

ELCIO DAS GRAÇA LACERDA

**DEMANDA ENERGÉTICA E RENDIMENTO DO FEIJOEIRO
EM SISTEMA DE 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*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

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

T

L131d
2012

Lacerda, Elcio das Graça, 1968-

Demanda energética e rendimento do feijoeiro em sistema de plantio direto / Elcio das Graça Lacerda. – Viçosa, MG, 2012.

xii, 84f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Mecanização agrícola. 2. Semeadura. 3. Feijão.
4. Adubos e fertilizantes. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

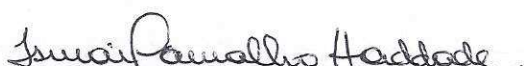
CDD 22. ed. 631.531

ELCIO DAS GRAÇA LACERDA

**DEMANDA ENERGÉTICA E RENDIMENTO DO FEJJOEIRO
EM SISTEMA DE 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: 06 de julho de 2012.



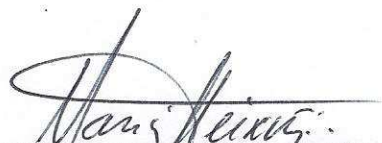
Ismail Ramalho Haddade



Edney Leandro da Vitória



Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)



Mauri Martins Teixeira
(Coorientador)



Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

À Lara, minha esposa, minha estrutura e força.
Aos meus pais, por me ensinarem o caminho do sucesso.
Aos meus filhos, Mellini, Letycia e Romualdo, razão do meu viver.
Aos meus queridos amigos, Edney Leandro da Vitória, Elton da Silva Leite,
Luiz Marcari Júnior, João Luís Kill e Ismail Ramalho Haddade.
À querida professora Lêda.
Em especial, ao amigo Haroldo Carlos Fernandes.

Chagas abertas, Sagrado Coração todo amor e bondade, o sangue do meu senhor Jesus Cristo, no corpo meu se derrame, hoje e sempre. Eu andarei vestido e armado, com as armas de São Jorge. Para que meus inimigos tendo pés não me alcancem, tendo mãos não me peguem, tendo olhos não me enxerguem e nem pensamentos eles possam ter, para me fazerem mal. Armas de fogo o meu corpo não o alcançarão, facas e lanças se quebrarão sem ao meu corpo chegar, cordas e correntes se arrebentarão sem o meu corpo amarrarem. Jesus Cristo me proteja e me defenda com o poder da sua Santa e divina Graça, a virgem Maria de Nazaré, me cubra com o seu sagrado e divino manto, me protegendo em todas as minhas dores e aflições, e Deus com a sua Divina Misericórdia e grande poder, seja meu defensor contra as maldades e perseguições dos meus inimigos, e o glorioso São Jorge, em nome de Deus, em nome de Maria Nazaré, em nome da falange do Divino Espírito Santo, estenda-me o seu escudo e as suas poderosas anulas defendendo-me com a sua força e como a sua grandeza, do poder dos meus inimigos carnis e espirituais e de todas as suas más influências, e que debaixo das patas do seu fiel ginete, meus inimigos fiquem humildes e submissos a vós, sem se atreverem a ter um olhar sequer que me possa prejudicar. Assim seja com o poder de Deus e de Jesus e da falange do Divino Espírito Santo. Amém.

(Oração de SÃO JORGE)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela possibilidade de realização de muitas conquistas.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela realização do curso de doutorado, em especial ao professor Haroldo Carlos Fernandes, pela oportunidade, pela compreensão, pelo carinho, pelo apoio, pela orientação e pela confiança, que foram muito importantes para minha formação profissional.

À Universidade de Vila Velha, em especial ao professor João Luís Kill, pelo apoio para finalização de mais esta etapa.

Ao IFES, Campus Santa Teresa, ES, pela oportunidade de contribuir com a pesquisa operacional, em especial aos amigos Thiago Lopes Rosado, Bernadete Fadini, Adelino Zamprogno, João Eduardo Barros, Daniel Fernandes, Marcelo Buliam, Cezar Menegassi Sobrinho e José Edmar Buliam e aos estudantes de agronomia Carla e Wagner Meneghelli.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores e conselheiros, Haroldo Carlos Fernandes, Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon, pelas contribuições.

Aos professores José Eustáquio de Souza Carneiro, Edney Leandro da Vitória e Ismail Ramalho Haddad, pelas sugestões e pela colaboração.

Ao Dr. José Mauro Chagas, pesquisador da Embrapa, pelas valiosas sugestões.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, Délio, Rosária, Marcos, D. Maria, Galinari, Juvercino, Evaristo, José Mauro, Danilo, Marcelo, Geraldo, Álvaro e Wantuil.

Aos meus pais, Ana e Eulayr Lacerda, e a toda minha família: Sidney, Elizete, Arlete, Izete, Tamires e Amanda, pelo apoio de sempre.

Aos amigos Daniel Mariano Leite, Marconi Furtado e Flávio Longui, pelo estímulo e pelo companheirismo.

Em especial, ao amigo de todas as horas Geraldo Bolonha.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Elcio das Graça Lacerda, filho de Eulayr Hantequestte Lacerda e Ana Pereira da Silva Lacerda, nasceu em Santa Teresa, ES, em 18 de setembro de 1968.

Em dezembro de 1985, concluiu o ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, em São João de Petrópolis.

Em dezembro de 1997, graduou-se em Tecnologia Agrônômica, com ênfase em Administração Rural, pelo Centro Universitário Colatina (UNESC).

Em dezembro de 2000, concluiu o curso de Projetos e Regulagens de Máquinas Agrícolas, em nível de especialização *Lato Sensu*, pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Em julho de 2010, submeteu-se à defesa de dissertação de Mestrado pelo Departamento de Zootecnia e Veterinária da Universidade de Vila Velha (UVV).

Em julho de 2010, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de Doutorado, na área de concentração em Mecanização Agrícola. Em dezembro de 2011, submeteu-se ao Exame de Qualificação e, em junho de 2012, à defesa de tese para obtenção do título *Doctor Science*.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1 - INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DE ADUBAÇÃO NA DEMANDA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA DE FEIJÃO	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	7
2.1. Caracterização da área experimental	8
2.1.1. Composição textural do solo.....	8
2.1.2. Caracterização física do solo.....	8
2.1.3. Densidade do solo	8
2.1.4. Resistência do solo à penetração.....	9
2.1.5. Teor de água no solo.....	10
2.1.6. Massa seca da matéria da cobertura vegetal.....	11
2.2. Máquinas e implementos	11
2.2.1. Trator	11
2.2.2. Semeadora-adubadora.....	12
2.2.3. Adaptações na semeadora-adubadora.....	14
2.3. Delineamento experimental	16
2.4. Demanda energética do conjunto trator semeadora	16
2.4.1. Força de tração.....	16
2.4.2. Velocidade do conjunto trator/semeadora	17
2.4.3. Capacidade operacional teórica	18
2.4.4. Consumo horário de combustível	18
2.4.5. Consumo específico de combustível	20
2.4.6. Consumo de combustível por área trabalhada	20
2.4.7. Demanda de potência de tração por haste.....	20
2.4.8. Patinação das rodas motrizes do trator	21
2.4.9. Profundidade de deposição de adubo	21
2.4.10. Demanda energética requerida	21
2.5. Análises estatísticas dos dados obtidos no experimento.....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23

3.1. Caracterização da área experimental	23
3.1.1. Caracterização textural do solo	23
3.1.2. Caracterização física da área experimental.....	23
3.1.2.1. Teor de água e densidade do solo	23
3.1.2.2. Resistência do solo à penetração antes do plantio	24
3.1.2.3. Peso de matéria seca da cobertura vegetal	25
3.1.3. Força de tração requerida.....	25
3.2. Velocidade de operação	27
3.2.1. Capacidade operacional teórica	27
3.3. Consumo horário de combustível	27
3.4. Consumo específico de combustível	29
3.5. Consumo de combustível por área trabalhada	30
3.6. Demanda de potência por haste	32
3.7. Patinagem das rodas motrizes.....	33
3.8. Energia requerida por área	34
4. CONCLUSÕES	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
CAPÍTULO 2 - PROFUNDIDADE DE ADUBAÇÃO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO, EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA	41
1. INTRODUÇÃO	42
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1. Delineamento experimental	45
2.2. Máquinas e implementos	48
2.2.1. Trator	48
2.2.2. Semeadora-adubadora	49
2.2.3. Pivô central	53
2.3. Caracterização da área experimental	53
2.3.1. Composição química e textural do solo	53
2.3.2. Caracterização física do solo.....	53
2.3.2.1. Teor de água no solo.....	54
2.3.2.2. Densidade do solo.....	54
2.3.2.3. Resistência do solo à penetração	54
2.3.3. Matéria seca da cobertura vegetal.....	56
2.4. Teste de germinação das sementes	57

2.5. Plantio e tratos culturais.....	57
2.6. Desempenhos da semeadora-adubadora.....	58
2.7. Irrigação da cultura	60
2.7.1. Manejo da irrigação	60
2.8. Estande final, componentes do rendimento e produtividade de grãos..	61
2.9. Análises estatísticas dos dados obtidos no experimento	62
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
3.1. Caracterização da área experimental	63
3.1.1. Caracterização química e textural do solo	63
3.1.2. Caracterização física da área experimental.....	64
3.1.2.1. Teor de água e densidade do solo	64
3.1.2.2. Resistência do solo á penetração	65
3.2. Peso da matéria seca da cobertura vegetal.....	65
3.3. Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência das plântulas (PEP).....	66
3.4. Peso de 100 sementes, número de vagens por plantas, número de sementes por vagem, estande da cultura e produtividade da cultura	68
3.4.1. Peso de 100 sementes	68
3.4.2. Número de vagem por planta	69
3.4.3. Número de sementes por vagem.....	71
3.4.4. Estande da cultura	73
3.4.5. Produtividade da cultura	73
4. CONCLUSÕES	75
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
CONCLUSÃO GERAL	79
REFERÊNCIAS.....	80

RESUMO

LACERDA, Elcio das Graça, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012 **Demanda energética e rendimento do feijoeiro em sistema de plantio direto**. Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

A força de tração requerida para semeadoras varia em razão do tipo de mecanismo abridor de sulco, do tipo de solo, do leito de semeadura, do número de linhas e da profundidade de deposição de sementes e adubos. Deste modo, objetivou-se avaliar a demanda energética de uma semeadora de plantio direto, em profundidades de adubação e de lâminas de água para a cultura do feijoeiro. O experimento foi realizado em uma área com solo argiloso, pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus de Santa Teresa-ES. A caracterização do solo da área experimental foi feita por meio da análise textural, da particularidade física, do teor de água e da densidade do solo. A resistência do solo à penetração foi obtida por meio de um penetrômetro digital. No tracionamento da semeadora-adubadora foi utilizado um trator, marca *New Holland*, modelo TL 85E, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 61,1 kW (83 cv) no motor a 2.200 rpm, e massa em ordem de embarque, de 3.810 kg sem lastro e 4.900kg com lastro máximo. Para medir o combustível consumido, valeu-se de um fluxômetro, marca *Flowmate* oval, modelo Oval M-III. Para a determinação da força de tração requerida pelos equipamentos, utilizou-se de uma célula de carga da marca Kratos com capacidade igual a 50 kN. O sistema de irrigação utilizado foi do tipo pivô central, marca FOCKING SA, modelo AF2740-15. Foi utilizada uma semeadora-adubadora de plantio direto, da marca BALDAN, modelo PLB 3. Objetivando-se alcançar a profundidade de adubação de 0,16 m, efetuou-se uma mudança no sistema de abertura de sulco, sendo colocadas hastas sulcadoras, com largura de 40 mm. Utilizou-se uma taxa de plantio de 240.000 sementes de feijão ha⁻¹, da cultivar BRSMG Madrepérola e 42 gramas de adubo contendo N, P, K+S, Zn, Cu, B, Mn e Mo por metro linear. O delineamento foi inteiramente casualizado em um esquema de parcelas subdivididas, sendo alocadas nas parcelas cinco diferentes percentuais das lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125%) da evapotranspiração do feijão

(ETo); e nas subparcelas, as quatro diferentes profundidades de adubação (0,0484 m, 0,0868 m, 0,1220 m e 0,1683 m), com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais, cada uma com 60 m² de área (3,0 x 20 m). Determinaram-se como variáveis resposta a demanda energética e os componentes de rendimento da cultura. Foram observados aumentos na necessidade de força, consumo horário de combustível, consumo de combustível por hectare, índice de patinação e consumo de energia para semear um hectare pelo trator na medida em que foi aumentada a profundidade de adubação. Com o aumento da profundidade de adubação, houve redução no consumo específico de combustível. Com mudança no mecanismo regulador de profundidade da semeadora, atingiu-se maior profundidade de adubação. Não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) em relação à profundidade de adubação para as variáveis: índice de velocidade de emergência de plântulas, porcentagem de emergência, número de vagens por planta e estande de plantio. Conclui-se que: A profundidade de adubação de 0,964 m e a reposição da lâmina de evapotranspiração de 125% (433,26 mm de água m²) proporciona maior produtividade do feijão de 3.045 kg ha⁻¹ e que a profundidade de adubação de 0,1109 m e lâmina de evapotranspiração de 120,73% (418,45 mm de água mm²) proporcionaram maior número de sementes, de 5,548 por vagens .

