se aumenta o número de horas trabalhadas pelas máquinas, geralmente tem-se aumento nos custos com os reparos e manutenções das mesmas.

Esses custos foram calculados segundo a ASABE (2011a) pela Equação 16, levando em consideração a estimativa dos custos totais de todas as peças de reposição, materiais e mão-de-obra para manter a máquina trabalhando em boas condições.

Os fatores de reparo e manutenção (RF1 e RF2) foram baseados na norma ASAE D497 (ASABE, 2011b), sendo RF1 de 0,003 para o trator e 0,32 para a semeadora-adubadora e o RF2 de 0,32 para o trator e 2,1 para a semeadora.

$$CRM = \frac{(RF1) V_a \left[\frac{h}{1000} \right]^{(RF2)}}{h} \quad \text{Equação (16)}$$

em que,

CRM = Custo de reparo e manutenção (R\$ h⁻¹);

$RF1$ e $RF2$ = Fatores de reparo e manutenção (ASAE D497);

V_a = Valor de aquisição da máquina (R\$);

h = Uso acumulado da máquina (horas).

3.8.1.2.2. Lubrificantes

Para o cálculo dos custos com lubrificantes do trator considerou-se despesas com lubrificantes líquidos usados nas trocas periódicas e com o consumo de graxa. Os custos dos óleos e da graxa foram feitos multiplicando-se os consumos estimados pelos preços dos produtos. O consumo de graxa calculado para o trator e para a semeadora-adubadora foi de 0,05 kg h⁻¹ e 0,03 kg h⁻¹ respectivamente.

O consumo de óleo lubrificante foi estimado por meio da Equação 17 (MIALHE, 1974), e os pontos de lubrificação do trator, as especificações dos lubrificantes recomendados, volumes utilizados, intervalos de trocas e preço dos óleos são apresentados no Quadro 6.

$$COL = \frac{\left(\frac{h}{It} \right) Q}{h} \quad \text{Equação (17)}$$

em que:

COL = Consumo de óleo lubrificante (L h⁻¹);

h = Uso acumulado da máquina (horas);

It = Intervalo de troca de óleo (horas);

Q = Quantidade de óleo necessária (L).

Quadro 6. Características relacionadas à lubrificação do trator

Local	Especificações	Volume (L)	Intervalo de troca (h)	Custo*
Motor	SAE 15W40	13,00	500	24,30 (R\$ L ⁻¹)
Caixa de câmbio, tomada de potência, transmissão final, freios, sistema hidráulico de levantamento e direção hidráulica	Óleo multifuncional	66,00	500	20,75 (R\$ L ⁻¹)
Eixo dianteiro – diferencial	SAE 90	5,50	500	15,00 (R\$ L ⁻¹)
Eixo dianteiro – reductor planetário (cada lado)	SAE 90	0,75	500	15,00 (R\$ L ⁻¹)
Ponto de lubrificação com graxa	Graxa a base de lítio NGLI Nº2	Conforme necessidade	500	25,10 (R\$ kg ⁻¹)

(Fontes: John Deere®; valores referentes à julho de 2021)

3.8.1.2.3. Mão-de-obra

Para os custos com a mão-de-obra foram considerados o salário mensal do tratorista, benefícios e encargos pagos pelos empregadores.

Foi considerado o salário mensal básico do ano de 2022 no valor de R\$ 1.212,00, para os encargos e benefícios trabalhistas utilizou-se o percentual de 41,59% (CONAB, 2010), considerando 44 horas de trabalho semanais.

O custo do operador foi determinado por meio da Equação 18.

$$CMT = \frac{(S * 12) (1 + E)}{NS HS} \quad \text{Equação (18)}$$

em que,

CMT = Custo da mão de obra do tratorista (R\$ h⁻¹);

S = Salário mensal do tratorista (R\$);

E = Encargos e benefícios trabalhistas (decimal);

NS = Número de semanas do ano (44);

HS = Horas semanais trabalhadas.

3.8.1.2.4. Custo do combustível

O custo com combustível foi calculado como sendo os valores do consumo médio horário, medidos pelo fluxômetro instalado no sistema de alimentação do trator. O valor do Diesel em agosto de 2022 utilizado nos cálculos segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022) foi de R\$ 6,93. Os custos com combustível foram calculados por meio da Equação 19.

$$C_{comb} = C_h P_d \quad \text{Equação (19)}$$

em que,

C_{comb} = Custo do combustível usado nas operações mecanizadas (R\$ h⁻¹);

C_h = Consumo horário de combustível (L h⁻¹);

P_d = Preço de revenda do óleo Diesel n (R\$ L⁻¹).

3.8.1.3. Custo total

O custo da semeadura foi feito por meio da área cultivada pelo valor da capacidade operacional, sendo os custos totais para implantação dos diferentes tratamentos feito pela soma dos custos fixos mais os custos variáveis mais os gastos com a irrigação.

3.8.2. Custos dos insumos

Os custos com sementes, fertilizantes e defensivos usados no experimento são mostrados no Quadro 7.

O custo individual foi estimado multiplicando-se o valor dos produtos pela quantidade usada, e o custo total (R\$ ha⁻¹) por meio do somatório de todos esses gastos.

Quadro 7. Insumos, quantidades e preços dos insumos agrícolas utilizados no experimento.

Produto	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo (R\$)
Fertilizante NPK 8-28-16	400 kg/ha	285reais – 50 kg	1140,00
Glyphosate	2 L/ha (plantio) 1 1L/ha (controle)	110 reais – 1L	330,00
Flex 250	700 ml (15dap)	105 reais – 1L	77,00
Fusilade 250 EW	1L (plantio) 1L (15 dap)	140 reais – 1L	280,00
CoMo 10	250 ml/ha	210 reais – 1L	105,00
Proclaim 50	250 ml/ha (2 vezes)	620 reais – 1kg	310,00
Frowncide 500 SC	1L/ha (mofo branco)		
Sementes	70 kg	12 reais – 1kg	840,00
Custo total com insumos = R\$ 3.512,00			

3.8.3. Custos das operações manuais

As operações manuais realizadas durante o ciclo da cultura ocorreram nas pulverizações de herbicidas, fungicida, inseticida, fertilizantes e na colheita.

O custo da mão-de-obra foi calculado com base em diárias necessárias para a realização dessas atividades.

A diária na região é negociada pelo tamanho da área e tipo de tarefa a ser executada.

Foram feitas seis aplicações de defensivos agrícolas, e considerou-se meia diária para cada aplicação, totalizando três diárias no valor de R\$80,00 cada.

O custo para operação de colheita foi calculado com base no valor cobrado pelos metros lineares colhidos. Considerando que 1 hectare possui 20.000 metros lineares, baseado no espaçamento da cultura, e que os trabalhadores cobram o valor de R\$ 80,00 a cada 2.400 metros lineares de plantas colhidas, o total de diárias para a colheita da cultura foi de 8,33 diárias para a colheita de um hectare.

Os custos com as operações manuais foram feitos por meio da Equação 20.

$$C_{OM} = (C_{DA} + C_C) \quad \text{Equação (20)}$$

em que,

$$C_{OM} = \text{Custo total das operações manuais (R\$ ha}^{-1}\text{);}$$

C_{DA} = Custo da mão-de-obra para aplicação de defensivos, (R\$ ha⁻¹);

C_C = Custo da mão-de-obra para colheita (R\$ ha⁻¹).

3.8.4. Custo total de produção

Os custos totais de produção de um ciclo da cultura do feijão, foram estimados por meio do somatório dos custos com as operações mecanizadas, mais os custos com as operações manuais e com os insumos agrícolas. O custo individual da saca foi estimado dividindo-se o custo total de produção por hectare pelo número de sacas obtido no hectare.

3.9. Indicadores de eficiência econômica

3.9.1. Receita bruta

A receita bruta foi calculada com base no preço médio pago pela saca de 60 kg de feijão no estado de Minas Gerais (CONAB, 2022), que foi correspondente a R\$316,00 a saca paga ao produtor.

3.9.2. Receita líquida

A receita líquida para um ciclo de produção é o valor obtido pelos produtores descontando os custos totais de produção e foi determinada por meio da Equação 21

$$RL = RB - CP \quad \text{(Equação 21)}$$

em que,

RL = Receita líquida por ciclo da cultura (R\$ ha⁻¹);

RB = Receita bruta por ciclo da cultura (R\$ ha⁻¹);

CP = Custo total da produção de feijão (R\$ ha⁻¹).

3.9.3. Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) é usada na análise de viabilidade econômica, e corresponde a uma medida percentual do rendimento sobre o capital inicial investido na produção da cultura. Essa taxa permite igualar o valor investido na implantação da cultura com os retornos que a mesma trará no futuro ao ser comercializada. Quanto maior esse percentual, melhor o tratamento em relação às questões monetárias ou seja, maior será a sua rentabilidade.

A TIR foi calculada por meio da Equação 22. Considerou-se um ciclo da cultura ($n = j = 1$)

$$\sum_{j=0}^n RB_j (1 + TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n CP_j (1 + TIR)^{-j} \quad \text{Equação (22)}$$

em que,

TIR = Taxa interna de retorno (%);

RB = Receita bruta anual (R\$ ha⁻¹);

CP = Custo total de produção (R\$ ha⁻¹);

n = Número total de ciclos;

j = ciclo em que a receita ou o custo ocorreram.

3.10. Teste de germinação, semeadura, fertilização e tratos culturais

Antes da semeadura foi feito o teste de germinação das sementes utilizadas no experimento. Esse teste foi feito com quatro repetições de 50 sementes, utilizou-se papel germitest umedecido com água destilada na proporção 2,5:1 (massa de água e massa do papel) e colocadas em um germinador à temperatura de 25 °C.

Os valores obtidos no teste foram de 87% de germinação segundo as recomendações de BRASIL (2009).

Foi realizada aplicação pré-plantio no dia 15 de março de 2021 com os herbicidas Glyphosate e Fusilade 250 EW para eliminação de plantas invasoras e posterior implantação da cultura.

A semeadura direta foi feita no dia 18 de março de 2021. A fertilização foi feita com 400 kg ha⁻¹ do formulado NPK 8 – 28 – 16, com a profundidade variando conforme os tratamentos utilizados. As sementes foram depositadas a uma profundidade de aproximadamente 0,04 m, com a semeadora-adubadora regulada para depositar 15 sementes/metro, para obtenção de um estande de aproximadamente 260.000 plantas. A cultivar usada foi a BRSMG Marte, adaptada para diversos estados do Brasil e época de plantio (água, seca e inverno). As plantas possuem porte ereto, forma da semente elíptica, semente vermelha e brilhante, hábito de crescimento tipo II – indeterminado, tempo médio de floração de 34 dias, flores brancas, 78 dias em média da emergência à maturação (MAPA, Registro Nacional de Cultivares – RNC, 2023).

Foi aplicado durante nove semanas a irrigação por aspersão de 15 mm de água para germinação e desenvolvimento da cultura.

A aplicação de fertilização foliar de cobalto (Co) e molibdênio foi feita assim que se formou a primeira folha trifoliada das plantas. Aplicou-se na mesma época Glyphosate e Flex 250 para controle de plantas invasoras.

A floração ocorreu aproximadamente no dia 25 de abril de 2021 (38 d.a.s.).

Foi feita aplicação de prevenção com Frowncide 500 SC para controle do mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e feita aplicação de reforço 15 dias depois. Usou-se Proclaim 50 para controle da lagarta – mede – palmo (*Rachiplusia nu*).

A colheita foi feita no dia 16 de junho (87 d.a.s.) quando a cultura atingiu a maturação fisiológica.

Os insumos agrícolas utilizados e seus respectivos consumos e preços são apresentados no Quadro 7 (Item 3.8.2.)

3.11. Análise dos dados

Os dados foram analisados por meio da metodologia da Superfície de Resposta. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste 't', adotando-se o nível de até 10% de probabilidade no coeficiente de determinação ($R^2 = \frac{SQ_{reg}}{SQ_{trat}}$), e no fenômeno em estudo. Foi utilizado também o critério de Scott Knott ao nível de 5% para avaliação dos custos de produção, ambas as análises foram feitas pelo programa SAEG 9.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Demanda energética

4.1.1. Força de tração e potência demandada na barra de tração

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização influenciaram significativamente a força de tração (F_t) e a potência demandada na barra de tração (F_{bt}) para tracionar a semeadora-adubadora (Figuras 15 e 16).

$$\widehat{F}_t = 5148,21 + 361,073^{**}VEL + 72688,4^{**}PROF$$

$$R^2 = 0,9859$$

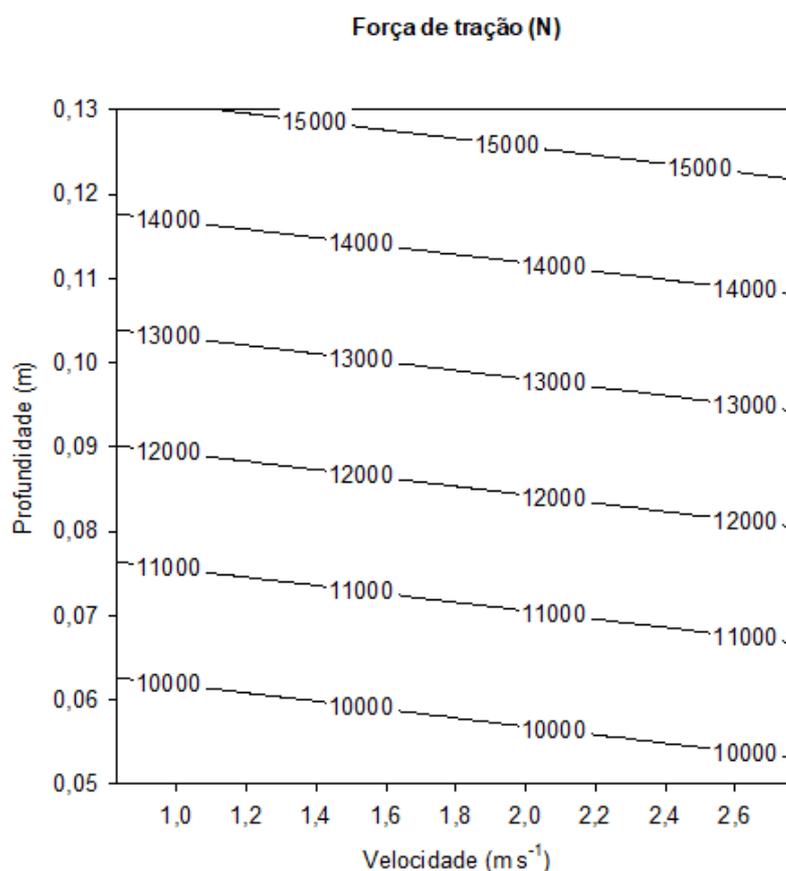


Figura 15. Força de tração (F_t) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)** - Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

$$\widehat{Pbt} = -2,56288 + 7,6789**VEL + 75,8263**PROF$$

$$R^2 = 0,954783$$

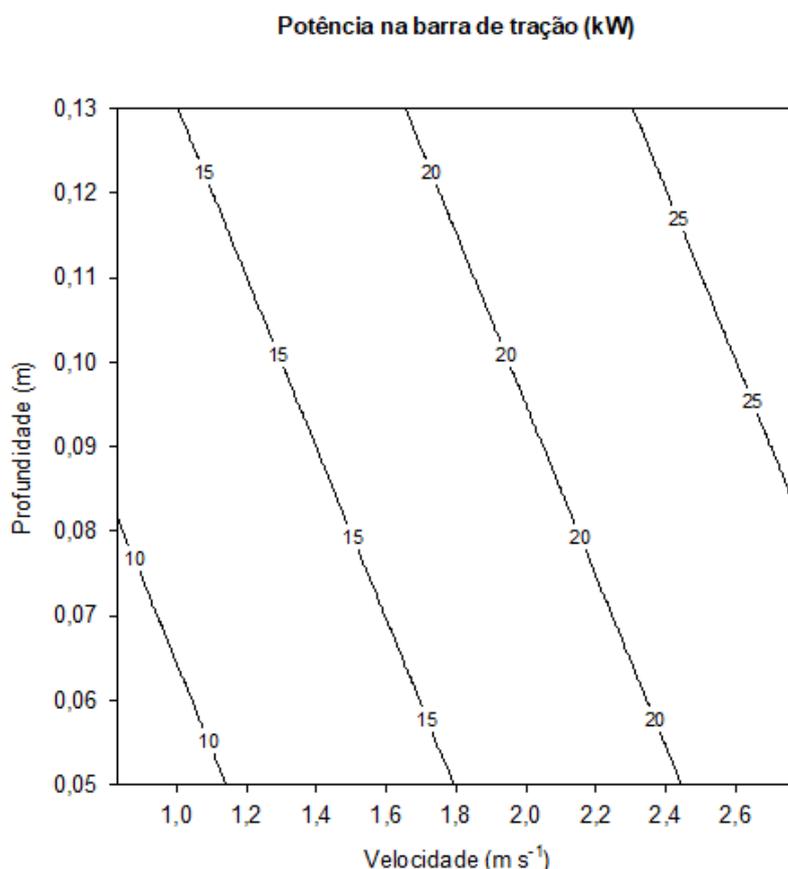


Figura 16. Potência demandada na barra de tração (Pbt) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)** - Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional, há um aumento médio da Ft de 361,073 N e de 7,68 Kw na Pbt, ou, a cada $1 km h^{-1}$ ocorre um aumento médio de 101,1 N na Ft e 2,15 Kw na Pbt. O mesmo vale para o aumento da profundidade, em que quando manteve-se a velocidade fixa, a cada uma unidade de variação, ocorreu o aumento médio 72688,4 N da Ft e 75,8263 Kw na Pbt, ou a cada 1 cm de profundidade ocorreu um aumento médio de 726,884 N e 0,758263 Kw.