ABSTRACT

LACERDA, Elcio das Graça, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Energy demand and yield of common bean in no-tillage system.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-advisers: Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

The traction force required for seeding varies due to the type of furrow opener mechanism, soil type, the seedbed, the number of lines and the depth of the seeding and fertilizer. Thus, the objective was to evaluate the energy demand of a no-till drill in depths of fertilization and water slides for the dry bean crop. The experiment was conducted in an area with clay soil, belonging to the Federal Institute of Education, Science and Technology of Espírito Santo (*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo*), Santa Teresa Campus. The characterization of the experimental area was performed by the textural analysis, by physical characteristic of the moisture content and bulk density analyses. The resistance to penetration was measured by a digital penetrometer. To give traction to the drill there had been used a *New Holland* brand tractor, model TL 85E, front wheel driving assist (TDA), power of 61.1 kW (83 hp) engine to 2,200 rpm, and mass in departure, of 3,810 kg without ballast and 4,900kg with maximum ballast. To measure the fuel consumed, it was used an oval flow meter branded *Flowmate*, Model M-III. To determine the tensile force required by the equipment it was used a load cell with a Kratos capacity equal to 50 kN. The irrigation system used was the central pivot FOCKING SA brand, model AF2740-15. There had been used a no-till seeder, BALDAN brand, model PLB 3. Aiming to achieve the depth of 0.16 m of fertilization, we performed a change in the furrow opening system, being placed chisel type openers, with a width of 40 mm. There have been used a planting rate of 240,000 bean seeds ha⁻¹, Madreperola BRSMG cultivar and 42 grams of fertilizer containing N, P, K + S, Zn, Cu, B, Mn and Mo per linear meter. The design was completely randomized in a split plot, being added to each of the main plots five different percentages of water slides (25, 50, 75, 100 and 125%) of the bean evapotranspiration (ET_o) and to subplots, four different fertilization depths (0.0484 m, 0.0868 m, 0.1220 and 0.1683 m) with three replications,

totaling 60 experimental units, each with 60 square meters in size (3.0 x 20 m). Answer variables were determined as energy demand and components of crop yield. There were observed increases in need of strength, hourly fuel consumption, fuel consumption per hectare, skating index and power consumption to sow one hectare by the tractor as the depth of fertilization was increased. By increasing depth of fertilization, a reduction in specific fuel consumption was obtained. By changing mechanism of the seeding depth, was reached a greater depth of fertilization. There were no significant differences ($p > 0.05$) for the depth of fertilization for the following variables: seedling emergence speed index, emergence rate, number of pods per plant and plant stand. Concludes that: The depth of fertilization of 0.964 m and the evapotranspiration water slide reposition of 125% (433.26 mm water m²) pallowed an increase in bean yield of 3,045 kg ha⁻¹ and the depth of fertilization of 0.1109 and evapotranspiration water slide of 120.73% (418.45 mm of water mm²) produced a higher number of seeds per pod of 5.548.

INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é de expressiva importância econômica no cenário nacional, pois, além de ser um dos mais importantes componentes da dieta alimentar do brasileiro, é reconhecidamente uma excelente fonte protéica.

O Brasil é o maior produtor de feijão do mundo, respondendo por 16% da produção mundial (FAO, 2011). A cultura vem sendo explorada em diversos sistemas de produção, com produtividades superiores a 3.000 kg ha⁻¹ (YOKOYAMA, 2002).

Do total da safra atual, a Região Sul participa com 21%, a Nordeste com 51%, a Sudeste com 16,6%, a Centro-Oeste com 7,4%, e a Norte com 4%. Destacam-se como maiores produtores os Estados da Bahia, com 566,4 mil toneladas; Paraná, com 525,3 mil toneladas; e Minas Gerais, com 425,1 mil toneladas (CONAB, 2011).

Com o uso de sistemas irrigados, em regiões com inverno ameno, e o plantio de cultivares precoces, com maior potencial de produtivo, a cultura do feijoeiro passou a despertar o interesse de grandes produtores, os quais passaram a aplicar melhores tecnologias, tanto no solo, como na cultura.

Quanto ao solo, os sistemas de manejo afetam diferentemente a sua densidade, a porosidade e armazenamento de água ao longo do perfil, o que interfere no desenvolvimento e na produtividade da cultura. As práticas mais efetivas e eficientes de conservação do solo são o cultivo mínimo e o plantio direto. As principais vantagens que essas práticas trazem ao agroecossistema são a redução da erosão do solo, a menor perda de nutrientes por lixiviação, a manutenção da estabilidade térmica da superfície do solo, a conservação da água no sistema e a redução de custos de manejo (PEREIRA, 2006).

No plantio direto, a camada superficial do solo pode apresentar maior resistência à penetração, quando esse for comparado com outros sistemas de preparo do solo. Tal fato foi comprovado por Stone e Moreira (2001), que avaliaram o efeito do estresse hídrico, da adubação nitrogenada e do sistema de preparo do solo, na produtividade do feijoeiro.

Na semeadura do feijoeiro, utiliza-se a técnica de depositar o adubo no solo ao lado e mais profundo que a semente, com o intuito de protegê-la contra

o efeito da salinidades do fertilizante e proporcionar a interceptação dos nutrientes pelas raízes, durante seu crescimento.

No sistema de plantio direto, o solo não é mobilizado antes da semeadura, o que causa grande resistência ao processo de abertura do sulco, aumentando a demanda energética da semeadora quando comparada à mesma no plantio convencional.

Fernandes et al. (2008), em avaliação do consumo energético em diferentes operações agrícolas mecanizadas, concluíram que os sistemas com menos operações por hectare obtiveram menor consumo de combustível, o que destacou o de semeadura direta, seguido pelo o de cultivo mínimo com gradagem leve, o de vibro escarificador e o de preparo convencional.

Segundo Santos et al. (2008), o uso do sistema de abertura de sulcos para deposição de fertilizante do tipo haste sulcadora aumenta as exigências em força de tração, no consumo de combustível (horário e específico) e no índice de patinagem, em relação a essas medidas, na abertura de sulcos do tipo discos duplo desencontrados. Mion e Benez (2008) verificaram que a haste promove maior mobilização de solo.

Rinaldi (2008), verificando a influência da profundidade de adubação (0,05 e 0,10 m) e quatro diferentes velocidades da semeadora (3, 6, 9 e 11 km h⁻¹), em plantio direto da cultura do feijoeiro, em um solo franco argiloso, concluiu que a velocidade de 3 km h⁻¹ foi a que apresentou melhor desempenho para os espaçamentos aceitáveis, falhos e para o estande de plantas na área preestabelecida. No mesmo estudo a profundidade de adubação de 0,10 m proporcionou maior número de vagens por planta, mas não afetou a produtividade de grãos.

O feijoeiro é descrito como uma cultura sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo (NÓBREGA et al., 2001).

De acordo com Lopes et al. (2004), o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas, constitui-se em aspecto importante na agricultura irrigada para que haja adequada programação de manejo de irrigação.

Um dos modos de se suprir as necessidades de água da planta é por meio da irrigação, principalmente na época do inverno ou verão atípico, quando o índice pluviométrico é baixo. Independentemente da época em que é

cultivada, sem o uso da irrigação, a cultura fica predisposta a algum estresse hídrico, em seus diferentes estágios fenológicos de desenvolvimento, resultando em decréscimo da produção (SOUZA et al., 2009).

Carvalho et al. (2000), ao avaliarem o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijoeiro da variedade caupi, encontraram reduções significativas nos tamanhos das plantas, durante as fases de crescimento, de floração e de enchimento de grãos, em relação aos tratamentos sem déficit hídrico.

Por meio deste estudo objetivou-se avaliar o sistema de semeadura direta de feijão e os componentes de produtividade da cultura, em razão de diferentes profundidades de adubação e lâminas de irrigação, além da demanda energética do conjunto trator - semeadora de plantio direto.

CAPÍTULO 1

INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DE ADUBAÇÃO NA DEMANDA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA DE FEIJÃO

Resumo: Objetivou-se avaliar a demanda energética de uma semeadora de plantio direto, em operação com profundidade de adubação de até 0,16 m de profundidade na semeadura da cultura do feijoeiro. Foi realizado em área com solo argiloso, pertencente ao IFES-Campus de Santa Teresa. A caracterização do solo foi feita por meio de análise da composição textural, da caracterização física, do teor de água e da densidade. A resistência do solo à penetração foi obtida por meio do uso de um penetrômetro digital. Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator, marca *New Holland*, modelo TL 85E, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 61,1 kW (83 cv) no motor a 2.200 rpm, e massa em ordem de embarque de 3.810 kg sem lastro e 4.900 kg com lastro máximo. Para medir o combustível consumido, usou-se um fluxômetro, marca *Flowmate* oval, modelo Oval M-III. Na determinação da força de tração requerida pelos equipamentos, foi utilizada uma célula de carga da marca Kratos de capacidade igual a 50 kN. Utilizou-se uma semeadora-adubadora de plantio direto marca BALDAN, modelo PLB-3. Com a necessidade de alcançar a profundidade de adubação de 0,16 m, o sistema de abertura de sulco foi modificado pela retiradas dos discos duplos desencontrados e foram colocadas hastes sulcadoras com largura de 40 mm. Utilizou-se velocidade média de 4,43 km h⁻¹, em um esquema de parcelas subdivididas, sendo alocadas nas parcelas as cinco diferentes lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125% da ETo do feijão) e, nas subparcelas, as quatro profundidades de adubação (0,0484 m, 0,0868 m, 0,1220 m e 0,1683 m) em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais com uma área de 60 m² cada uma. Determinaram-se as seguintes variáveis respostas de demanda energética: força de tração, capacidade operacional teórica, consumo horário de combustível, consumo específico de combustível, consumo de combustível por área trabalhada, potência de tração requerida por haste da semeadora, patinagem das rodas motrizes do trator, profundidade de deposição de adubo e energia requerida por área. Os resultados demonstraram que a medida que se aumenta a profundidade de adubação, eleva-se a necessidade de força produzida pelo trator, o consumo horário de combustível, o consumo de combustível por hectare, o índice de patinagem e o consumo de energia por hectare. Com o aumento da profundidade de adubação há redução no consumo específico de combustível. Com a modificação no mecanismo regulador de profundidade da semeadora maiores profundidade de adubação são alcançadas.

1. INTRODUÇÃO

A mecanização das atividades agrícolas é sem dúvida um dos fatores de merecido destaque no resultado final de um empreendimento e, se utilizada de maneira adequada, propiciará aumento produtivo na realização dos trabalhos e, melhoria na qualidade do produto. Para isso, são utilizados tratores agrícolas de pneus com características próprias e desenvolvidos com a finalidade de executar diversas operações no âmbito de uma propriedade rural, desde os preparos de solos convencionais até o advento do plantio direto.

Nos últimos anos, a atividade agrícola no Brasil evoluiu consideravelmente do ponto de vista técnico. Essa evolução, somada à escassez de recursos financeiros, evidenciou a necessidade de se planejar e se controlar a atividade mecanizável, condição indispensável para uma adequada gestão dos recursos produtivos (MACHADO, 2008).

As operações de semeadura de podem interferirem consideravelmente na produção de uma cultura, pois é, nesse momento que se definem o melhor *stand* da cultura, as profundidades de deposição da semente e do fertilizante, além da quantidade do fertilizante na linha de plantio.

A complexidade do sistema de plantio direto se deve à dificuldade de se controlar simultaneamente grande número de variáveis oriundas dos fatores técnicos como corte da palhada, abertura e profundidade do sulco, deposição do adubo e da semente e cobertura e compactação da semente.

A técnica de semeadura direta consiste na colocação da semente em um solo não convencionalmente preparado, causando mínima mobilização, o que possibilita a permanência de restos vegetais das culturas anteriores na cobertura do solo (BRANQUINHO et al., 2004).

O método de aplicação de adubos nos sulcos de plantio é o mais utilizado, mas algumas semeadoras-adubadoras distribuem o fertilizante misturado com as sementes na superfície do solo, o que pode causar danos à germinação e ao desenvolvimento superficial das raízes, pelas limitações à exploração da fertilidade natural do solo, podendo ocasionar perdas na produtividade (SILVA; SILVEIRA, 2002).

No sistema de plantio direto, o solo não é mobilizado antes da semeadura, o que causa grande resistência no processo de abertura de sulco,

caracterizando demanda energética mais elevada da semeadora, em comparação à mesma no plantio convencional. Quanto mais profundo e largo o sulco, maior a resistência do solo à penetração do sulcador, maior a demanda por potência, maior o gasto de combustível, maior o índice de patinagem e menor a capacidade de campo do conjunto motomecanizado.

O sulcador tipo haste é projetado para abrir o sulco e romper camadas de solo mais adensadas superficialmente; ao contrário, o de disco duplo somente abre o sulco no solo.

Diante disso, justifica-se o aumento de 97,4% da força requerida pelo sulcador tipo haste em trabalho conduzido por Silva e Benez (2005). Esses autores, ao avaliarem as forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto da cultura do milho, concluíram que, com o aumento da profundidade de trabalho da haste, maior foi a força requerida na barra de tração.

Os sulcadores adubadores do tipo haste promovem maior mobilização do solo, demandam maior esforço de tração e, conseqüentemente, podem induzir maior patinagem dos rodados do trator, quando comparados com os sulcadores de discos duplos desencontrados (CEPIK et al., 2005).

Herzog et al. (2004), trabalhando com mecanismo sulcador adubador do tipo haste, encontraram na profundidade de 12 cm de atuação, volume de solo 53% mais mobilizado e maior exigência de força e potência por parte da semeadora, em comparação com a profundidade de 6 cm. Entretanto, a produtividade de grãos de soja não foi influenciada pela profundidade do sulcador.

A força de tração em razão do aumento da profundidade, correlacionada com o teor de água no solo, foi mensurada na haste sulcadora por Cepik et al. (2005), que encontraram, nas profundidades de 0,06 e 0,12 m, acréscimos de 70 e 130% na força de tração, respectivamente.

A profundidade de atuação dos sulcadores de adubo interfere na patinagem dos rodados do trator. Cepik et al. (2005) apresentaram essa influência em todos os estados de consistência do solo (seco friável e úmido). Com a regulagem das hastes atuando a 12 cm de profundidade do solo, os limites aceitáveis de patinagem do trator, que são entre 10 e 15%, foram ultrapassados.

De acordo com a AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE, 1996, força de tração requerida para semeadoras em solos argilosos, variam de 1,10 kN a 2,00 kN por linha de semeadura.

Uma maneira de definir o grau de recursos na implantação de determinada atividade seria a mensuração das energias de entrada despendidas para sua execução.

De acordo com Campos (2001), a energia consumida no processo produtivo é classificada em energia direta e indireta. A energia direta subdivide-se em: biológica, na qual se considera a energia humana (nos trabalhos), a energia animal, os resíduos de animais, as sementes e os alimentos para animais e energia fóssil, que correspondem aos produtos e subprodutos do petróleo, como óleos, adubos químicos e defensivos e a energia indireta, considera-se aquela contida nos tratores e equipamentos agrícolas, sendo ponderada a partir da depreciação durante a vida útil desses equipamentos.

Objetivou-se avaliar a demanda energética de uma semeadora de plantio direto adaptada, operando com profundidade de adubação de até 0,16 m na implantação da cultura do feijoeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), *Campus* de Santa Teresa, localizado no município de Santa Teresa, região Serrana do Espírito Santo, com altitude média de 150 m, situado entre as coordenadas 19°48'36" de latitude sul e 40°40'48" de longitude oeste de Greenwich, no período de 09 de agosto de 2011 (Figura 1), em uma área irrigada por pivô central. O clima da região é tropical úmido com inverno seco e verão quente, Cwa, segundo a classificação de Köppen (1948). A média de temperatura nos meses mais quentes está entre 27,8 e 30,7°C e a dos meses mais frios entre 9,4 e 11,8°C. O índice pluviométrico para a área experimental é superior a 1.800 mm anuais, com período de abril a novembro seco e chuvoso, de dezembro a maio.



Figura 1 - Vista geral da área experimental: (a) antes do plantio e (b) depois do plantio.

2.1. Caracterização da área experimental

2.1.1. Composição textural do solo

As análises da composição textural do solo na área experimental foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), *Campus* Santa Teresa, ES, seguindo metodologia descrita pela Embrapa (1997).

2.1.2. Caracterização física do solo

Foram determinadas as características físicas do solo como: teor de água, densidade, resistência a penetração, peso da matéria da cobertura vegetal.

2.1.3. Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada na camada de 0 a 0,30 m de profundidade, utilizando-se o método do anel volumétrico, descrito pela Embrapa (1997). As amostras foram coletadas e acondicionadas em cápsulas de alumínio, sendo posteriormente lacradas até a chegada ao laboratório. A

amostragem foi realizada antes da aplicação dos tratamentos, retirando-se quatro amostras em cada parcela experimental.

2.1.4. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi obtida com a utilização de um penetrômetro, marca DLG, modelo PNT-2000 (Figura 2), cujas principais características são descritas no Quadro 1.

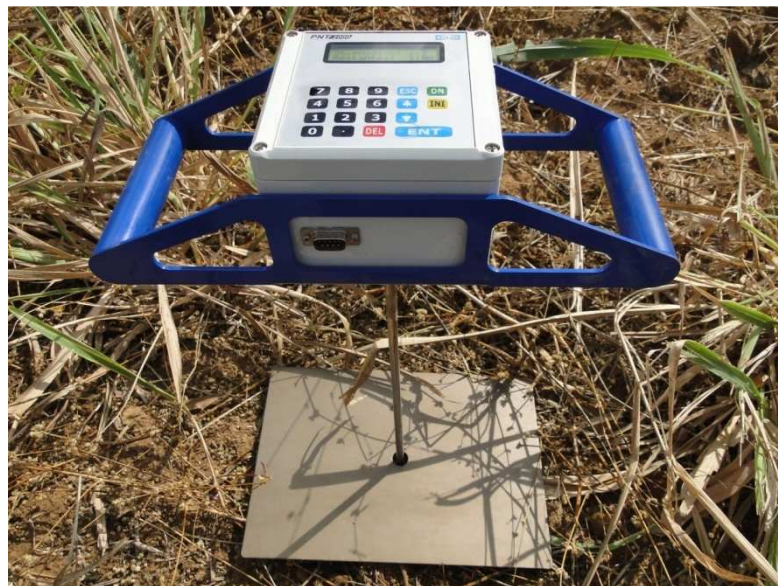


Figura 2 - Penetrômetro utilizado.

Quadro 1 - Características do penetrômetro PNT-2000

Tipo	Parâmetro
Alimentação	Bateria interna recarregável de 3,6 Vcc
Tipos de cone	De acordo com a norma ASAE S 313.3: - Cone tipo 1 (grande): 323 mm ² - Cone tipo 2 (médio): 129 mm ² Não normalizados - Cone tipo 3 (pequeno): 71,25 mm ²
Profundidade máxima de penetração	0,6 m
Medição de força	Célula de carga de capacidade máxima de 1.000 N
Medição de profundidade	Por meio de sensor ultra sônico, com precisão de 0,001 m
Capacidade de memória	768 ensaios

Fonte: DLG Automação (2010).

A coleta dos dados para estabelecer a resistência do solo à penetração foi feita em oito pontos distintos de cada parcela experimental, com a retirada simultânea de amostras de solo para a determinação do teor de água no solo. Os valores de resistência à penetração foram apresentados em forma de gráficos, nas faixas de 0 a 0,30 m de profundidade, sendo estes expressos em MPa. O tipo de cone utilizado para a realização das coletas de dados foi o tipo 2 (médio), com 129 mm² de área da seção transversal do cone.

2.1.5. Teor de água no solo

Foi usado o método gravimétrico-padrão, com base na massa de solo seco em estufa na temperatura de 105 a 110°C até atingir massa constante, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997). Na condução do experimento, foram realizadas amostragens de solo no dia da operação da semeadura e determinado o teor de água nas faixas de 0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m de profundidade, coletando quatro amostras de cada parcela experimental.

2.1.6. Massa seca da matéria da cobertura vegetal

A massa seca da matéria da cobertura vegetal foi coletada antes da semeadura, utilizando-se um quadro de madeira de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) (Figura 3), que foi lançado aleatoriamente sobre a cobertura.



Figura 3 - Quadro de madeira utilizado para a coleta da massa da cobertura vegetal.

Foram coletadas quatro amostras em cada parcela experimental e posteriormente secadas em estufa a 65°C 48 a 72 horas até atingirem peso constante, sendo os valores expressos em kg ha⁻¹. Anteriormente a semeadura a área era ocupada por uma vegetação nativa de *sorgo selvagem* (*Sorghum arundinaceum*) e capim *colonião* (*Urochloa máxima* co. *colonião*), estando essa área em estado de pousio a dois anos.

2.2. Máquinas e implementos

2.2.1. Trator

Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator, marca *New Holland*, modelo TL 85 E, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de

61,1 kW (83 cv) no motor a 2200 rpm, peso em ordem de embarque de 3.810 kg sem lastro e 4.900kg com lastro máximo e um outro trator marca MASSEY FERGUSSON modelo 290 servindo como comboio (Figura 4).



Figura 4 - Trator utilizado no experimento: (a) para tracionar o comboio e (b) tratores sendo utilizados no comboio.

2.2.2. Semeadora-adubadora

Foi usada uma semeadora-adubadora de plantio direto, marca BALDAN, modelo PLB 3 (Figura 5), montada no sistema de levante hidráulico, com capacidade de 180 kg de adubo e 120 kg de sementes, três linhas de plantio e depósitos individuais com mecanismos dosadores de sementes do tipo disco perfurado horizontal, disco de corte liso de 406,4 mm de diâmetro, sulcadores de discos duplos desencontrados com 356 mm de diâmetro para distribuição de sementes, com abertura do sulco, para deposição de fertilizante com capacidade de 0,12 m de profundidade. Outras especificações técnicas dessa máquina estão descritas no Quadro 2.



Figura 5 - Semeadora-adubadora antes das mudanças.

Quadro 2 - Especificações técnicas da semeadora-adubadora

Parâmetros	Características
Controle de profundidade	Rodas compactadoras e reguladoras na parte lateral
Rodas compactadoras	Duas rodas compactadoras em "V", com 0,345 m de diâmetro e 0,045 m de largura
Espaçamento mínimo entre linhas	0,420 m
Número máximo de linhas	3 linhas
Peso líquido total	600 kg
Potência mínima para tração	48,55 kW (66cv)

Fonte: Baldan Máquinas e Implementos Agrícolas (BALDAN, 2009).

2.2.3. Adaptações na semeadora-adubadora

Com a necessidade de se alcançar a profundidade de adubação de 0,16 m, foi efetuada a modificação no sistema de abertura de sulco. Além disso, com o intuito de aumentar a profundidade de deposição de adubo; prolongou-se a haste perfurada de regulagem da profundidade (Figura 6a) por meio de uma mola de maior comprimento e pressão (Figura 6b).

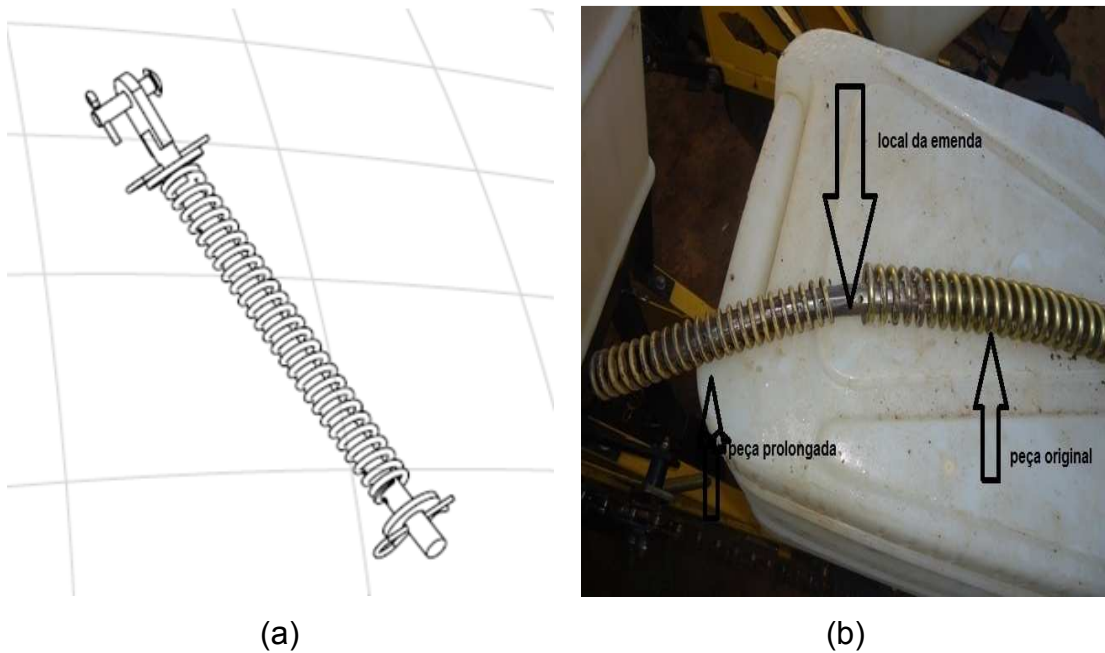


Figura 6 - Sistema de abertura do sulco: (a) peça original e (b) peça modificada.

Trocou-se o sistema de abertura de sulco, retirando-se os discos duplos desencontrados e colocando hastes sulcadoras do tipo parabólica com largura de 40 mm (Figura 7). A semeadora após as modificações descritas pode ser observada na Figura 8.