O comportamento semelhante das variáveis se deve ao fato da potência da barra de tração ser calculada multiplicando-se a força de tração pela velocidade operacional, logo maior velocidade, maior potência demandada.

Resultados parecidos com o do presente estudo foram encontrados por Francetto et al. (2016a; 2016b) que avaliaram as velocidades de 4; 6; 7,9 e $10 km h^{-1}$,

combinada com dois os sulcadores do tipo haste e diferentes mecanismos de corte e avaliaram a demanda de tração considerando a profundidade de trabalho e a área de solo mobilizada, os autores concluíram que independente das combinações, o requerimento de tração e potência aumentam com o aumento da velocidade operacional.

Santos et al. (2016) estudaram o desempenho do conjunto moto-mecanizado no plantio de milho em função de dois mecanismos de fertilização (disco duplo e haste) e de três velocidades operacionais (4,7; 6,3 e 8,2 km h⁻¹) e encontraram resultados significativos para a força de tração requerida tanto para a velocidade quanto para o tipo de mecanismo, sendo que a haste demandou maior energia com a maior velocidade, assim como a potência requerida na barra de tração.

Nesse sentido Macedo et al. (2016) avaliando a potência requerida na barra de tração de uma semeadora-adubadora pneumática acoplada ao sistema de três pontos do trator e a qualidade da semeadura do milho em função da profundidade de trabalho (5, 10 e 15 cm) e de duas velocidades operacionais (4,8 e 6,8 km h⁻¹) encontraram maior requerimento de potência conforme aumento da velocidade e da profundidade, contudo a força de tração foi significativa apenas para a profundidade.

Ao avaliar a demanda energética, os parâmetros de mobilidades do solo e rendimento do milho em função da profundidade dos sulcadores (6,5; 9,5; 12,5 e 15 cm) com dois tipos de cobertura, Müller et al. (2019) encontraram maior força de tração para maiores profundidades de trabalho. Tricae et al. (2016) variando a profundidade do sulco de 9 para 15 cm também observaram maior requerimento da força de tração com o aumento da profundidade de trabalho. Trentin et al. (2018) avaliaram a demanda de potência de dois mecanismos sulcadores (disco duplo e haste) no plantio direto da soja com uma semeadora de cinco linhas em um argissolo com diferentes compactações e concluíram que a haste proporciona maior profundidade e abertura do sulco exigindo maior força de tração e potência.

Para fins de comparação com a norma ASABE D497.7 Cavalcante et al. (2019) realizaram estudo da modelagem multinível da força da tração exigida por semeadoras-adubadoras com base nos dados de tração disponibilizados na literatura em função das características do solo, restos culturais (cobertura), resistência a penetração, profundidade, velocidade e configurações. Os autores concluíram que o modelo proposto para prever a força de tração tem influência de variáveis como densidade do solo, restos culturais, profundidade de trabalho e velocidade, sendo que

o modelo proposto, segundo esses autores, apresentou menor erro quando comparado aos valores de tração sugeridos pela ASABE D494.7.

4.1.2. Velocidade operacional medida pelo radar

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização influenciaram significativamente velocidade de deslocamento registrada pelo radar (V_r) (Figura 17).

$$\widehat{V_r} = 0,648612 + 0,587831**VEL - 2,63163**PROF$$

$$R^2 = 0,9613$$

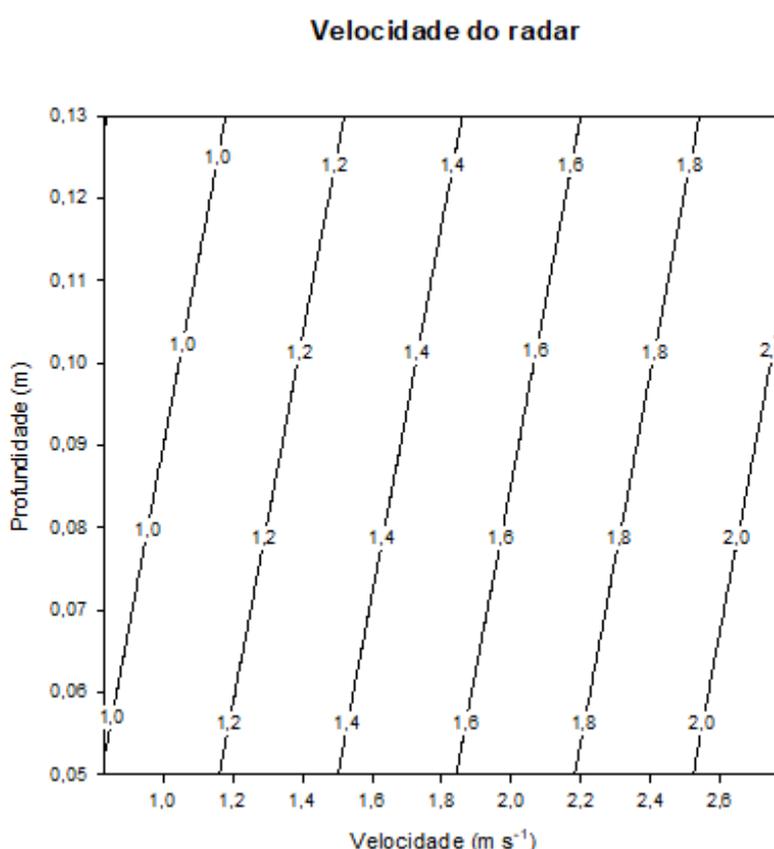


Figura 17. Velocidade do radar (V_r) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)**- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há um aumento médio da V_r de $0,587831 m s^{-1}$ ($2,16 km h^{-1}$), ou, a variação de $1 km h^{-1}$ ocorreu um aumento médio de $0,16 m s^{-1}$ ($0,576 km h^{-1}$). Já quando ocorre o aumento da profundidade e manteve-se a velocidade fixa, a cada uma unidade de variação, ocorreu a diminuição média de $2,63163 m s^{-1}$ ($9,47 km h^{-1}$),

ou, a cada 1 cm de variação na profundidade ocorreu a diminuição média de 0,0263 m s⁻¹ (0,094 km h⁻¹).

Tais resultados estão coerentes, uma vez que o aumento da velocidade pelo conjunto representa efeito positivo sobre o deslocamento, já em relação a diminuição da velocidade registrada conforme o aumento da profundidade, está relacionada a maior força e potência demanda pela operação, ou seja, maiores demandas, exigiram maior esforço do motor para o deslocamento.

Amorim et al. (2019) observaram efeito positivo no deslocamento do conjunto trator-semeadora trabalhando com as velocidades de 3, 9; 4,9 e 7 km h⁻¹ e diferentes pressões nos rodados.

Nicolau et al. (2022) ao semear milho com diferentes sulcadores e coberturas vegetais, concluíram que o mecanismo tipo haste, como o utilizado no experimento, apresentou maiores profundidades de trabalho, demandando maior força e potência apresentando menor velocidade operacional.

4.1.3. Patinagem

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização influenciaram linearmente a patinagem dos rodados traseiros (PATt) e dianteiros (PATd) do trator (Figuras 18 e 19).

$$\widehat{PATt} = -9,27936 + 1,90891**VEL + 138,41**PROF$$

$$R^2 = 0,93$$

Patinagem do rodado traseiro (%)

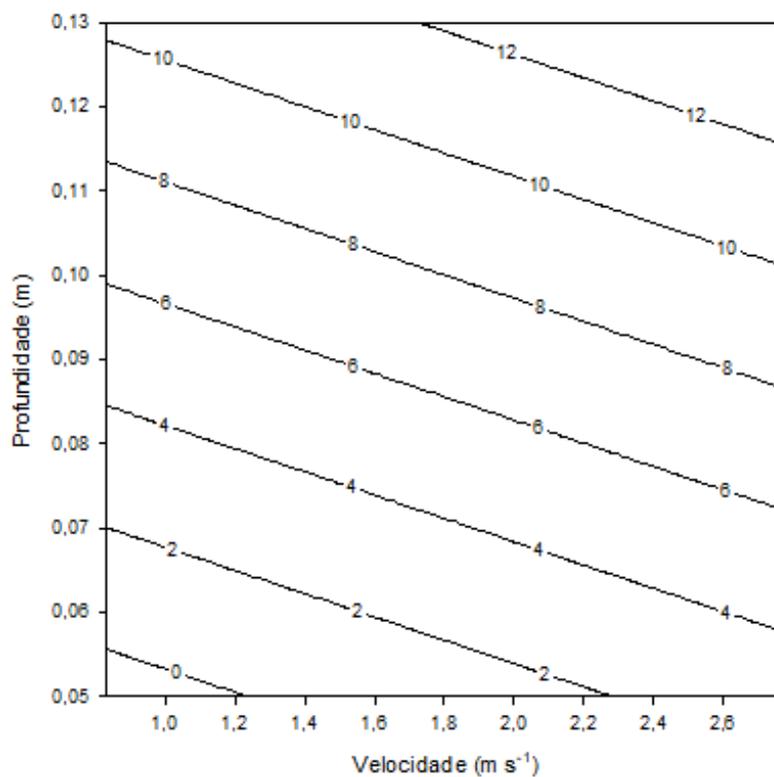


Figura 18. Patinagem do rodado traseiro (PATt) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)** - Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

$$\widehat{PATd} = -7,99162 + 1,72884**VEL + 127,878**PROF$$

$$R^2 = 0,9457$$

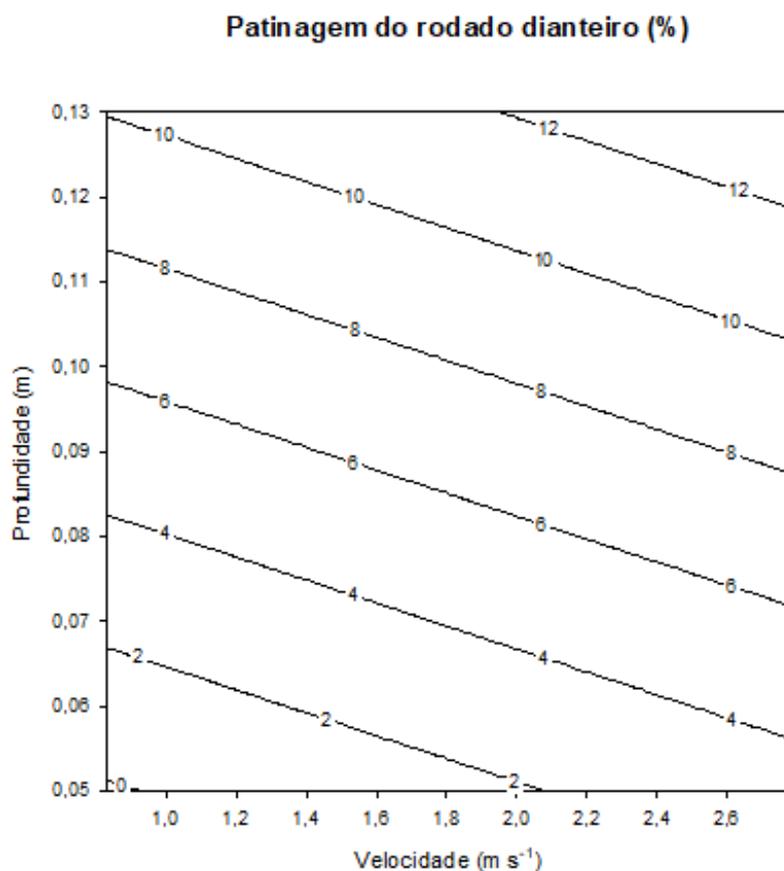


Figura 19. Patinagem do rodado dianteiro (PATd) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)**- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há um aumento médio das PATt e PATd de 1,9% e 1,7%, ou, a cada 1 $km h^{-1}$ que varia na velocidade ocorre aumento médio de 0,532% na PATt e 0,476% na PATd. Quando manteve-se a velocidade fixa, a cada uma unidade que varia na profundidade de fertilização, tem-se o aumento de 138% da PATt e 127% da Pat dianteira, ou, a cada 1 cm de profundidade ocorreu um aumento médio de 1,38% e 1,27% respectivamente.

Os pneus utilizados no experimento eram do tipo diagonal. Para esse tipo de pneus, a máxima eficiência de tração é obtida entre 8 – 10%. Valores abaixo disso, significam que o trator está trabalhando com sobrepeso, e valores acima disso,

significam falta de lastro para conferir maior estabilidade na operação. Os valores das médias foram, PATt = 6,63% e PATd = 6,64%. Esses valores estão abaixo da faixa ideal, o que significa que o trator trabalhou com sobrepeso. O trator estava lastrado com massas de ferro fundido na dianteira do trator e nos rodados traseiro com 75% do volume preenchido com água. Para obtenção de melhores resultados, a retirada dos lastros dos pneus traseiros poderia melhorar a relação da patinagem dos rodados para a semeadura e diminuir o consumo de combustível.

Apesar do aumento da velocidade e profundidade terem aumentado a patinagem dos rodados, o aumento das variáveis tendeu a fazer com que o conjunto trator-semeadora trabalhasse com maior eficiência de tração.

Aridhee et al. (2020) trabalhando com dois tipos de tratores, nas velocidades de 4,2 e 6,5 km h⁻¹, e profundidades de 15 e 20 cm, também encontraram efeito significativo da patinagem com o aumento dessas variáveis. Assim como Almaliki et al., (2021) que, com intuito de desenvolver modelos matemáticos para modelagem e previsão de patinagem em condições operacionais de campo, testaram as velocidades de 1,95; 3 e 5,5 km h⁻¹, profundidades de aração de 10; 15; 20 e 25 cm e concluíram que tanto o aumento da velocidade de operação quanto o aumento da profundidade de trabalho aumentaram em 187 e 116% a patinagem dos rodados.

Leite et al. (2017) encontraram maior patinagem dos rodados diagonais, dianteiros e traseiros quando aumentaram a velocidade operacional de 4 para 8 km h⁻¹, associado a diferentes pressões internas e tipo de construção dos pneus.