Utilizou-se velocidade média de $4,43 \text{ km h}^{-1}$ para o conjunto trator-semeadora adubadora e quatro profundidades de deposição do adubo (0,0484 m, 0,0868 m, 0,1220 m e 0,1683 m).



Figura 7 – haste tipo parabólica sendo adaptada.



Figura 8 - Semeadora-adubadora utilizada no experimento, após adaptações nas peças.

2.3. Delineamento experimental

O experimento foi instalado seguindo delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro profundidades (0,0484 m, 0,0868 m, 0,1220 m e 0,1683 m) e três repetições, totalizando 12 unidades experimentais. Cada unidade experimental contou com uma área de 60 m² (3,0 x 20 m), com espaçamento de 8 m entre parcelas, utilizada para manobras do conjunto moto-mecanizado (Figura 9).

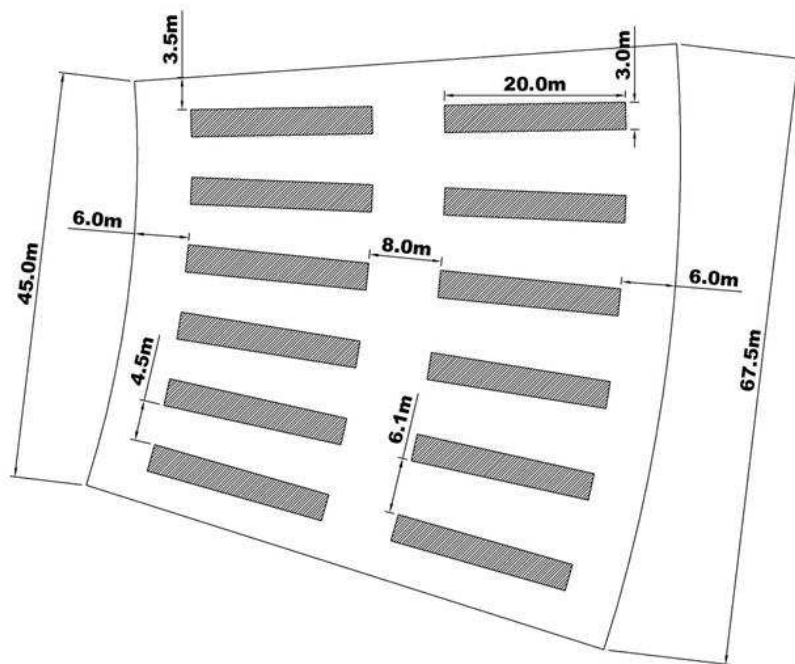


Figura 9 - Croquis da área experimental

2.4. Demanda energética do conjunto trator semeadora

2.4.1. Força de tração

A força de tração requerida pela semeadora-adubadora foi determinada usando uma célula de carga, marca Kratos, com capacidade igual a 50 kN (Figura 10), acoplada entre o trator e a semeadora. O cálculo da força de tração média é demonstrado na Equação 1.

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \cdot 0,0098 \quad \text{Eq. (1)}$$

em que

F_m = força de tração média (kN);

F_i = força de tração instantânea (kgf);

N = número de dados registrados; e

0,0098 = fator de conversão de unidades.



Figura 10 - Célula de carga utilizada.

2.4.2. Velocidade do conjunto trator/semeadora

Para a determinação das velocidades do conjunto mecanizado, demarcou-se um percurso de 50 m em uma área ao lado do experimento; com a ajuda do manual do trator foram selecionadas as velocidades e as rotações propostas para execução dos ensaios, sendo, utilizada a quarta marcha reduzida, com uma velocidade angular no motor de 2000 RPM.

Determinou-se o tempo necessário, considerando-se cada profundidade de adubação e, após os testes, foi selecionada uma velocidade de operação para todas as profundidades propostas.

2.4.3. Capacidade operacional teórica

De posse da velocidade de trabalho e das medições da largura efetiva de semeadura (1 m), calculou-se a capacidade operacional teórica, conforme a Equação 2 (MIALHE, 1974).

$$\text{Cot} = \frac{V_m L}{10} \quad \text{Eq. (2)}$$

em que

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

L = largura de plantio (m);

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

10 = fator de correção de unidades.

2.4.4. Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível foi determinado por meio de um fluxômetro de linha digital, marca *Flowmate* oval, modelo Oval M-III (Figura 12) com vazão de 1 mL/pulso, instalado entre o filtro de combustível e a bomba injetora do trator (Figura 11).

Antes de iniciar o experimento, em cada parcela, era zerado o seu marcador e, ao final, eram contados os pulsos totais. Os valores de consumo horário do combustível (Ch) foram expressos em L. h⁻¹.

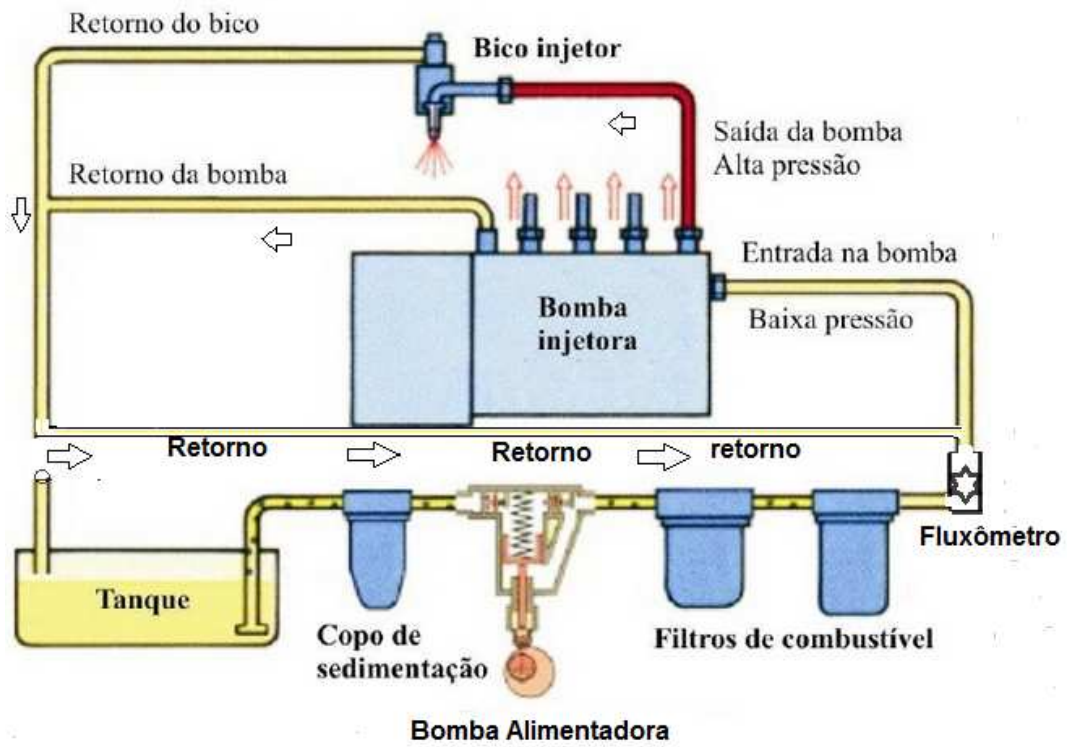


Figura 11 – Esquema do fluxômetro na linha de alimentação do trator.



Figura 12 - Fluxômetro modelo Oval M-III.

2.4.5. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível, definido como o consumo horário por unidade de potência e por hora de trabalho, foi determinado, utilizando-se a Equação 3.

$$C_e = \frac{C_h}{P_b} d \quad \text{Eq. (3)}$$

em que

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

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

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

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

2.4.6. Consumo de combustível por área trabalhada

Após a determinação da capacidade operacional teórica, estabeleceu-se o consumo de combustível por área trabalhada, conforme a Equação 4.

$$C_{ct} = \frac{C_h}{C_{ot}} \quad \text{Eq. (4)}$$

em que

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

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

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

2.4.7. Demanda de potência de tração por haste

Determinou-se a potência média requerida na barra de tração, conforme a Equação 5.

$$P_m = F_m \times V_m \quad \text{Eq. (5)}$$

em que

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

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

V_m , = velocidade média de deslocamento (ms^{-1}).

2.4.8. Patinagem das rodas motrizes do trator

Para calcular a patinagem, foi determinado o tempo em que o conjunto de mecanização para percorria a parcela, com carga e sem carga, Assim esta variável foi calculada, de acordo com Mialhe (1996), conforme Equação 6.

$$Pi \equiv \frac{(Tc - Tsc)}{Tc} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

em que

Pi = patinagem (%);

Tc = tempo de deslocamento com carga (s); e

Tsc = tempo de deslocamento sem carga (s).

2.4.9. Profundidade de deposição de adubo

Para a determinação da profundidade de deposição do adubo, foram efetuadas 20 medições utilizando-se um paquímetro com precisão de 0,05 mm. isto em cada linha de plantio, sendo considerada média das medições para cada profundidade. Assim, as profundidades medias de deposição de adubo estabelecidas foram de 0,0484; 0,0868; 0,1220; e 0,1683 m.

2.4.10. Demanda energética requerida

Do mesmo modo que Assenheimer et al. (2009), a quantificação energética dos insumos gastos para semear um hectare, foi obtida pela conversão dos valores, em MJ, e divididas em energia direta e energia indireta.

Referente ao trabalho humano empregado nas atividades de aplicação de herbicida e semeadura (mão de obra), considerou-se o consumo médio de

energia de $0,22 \text{ MJ.h}^{-1}$, para os combustíveis, os coeficientes energéticos adotados foram: $43,930 \text{ MJ.L}^{-1}$ para o óleo diesel; $35,940 \text{ MJ L}^{-1}$; para os lubrificantes, e $49,224 \text{ MJ kg}^{-1}$ para a graxa, (ASSENHEIMER et al., 2009).

Para quantificar a energia fóssil usada em cada atividade agrícola, multiplicaram-se os valores, em litros ou em quilograma, dos combustíveis, da graxa e dos lubrificantes utilizados, pelos seus respectivos coeficientes energéticos. Obteve-se assim, o total de energia fóssil consumida.

As quantidades de nutrientes aplicados (NPK e micronutrientes) receberam valores de coeficientes energéticos adotados por Zanini et al. (2003). O valor energético da semente de feijão foi com base em Pimentel (1980), o qual atribuiu o correspondente à energia fóssil aplicada em sua produção, ou seja, de $16,716 \text{ MJ.ha}^{-1}$.

Para determinar a energia indireta, utilizou-se o método descrito por Zanini et al. (2003), no qual foram quantificadas a energia indireta (equipamentos) segundo sua vida útil, o peso e os seus respectivos coeficientes energéticos. Para o trator (autopropelido), o valor adotado foi de $69,830 \text{ MJ kg}^{-1}$. Para os demais equipamentos (não autopropelidos), o valor foi de $57,200 \text{ MJ kg}^{-1}$. Durante o processo de produção, foram empregadas as operações de transporte interno de insumos, pulverização e semeadura; computaram-se: o tempo gasto em cada operação (hora.máquina^{-1}), as características das máquinas e dos implementos agrícolas (tipo, vida útil, consumo de combustível, lubrificantes e graxa).

2.5. Análises estatísticas dos dados obtidos no experimento

Para efeito de análise, considerou-se um delineamento inteiramente ao acaso, com quatro profundidades de adubação ($0,0484$, $0,0868$, $0,1220$ e $0,1683$ m) e três repetições. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e de regressão. Para as características de umidade (U%) e de densidade do solo (DS), as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade para o erro tipo I. Para os demais utilizou-se a análise de regressão tendo como variável preditora, a profundidade de adubação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da área experimental

3.1.1. Caracterização textural do solo

De acordo com os resultados da análise textural do solo (Tabela 1) este foi classificado como Latossolo Amarelo Eutrófico, textura argilosa, contendo 63% de argila em sua composição (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1 - Análise granulométrica do solo, na camada de 0-0,3 m, da área experimental

Partículas	%
Argila	63,0
Silte	7,0
Areia	30,0

3.1.2. Caracterização física da área experimental

3.1.2.1. Teor de água e densidade do solo

Conforme demonstrado na Tabela 2, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no teor de água no solo para as diferentes profundidades. No entanto, para a densidade do solo, pode-se observar que a camada de 0,10 a 0,20 m e de 0,20 a 0,30 de profundidade apresentou maiores valores que a camada de 0 a 0,10, em função do maior índice de compactação existente.

Tabela 2 - Valores médios teor de água no solo (U) e densidade do solo (DS), nas profundidades de 0 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; e 0,20 a 0,30 m

Profundidade	U (%b.s)	DS (g cm ⁻³)
0 - 0,10 m	22,51a	1,50b
0,10 - 0,20 m	22,14a	1,64a
0,20 - 0,30 m	22,22a	1,72a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de significância.

3.1.2.2. Resistência do solo à penetração antes do plantio

Os valores médios da resistência do solo à penetração em razão das profundidades são apresentados na Figura 13.

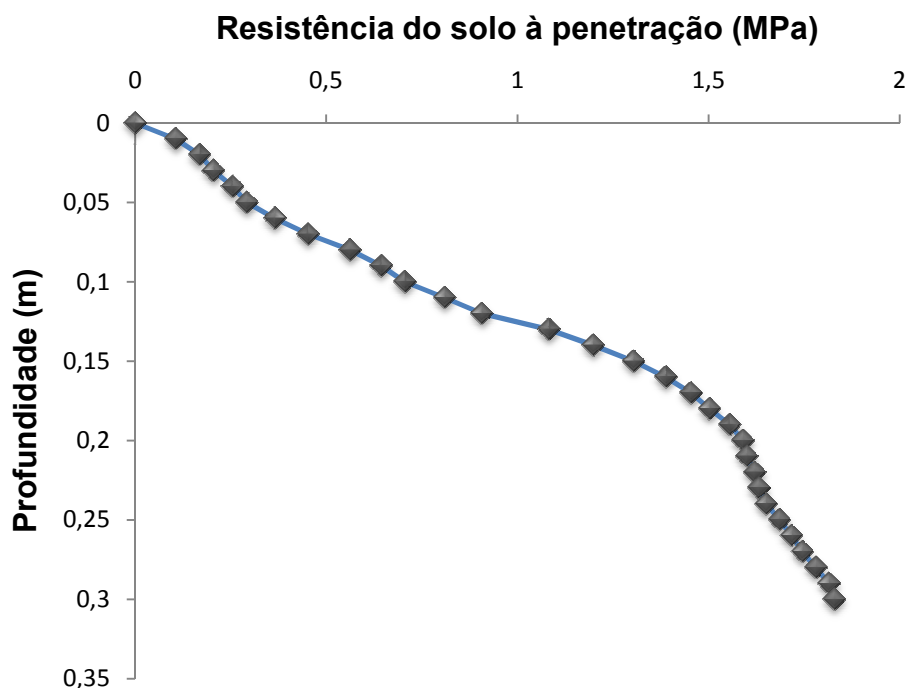


Figura 13 - Resistência mecânica do solo à penetração (MPa), em função da profundidade (m) na área experimental.

Observou-se que em maiores profundidades ocorreu aumento na resistência do solo à penetração. Na camada de 0 a 0,30 m, os valores de resistência do solo à penetração variaram de 0 a 1,83 MPa.

Beutler et al. (2004) observaram que o valor da resistência do solo à penetração igual a 2 MPa tem sido frequentemente utilizado como crítico para o crescimento das plantas, diferentemente destes encontrados no presente trabalho que tiveram seus valores máximos em torno de 1,83 MPa .

Os resultados deste trabalho estão de acordo com o de Carvalho et al. (2006), os quais demonstraram que valores de resistência do solo à penetração, variando entre 1,3 e 1,9 MPa, não restringiram a produtividade de grãos da cultura do feijão em um Latossolo.

3.1.2.3. Peso de matéria seca da cobertura vegetal

O valor médio de peso da matéria seca da cobertura vegetal do solo foi de 4.622 kg ha⁻¹, este representando a média em toda a área experimental.

Uma das vantagens da quantidade de matéria seca vegetal encontrada foi que os resíduos e as plantas que recobriram o solo evitaram que a superfície se aquecesse e a temperatura elevada prejudicasse as plântulas recém germinadas, o que aumentaria a perda de água por evaporação na superfície do solo.

3.1.3. Força de tração requerida

Pelos resultados obtidos (Figura 14), observou-se que na medida em que aumentou a profundidade de adubação houve elevação da demanda de força pela máquina (Equação 7), uma vez que para maior mobilização do solo houve maior requerimento de força por parte da semeadora

$$\widehat{FR}=3,30118-60,2617 Pf+597,845 Pf^2 . \quad \text{Eq. (7)}$$

$$R^2 = 0,9648$$

em que

FR = potência por haste (kW); e

Pf = profundidade (m).

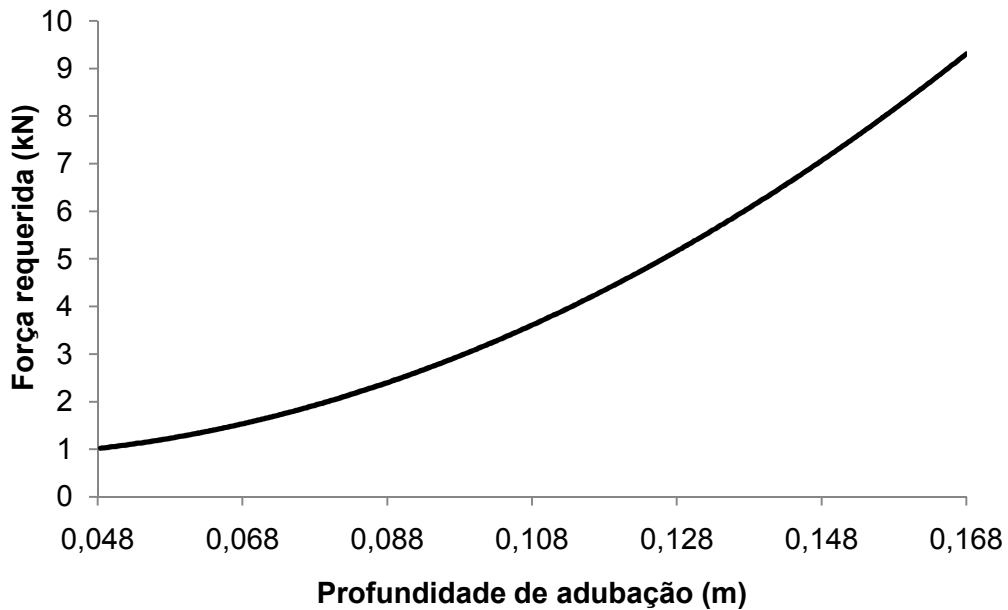


Figura 14 - Força requerida (kN) em função da profundidade de adubação (m).

Os resultados encontrados estão de acordo com a determinação da American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE (2006), que preconizou a força de tração exigida na operação de semeadura de precisão (semeadura e adubação), incluída a resistência ao rolamento, que deve ser aproximadamente de 3,4 kN por linha, com variação de 35%.

De modo um pouco diferente dos resultados aqui encontrados, Siqueira et al. (2002), verificaram que aumentando a profundidade de 0,12 para 0,20 m, ocorreu aumento na força de tração de 1,70 kN para 4,56 kN por haste, em um total de 268,23% a mais de força. Nos estudos destes autores, trabalhou-se em um Latossolo Roxo Distrófico, com uma semeadora adubadora de plantio direto com nove linhas e com mecanismo de abertura de sulco tipo hastes com formato parabólico, espessura máxima da ponteira de 22 mm. Comparando-se os dados do presente trabalho com os obtidos por Siqueira et al. (2002), observou-se um aumento na profundidade de adubação de 0,1220 m para

0,1683 m, elevando-se a necessidade de força de tração de 1,61 kN para 3,22 kN por haste. Esse aumento de 100% na demanda de força foi possivelmente por causa do diferente tipo de solo e da maior profundidade final de trabalho da pesquisa de Siqueira et al. (2002) .

3.2. Velocidade de operação

A escolha da velocidade de plantio de $4,43 \text{ km h}^{-1}$ foi determinada com base em dados da literatura os quais demonstraram a melhor velocidade por volta de 4 a 6 km. h^{-1} , isto além da preocupação em manter uma só velocidade nas diferentes profundidades, para que essa não interferisse nos resultados e na qualidade da semeadura. Assim, indicou-se a velocidade predeterminada mais compatível com as operações de semeadura, nas condições de solo em que foi realizada a implantação do experimento. A padronização da velocidade foi possível, uma vez que o trator tinha potência nominal de 61,1 kW no motor.

Reis e Alonço (2001), comparando a precisão de vários mecanismos dosadores, entre os anos de 1989 e 2000, no Brasil, concluíram que velocidades de semeadura acima de $7,5 \text{ km h}^{-1}$ ($2,08 \text{ ms}^{-1}$) afetam a qualidade da distribuição de sementes.

3.2.1. Capacidade operacional teórica

A capacidade operacional teórica (Cot) do conjunto mecanizado foi de $0,664 \text{ há.h}^{-1}$, relativamente baixa em função da velocidade utilizada pelo conjunto mecanizado. No entanto, essa velocidade foi escolhida para facilitar a coleta de dados, o estudo dos fatores envolvidos sem comprometer as profundidades desejadas, a potência disponível no trator e a qualidade dos resultados esperados.

3.3. Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível eleva com o aumento da profundidade de deposição do adubo, explicado pela Equação 12 e evidenciado pela Figura 15.

$$\widehat{CH} = 6,1952 + 13,1665Pf$$

Eq. (8)

$$R^2 = 0,9157$$

em que

CH = consumo horário ($L h^{-1}$); e

Pf = profundidade (m).

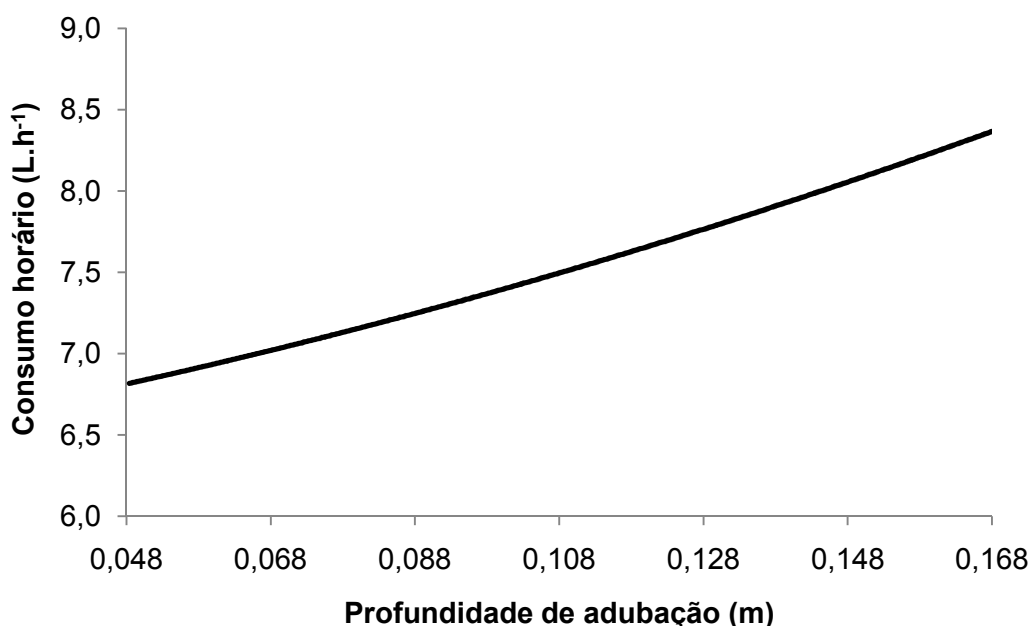


Figura 15 - Consumo horário ($L h^{-1}$), em função da profundidade de adubação (m).

Pode-se observar, pela Equação 8, que, na profundidade de 0,0484 m de deposição de adubo, o consumo horário foi de $6,89 L h^{-1}$; quando se operou na profundidade de 0,1683 m, o consumo elevou-se para $8,33 L h^{-1}$. Pode-se explicar que com o aumento da profundidade de deposição do adubo, é elevada a demanda de força na barra de tração e, conseqüentemente o trator necessitará de maior potência, consumindo mais combustível, aumentando-se o seu consumo horário.

O aumento de profundidade do sulco faz com que a máquina demande maior força, potência e consumo. Trabalho de Borsatto (2005) demonstrou

aumento significativo na demanda de força e potência por linha de semeadura em maiores profundidades, elevando o consumo de combustível.

3.4. Consumo específico de combustível

Pelos resultados (Figura 16) e explicados pela Equação 9, pode-se notar que a profundidade de deposição do adubo interferiu significativamente ($p > 0,05$) na redução do consumo específico de combustível.

$$R^2 = 0,8671$$

Eq. (9)

em que

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

Pf = profundidade (m).

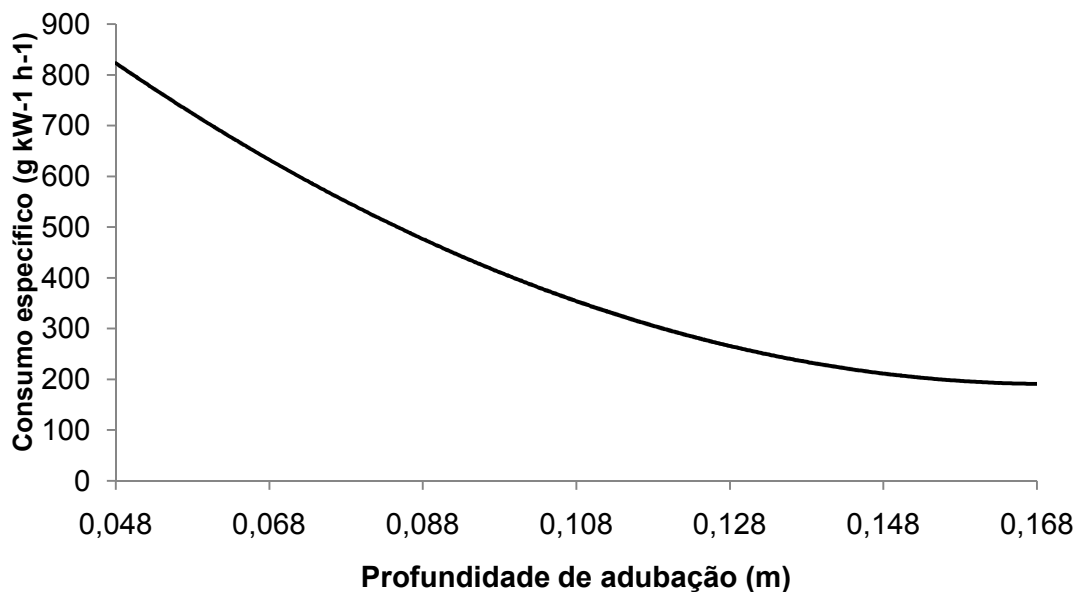


Figura 16 - Consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$), em função da profundidade de adubação (m).