4.1.4. Capacidade operacional

A velocidade operacional aumentou a capacidade operacional (Co) da operação de semeadura, enquanto a profundidade teve efeito contrário (Figura 20).

$$\widehat{Co} = 0,350251 + 0,317429**VEL - 1,42108**PROF$$

$$R^2 = 0,9613$$

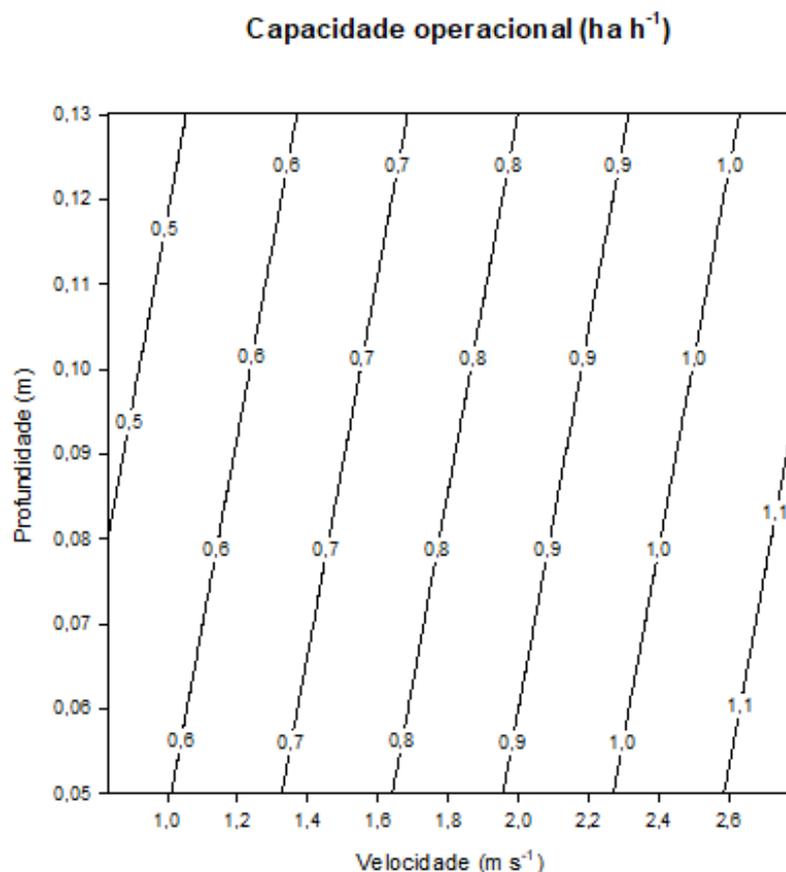


Figura 20. Capacidade operacional (Co) em função da velocidade operacional ($m\ s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)**- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há um aumento médio da capacidade operacional de $0,31\ ha\ h^{-1}$, ou, a variação de $1\ km\ h^{-1}$ aumentou em média $0,0868\ ha\ h^{-1}$ a Co . O contrário aconteceu quando se mantém a velocidade fixa e variou uma unidade na profundidade de fertilização, diminuindo a Co em $1,42\ ha\ h^{-1}$, ou, a cada variação de $1\ cm$ de profundidade ocorre a diminuição média de $0,0142\ ha\ h^{-1}$ da Co .

Era esperado que maiores velocidades aumentassem a Co , uma vez que essa é calculada em função do tamanho da área pelo tempo gasto para a realização da operação, maiores velocidades, conseqüentemente diminuem o tempo de execução. Em relação a profundidade, maiores profundidades demandaram maiores força de tração e de potência, o que influenciou negativamente a velocidade de operação e conseqüentemente o tempo de preparo da área (Figura 27), diminuindo a Co .

Nicolau et al. (2022), avaliaram o desempenho operacional e energético do conjunto trator-semeadora na semeadura do milho em função de dois mecanismos sulcadores e quatro tipos de cobertura vegetal. Os autores observaram que maiores velocidades de deslocamento eram obtidas com o uso de discos e aumentaram a capacidade operacional. Já o uso da haste, aumentavam a profundidade de trabalho, a força de tração e potência demandada para a semeadura, diminuindo a velocidade de operação e conseqüentemente a capacidade operacional.

Assim como no presente estudo, Orlando Júnior (2019) avaliou a demanda energética da semeadura do feijão em relação a profundidade de fertilização e teores de água no solo e também observou menor C_o conforme aumento na profundidade de fertilização.

Souza e Fernandes (2020) avaliaram as capacidades teórica e efetiva, assim como a eficiência de campo de todas as operações na produção de milho para silagem e concluíram que operações e implementos que necessitavam de maior tempo para abastecimento de insumos, preparo de calda e apresentaram menor capacidade operacional teórica e efetiva e conseqüentemente menor eficiência de campo.

4.1.5. Tempo de preparo da área

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização tiveram efeito significativo para tempo de preparo da área (T_{prep}) (Figura 21).

$$\widehat{T_{prep}} = 0,00959935 - 0,0023834**VEL + 0,0100485**PROF$$

$$R^2 = 0,9975$$

Tempo de preparo (h ha⁻¹)

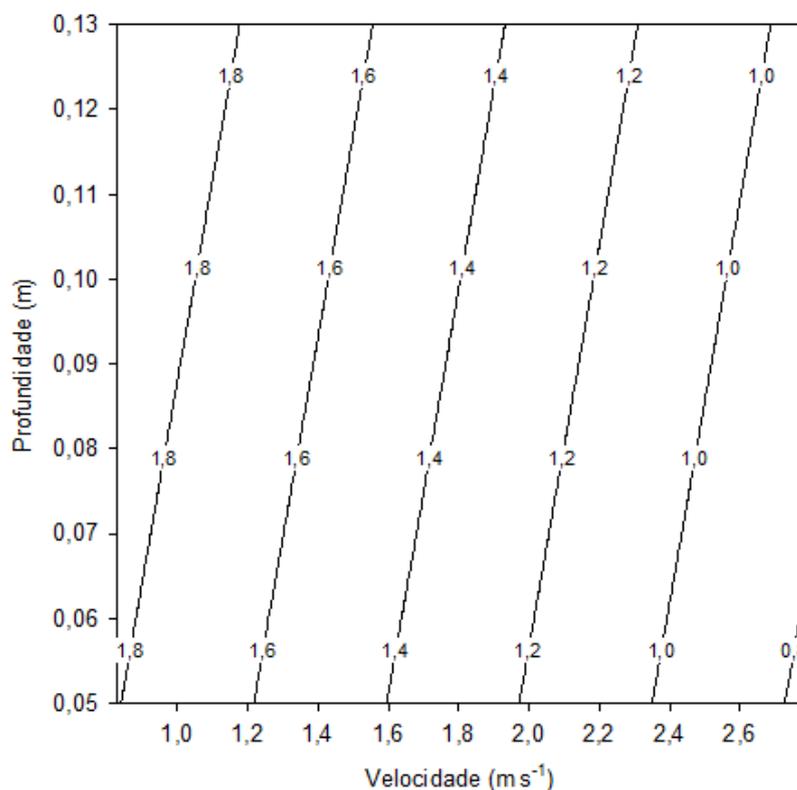


Figura 21. Tempo de preparo da área (T_{prep}) em função da velocidade operacional ($m\ s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)**- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há uma diminuição média do tempo de preparo da área de $0,0023\ h\ ha^{-1}$, ou, a cada variação de $1\ km\ h^{-1}$ ocorreu uma diminuição de $0,000644\ h\ ha^{-1}$ no T_{prep} . E o contrário acontece quando se mantém a velocidade fixa e varia uma unidade na profundidade de fertilização, aumentando o tempo de preparo em $0,01\ h\ ha^{-1}$, ou, a cada $1\ cm$ na variação da profundidade ocorreu o aumento de $0,0001\ h\ ha^{-1}$ no T_{prep} .

Esses resultados estão de acordo com o esperado, já que o T_{prep} por hectare em cada tratamento foi calculado como sendo o inverso da capacidade operacional, ou seja, maior capacidade operacional (Co), menor tempo de preparo da área. Em relação ao aumento da profundidade de fertilização, maiores profundidades demandaram maior força de tração, potência na barra de tração, geraram menor velocidade operacional.

4.1.6. Consumo de combustível

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização tiveram efeito significativo para o consumo de combustível (Cc) (Figura 22).

$$\widehat{Cc} = 0,350251 + 2,68411**VEL + 19,0929**PROF$$

$$R^2 = 0,9329$$

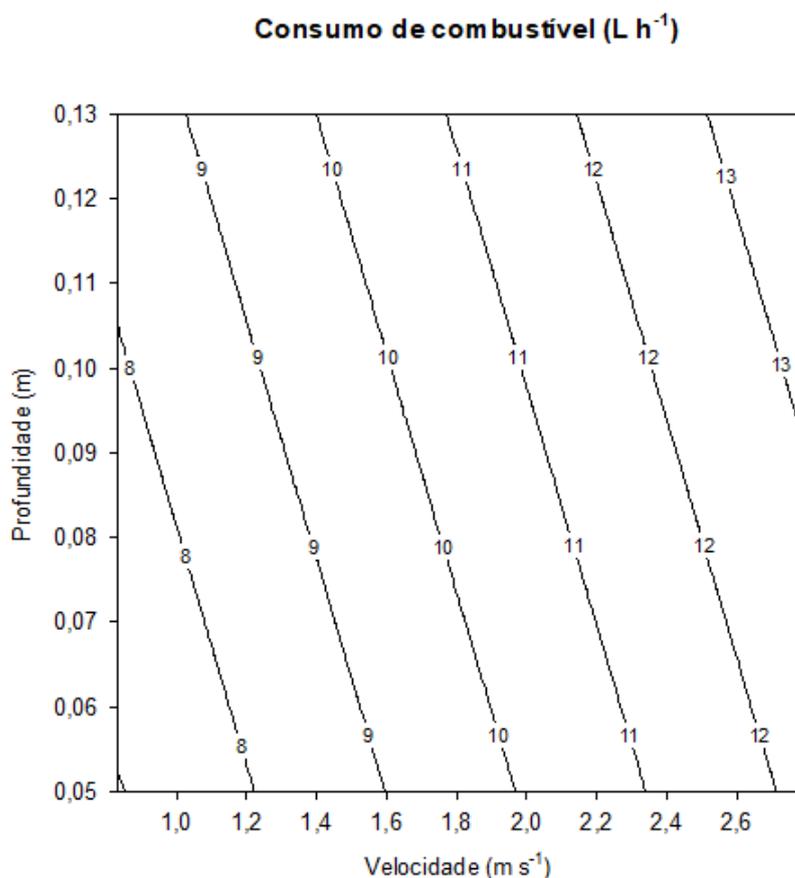


Figura 22. Consumo de combustível (Cc) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)** - Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há um aumento médio do consumo de combustível de 2,68 L ha⁻¹, ou, a variação de 1 km h⁻¹ ocorreu um aumento médio de 0,7504 L ha⁻¹. Quando se manteve a velocidade fixa e variou uma unidade na profundidade de fertilização, o consumo aumentou em 19 L ha⁻¹, ou, a variação de 1 cm de profundidade aumentou em média o Cc com 0,19 L ha⁻¹.

Esses resultados eram esperados, uma vez que o aumento da velocidade e da profundidade, demandaram maior força de tração e de potência na barra de tração e patinagem dos rodados, sendo assim, ocorreu um aumento na taxa de alimentação

do combustível para assegurar que a semeadura ocorresse dentro dos parâmetros estabelecidos.

Šarauskis et al. (2020) semearam feijão fava com cinco tipos de preparo do solo variando a profundidade de trabalho e encontraram redução de 9,8 – 50,8% no consumo horário de combustível quando diminuíram a profundidade de operação.

Aridhee et al. (2020) trabalhando com dois tipos de tratores, nas velocidades de 4,2 e 6,5 km h⁻¹, e profundidades de 15 e 20 cm, também encontraram aumento do consumo de combustível com o aumento das variáveis.

Maior consumo de combustível com o aumento da velocidade também foi constatado por Santos et al. (2016) quando semearam milho nas velocidades de 4,7; 6,3 e 8,2 km h⁻¹ e mecanismos sulcadores do tipo disco duplo e haste.

Já Macedo et al. (2016) avaliaram profundidades de 5, 10 e 15 cm e velocidades de 4,8 e 6,8 km h⁻¹ e não tiveram efeito significativo das variáveis para o consumo horário de combustível.

4.1.7. Consumo específico de combustível

As velocidades e profundidades estudadas influenciaram o consumo específico de combustível (Cec) (Figura 23).

$$\hat{C}_{ec} = 0,925447 - 0,103914**VEL - 1,53663**PROF$$

$$R^2 = 0,9497$$

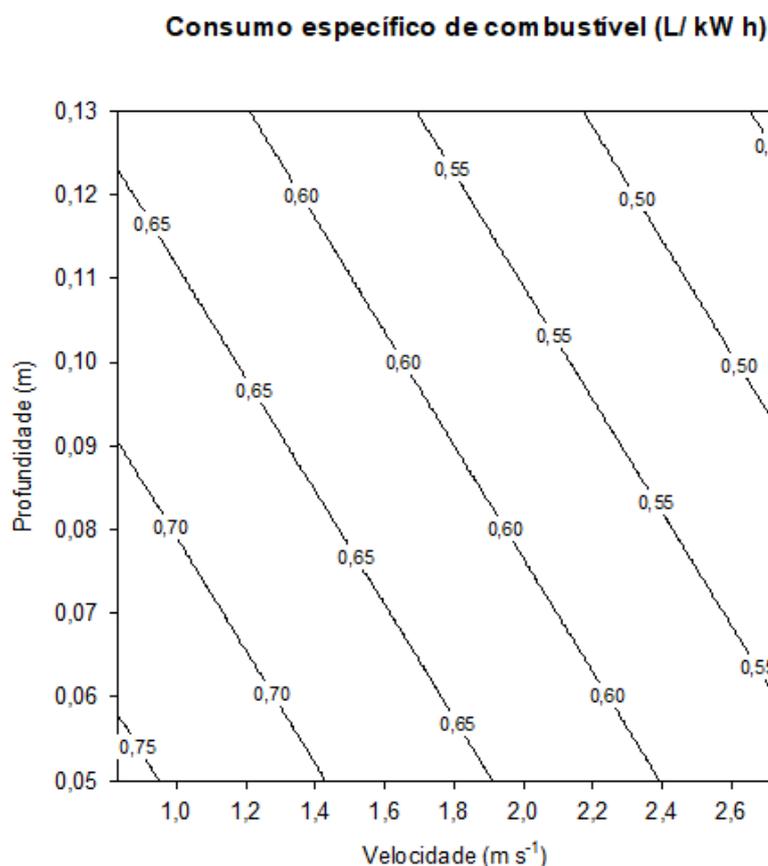


Figura 23. Consumo específico de combustível (C_{ec}) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)**- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há uma diminuição média do C_{ec} de $0,104 L / kW h$, ou, a cada variação de $1 km h^{-1}$ há uma diminuição média do C_{ec} de $0,02912 L / kW h$. Quando se manteve a velocidade fixa e variou uma unidade na profundidade de fertilização, o C_{ec} diminuiu em $1,53 L / kW h$, ou, a cada variação de 1 cm de profundidade o C_{ec} diminuiu em $0,0153 L / kW h$.

O consumo específico de combustível (C_{ec}) é o resultado do consumo horário de combustível (C_c) pela potência na barra de tração (P_{bt}). Logo, maior P_{bt} , menor C_{ec} . Como a P_{bt} aumentou linearmente com o aumento da velocidade de semeadura e profundidade de fertilização, o C_{ec} tendeu a diminuir, indicando maior eficiência na

utilização do combustível, ou seja, uma menor quantidade de combustível é capaz de produzir determinada potência na barra de tração.

Cortez et al. (2018) também observaram maior Cec quando utilizaram a velocidade 4,7 km h⁻¹ em relação a velocidade de 6,6 km h⁻¹ ao fazer o consórcio de milho com diferentes forrageiras. Segundo os autores com o aumento da velocidade de deslocamento na semeadura ocorre o aumento da potência requerida e a diminuição do consumo efetivo de combustível.

Já Nicolau et al. (2022) não observaram diferença Cec quando utilizaram sulcadores do tipo discos duplos e haste com quatro diferentes tipos de cobertura vegetal. Mesmo o mecanismo tipo haste ter apresentado maior incorporação no perfil do solo, demandando maior força e potência na barra de tração como nesse estudo.

4.1.8. Consumo de combustível por área trabalhada

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização tiveram efeito significativo para o consumo de combustível por área trabalhada (Cca) (Figura 24).

$$\widehat{Cca} = 12,7344 - 1,93528^{**}VEL + 47,1194^{**}PROF$$

$$R^2 = 0,984$$

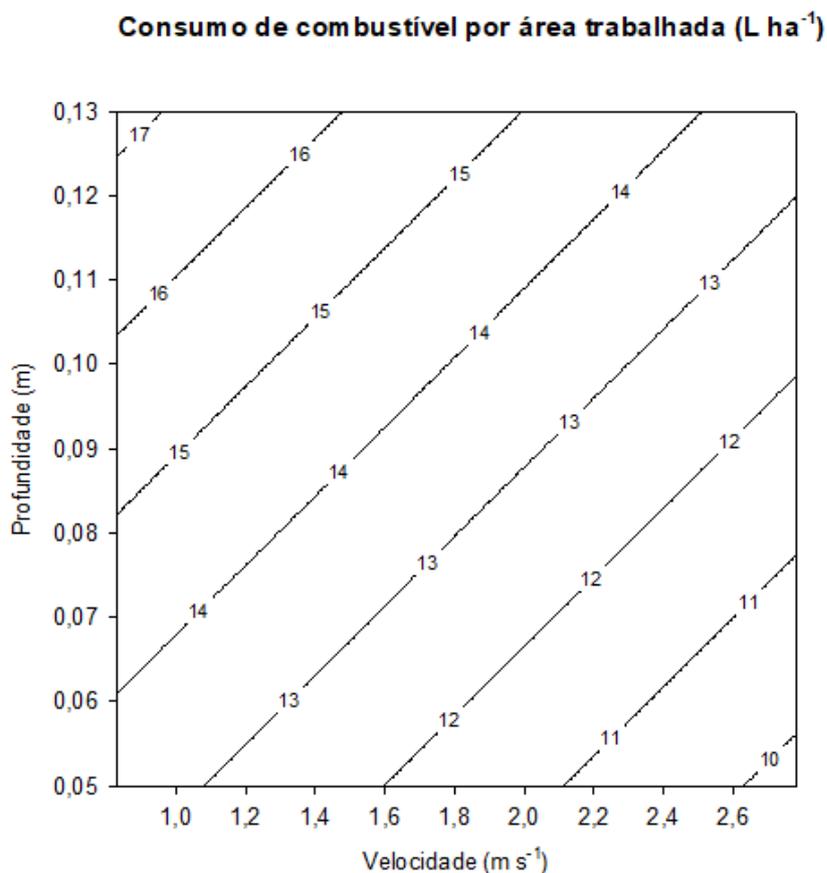


Figura 24. Consumo de combustível por área trabalhada (Cca) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)^{**}- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há uma diminuição média da Cca de 1,93 L ha⁻¹ (1 km h⁻¹ = 0,5404 L ha⁻¹). O contrário acontece quando se mantém a velocidade fixa e varia uma unidade na profundidade de fertilização, aumentando a Cca em 47,11 L ha⁻¹ (1cm = 0,4711 L ha⁻¹).

O consumo de combustível por área trabalhada é resultado do consumo de combustível (Cc) pela capacidade operacional (Co). Os resultados obtidos mostraram que maiores velocidades aumentam a Co, logo, diminuem o Cca. Já o inverso ocorre com o aumento da profundidade, que diminuiu a Co, consequência de outros fatores citados nas discussões anteriores, então ocorreu um aumento do Cca.

Macedo et al. (2016) avaliaram profundidades de 5, 10 e 15 cm e velocidades de 4,8 e 6,8 km h⁻¹, os autores tiveram o consumo por área trabalhada influenciado pelas duas variáveis, sendo o Cca esse maior quando as operações foram realizadas a menores velocidades e profundidades.

Ao semear feijão com diferentes profundidades de fertilização e diferentes teores de água no solo, Orlando Júnior (2019) também observaram aumento do consumo de combustível por área trabalhada a medida em que se aumentou a profundidade.

4.1.9. Demanda total de energia

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização tiveram efeito significativo para a demanda total de energia (DTE) (Figura 25).

$$\widehat{DTE} = 12,7344 - 1,93528**VEL + 47,1194**PROF$$

$$R^2 = 0,984$$

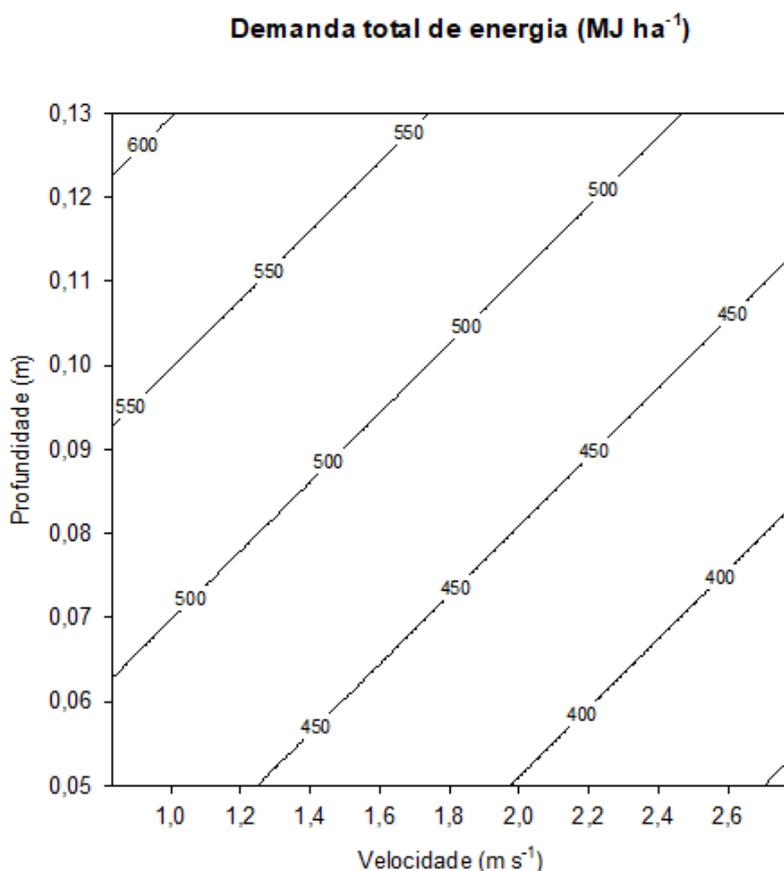


Figura 25. Demanda total de energia (DTE) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)**. Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há uma diminuição média da demanda total de energia de $1,935 \text{ MJ ha}^{-1}$ ($1 \text{ km h}^{-1} = 0,5418 \text{ MJ ha}^{-1}$). O contrário acontece quando se mantém a velocidade fixa e varia uma unidade na profundidade de fertilização, aumentando a demanda total de energia em $47,12 \text{ MJ ha}^{-1}$ ($1 \text{ cm} = 0,4712 \text{ MJ ha}^{-1}$).

A demanda total de energia quantifica o total de energia necessária para realização em uma operação agrícola. É obtida a partir da relação entre o consumo de combustível por área trabalhada (Cca) e a quantidade de energia liberada pelo combustível (poder calorífico e densidade do combustível). O Cca, é inversamente proporcional a capacidade operacional (Co), ou seja, maiores velocidades, aumentam a Co e conseqüentemente diminuem o Cca, o que diminui a demanda total de energia (DTE) para a realização da operação. Já maiores profundidades de fertilização, diminuem a Co, aumentam a Cca e conseqüentemente aumentam a DTE.

Orlando Júnior et al. (2021) avaliaram a demanda total de energia para a semeadura direta do feijão, variando as profundidades de fertilização e os teores de água no solo e também observaram maior DTE com o aumento da profundidade de fertilização, contudo, maiores teores de água diminuíram a DTE.

Sarauskis et al. (2020) estudaram a eficiência energética em diferentes tipos de preparo do solo na produção de feijão fava e obtiveram redução de 298 e 1194 MJ ha^{-1} no consumo total de energia quando reduziram a profundidade de trabalho de 23 – 25 cm para 12 – 15 cm. A redução no consumo de combustível também foi observado pelos autores quando diminuíram a profundidade de trabalho, estando esses resultados associados.

Ali et al. (2018) avaliaram a diferença na demanda energética nos preparos convencional, reduzido e plantio direto do feijão fava. Os autores constataram que o plantio direto exigia menor demanda total de energia devido ao menor número de operações, o que consumiu menor quantidade de diesel. Segundo os autores, o preparo do solo é a etapa que demanda maior energia.

4.1.10. Demanda específica da semeadora-adubadora

O aumento da velocidade operacional e a profundidade de fertilização aumentaram a demanda específica da semeadora-adubadora (Figura 26).

$$\widehat{DES} = 34,3214 + 2,40716^{**}VEL + 484,589^{**}PROF$$

$$R^2 = 0,9859$$

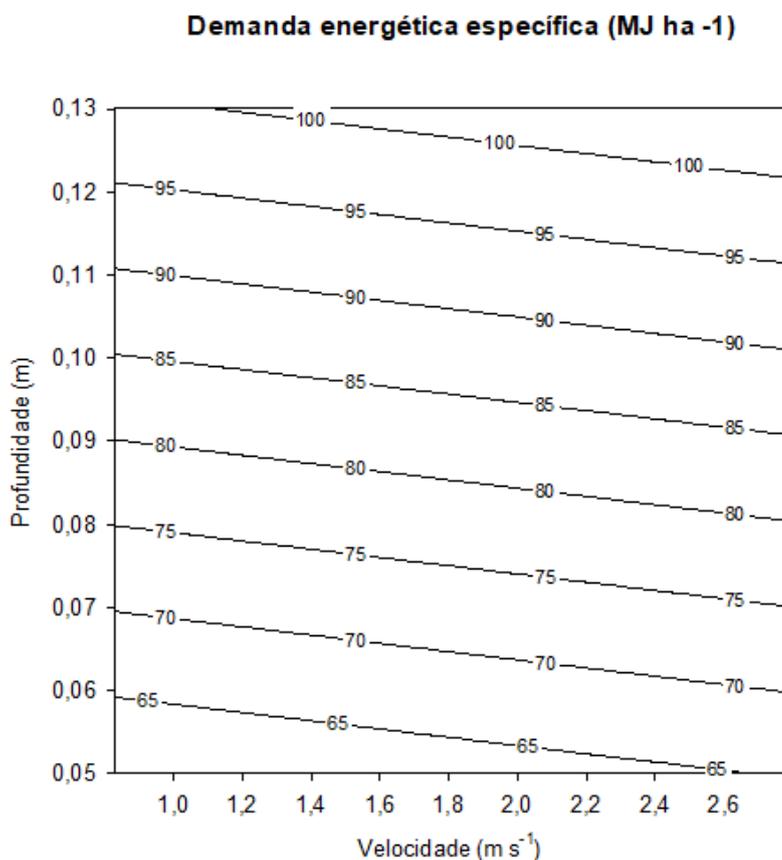


Figura 26. Demanda específica da semeadora-adubadora (DES) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)^{**}- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade operacional há um aumento médio na DES de 2,4 MJ ha⁻¹ (1 km h⁻¹ = 0,672 MJ ha⁻¹). Quando se mantém a velocidade fixa e varia uma unidade na profundidade de fertilização, aumenta a DES em 484.59 MJ ha⁻¹. (1 cm = 4,8459 MJ ha⁻¹)

A demanda específica de energia (DEE) é a quantidade de energia efetivamente despendida para tracionar ou acionar máquinas e implementos agrícolas, sendo calculada diretamente proporcional a potência demandada na barra de tração (Pbt) e inversamente proporcional a capacidade operacional (Co). Sendo assim, a DEE ter aumentado tanto com a velocidade operacional quanto ao aumento da profundidade de fertilização pode ser devido ao fato de que maiores velocidades e profundidades terem demandado maior Pbt, aumentando a DEE, em relação a Co,

maiores profundidades diminuem a Co, aumentando a DEE. Mesmo a maiores velocidades operacionais gerarem maior Co, essa não influenciou de forma a diminuir significativamente a DEE.

Resultados semelhantes foram observados por Orlando Júnior et al. (2021) ao fazerem o plantio direto do feijão variando em 6; 11 e 15 cm a profundidade de fertilização e variando os teores de água no solo. Os autores observaram aumento da DEE com o aumento da profundidade, sendo os valores em MJ ha⁻¹ similares, já maiores teores de água diminuíram a DEE.

4.1.11. Eficiência no uso do combustível

O aumento da velocidade operacional e as profundidades de fertilização aumentaram a eficiência no uso do combustível (EFC) (Figura 27).

$$\widehat{EFC} = 8,23209 + 2,93724**VEL + 41,9764**PROF$$

$$R^2 = 0,9721$$

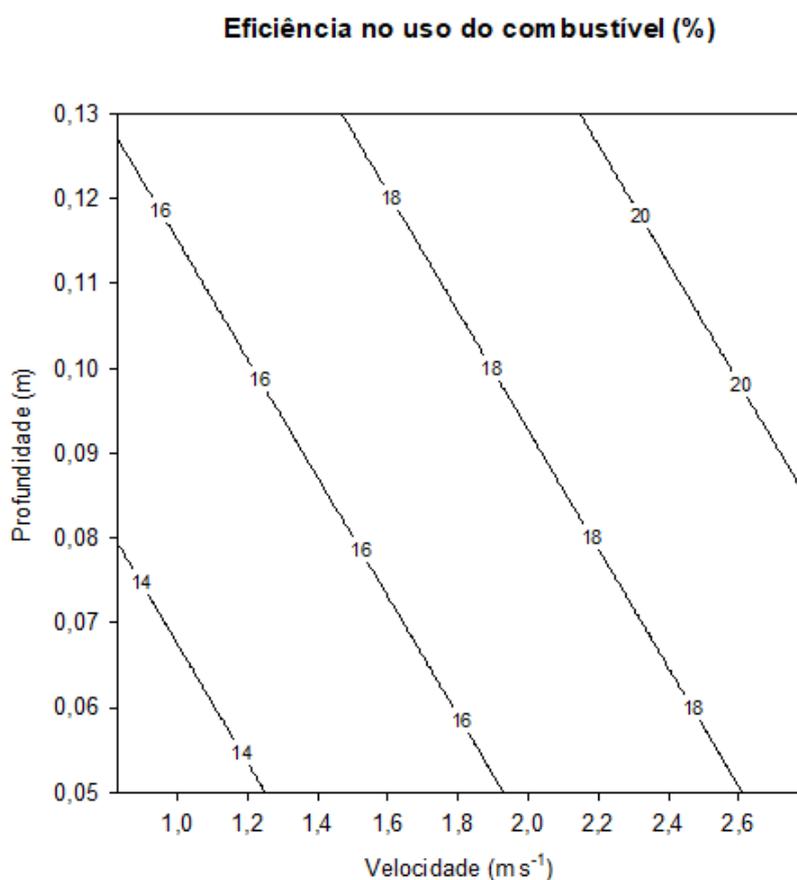


Figura 27. Eficiência no uso do combustível (EFC) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)** - Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

Mantendo-se a profundidade fixa, a cada uma unidade que varia na velocidade há um aumento da EFC de aproximadamente 2,4 % ($1 \text{ km h}^{-1} = 0,672\%$). Quando se mantem a velocidade fixa e varia uma unidade na profundidade de fertilização, aumenta a EFC em 41,98% ($1 \text{ cm} = 0,4198\%$)

A eficiência no uso do combustível (EFC) é obtida pela divisão da DTE pela DEE, indicando quanto da energia liberada pela queima do combustível foi efetivamente utilizada para produzir tração.

De acordo Crowell & Bowers (1985) apud Ranjabarian et al. (2017) valores de EFC na faixa de 10 – 20% podem ser considerados normais, valores abaixo de 10% indicam mal dimensionamento do conjunto trator-implemento e valores acima de 20% indicam alta eficiência de tração e adequado dimensionamento do conjunto trator-implemento. Independente das combinações dos tratamentos, a EFC no presente trabalho se manteve dentro da faixa considerada normal.

Orlando Júnior (2019) também observaram aumento da EFC com o aumento da profundidade de fertilização ao fazerem plantio direto do feijão variando também os teores de água no solo. Porém, o autor constatou mal dimensionamento do conjunto trator-semeadora com maior valor de EFC igual a 14% a quase 15 cm de profundidade de fertilização com teores de água no solo entre 25 – 30%.

4.2. Desempenho da semeadora-adubadora e desenvolvimento inicial da cultura

4.2.1. Distribuição longitudinal das plântulas, espaçamento médio e índice de precisão da semeadora-adubadora

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização não influenciaram a ocorrência na classe de espaçamentos normais (E_m) ($3,3 \leq x \leq 9,9 \text{ cm}$), espaçamentos falhos (E_f) ($x > 9,9 \text{ cm}$), espaçamento médio entre plântulas (EM) e o índice de precisão da semeadora-adubadora (I_p). O modelo gerado para a ocorrência de espaçamentos normais teve o $R^2 = 0,50$, a equação da reta constituída pelas médias dos valores observados foi para os espaçamentos falhos (E_f) = 24,43%, espaçamento médio (E_m) = 0,085 m (8,5 cm) e índice de precisão da semeadora adubadora (I_p) = 27,35%.