Este acontecimento, observado em razão do trator aumentar sua eficiência, o que otimizou a conversão do combustível em potência útil na barra de tração. Nas profundidades de 0,0484 m para a deposição do adubo, o consumo foi de 818,60 g kW⁻¹ h⁻¹; em 0,0868 m, de 484,79 g kW⁻¹ h⁻¹; em 0,1220 m, de 288,81 g kW⁻¹ h⁻¹; e em 0,1683 m, de 192,07 g kW⁻¹ h⁻¹. Observou-se uma diferença de 326,20% entre a menor e a maior profundidade no consumo específico.

Com os esses resultados, observou-se melhor aproveitamento da potencia motora nas situações em que a força requerida na barra de tração foi mais elevada, acima de 4,4 kN, na profundidade de 0,122 cm e de 9,67 kN, na profundidade de 0,1683 m. Essa tendência nos resultados demonstrou que nas situações em que a força de tração foi mais elevada, houve melhor aproveitamento do combustível consumido.

Palma et al. (2010), trabalhando com o efeito da profundidade das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora, na avaliação do índice de patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola, concluíram que o consumo de combustível teve aumento na menor profundidade. A conclusão do autor corrobora com os resultados deste trabalho, uma vez que esses tiveram as mesmas tendências.

Furlani et al. (2005b), pesquisando uma semeadora-adubadora em razão do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade encontraram consumo específico de 449 g kW⁻¹ h⁻¹.

3.5. Consumo de combustível por área trabalhada

Na Equação 10, é apresentado o comportamento do consumo de combustível por área trabalhada em razão da profundidade de deposição do adubo. O aumento da profundidade implica em elevação do consumo de combustível por hectare (Figura 17).

$$\widehat{CA}=14,9331 - 21,9752 Pf + 393,893 Pf^2 \quad \text{Eq. (10)}$$

$$R^2 = 0,9939$$

em que

CA = consumo por área ($L ha^{-1}$) e;

Pf = profundidade (m).

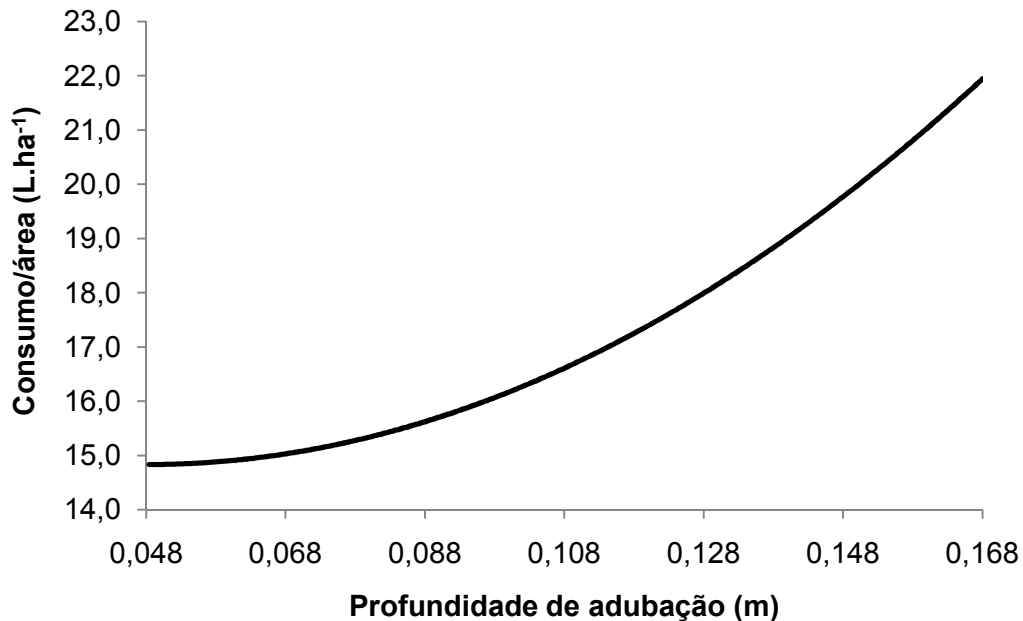


Figura 17 - Consumo requerido por área ($L ha^{-1}$) em função da profundidade de adubação (m).

Observa-se, na Figura 17, que o consumo por hectare aumenta a medida que se eleva a profundidade de deposição de adubo. Na profundidade de 0,0484 m, o consumo foi de $14,78 L ha^{-1}$; quando se atinge a maior profundidade de 0,1683 m, o consumo aumenta consideravelmente para $21,92 L ha^{-1}$, representando elevação de 52,43% no consumo de combustível por área trabalhada.

Desse modo, o maior consumo de combustível por área se justifica pela redução da capacidade de campo teórica do conjunto, em relação à sua velocidade, o que foi observado neste experimento, pois a velocidade de deslocamento de $4,43 km h^{-1}$ foi um dos fatores preponderantes na avaliação do consumo por área.

3.6. Demanda de potência por haste

Os resultados da demanda de potência por haste demonstram que maiores profundidades de deposição do adubo exigem maiores potências na operação (Equação 11), como pode ser constatado pela Figura 18.

$$\widehat{PH}=1,1875 - 19,1413 Pf + 207,691Pf^2 \quad \text{Eq. (11)}$$

$$R^2= 0,9593$$

em que

PH = potência por haste (kW);e

Pf = profundidade (m).

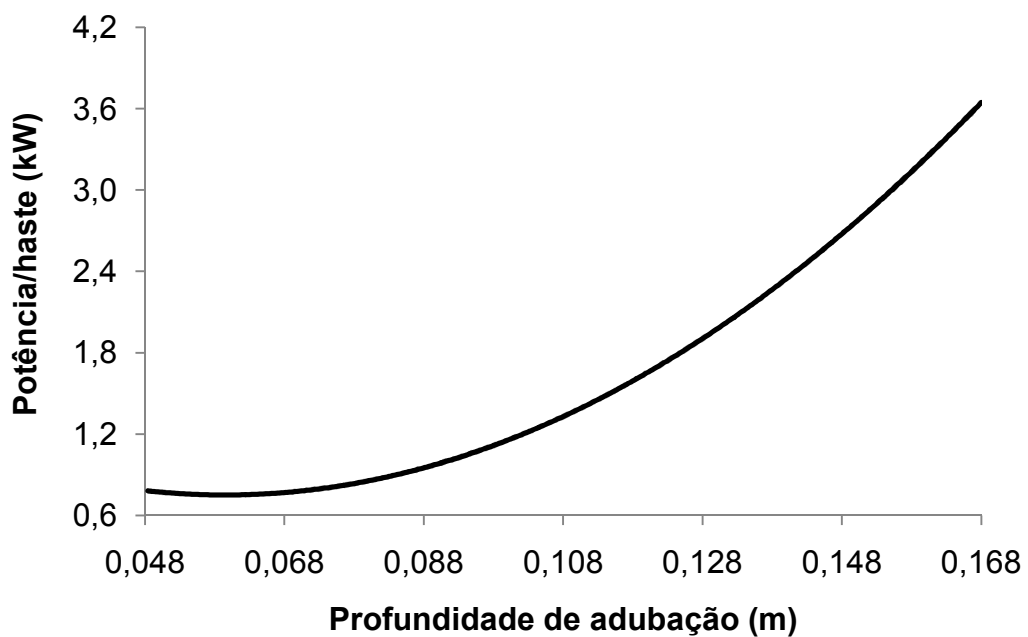


Figura 18 - Potência demandada por haste (kW), em função da profundidade de adubação (m).

Os resultados demonstram que na medida em que se aumenta a profundidade de adubação eleva a necessidade de potência pelo trator (Equação 11), pois para maior penetração da haste no solo haverá maior requerimento de potência na barra, menor velocidade operacional e, conseqüentemente maior potência requerida do motor.

À medida que as profundidades de adubação aumentaram, os esforços requeridos para cada haste tipo parabólica da semeadora elevaram-se de 0,471kW na profundidade de 0,0484 m e para 3,603 kW na profundidade de 0,1683 m, tendo um aumento de 764,96% no requerimento de potência necessária para tracionar a semeadora utilizada.

De modo semelhante a este trabalho, onde a velocidade média de semeadura foi de $1,23 \text{ ms}^{-1}$, Cepik et al. (2005) encontraram valores menores que 1,43 kW em média por linha, em semeadora adubadora de precisão com cinco linhas, com sulcador tipo facão, com uma velocidade média de $4,57 \text{ km h}^{-1}$ em solo com 17% de umidade e profundidade média de 0,05 m.

3.7. Patinagem das rodas motrizes

A patinagem é influenciada pela carga imposta pela semeadora durante a operação, conforme verificado na Figura 19. Maiores profundidades de adubação aumentam a patinagem, por causa das maiores cargas impostas entre o rodado e o solo, como pode ser constatado pela Equação 12, e da Figura 19.

$$\widehat{PA} = 3,0988 - 39,1587Pf + 372,230 Pf^2 \quad \text{Eq. (12)}$$

$$R^2 = 0,9530$$

em que

PA = patinagem (%); e

Pf = profundidade (m).

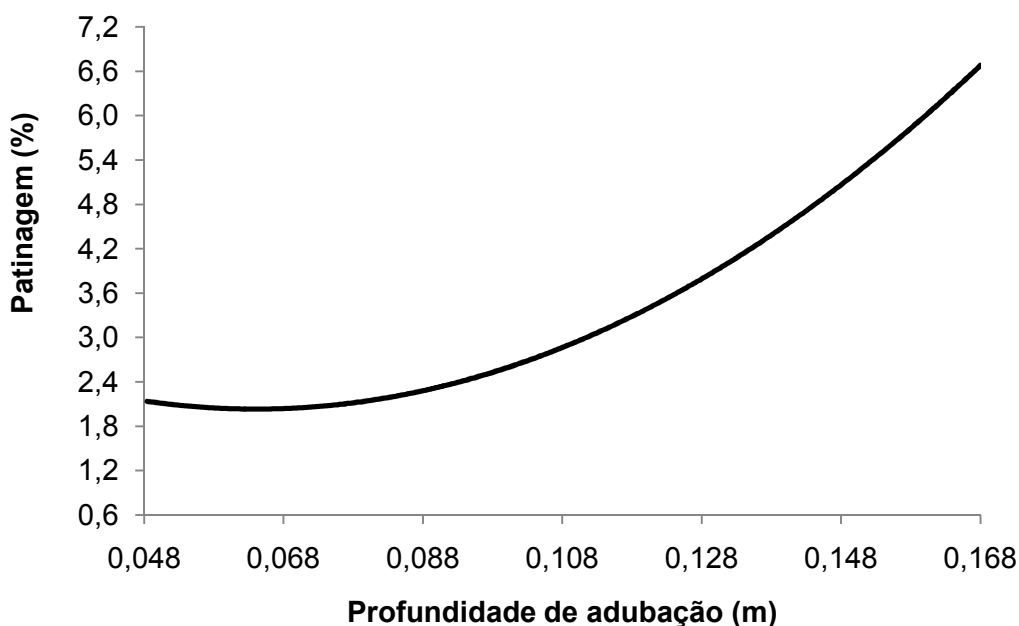


Figura 19 - Patinagem (%), em função da profundidade de adubação (m).

Por meio dos resultados, pode-se notar que com o aumento da profundidade de adubação houve aumento nos esforços de tração e o índice de patinagem foi elevado para maiores valores. Na profundidade de 0,084 m, o índice fica em 2,07% de patinagem, enquanto na de 0,1683 m a patinagem passou para 7,02%, aumento de 339,13% no índice de patinagem. Essa patinagem encontra-se dentro de patamares aceitáveis, conforme ASAE EP 496.2 (ASAE, 1996) em solos firmes.

3.8. Energia requerida por área

Na Figura 20, está evidenciado o comportamento da energia requerida por hectare, por causa da profundidade de adubação. À medida que se aumenta a profundidade de adubação, é elevado o consumo de energia para semear um hectare, conforme a Equação 13.

$$\widehat{ERA} = 7,2897 - 130,714 Pf + 1180,4 Pf^2 \quad \text{Eq. (13)}$$

$$R^2 = 0,9006$$

em que

ERA = energia requerida por área (MJ ha^{-1}); e

Pf = profundidade (m).