As variáveis influenciaram significativamente com efeito quadrático a porcentagem de ocorrência de espaçamento duplos ($x < 3,3 \text{ cm}$) (Figura 28).

$$\widehat{Ed} = -15,6688 + 6,85032**VEL + 511,837**PROF - 2781,36**PROF^2$$

$$R^2 = 0,8536$$

Espaçamentos duplos

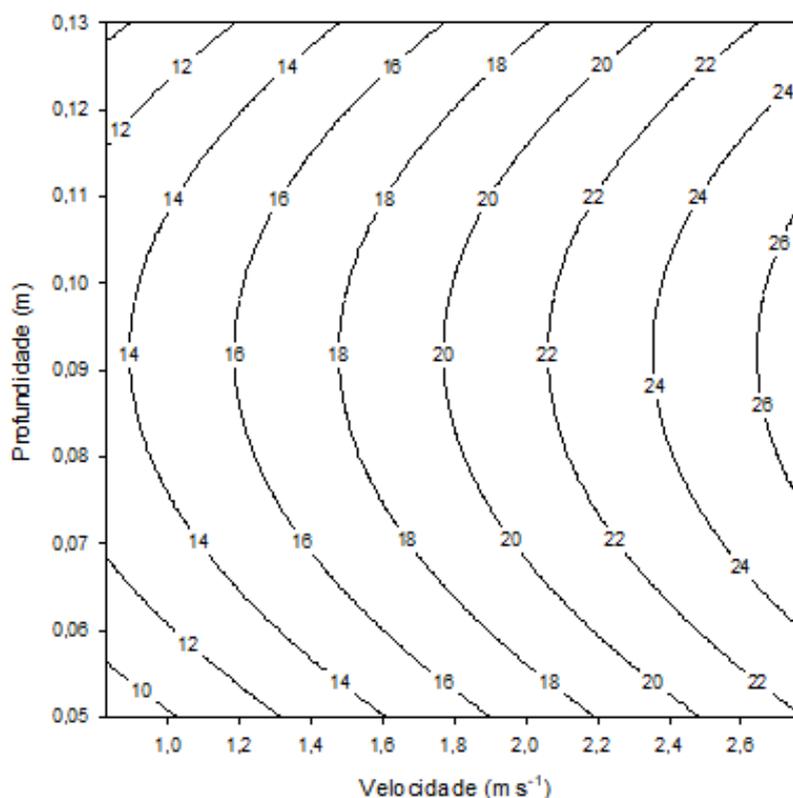


Figura 28. Porcentagem de ocorrência de espaçamentos duplos (Ed) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)**- Significativo ao nível de 1% pelo teste t.

O aumento da velocidade de operação aumentou o número de espaçamentos duplos (Ed) e o aumento da profundidade de fertilização teve maior ocorrência na faixa de 0,07 – 0,10 m de profundidade.

O aumento da velocidade de deslocamento, gera aumento na velocidade do disco dosador de semente e conseqüente aumento na deposição de sementes no solo. Esse resultado pode ser explicado juntamente ao resultado de porcentagem de emergência de plântulas (PEP), onde a média de plântulas foi maior que 100% (Item 4.2.1.).

Assim como no presente trabalho, Almeida et al. (2020) não observaram efeito da velocidade na ocorrência de espaçamentos normais e falhos ao semear feijão com as velocidades de 5 e 9 $km h^{-1}$ e diferentes tipos de preparo do solo. Souza et al.

(2019) utilizando velocidades de 5, 9; 7,2 e 8,6 km h⁻¹ e diferentes sulcadores e profundidades de corte também não observaram influência da velocidade para esses espaçamentos.

Reynaldo et al. (2016) também encontraram aumento de espaçamentos duplos semeando a cultura da soja quando aumentou a velocidade de operação de 5 para 9 km ha⁻¹.

A distribuição longitudinal de plântulas é amplamente estudada, com a ocorrência de espaçamentos falhos ocorrendo com o incremento da velocidade de semeadura, resultados diferentes do encontrado no presente trabalho. Diversos autores explicam o fato de forma que, o aumento da velocidade de deslocamento, aumenta a velocidade do disco dosador de sementes, e esse muitas vezes não consegue fazer a captura e deposição da semente em um intervalo de tempo menor.

Como exemplo tem-se Cortez et al. (2020) que encontraram maior espaçamentos falhos e menor ocorrência de espaçamentos normais conforme o aumento da velocidade de 3 para 9 km h⁻¹ com mecanismos dosadores de sementes pneumático e mecânico. Bottega et al., (2018; 2017) encontraram resultados similares, comparando esses dois mecanismos dosadores nas velocidades de 4 para 8 km h⁻¹.

De acordo com Kachman & Smith (1995), valores abaixo de 29% são considerados adequados para o índice de precisão de semeadoras-adubadoras. Os valores obtidos pelos diferentes tratamentos se encontram pouco abaixo do limite sugerido pelos autores. Esse índice ajuda a entender porque os tratamentos não influenciaram a ocorrência de espaçamentos normais, falhos e espaçamento médio entre as plântulas de feijão, podendo concluir que a semeadura está dentro dos limites aceitáveis para distribuição longitudinal das plantas.

Alonço et al. (2014) avaliaram as velocidades de 5; 7,5 e 10 km h⁻¹ e inclinações do disco dosador de sementes de uma semeadora pneumática na semeadura da soja e também não observaram influência da velocidade e do tipo de dosador para o Ip, encontrando a média de 27,24%.

4.2.2. Profundidade real de deposição do fertilizante, porcentagem de emergência das plântulas, índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência de plântulas

As velocidades e profundidades estudadas influenciaram a profundidade de deposição real do fertilizante no momento da semeadura (P_{real}) (Figura 29), o índice de velocidade de emergência (IVE) (Figura 30) e o tempo médio de emergência das plântulas (NM) (Figura 31).

$$\widehat{P_{real}} = 5,03379 - 0,987204^0VEL + 71,5956^{**}PROF$$

$$R^2 = 0,6554$$

Profundidade real de deposição do fertilizante (m)

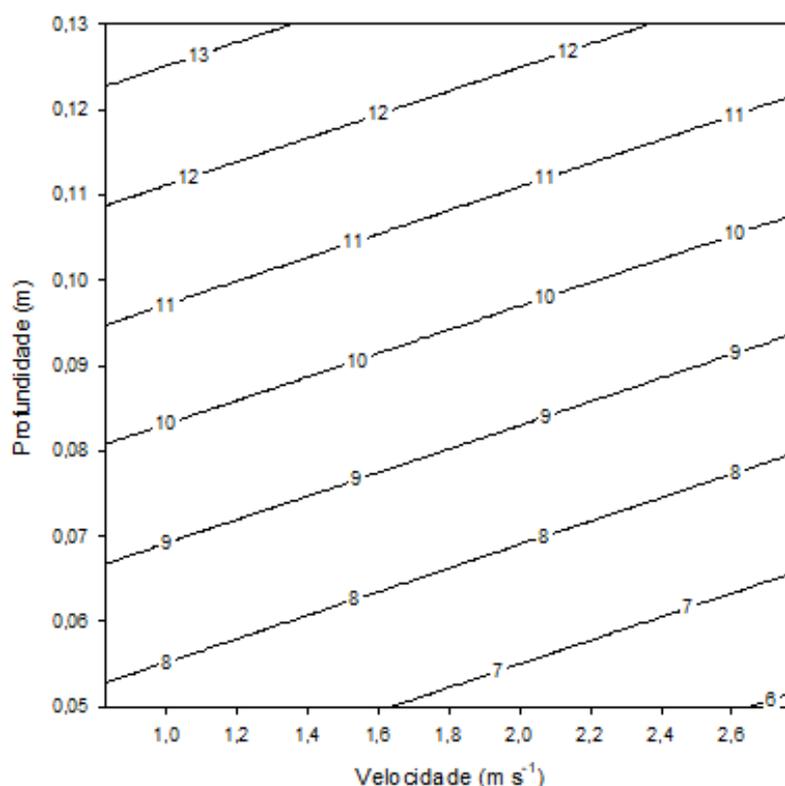


Figura 29. Profundidade real de deposição do fertilizante durante a semeadura (P_{real}) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)^{**}- Significativo ao nível de 1%, ⁰ Significativo ao nível de 10% pelo teste t.

A medida que se aumentou a velocidade operacional, diminuiu a profundidade de fertilização e o aumento da profundidade aumentou a profundidade real de deposição do fertilizante no momento da semeadura.

A semeadura foi feita no sistema de plantio direto em que maior resistência solo à penetração encontrada foi nas faixas de 0,05 – 0,30 m (Figura 3), além da densidade ser maior nas profundidades de 0,10 – 0,20 m do solo (Tabela 3), isso faz com que a força de tração e potência demandada pelo trator para realização da semeadura aumente, influenciando negativamente a incorporação da haste de deposição de fertilizante no solo com o aumento da velocidade. Em relação à profundidade, quanto maior a profundidade de deposição maior a incorporação da haste no perfil, podendo tal fato ser explicado pelo tipo de mecanismo rompedor do solo.

Boligon et al. (2013) também observaram efeito negativo da velocidade de semeadura na profundidade de deposição de sementes de milho no solo.

Já, Macedo et al. (2016) estudando as velocidades de 4,8 e 6,8 km h⁻¹ e profundidades de deposição fertilizantes a 5; 10 e 15 cm, observaram que o mecanismo rompedor do tipo haste tendeu a incorporar mais no perfil do solo quando comparado ao sistema de discos duplos.

Trabalhando com velocidades de 5; 9; 7,2 e 8,6 km h⁻¹ e dois tipos de sulcadores de deposição de sementes e fertilizante à 6 e 8 cm, Souza et al. (2019) observaram que a maior profundidade fez com que as sementes e fertilizante fossem depositados à maiores profundidades.

O percentual de emergência de plântulas (PEP) não foi influenciado significativamente pela velocidade de operação nem pela profundidade de fertilização e interação entre ambas, sendo a equação da reta gerada pela média dos valores (PEP) = 103,69 %. Essa porcentagem extrapola o número de plantas/metro podendo ser explicado pelo fato de a semeadora-adubadora não ter sido finamente regulada, depositando no solo maior quantidade de sementes e ter ocorrido maior ocorrência de espaçamentos duplos (Item 4.2.1.).

Rinaldi et al. (2010) também não encontraram diferença para o percentual na emergência de plântulas quando semearam a cultura do feijão a velocidades de 3; 6; 9 e 11 km h⁻¹ e profundidade de fertilização de 5 e 10 cm.

Ao contrário dos resultados obtidos nesse estudo, Marques Filho & Ventura (2021) observaram efeito negativo do aumento da velocidade na emergência de plantas de milhos e Vasconcellos et al. (2018) no plantio direto do trigo.

O IVE foi maior conforme o aumento da velocidade operacional e da profundidade de fertilização (Figura 30).

$$\widehat{IVE} = 66,4167 + 6,01843^{**}VEL + 55,0668^0PROF$$

$$R^2 = 0,5660$$

Índice de velocidade de emergência

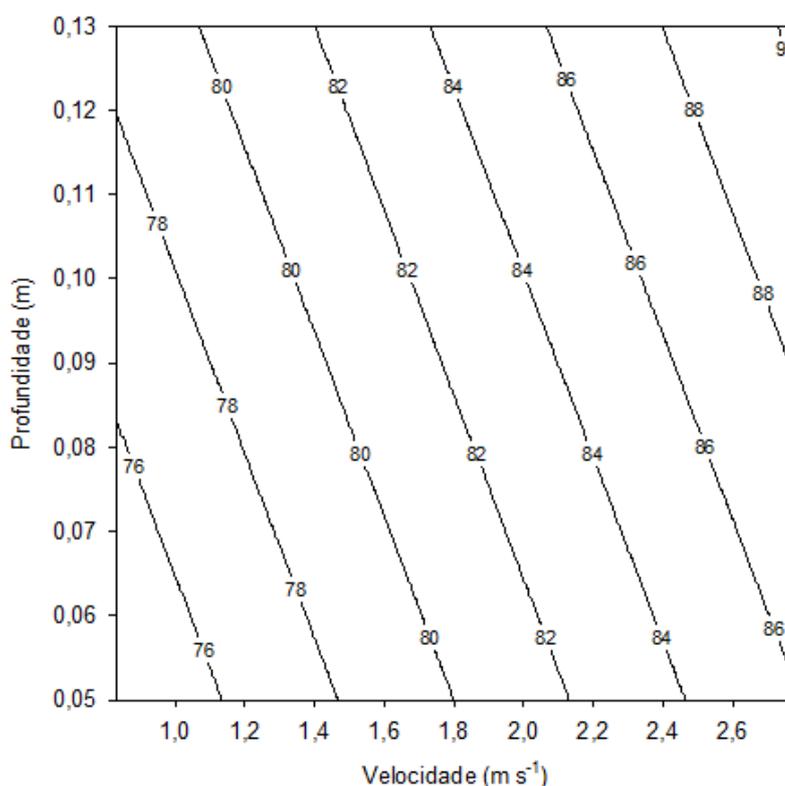


Figura 30. Índice de velocidade de emergência (IVE) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)^{**}- Significativo ao nível de 1%, ⁰ Significativo ao nível de 10% pelo teste t.

O índice de velocidade de emergência ter sido maior a maiores profundidades de fertilização pode ser explicado pelo fato do teor de água ser maior nas camadas mais profundas do solo (Tabela 4) tornando disponível os nutrientes do fertilizante, o que estimulou o desenvolvimento das plântulas. Quanto o índice ser também maior com o aumento da velocidade pode estar relacionado ao revolvimento do solo associado à maiores profundidades do sulco.

Bottega et al. (2017) também observaram maior IVE com o aumento da velocidade de 4 – 8 $km h^{-1}$ utilizando dosadores de sementes do tipo pneumático e de disco horizontal perfurado na semeadura do milho.

Souza et al. (2019) obtiveram maior IVE na profundidade de sulco de 8 cm, em relação a profundidade de 6 cm, sendo a velocidade de 7, 2 $km h^{-1}$ a que proporcionou

maior índice quando comparado as velocidades de 5,9 e 8,6 km h⁻¹, sendo a maior velocidade com menores valores de IVE.

Ao contrário desse estudo, Almeida et al. (2020) não encontraram efeito significativo da velocidade de semeadura de 5 – 9 km h⁻¹ para o índice de velocidade de emergência nas plantas de feijão. Assim como Rinaldi et al. (2010) nas velocidades de 3; 6; 9 e 11 km h⁻¹.

A velocidade operacional e a profundidade de deposição do fertilizante apresentaram efeito quadrático sobre o tempo de emergência (NM) das plântulas de feijão. O aumento da velocidade aumentou o número de dias de emergência das plântulas e o aumento da profundidade nas faixas de 0,06 – 0,10 m no perfil do solo proporcionaram maior tempo para emergência, porém, a maiores profundidades tenderam a diminuir o NM.

$$\widehat{NM} = 10,6523 + 0,034998^0VEL + 14,4776^{**}PROF - 86,7065^{**}PROF^2$$

$$R^2 = 0,6278$$

Tempo médio de emergência (dias)

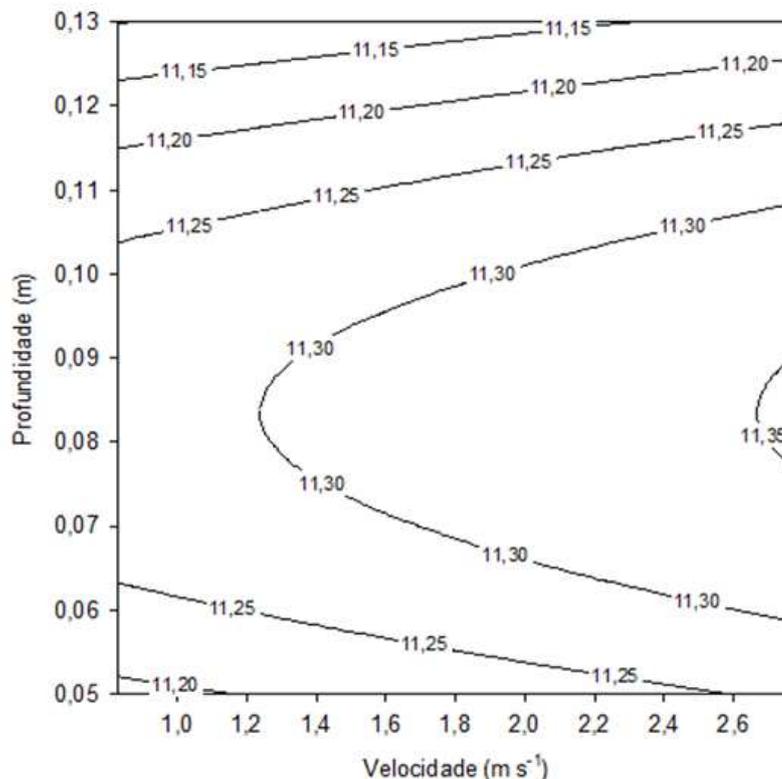


Figura 31. Tempo médio de emergência de plântulas (NM) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)^{**}- Significativo ao nível de 1%, ⁰ Significativo ao nível de 10% pelo teste t.

Esse resultado pode estar correlacionado com a ocorrência de espaçamentos duplos, onde maior velocidade gerou maior ocorrência de espaçamentos duplos, significando maior número de sementes por metro e conseqüente maior competitividade por água e nutrientes, gerando maior tempo para o feijão emergir do solo. O mesmo motivo pode justificar a profundidade de fertilização nas camadas de 0,07 – 0,10 m, onde o tempo de emergência foi maior. Maiores profundidades diminuíram o NM, podendo ser explicado pela ocorrência de maior teor de água no solo e disponibilidade de nutrientes, tendo as sementes melhores condições de germinação.

Diferente dos resultados encontrados por Rinaldi et al. (2010) que não observaram efeito do aumento da velocidade operacional do feijão de 3 – 9 km h⁻¹ para o NM, mas a profundidade de fertilização a 10 cm, causou maior NM quando comparado a fertilização de 5 cm. Almeida et al. (2020) também não encontraram significância no NM quando variaram a velocidade de operação. Na semeadura do milho variando a velocidade de 2 – 8 km h⁻¹ com diferentes mecanismos rompedores do solo, Rinaldi et al. (2019) também não observaram efeito da velocidade para o NM.

4.2.3. Componentes agronômicos

4.2.3.1. Produtividade

A velocidade operacional e a profundidade de deposição do fertilizante apresentaram efeito quadrático sobre a produtividade do feijão (Prod) e o número de sacas (Nsac) (Figuras 31 e 32).

$$\widehat{Prod} = 4336,26 - 86,593*VEL - 41797,9**PROF + 244417**PROF^2$$

$$R^2 = 0,8192$$

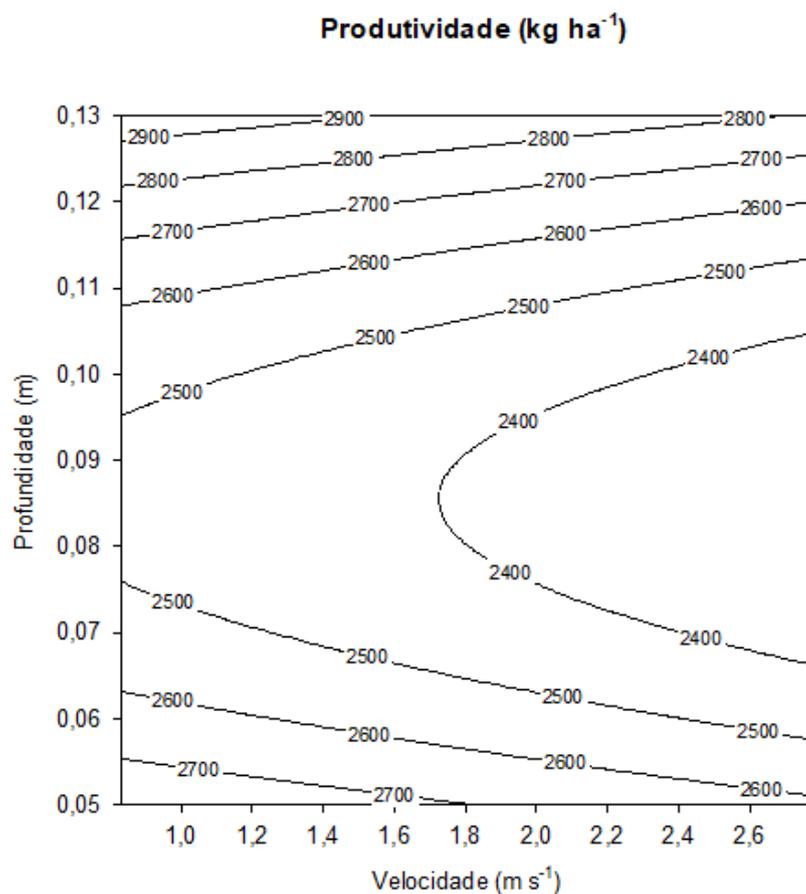


Figura 31. Produtividade (Prod) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)** - Significativo ao nível de 1%, * Significativo ao nível de 5% pelo teste t.

$$\widehat{Nscha} = 72,2710 - 1,43766*VEL - 696,632**PROF + 4073,61**PROF^2$$

$$R^2 = 0,8192$$

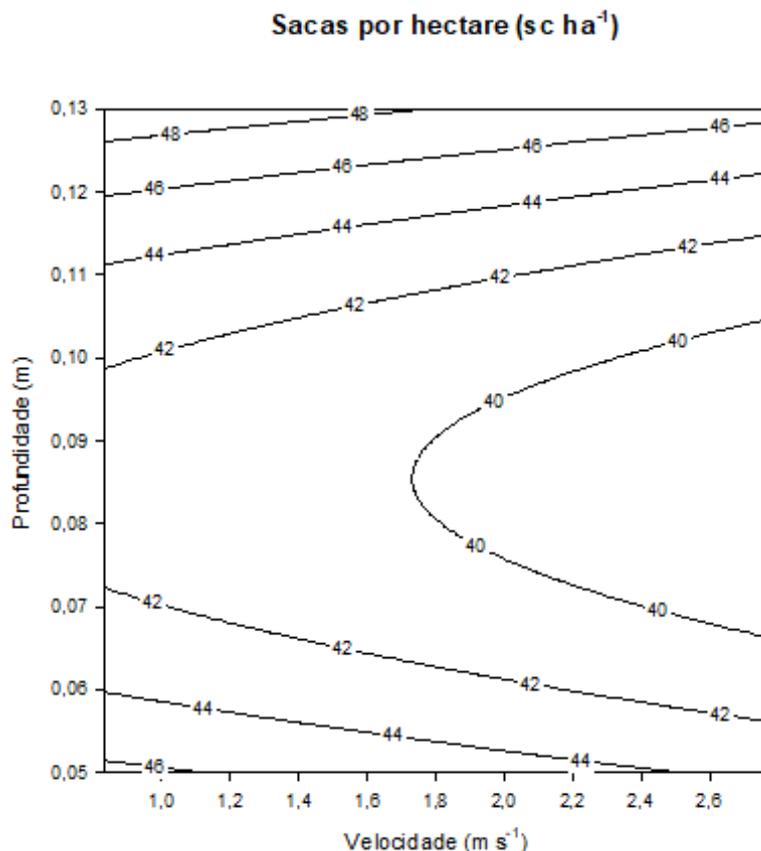


Figura 32. Número de sacas por hectare (Nscha) em função da velocidade operacional (m s⁻¹) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²)** - Significativo ao nível de 1%, * Significativo ao nível de 5% pelo teste t.

O aumento de uma unidade da velocidade operacional, mantendo-se a profundidade fixa, diminuiu aproximadamente 87 kg ha⁻¹ (1 km h⁻¹ = 24,36 kg h⁻¹; = 0,40 sc ha⁻¹) a produtividade da cultura. Nas faixas de 0,07 – 0,10 m de profundidade, ocorreram os menores rendimentos, mas à medida que se aumentou a profundidade de fertilização, teve-se um aumento na produtividade

As menores produtividades estarem nessa faixa de fertilização podem estar associadas novamente a maior ocorrência de espaçamento duplos nessa profundidade, o que pode ter gerado maior tempo para as plantas emergirem e se desenvolverem devido a competição, afetando negativamente a produtividade. A queda no rendimento da cultura com o aumento da velocidade também pode ser explicada por esses fatores, uma vez que o aumento da velocidade gerou maior

ocorrência de espaçamentos duplos, além de que, maiores velocidades podem ter feito com que a semeadora-adubadora não cobrisse o solo de forma adequada para tornar o ambiente ideal para desenvolvimento das sementes.

Segundo Nascimento et al., (2014) semeaduras em altas velocidades prejudicam o contato solo-semente, comprometendo a germinação, a emergência das sementes e conseqüentemente o estande.

Lacerda et al. (2014) variando a profundidade de fertilização em 5; 9; 12 e 17 cm e utilizando e lâminas de reposição de água da evapotranspiração (E_t0) de 25, 50, 75, 100 e 125% da cultura, observaram que tanto a profundidade de fertilização quanto as lâminas influenciaram na produtividade do feijoeiro. Os autores obtiveram produtividade máxima de 3.045 kg ha^{-1} à profundidade de 10 cm e lâmina de 125%, explicando tal resultado devido ao aporte de água e nutrientes nas maiores profundidades.

Orlando Junior et al. (2021) avaliaram o desempenho de uma semeadora-adubadora pneumática na semeadura do feijão, variando o teor de água no solo e a profundidade de fertilização (6; 11 e 15 cm), encontraram maior produtividade quando utilizaram a profundidade de fertilização de 11 cm.

Reynaldo et al. (2016) obtiveram diminuição da produtividade da soja com o aumento da velocidade de semeadura de $2 - 10 \text{ km h}^{-1}$. Ferreira et al. (2019) também obtiveram queda na produção do milho com o aumento da velocidade de 4 a 12 km h^{-1} , assim como Fernandes et.al. (2019) e Vasconcellos et al. (2018) na cultura do trigo com as mesmas velocidades.

4.2.3.2. População final, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de 100 grãos

A velocidade operacional e a profundidade de fertilização não influenciaram a população final de plantas (POPf), o número de vagens por planta (V/P) e o número de grãos por vagem (G/V). As equações geradas pelos valores das médias foram (POPf) = 71,34 plantas/5m; (V/P) = 9,22 vagens/planta e (S/V) = 4,39 sementes/vagem. O peso de 100 sementes teve efeito quadrático pelas variáveis analisadas (Figura 33).

$$\widehat{Pcs} = 35,7225 + 0,456156*VEL - 262,665**PROF + 1410,42**PROF^2$$

$$R^2 = 0,7786$$

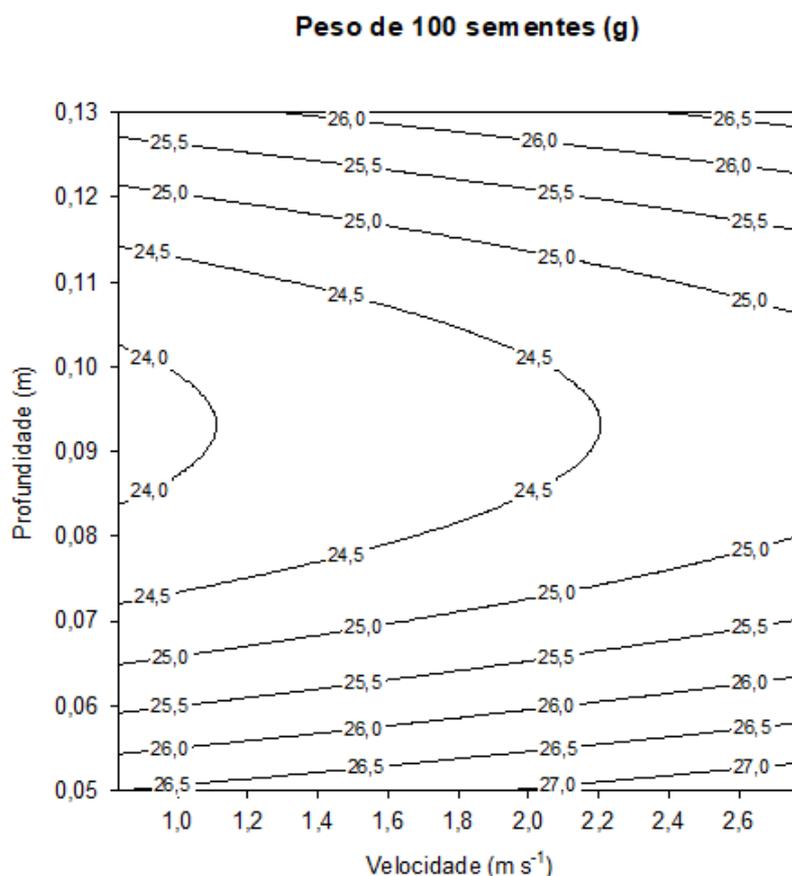


Figura 33. Peso de 100 sementes (Pcs) em função da velocidade operacional ($m s^{-1}$) e da profundidade de deposição do fertilizante (m), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2)** - Significativo ao nível de 1%, * Significativo ao nível de 5% pelo teste t.

A velocidade operacional apresentou relação positiva com o peso das sementes. Esse fato pode estar relacionado a produtividade, onde o aumento da velocidade diminuiu a produtividade, podendo os recursos terem sido alocados para a menor quantidade de grãos formados, tendo esses, maior peso. Nas faixas de 0,07 – 0,10 m de profundidade ocorreu menor peso das sementes, o que pode estar associado, assim como a menor produtividade, a maior ocorrência de espaçamentos duplos e maior tempo de emergência das plantas, tendo nessa faixa menos tempo para o desenvolvimento das plantas e maior competição por água e nutrientes.

Corroborando com os resultados, Almeida et al. (2020) também não observaram influência significativa quando utilizaram velocidade de semeadura de 5 e 9 $km h^{-1}$ para a população final de plantas de feijão, número de vagens por planta e

número de grãos por vagem. Os autores, porém, encontraram resultado contrário quanto ao peso de 100 sementes, onde maior velocidade proporcionou menor peso das sementes.

Lacerda et al. (2014) variando a profundidade de fertilização e utilizando diferentes lâminas de reposição de evapotranspiração, não encontraram efeito da profundidade para o número de vagens por planta e peso de 100 sementes, mas as lâminas influenciaram o peso de 100 sementes, N/P; G/V e a produtividade da cultura.

4.3. Custos de produção

Os custos médios apresentados são baseados nos custos com as operações mecanizadas do trator, irrigação, operações manuais e os custos com insumos agrícolas.

4.3.1. Custos fixos

Os custos fixos do trator e da semeadora-adubadora são apresentados na Tabela 4.

O custo fixo total (Tabela 5), inclui além dos valores do trator e da semeadora-adubadora, os valores da depreciação e dos juros sobre o capital investido do sistema de irrigação que foram de R\$ 422,23/ha/ciclo R\$ 75,5/ha/ciclo respectivamente.

Os custos com depreciação, juros sobre o capital investido e com abrigos e seguros, é o mesmo, pois segue a metodologia apresentada nos Itens 3.8.1.1.1., porém, essa metodologia fornece os valores em R\$ h⁻¹. Para estimar os custos totais por hectare, foi necessário dividir esses valores pela capacidade operacional (Co (ha h⁻¹)) dos diferentes tratamentos e obter os valores em R\$ ha⁻¹. Sendo assim, como pode ser verificado nos resultados do Item 4.1.4., à medida que se aumentou a velocidade de operação, ocorreu o aumento da Co e o aumento da profundidade de fertilização diminuiu a Co.

Tabela 14. Custos fixos do conjunto mecanizado trator-semeadora-adubadora.

Tratamentos	(velocidade/profundidade)	Depreciação	Juros	Abrigo/Seguros	Grupo
		(R\$/ha)	(R\$/ha)	(R\$/ha)	
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	34,88	23,01	3,30	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	32,69	21,57	3,10	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	32,32	21,33	3,06	B
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	31,09	20,51	2,94	C
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	29,47	19,44	2,79	D
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	27,81	18,35	2,63	E
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	27,16	17,92	2,57	E
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	26,10	17,22	2,47	F
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	21,10	13,93	2,00	G
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	19,71	13,01	1,87	H
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	19,60	12,94	1,85	H
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	18,41	12,15	1,74	I
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	16,78	11,07	1,59	J
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	15,12	9,98	1,43	K
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	14,66	9,67	1,39	K
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	13,90	9,17	1,31	L

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Tabela 5. Custo fixo total.