O comportamento da demanda de energia apresentou diferenças significativas ($p > 0,05$) como na profundidade de adubação de 0,0484 m de $3,72 \text{ MJ ha}^{-1}$, alcançando um patamar de $17,92 \text{ MJ ha}^{-1}$ na maior profundidade de adubação de 0,1683 m, tendo aumento de 476,34% no requerimento de energia ha^{-1} .

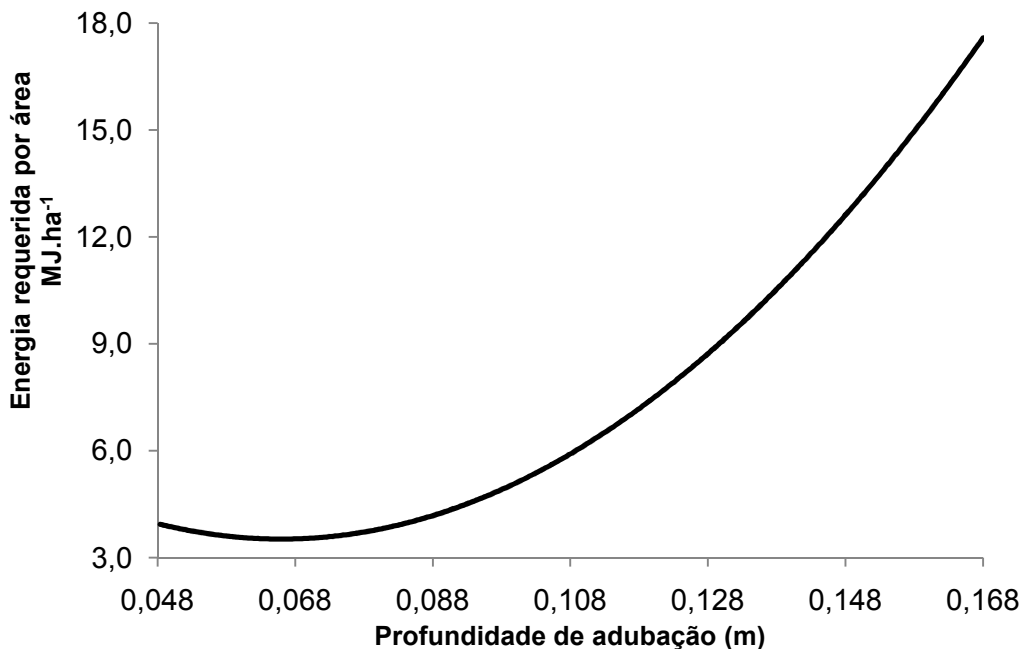


Figura 20 - Energia requerida por área (MJ ha^{-1}), em função da profundidade de adubação (m).

Essa maior demanda de energia possivelmente se deu em virtude da resistência do solo à penetração na profundidade de 0,1683 m ter sido maior, passando a exigir maior quantidade de energia para vencer as resistências de mobilização do solo.

4. CONCLUSÕES

- O aumento da profundidade de adubação no plantio de 0,0484 m para 0,1683 m acarreta um acréscimo na demanda de potência do trator na ordem de 3,16 kW por haste da semeadora.
- O consumo horário de combustível eleva-se com o aumento da profundidade de deposição do adubo no plantio de 0,0484 m para 0,1683 m, o consumo horário foi de 6,89 L h⁻¹ elevou-se para 8,33 L h⁻¹ respectivamente.
- A profundidade de deposição do adubo no plantio sendo elevada de 0,0484 m para 0,1683 m, provoca uma redução no consumo específico de combustível decaindo de 818,60 g kW h⁻¹ na menor profundidade; para 192,07 g kW⁻¹ h⁻¹ na maior.
- Com o aumento da profundidade de deposição de adubo no plantio de 0,0484 m para 0,1683 m, há um aumento no consumo de combustível por hectare da ordem de 7,14 litros, sendo de 14,78 L ha⁻¹ na menor profundidade e de 21,92 L ha⁻¹ na maior respectivamente.
- O aumento da profundidade de adubação no plantio de 0,0484 m para 0,1683 m eleva os índices de patinação das rodas motrizes de 2% na menor profundidade para 6,6% na maior.
- A demanda energética total do sistema de plantio direto utilizado, aumentou em função da profundidade de deposição de adubo no plantio de 0,0484 m para 0,1683 m houve uma elevação de 3,72 MJ ha⁻¹ na menor profundidade, para 17,92 MJ ha⁻¹ na maior.
- A adaptação efetuada no sistema de abertura de sulco da semeadora foi eficiente uma vez que foi possível atingir uma maior profundidade de adubação de até 0,1683 m.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS – ASABE. **ASAE D497.5**: agricultural machinery management data. 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Agricultural machinery management data**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1996.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A.T.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. 3, p.443 - 455 Set/Dez, 2009.

BALDAN MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS – BALDAN. **Manual ano 2009**. Disponível em: <<http://www.baldan.com.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. et al. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade do arroz sequeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 39, p. 575-580, 2004.

BRANQUINHO, K.B.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A. et al. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 374-380, 2004.

CAMPOS, A.T. **Balço energético relativo à produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

CARVALHO, J.A. et al. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 710-717, 2000.

CARVALHO, G.J.; CARVALHO, M.P.; FREDDI, O.S.; MARTINS, M.V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 765-771, 2006.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Avaliação da safra agrícola 2009/2010 – terceiro levantamento – dezembro/2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 08 fev. 2011.

DLG AUTOMAÇÃO. **Manual**. Disponível em: <<http://www.dlg.com.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual e métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

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

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 07 fev. 2011.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.458-464, 2005a.

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

HERZOG, R.L.S.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.771-780, 2004.

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

LOPES, A.S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J.E. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2008. 584p.

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

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIBFEALQ, 1996. 722 p.

MION, R.L.; BENEZ, S.H. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1594-1600, 2008.

NÓBREGA, J.Q.; RAO, T.V.R.; NAPOLEÃO, E.M.; BELTRÃO FILHO, J.F. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

PALMA, M.A.Z.; VOLPATO, C.E.S.; BARBOSA, J.A. et al. Efeito da profundidade de trabalho das hastas sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, 2010.

PEREIRA, J.L. **Impacto de sistemas e sucessão de cultivos em artrópodes associados à cultura do feijão**. 2006. 119 f. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

RINALDI, P.C.N. **Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTOS, A.P.; VOLPATO, C.E.S.; TOURINO, M.C.C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 540-546, 2008.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A.G. Ângulo ideal. **Revista Cultivar Máquinas**, n. 13, p.30-32, 2002.

SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.20, n.2, p.76-82, 2005.

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

SOUZA, M.A. et al. Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 175-182, 2009.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.

YOKOYAMA, L.P. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. (Eds.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2002. p. 249-292.

ZANINI, A.; CAMPOS, A.T.; PRESTES, T.V.M. et al. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Revista Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v.25, n. 2, p. 249-253, 2003.

CAPÍTULO 2

PROFUNDIDADE DE ADUBAÇÃO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO, EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

Resumo: Objetivou-se avaliar os componentes de rendimento da cultura do feijoeiro, em razão da profundidade de deposição do adubo e das lâminas de irrigação, em sistema de semeadura direta. O trabalho experimental foi realizado no IFES *Campus* de Santa Teresa, no período de 09 de agosto a 27 de outubro de 2011. Utilizou-se a combinação de cinco lâminas de reposição de água da evapotranspiração da cultura (25, 50, 75, 100 e 125%) nas parcelas e quatro diferentes profundidades de adubação (0,0484, 0,0868, 0,1220 e 0,1683 m) nas subparcelas, em um latossolo, textura argilosa em um esquema de parcelas subdivididas com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais com área de 60 m² cada uma. Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator, marca *New Holland*, modelo TL 85 E e uma semeadora-adubadora de plantio direto marca BALDAN, modelo PLB 3, com discos duplos desencontrados e sulcadores tipo haste parabólica para deposição de fertilizante. O sistema de irrigação utilizado foi o de pivô central da marca FOCKING SA, modelo AF2740-15. O solo da área experimental foi caracterizado conforme sua composição química e física, seu teor de água, sua densidade, sua resistência à penetração e matéria seca da cobertura vegetal. Utilizou-se uma taxa de plantio de 240.000 sementes ha⁻¹ do cultivar BRSMG Madrepérola. O manejo da irrigação foi conduzido com auxílio do aplicativo Irrisimples, em que foi determinada a demanda hídrica do feijoeiro, utilizando-se a ETo. As lâminas de 25, 50, 75, e 125% de reposição da evapotranspiração foram determinadas como base na lâmina de 100% de 352,23 mm. A análise estatística dos dados foi realizada com base na significância dos coeficientes de regressão, usando-se o teste “t” e adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Através dos resultados pode-se concluir não haver diferenças significativas ($p > 0,05$), quanto á profundidade de adubação para as variáveis índice de velocidade de emergência, porcentagem de emergência, número de vagens por planta e estande de plantas ha⁻¹. A profundidade de adubação influenciou o número de grãos por vagens, sendo de 5,548 grãos na profundidade de 11,09 cm e de 3.057,50 kg ha⁻¹, na profundidade ótima de 9,64 cm. As variáveis de mensuração da cultura como massa de 100 grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagens e produtividade foram influenciadas pelas lâminas de irrigação; a maior produtividade se deu com um total de 433,26 mm de água, que representou 125% da ETo.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de feijão do mundo, respondendo por 16% da produção mundial (FAO, 2011). Essa cultura vem sendo explorada em diversos sistemas de produção, com produtividades superiores a 3.000 kg ha⁻¹ (YOKOYAMA, 2002).

Destacam-se como maiores produtores os Estados da Bahia, com 566,4 mil toneladas; Paraná, com 525,3 mil toneladas; e Minas Gerais, com 425,1 mil toneladas (CONAB, 2011).

Com o uso da irrigação, em regiões com inverno ameno, e de cultivares com maior potencial de produção e de maior precocidade, a cultura do feijão, que antes era explorada quase que exclusivamente por pequenos agricultores, passou a despertar o interesse de grandes produtores, os quais passaram a aplicar melhores tecnologias.

Uma das técnicas mais recentes na cultura do feijoeiro é o cultivo mínimo e o plantio direto, pois proporcionam menor custo geral de implantação da cultura.

A técnica de semeadura direta consiste em não realizar o preparo antes da semeadura, causando mínima mobilização, o que possibilita a permanência de restos vegetais das culturas anteriores na cobertura do solo. Algumas características apresentadas pelo feijoeiro como sistema radicular reduzido e pouco profundo, além de ciclo reduzido (60 a 100 dias), exigem que durante a adubação, os nutrientes sejam aplicados próximo ao sistema radicular da planta, a fim de serem absorvidos por essa no momento necessário (BRANQUINHO et al., 2004).

A complexidade do plantio direto se deve à dificuldade de se controlar simultaneamente grande número de variáveis, oriundas dos fatores técnicos como corte da palhada, abertura e profundidade do sulco, deposição do adubo e da semente, cobertura e compactação da semente.

Stone e Moreira (2001), comparando os efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijão, obtiveram como um dos resultados que esses sistemas afetam significativamente ($p > 0,05$) o número de vagens/planta e o de sementes/vagem. Neste estudo, o número de vagens/planta foi maior no plantio direto com maior densidade de cobertura

morta. O número de sementes/vagem também foi maior nesse tratamento, em relação ao preparo com grade aradora, mas não diferiu significativamente ao arado de aiveca e ao arado escarificador.

Wutke et al. (2003) verificaram diferenças significativas entre os cultivares de feijão Carioca e IAC Carioca Pyatã, quanto à quantidade de raízes e à profundidade efetiva do sistema radicular, na safra da seca, sem irrigação e após o cultivo de feijão-de-porco, em plantio direto. Embora o sistema radicular esteja sob controle genético, o crescimento dele é influenciado por fatores químicos, físicos e biológicos do solo, além da temperatura, do estresse hídrico e de práticas culturais como a aplicação de calcário e fertilizantes em maiores profundidades.

O efeito benéfico da adubação profunda no solo (0,15 m) sobre as culturas é relatado por diversos autores. Chaib et al. (1984) verificaram melhor desenvolvimento radicular do feijoeiro, quando se efetuou a adubação em maior profundidade, em relação à convencional.

Kluthcouski e Stone (2003) constataram que a incorporação do fertilizante, a 0,15 m de profundidade, aumentou em 75% o rendimento do feijoeiro sem irrigação, em relação à adubação convencional.

Trabalhando com diferentes profundidades de adubação na cultura do feijoeiro, Souza et al. (2009) encontraram maior número de vagens por planta na profundidade de adubação de 0,15 m, em comparação à profundidade de 0,05 m.

Rinaldi (2008), verificando a influência da profundidade de adubação, 0,05 e 0,10 m, em plantio direto na cultura do feijão em um solo franco argiloso, concluiu que a profundidade de adubação de 0,10 m proporcionou maior número de vagens por planta, mas não afetou a produtividade de grãos.