Tratamentos	(velocidade/profundidade)	Custo fixo total (R\$/ha)	Grupo
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	558,94	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	555,10	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	554,45	B
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	552,29	C
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	549,44	D
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	546,53	E
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	545,39	E
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	543,53	F
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	534,77	G
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	532,32	H
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	532,13	H
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	530,04	I
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	527,18	J
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	524,27	K
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	523,46	K
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	522,13	L

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Nos resultados apresentados nas Tabela 4 e 5, pode-se verificar que os maiores custos estão associados principalmente a menores velocidades de operação seguida pelas maiores profundidades de fertilização, ou seja, quando a Co é reduzida, influenciou no aumento dos custos fixos do conjunto trator-semeadora-adubadora e o custo fixo total.

Os custos de depreciação e juros sobre o capital investido do sistema de irrigação foram responsáveis pela maior parte do custo fixo total.

4.3.2. Custos variáveis

Os custos variáveis do conjunto trator-semeadora-adubadora são apresentados nas Tabelas 6, 7 e o custo variável total na Tabela 8. Para os custos variáveis total, além dos valores referentes ao trator e a semeadora-adubadora também incluem os valores de custo operacional (gasto com energia elétrica, mão-

de-obra e água de irrigação) e pelo custo com a manutenção (5% do valor inicial do sistema) que foram nos valores de R\$ 337,00 /ha/ciclo e de R\$ 250,00/ha/ciclo respectivamente.

Tabela 6. Custos variáveis do trator e da semeadora-adubadora.

Trat	(Vel/Prof)	Rep/Mn (R\$/ha)	Lub (R\$/ha)	MDO (R\$/ha)	Grupo
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	25,23	12,95	18,15	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	23,65	12,14	17,02	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	23,38	12,00	16,82	B
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	22,49	11,54	16,18	C
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	21,32	10,94	15,34	D
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	20,12	10,32	14,47	E
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	19,65	10,08	14,13	E
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	18,88	9,69	13,59	F
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	15,27	7,83	10,98	G
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	14,26	7,32	10,26	H
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	14,18	7,28	10,20	H
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	13,32	6,83	9,59	I
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	12,14	6,23	8,73	J
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	10,94	5,61	7,87	K
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	10,61	5,44	7,63	K
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	10,06	5,16	7,23	L

Rep/Mn = Reparos e manutenção; Lub = Lubrificantes; MDO = Mão-de-obra. As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Tabela 7. Custo variável de consumo de combustível.

Tratamento	Velocidade/Profundidade	Consumo de combustível (R\$/ha)	Grupo
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	122,05	A
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	111,04	B
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	107,75	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	104,15	C
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	101,15	C
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	101,05	C
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	96,66	D
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	94,13	D
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	93,74	D
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	88,79	E
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	85,09	E
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	84,62	E
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	83,90	E
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹)à 0,08 m	79,22	F
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	72,38	G
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	68,55	G

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Tabela 8. Custos variáveis totais.

Tratamentos	(velocidade/profundidade)	Custo variável total (R\$/ha)	Grupo
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	765,40	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	747,57	B
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	745,64	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	743,37	B
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	733,89	C
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	733,08	C
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	725,01	D
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	722,15	D
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	713,78	E
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	707,85	F
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	707,64	F
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	702,58	F
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	696,53	G
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	689,91	H
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	698,12	H
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	678,01	I

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Para os custos variáveis, os custos com combustível e o custo variável total, segue-se o mesmo raciocínio dos custos fixos e custos fixos total. Onde os valores calculados são fixos, exceto para o consumo de combustível, divididos pela capacidade operacional. Menores Co causadas por menores velocidades operacionais e maiores profundidades de fertilização, aumentaram todos os custos variáveis.

Os custos operacionais e com a manutenção do sistema de irrigação foram os maiores responsáveis pelo consumo variável total, seguido pelo consumo de combustível.

4.3.3. Custo total de produção

Os custos com as operações manuais (3 diárias de aplicação e 8,33 diárias para colheita) e com insumos agrícolas não variou com os diferentes tratamentos, sendo esses valores de R\$ 906,40 e R\$ 3.512,00 respectivamente.

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados a produtividade em kg ha⁻¹ e em número de sacas/ha. Nas Tabelas 11 e 12, são apresentados os valores referentes aos custos.

Tabela 9. Produtividade (kg ha⁻¹)

Tratamento	Velocidade/Profundidade	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Grupo
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	2950	A
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	2868	A
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	2862	A
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	2856	A
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	2837	A
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	2787	A
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	2785	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	2552	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	2520	B
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	2502	B
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	2429	B
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	2370	B
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	2364	B
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	2362	B
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	2355	B
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	2298	B

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Tabela 10. Número de sacas por hectare.

Tratamento	Velocidade/Profundidade	Número de sacas por hectare	Grupo
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	49,16	A
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	47,80	A
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	47,7	A
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	47,6	A
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	47,28	A
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	46,45	A
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	46,41	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	42,53	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	42	B
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	41,7	B
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	40,48	B
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	39,5	B
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	39,4	B
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	39,36	B
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	39,25	B
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	38,3	B

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Os resultados da produtividade (kg ha⁻¹; sacas ha⁻¹) e número de sacas por hectare já foi anteriormente discutido (Itens 4.2.3.1.; 4.2.3.2.; Figuras 16 e 17), estando as Tabelas 17 e 18 de acordo com o comportamento descrito.

Maiores produtividades foram alcançadas com maiores profundidades de fertilização e menores velocidades operacionais. O aumento da velocidade diminuiu a produtividade, principalmente das faixas de 0,07 – 0,10 m de profundidade.

A profundidade de fertilização teve maior impacto na produtividade, sendo as maiores produtividades alcançadas nas quatro velocidades testadas, pertencendo ao grupo com maior média. As menores produtividades estavam na faixa de 0,07 – 0,10 m combinadas com as maiores velocidades.

Tabela 11. Custo de produção total (R\$ ha⁻¹).

Tratamento	Velocidade/Profundidade	Custo médio (R\$/ha)	Grupo
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	5742,7427	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	5721,0811	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	5716,2295	B
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	5713,4893	B
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	5704,5869	C
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	5698,0186	D
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	5688,8076	E
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	5675,7192	F
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	5675,3301	F
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	5658,3755	G
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	5653,4395	G
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	5653,1235	G
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	5639,2158	H
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	5637,5698	H
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	5631,7812	I
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	5618,5508	J

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Tabela 12. Custo da saca por hectare (R\$/ha).

Tratamento	Velocidade/Profundidade	Custo da saca por hectare (R\$/ha)	Grupo
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	149,19	A
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	146,85	A
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	145,41	A
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	143,69	A
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	143,43	A
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	139,93	A
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	137,12	A
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	136,46	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	135,97	A
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	123,22	B
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	121,51	B
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	121,25	B
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	120,63	B
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	119,32	B
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	119,17	B
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	117,54	B

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

O custo de produção por hectare é o inversamente proporcional a produtividade, ou seja, menor produtividade, maior o custo. De forma geral, a produtividade em kg ha⁻¹ apresentou maior variação devido a unidade usada, o número de sacas foi estatisticamente dividido em dois grupos, onde os tratamentos nas faixas de 0,07 – 0,10 m de profundidade, tiveram os menores rendimentos e maiores custos. Os tratamentos com maior profundidade de fertilização foram os que tiveram menor custo de produção e os que utilizaram maiores velocidades operacionais tiveram maior custo de produção.

Os gastos com insumos (R\$ 3.512,00), foram responsáveis pela maior parcela dos custos de produção, seguida pela irrigação (R\$ 1084,73), mão-de-obra das operações manuais (R\$ 906,40), custos variáveis e pelos custos fixos.

Segundo dados da série histórica dos custos de produção (CONAB, 2023), os custos da lavoura do feijão 3^a safra, em plantio direto, irrigado, com produção de aproximadamente 3.000 kg ha⁻¹ para o ano de 2022 no município de Unaí-MG, foi de R\$ 13.087,85/ha, ou R\$ 261,75/saca. Na safra da seca, no ano de 2017, o custo total de produção foi de R\$ 5.859,51/ha ou R\$/saca 106,48 para uma produção de R\$ 3300 kg ha⁻¹. É importante destacar que a metodologia utilizada pelo órgão difere em alguns itens.

Já dados disponibilizados pela Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná, mostram que para a produção de 34 sacas (2.040 kg) do feijão da segunda safra do ano de 2023 produzidos no estado, o custo da lavoura por hectare é de aproximadamente R\$ 7.012,38/ha ou R\$/ 206,26/saca sendo que o maior gasto foi com o uso de fertilizantes, seguido por custos diversos (depreciação, seguros, manutenções, transporte externo), custo pela remuneração da terra, com agrotóxicos, sementes e mão-de-obra permanente.

4.3.4. Receitas bruta, líquida e taxa interna de retorno

Os valores das receitas bruta e líquida são apresentados na Tabela 13 e a taxa interna de retorno na Tabela 14.

Tabela 13. Receitas bruta e líquida (R\$/ha).

Tratamento	Velocidade/Profundidade	Receita bruta (R\$/ha)	Receita líquida (R\$/ha)	Grupo
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	21.510,00	15.796,51	A
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	21.465,00	15.789,28	A
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	21.420,00	15.766,56	A
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	21.277,50	15.602,16	A
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	20.902,50	15.264,93	A
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	20.887,50	15.182,91	A
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	20.444,46	14.701,72	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	19.140,00	13.418,91	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	18.900,00	13.183,77	B
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	18.765,00	13.106,62	B
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	18.217,50	12.564,37	B
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	17.775,00	12.156,44	B
8	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10 m	17.730,00	12.098,21	B
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,8m	17.715,00	12.023,28	B
10	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	17.662,50	12.016,98	B
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	17.235,00	11.546,19	B

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Tabela 14. Taxa interna de retorno (TIR).

Tratamento	Velocidade/Profundidade	Taxa interna de retorno (%)	Grupo
4	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,13 m	278,88	A
14	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,05 m	278,18	A
2	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,13 m	276,48	A
3	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,13 m	274,90	A
15	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,05 m	270,77	A
13	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,05 m	266,14	A
1	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,13 m	255,97	A
9	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,10 m	234,54	B
11	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,10 m	231,62	B
5	0,84 m s ⁻¹ (3 km h ⁻¹) à 0,08 m	230,63	B
7	2,22 m s ⁻¹ (8 km h ⁻¹) à 0,08 m	222,25	B
16	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,05 m	216,35	B
8	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,08 m	214,81	B
12	2,78 m s ⁻¹ (10 km h ⁻¹) à 0,10 m	213,22	B
10	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,10m	210,90	B
6	1,39 m s ⁻¹ (5 km h ⁻¹) à 0,08 m	202,96	B

As médias com mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de probabilidade pelo critério de Scott Knott.

Os tratamentos que utilizaram as maiores profundidades de fertilização pertencem de forma geral ao grupo que apresentou maior receita líquida.

O tratamento 2, foi o melhor em termos monetários, porém, os tratamentos 4 e 3 que utilizaram maiores velocidades operacionais e profundidade de fertilização tiveram diferença de apenas R\$ 29,95 e R\$ 194,35. A produtividade do tratamento 2 foi de 47,8 sacas ha⁻¹ (2868 kg), enquanto dos tratamentos 4 e 3 foram de 47,6 (2856 kg) e 47,28 sacas ha⁻¹ (2837 kg).

A taxa interna de retorno foi positiva e elevada para todos os tratamentos. Isso se deve ao fato do valor pago aos produtores pela saca de feijão (R\$ 316,00 saca), que fez com que a receita líquida aumentasse. Contudo, é importante que os agricultores além de se atentarem para as questões técnicas de produção, entendam a forma como o mercado funciona em relação a disponibilidade, demanda e aos preços praticados em diferentes períodos (SILVA ET AL., 2021), devido ao fato dessa

cultura sofrer grandes flutuações de preço no decorrer do ano (CONAB, 2023), influenciando diretamente o retorno financeiro.

Novamente os tratamentos 4, 2 e 3 apareceram no grupo estatístico com maior TIR, sendo as opções mais rentáveis do ponto de vista econômico.

Os tratamentos com maior velocidade operacional e profundidade de fertilização, apareceram de forma geral com maiores produtividades e retorno financeiro. Apesar do aumento da velocidade de operação influenciar negativamente diversos fatores analisados no experimento, essa tem impacto direto na capacidade operacional, que influencia diretamente os custos de produção, trazendo vantagens nesse sentido.

Sendo assim, o presente estudo mostrou que profundidades acima de 0,10 m tiveram maiores produtividades e conseqüente maior retorno financeiro, e a velocidade operacional de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ (10 km h^{-1}) pode ser utilizada no plantio direto do feijão combinada com maiores profundidades de fertilização sem diminuir a produtividade e rentabilidade da cultura.

5. CONCLUSÕES

- O aumento da velocidade operacional e da profundidade de fertilização aumentaram linearmente a demanda de força e potência na barra de tração.
- O correto uso de lastro no trator pode melhorar a patinagem, aumentar a eficiência de tração, diminuir o consumo de combustível e conseqüentemente diminuir a demanda total de energia para realização da semeadura.
- A eficiência no uso do combustível foi considerada normal independentemente das combinações de velocidade e profundidade.
- A capacidade operacional influenciou o consumo de combustível por área trabalhada, os custos de produção e a rentabilidade da atividade.
- A velocidade operacional e profundidade de fertilização não influenciaram a ocorrência de espaçamentos normais, falhos, o espaçamento médio, o índice de precisão da semeadora-adubadora, porcentagem de emergência das plântulas, população final, número de vagens por planta e número de grãos por vagem.
- A profundidade de fertilização no momento da semeadura, o índice de velocidade de emergência e o tempo médio de emergência, a ocorrência de espaçamentos duplos, a produtividade e o número de 100 sementes foram influenciados pelas velocidades operacionais e profundidade de fertilização.
- De forma geral, os tratamentos que utilizaram maiores profundidades de fertilização foram os que tiveram maiores produtividades e retorno financeiro.
- A velocidade operacional influenciou negativamente a produtividade, contudo sua capacidade de aumentar a capacidade operacional possibilitou diminuição dos custos de produção.
- Os tratamentos com maiores velocidades operacionais e profundidade de fertilização apresentaram de forma geral maior produtividade e retorno financeiro, diferindo em termos de produção e custos muito pouco daqueles realizados a menores velocidades.
- Os maiores custos de produção foram com os insumos agrícolas, seguido pela irrigação, mão-de-obra para operações manuais, custos variáveis e custos fixos do conjunto trator-semeadora-adubadora.
- A correta regulagem da semeadora-adubadora, combinada com a velocidade operacional de $2,78 \text{ m s}^{-1}$ (10 km h^{-1}) e profundidade de fertilização de $0,13 \text{ m}$,

pode ser praticada pelos agricultores, conferindo menor tempo de operação com elevada produtividade e rentabilidade no plantio direto da cultura do feijão.

REFERÊNCIAS

ALI, S. A.; TEDONE, L.; VERDINI, L.; DE MASTRO, G. Implications of No-tillage System in Faba Bean Production: Energy Analysis and Potential Agronomic Benefits. **The Open Agriculture Journal**, v. 12, p. 270 – 285, 2018.

ALMALIKI, S. A.; MAJED, S. H.; MUHSIN, S. J. Mathematical Model for Evaluating Slippage of Tractor Under Various Field Conditions. **Basrah Journal of Agricultural Sciences**, v. 34, n. 1, p. 49 – 59, 2021.

ALMEIDA, L.; SILVA, L. F. C. R.; ANDRADE, L. O.; GONÇALVES, A. L.; CARVALHO FILHO, A. Influence of soil preparation and speed of seeding on agronomics attributes of bean. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14859 – 14884, 2020.

ALONÇO, A. S.; SILVEIRA, H. A. T.; CARDINAL, K.M.; RIST, G.P. Distribuição de sementes de algodão e girassol em diferentes velocidades e inclinações em dosadores pneumáticos. **Scientia Agraria**, v. 16, n.2, p. 63 – 70, 2015.

ALONÇO, A. S.; SILVEIRA, H. A. T.; CARDINAL, K.M. Influência da inclinação transversal e velocidade de operação sobre o desempenho de dosadores pneumáticos com semente de soja. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, p. 119 – 127, 2014.

ALVAREZ V. V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

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

AMORIM, M. Q.; BORGES, R. C. P.; BRITO, L. L. M.; LIMA, I. O.; MAIA, A. M.; CHIODEROLI, C. A.; SILVEIRA, W. M. Performance in the drawbar of a tractor-sower set. **Brazilian Journal of Development**, V.5, N. 11, P.26762 – 26769, 2019.

ANDRADE, M. J. B.; OLIVEIRA, D. P.; FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, F. A. D. FEIJÃO do plantio à colheita. In: **Exigências Edafoclimáticas**. Viçosa: Editora UFV, 2015. Cap.4, p. 67 – 95.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Síntese dos preços praticados em Minas Gerais do óleo Diesel S10**. Período Julho/2021. Disponível em: https://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Mensal_Municipio.asp Acesso: março de 2023.

ARAÚJO, G. A. A.; CAMELO, G. N. FEIJÃO do plantio à colheita. In: **PREPARO DO SOLO E PLANTIO**. Viçosa: Editora UFV, 2015. Cap.6, p. 115 – 144.

ARIDHEE, J. K.; ABOOD, A. M.; KASSAR, F. H.; LYSIAK, G.; DAKHIL, M. M. Influence of tractor slip on some physical properties of the soil and fuel consumption at varying tillage depths and speed. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 141 – 145, 2020.

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data: ASAE EP496.3**. ASABE Standards. St. Joseph, Michigan, 2011a.

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

ASABE STANDARDS. **ASAE S313.3**: soil cone penetrometer. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004.

BALASTREIRE, L. A. Máquinas Agrícolas. In: **SEMEADURA CONVENCIONAL**. São Paulo: Editora Manole, 1987. Cap. 5, p. 146 – 209.

BERTELLI, G. A.; JADOSKI, S. O.; RAMPIM, L.; Maggi, M. F. Desempenho da plantabilidade de semeadoras pneumática na implantação da cultura da soja no

cerrado piauiense-Brasil. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 9, n.1, p. 11 – 19, 2016.

BOLIGON, F.; NÓBREGA, L. H. P.; SOUZA, E. G.; PACHECO, F. P.; SILVEIRA, J. C. M. Aspectos relacionados à densidade populacional de plantas de milho em função da velocidade de deslocamento e do mecanismo dosador de sementes em duas semeadoras adubadoras. **Varia Scientia Agrárias**, v. 03, p. 81 – 94, 2013.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. FEIJÃO do plantio à colheita. In: **A Cultura**. Viçosa: Editora UFV, 2015. Cap.1, p. 9 – 15.

BOTTEGA, E. L.; VIAN, T.; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO; A. M. Diferentes dosadores de sementes e velocidades de deslocamento na semeadura do milho em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, e201707, 2017.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Teste de germinação. In: **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 2009. p. 147-224.

CAVALCANTE, E. H. M.; LEITE, D. M.; BONFÁ, H. C.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; MELO JÚNIOR, J. C. Multilevel modelling of the draft force required by seeder-fertilizers. **Comunicata Scientiae**, v. 10, n. 1, p. 21 – 27, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIA**. v. 10 – Safra 2022/2023. N. 6 Sexto levantamento.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Custos de Produção Agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Custo de Produção. Série Histórica. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/itemlist/category/809-feijao> Acesso em: 25 de maio de 2023.

CORREIA, T.P. S.; LOPES, A. G. C.; FAGGION, F.; SILVA, P. R.A.; SOUZA, S. F. G. Semeadura de soja em função de mecanismos dosadores e velocidade operacional. **Energia na Agricultura**, v. 35, n.2, p. 190 – 198, 2020.

CORTEZ, J. W.; ANGHINONI, M.; ARCOVERDE, S. N. Seed metering mechanisms and tractor-seeder forward speed on corn agronomic components. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n.1, p. 61 – 68, 2020.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. A.; SILVA, R. P.; ARCOVERDE, S. N. S. 2018. Performance of corn sowing in fertilization system and intercropping. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, p. 225 – 231, 2018.

COSTA, B. A. L.; AMORIM JUNIOR, P. C. G.; SILVA, M. G. As cooperativas de agricultura familiar e o mercado de compras governamentais em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 109 – 126, 2015.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 13 – 24, 2001.

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

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Revisada e ampliada. Brasília, DF, 573 p., 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Arroz e feijão tradição e segurança alimentar**. 1.ed. Brasília: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2021. 166 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **CONHECENDO A FENOLOGIA DO FEIJOEIRO E SEUS ASPECTOS FITOTÉNICOS**. 1.ed. Brasília: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2018. 62 p.

ESKANDARI, H. Contribution of Production Inputs to Energy Consumption in Wheat Production System for Providing a Solution to Improve Energy Consumption. **Iranian Journal of Energy and Environment**, v. 14, n. 1, p. 53 – 57, 2023.

ESKANDARI, H & MOSAVIAN, S. N., 2023. Energy Analysis for Two Production Systems of Cucumber. **Iranian Journal of Energy and Environment**, v. 14, n. 2, p. 96 – 101, 2023.

ESKANDARI, H. & ATTAR, S. Energy comparison of two rice cultivation systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 666 – 671, 2015.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE SISTEMA PLANTIO DIRETO (FEBRAPDP). Disponível em: <[Início - FEBRAPDP - Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto](#)>, 2023.

FEITOSA, J. R. Demanda energética, produtividade e custos de produção de cebola em função do sistema de preparo do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018. 155p. Tese doutorado.

FERNANDES, C. H. S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Influência da velocidade de semeadura no estabelecimento e produtividade do milho. **Revista Científica Rural**, v. 40, n.1, p. 61 – 68, 2019.

FERREIRA, L. L.; ARAÚJO, G. S.; CARVALHO, I. R.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S.; CARNEVALE, A. B.; CURVÊLO, C. R. S. Cause and effect estimates on corn yield as a function of tractor planting speed. **Journal of Experimental International**, v. 41, n.5, p. 1 – 7, 2019.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION (FAO). Crop Production and Trade Data. Disponível em:< <http://www.fao.org/faostat/en/#data> >. Acesso em 22 de março de 2023.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; BELLÉ, M. P.; VEIT, A. A.; SILVA, W. P. Força de tração e potência demandada por mecanismos de corte e sulcadores de semeadora-adubadora. **Revista Energia na Agricultura**, v. 31, n. 1, p. 17 – 23, 2016a.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; CARPES, D. P.; MACHADO, O. D. C.; BECKER, R. S.; BRANDELERO, C. Specific demands to the traction of cutting discs and furrow openers for the no-tillage system. **Australian Journal of crop Science**, v. 10, n. 7, p. 1040 – 1046, 2016b.

IMRAN, M.; OZCATALBAS, O.; BASHIR, M. K. Estimation of energy efficiency and greenhouse gas emission of cotton crop in South Punjab, Pakistan. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, p.216 – 224, 2020.

KACHMAN, S. D. & SMITH, J. A. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. **Transactions of the ASAE**, v. 38, p. 379 – 387, 1995.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: con um estúdio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. O.; SILVEIRA, G. M. 1989. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v. 48, n. 2, p. 249 – 262, 1989.

LACERDA, É, 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, p. 205, 2014.

LAL, B.; GAUTAM, P.; NAYAK, A. K.; PANDA, B. B.; BIHARI, P.; TRIPATHI, R.; SHAHID, M. GURU, P. K.; CHATTERJEE, D.; KUMAR, U.; MEENA, B. P. Energy and carbon budgeting of tillage for environmentally clean and resilient soil health of rice-maize cropping system. **Journal of Cleaner Production**, v. 226, p. 815 – 830, 2019.

LLANILLO, R. F.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, T. R. M.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 208, e104877, 2021.

LEITE, D. M.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; FURTADO JÚNIOR, M. R. Dynamic traction of a mechanized set based on technical and operational parameters. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 3, p. 484 – 492, 2017.

LU, X.; LU, X.; CUI, X.; LIAO, T. Tillage and crop straw methods affect energy use efficiency, economics and greenhouse gas emissions in rainfed winter wheat field of Loess Plateau in China. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Suction B – Soil & Plant Science, v. 68, n. 6, 2018.

MACEDO, D. X.; NICOLAU, F. E. D. A.; NASCIMENTO, H. C.; COSTA, E.; CHIODEROLI, C. A.; LOUREIRO, D. R. Operational performance os a tractor-seeder according to the velocity and working depht. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n.3, p. 280 – 285, 2016.

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

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Circular Técnica 98, 2. Ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011.

MARQUES FILHO, A. C. & VENTURA, H. C. Can sowing speed affect corn yield? **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 3, e6486, 2021.

MIALHE, L. G. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1974. 297 p.

MILEUSNIC, Z. I.; PETROVIC, D. V.; DEVIC M. S. Comparison of tillage systems according to fuel consumption. **Energy**, v. 35, n. 1, p. 221 – 228, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. MAPA, Registro Nacional de cultivares RNC. Disponível em:<
https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>.

Acesso em 05 de março de 2023.

MOTA, F. S. & ZAHLER, P. J. M. **Clima, agricultura e pecuária no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Livraria Mundial, 1994. 166 p.

MOURA, A. D. & BRITO, L. M. FEIJÃO do plantio à colheita. In: **Aspectos Socioeconômicos**. Viçosa: Editora UFV, 2015. Cap.2, p. 16 – 36.

MÜLLER, J.; MODOLO, A. J.; TRENTIN, R. G.; CAMPOS, J. R.; BAESSO, M. M. Tractive demand, soil mobilization parameters, and corn yield in compacted Oxisol. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 89 – 96, 2019.

NASCIMENTO, F. M.; RODRIGUES, J. G.; FERNANDES, J. C.; GAMERO, C. A., BICUDO, S. J. Efeitos de sistemas de manejo do solo e velocidade de semeadura no desenvolvimento do sorgo forrageiro. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 332 – 337, 2014.

NASSIR, A. J.; RAMADHAN, M. N.; ALWAN, A. A. M. Energy input-output analysis in wheat, barley and oat production. **Indian Journal of Ecology**, v.48, n. 1, p. 304 – 307, 2021.

NICOLAU, F. E. A.; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, P. R. A.; AMORIM, M. Q.; MENDONÇA, C. A.; QUEIROZ, R. F.; OLIVEIRA, J. L. P.; LIMA, I. O. Energy and operational performance in corn sowing: furrowing mechanisms and soil coverings. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, e20111628789, 2022.

NOVAK, L.; RANSOM, J. Factors impacting corn (*Zea mays* L.) establishment and the role of uniform establishment on yield. **Agriculture Sciences**, v. 9, p. 1317–1336, 2018.

ORLANDO JUNIOR, W. A.; FERNANDES, H. C.; FORASTIERE, P. R.; GUAZZELLI, T. M.; ARAÚJO, G. M. Energy demand of a mechanized unit for the implementation of common bean crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 65 – 71, 2021.

ORLANDO JÚNIOR, W. A. **Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função da profundidade de deposição do adubo e do teor de água no solo para a cultura do feijão**. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2019.

ÖZGÖZ, E.; ALTUNTAŞ, E.; ASILTÜRK, M. Effects of soil tillage on energy use in potato farming in Central Anatolia of Turkey. **Energy**, v. 141, p. 1517-1523, 2017.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F. V.; LOBO JUNIOR, M.; WENDLAND, A. FEIJÃO do plantio à colheita. In: **Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2015. Cap.11, p. 270 – 299.

PAINTER, K. **Costs of owning and operating farm machinery in the Pacific Northwest: 2011**. Pacific Northwest Extension Publication, University of Idaho, p.106, 2011.

PEIXOTO, D. S.; SILVA, L. C. M.; MELO, L. B. B.; AZEVEDO, R. P.; ARAÚJO, B. C. L.; CARVALHO, T. S. C.; MOREIRA, S. G. M.; CURI, N.; SILVA, B. M. Occasional tillage in no-tillage systems: A global meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 745, 140887, 2020.

QUINTELA, E. D. & BARBOSA, F.R. FEIJÃO do plantio à colheita. In: **Manejo de pragas**. Viçosa: Editora UFV, 2015. Cap.10, p. 242 – 269.

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

REYNALDO, É. F.; MACHADO, T. M.; TAUBINGERS, L.; QUADROS, D. Influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e na produtividade de soja. **Engenharia na agricultura**, v. 24, p. 63 – 67, 2016.

RINALDI, P. C. N.; ALVARENGA, C. B.; ZAMPIROLI, R.; RIBEIRO, W. S.; FERNANDES, H. C. Estabelecimento inicial da cultura do milho em função da velocidade de trabalho e dos mecanismos sulcadores da semeadora. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 1, p. 23 – 31, 2019.

RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; SILVEIRA, J. C. M.; MAGNO, R. G. J. 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, p. 123 – 130, 2010.

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A.; MARTINS, A. C. E. The Importance of Straw No-Tillage System for Soil Restructuring and Organic Matter Restoration. **Research, Society and Development**, v.9, n.1, p. e154911870-e154911870, 2020.

SANTOS, V. C.; SANTOS, P. R. A.; LIMA, I. O.; PEREIRA, V. R. F.; GONÇALVES, F. R.; CHIODEROLI, C. A. 2016. Performance of a seeder according to the displacement velocity and furrowing mechanism for fertilizer deposition. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 286 – 291, 2016.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R. F.; PINHEIRO, L. R. Botânica. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **FEIJÃO: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, p. 37-63, 2015.

ŠARAUSKIS, E.; ROMANECKAS, K.; JASINKAS, A.; KIMBIRAUSKIEN, R.; NAUJOKIEN, V. Improving energy efficiency and environmental mitigation through tillage management in faba bean production. **Energy**, v. 209, 118453, 2020.

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

SEQUINATTO, L.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.. Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 344 – 350, 2014.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. PARANÁ GOVERNO DO ESTADO. Disponível em :<<https://www.agricultura.pr.gov.br/CustosProducao>>. Acesso em 01 de junho de 2023.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. Viabilidade econômica da cultivar de feijão-comum superprecoce BRS FC104 no estado do Paraná. In: Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 59.; ENCONTRO

BRASILEIRO DE PESQUISADORES EM COOPERATIVISMO, 6., 2021, Brasília, DF. Brasília, DF: UnB, 2021.

SHAKOOR, A.; SHAHBAZ, M.; FAROOQ, T. H.; SAHAR, N. E.; SHAHZAD, S. M.; ALFAF, M. M.; ASHRAF, M. A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. **Science of The Total Environment**, v. 750, 142299, 2021a.

SOUZA, L. H. & FERNANDES, V. L. Capacidade operacional e eficiência de campo da produção de silagem de milho cultivado em pivô central: estudo de caso. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 01 – 05, 2020.

SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; ARCOVERDE, S. N. S.; BOTTEGA, E. L.; ORLANDO, R. C. Desempenho de semeadora-adubadora de milho de segunda safra em semeadura direta. **Revista Agrian**, v. 12, n. 45, p. 346 – 353, 2019.

SU, Y.; GABRIELLE, B.; MAKOWSKI, D. A global dataset for crop production under conventional tillage and no tillage systems. **Scientific Data**, v. 8, n. 33, 2021a.

SU, Y.; GABRIELLE, B.; MAKOWSKI, D. High probability of yield gain through conservation agriculture in dry regions for major staple crops. **Scientific Reports**, v. 11, 3344, 2021b.

TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Compressibility of Oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1525 –1533, 2009.

TRENTIN, R. G.; MODOLO, A. J.; VARGAS, T. O.; CAMPOS, J. R. R.; BAESSO, M. M.; TROGELLO, E.; MADALUZ, J. C. C. Traction force demand of soybean planting in compacted Oxisol. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n.3, p. 374 – 379, 2018.

TRICAI, E; FURLANI C. E. A.; BERTONHA, R. S.; SILVA V. F. A.; COMPAGNON, A. M.; CASSIA, M. T. 2016. Energy demand of furrow openers and corn yield according to the soil disturbance in no till system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 17, p. 1538 – 1542, 2016.

UEBERSAX, M. A.; CICHY, K. A.; GOMEZ, F. E.; PORCH, T. G.; HEITOLT, J.; OSORNO, J. M.; KAMFWA, K.; SNAPP, S. S.; BALES, S. Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital componente of sustainable agriculture and food security – A review. **Legume Science**, v. 2023, n. 5, p. e155, 2023.

VASCONCELLOS, J. P. R.; REIS, R. B.; REZENDE, R. M. REZENDE, R. A. L. S.; CARVALHO, A. F. S. Influência da velocidade de semeadura na produtividade do trigo. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 3, p. 1 – 7, 2018.