Kluthcouski et al. (2000) sugeriram pesquisas, ligadas à profundidade ou ao posicionamento do fertilizante, em relação às sementes, para avaliar os possíveis efeitos na produtividade das culturas.

Dentre os fatores de produção, a água e os fertilizantes são aqueles que limitam os rendimentos de uma cultura com maior frequência. Os controles da irrigação e da fertilidade do solo constituem-se em critérios preponderantes para o êxito da agricultura, fazendo-se necessário encontrar soluções úteis para o ótimo uso desses recursos produtivos na agricultura ou na previsão de

rendimentos culturais. O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é descrito como uma cultura sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo (NÓBREGA et al., 2001).

De acordo com Lopes et al. (2004), o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas, constitui-se em aspecto importante na agricultura irrigada para que haja adequada programação de manejo de irrigação.

Um dos modos de se suprir as necessidades de água da planta é a utilização da irrigação, principalmente na época do inverno ou de verão atípico, quando o índice pluviométrico é baixo, independentemente da época em que é cultivada, sem o uso da irrigação a cultura fica predisposta a algum estresse hídrico, em seus diferentes estágios fenológicos de desenvolvimento, resultando em decréscimo da produção (SOUZA et al., 2009).

Carvalho et al. (2000), ao avaliarem o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão da variedade caupi, encontraram reduções significativas nos tamanhos das plantas durante as fases de crescimento, de floração e de enchimento de grãos, em relação aos tratamentos sem déficit hídrico.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a produtividade do feijão em razão da profundidade de deposição do adubo e lâminas de irrigação em sistema de semeadura direto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), *Campus* de Santa Teresa, localizado no município de Santa Teresa, região Serrana do Espírito Santo, com altitude média de 150 m, situado entre as coordenadas 19°48'36" de latitude sul e 40°40'48" de longitude oeste de Greenwich, no período de 09 de agosto a 27 de outubro de 2011 (Figura 1), Em uma área irrigada por pivô central. O clima da região é tropical úmido com inverno seco e verão quente, Cwa, segundo a classificação de Köppen (1948). A média de temperatura nos meses mais quentes está entre 27,8 e 30,7°C e a dos meses mais frios entre 9,4 e 11,8°C. O índice pluviométrico para a área experimental é superior a

1.800 mm anuais, com período de abril a novembro seco e chuvoso, de dezembro a maio.

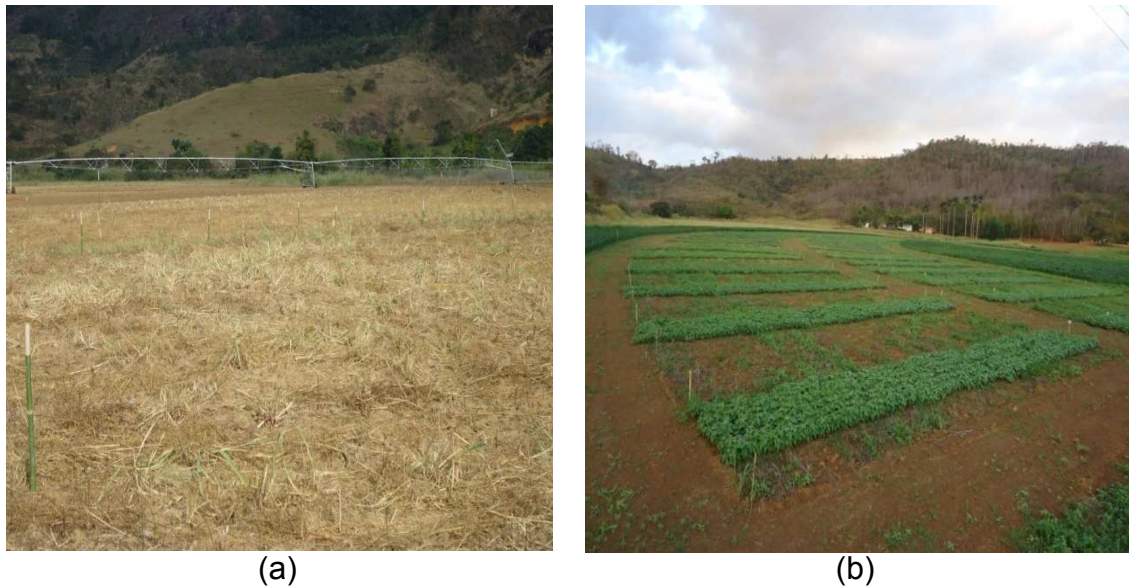


Figura 1 - Vista geral da área experimental: antes do plantio (a) e depois do plantio (b).

Neste trabalho, utilizou-se a combinação de quatro profundidades de adubação e cinco lâminas de reposição de água da evapotranspiração (ET_o) da cultura do feijão, em um Latossolo Amarelo Eutrófico, textura argilosa contendo 63% de argila em sua composição (EMBRAPA, 1997).

2.1. Delineamento experimental

O experimento foi instalado, segundo um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as cinco lâminas de irrigação (25, 50, 75, 100 e 125%) da evapotranspiração e nas subparcelas as quatro profundidades de adubação (0,0484, 0,0868, 0,122 e 0,1653 m) com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais (Tabela 1 e Figura 2). Cada unidade experimental teve uma área de 60m² (3,0 x 20 m) com espaçamento de 8 m entre parcelas, utilizados para manobras do conjunto motomecanizado. As parcelas foram

espaçadas entre si, com distância de 6 m para evitar sobreposição das lâminas de água conforme detalhe na Figura 3.

Tabela 1 - Tratamentos utilizados no experimento

Tratamento	Descrição
IR1P ₁	Irrigação 25% da ETo na profundidade adubação de 0,0484 m
IR1P ₂	Irrigação 25% da ETo na profundidade adubação de 0,0868 m
IR1P ₃	Irrigação 25% da ETo na profundidade adubação de 0,1220 m
IR1P ₄	Irrigação 25% da ETo na profundidade adubação de 0,1683 m
IR2P ₁	Irrigação 50% da ETo na profundidade adubação de 0,0484 m
IR2P ₂	Irrigação 50% da ETo na profundidade adubação de 0,0868 m
IR2P ₃	Irrigação 50% da ETo na profundidade adubação de 0,1220 m
IR2P ₄	Irrigação 50% da ETo na profundidade adubação de 0,1683 m
IR3P ₁	Irrigação 75% da ETo na profundidade adubação de 0,0484 m
IR3P ₂	Irrigação 75% da ETo na profundidade adubação de 0,0868 m
IR3P ₃	Irrigação 75% da ETo na profundidade adubação de 0,1220 m
IR3P ₄	Irrigação 75% da ETo na profundidade adubação de 0,1683 m
IR4P ₁	Irrigação 100% da ETo na profundidade adubação de 0,1653 m
IR4P ₂	Irrigação 100% da ETo na profundidade adubação de 0,0868 m
IR4P ₃	Irrigação 100% da ETo na profundidade adubação de 0,1220 m
IR4P ₄	Irrigação 100% da ETo na profundidade adubação de 0,1683 m
IR5P ₁	Irrigação 125% da ETo na profundidade adubação de 0,0484 m
IR5P ₂	Irrigação 125% da ETo na profundidade adubação de 0,0868 m
IR5P ₃	Irrigação 125% da ETo na profundidade adubação de 0,1220 m
IR5P ₄	Irrigação 125% da ETo na profundidade adubação de 0,1683 m

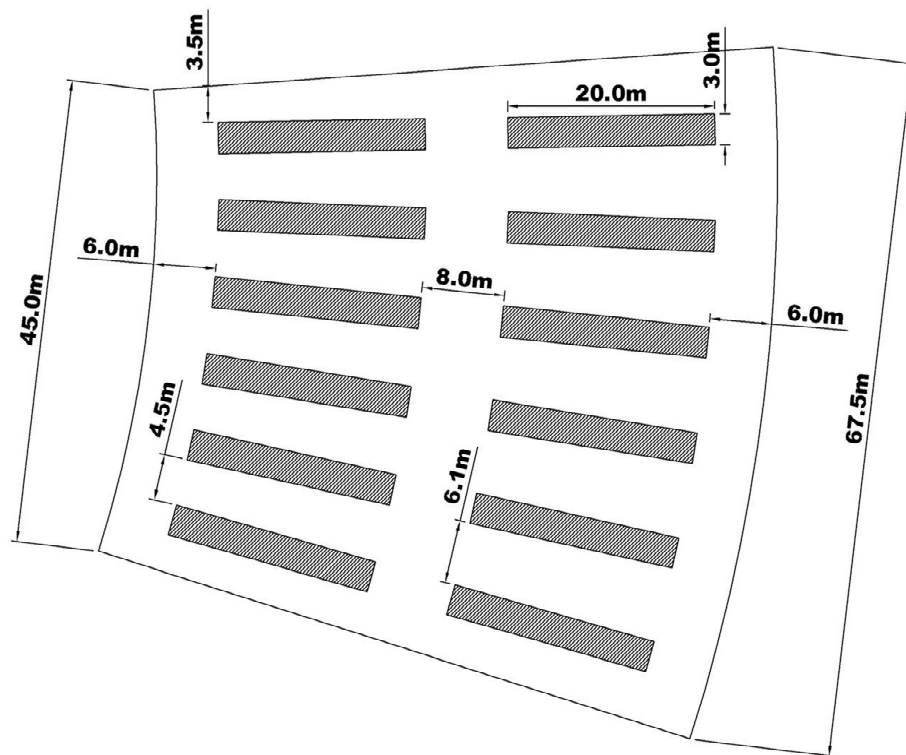


Figura 2 - Croquis com as dimensões das parcelas.

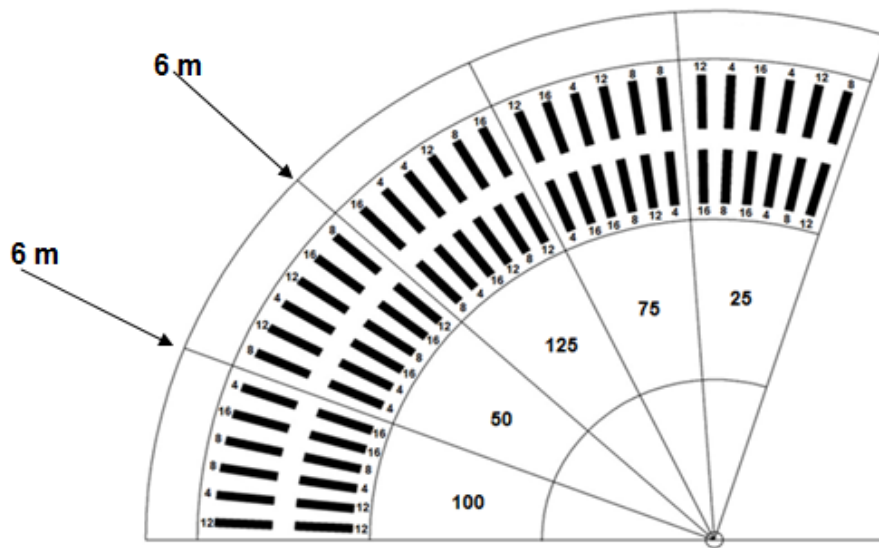


Figura 3 - Delineamento das parcelas.

2.2. Máquinas e implementos

2.2.1. Trator

Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator, marca *New Holland*, modelo TL 85 E, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 61,1 kW (83 cv) no motor a 2.200 rpm (Figura 4) e massa em ordem de embarque de 3.810 kg sem lastro e 4.900 kg com lastro máximo. No momento do plantio, o trator encontrava-se lastrado.



Figura 4 - Trator utilizado no experimento.

2.2.2. Semeadora-adubadora

Foi utilizada uma semeadora-adubadora de plantio direto, marca BALDAN, modelo PLB 3 (Figura 5), montada no sistema de levante hidráulico, com capacidade de 180 kg de adubo e 120 kg de sementes, com três linhas de plantio e depósitos individuais com mecanismos dosadores de sementes do tipo disco perfurados horizontal, disco de corte liso de 406,4 mm de diâmetro, sulcadores de discos duplos desencontrados, 356 mm de diâmetro para distribuição de sementes e sulcadores tipo discos desencontrados para abertura do sulco e deposição de fertilizante com capacidade de até 0,12 m de profundidade.

Outras especificações técnicas dessa máquina estão descritas no Quadro 1.



Figura 5 - Semeadora-adubadora antes das mudanças.

Quadro 1 - Especificações técnicas da semeadora-adubadora

Parâmetros	Características
Controle de profundidade	Rodas compactadoras e reguladoras na parte lateral
Rodas compactadoras	Duas rodas compactadoras unidas em "V" com 0,345 m de diâmetro e 0,045 m de largura
Espaçamento mínimo entre linhas	0,420 m
Número máximo de linhas	3 linhas
Peso líquido total	600 kg
Potência mínima para tração	48,55 kW (66 cv)

Fonte: Baldan Máquinas e Implementos Agrícolas (BALDAN, 2009).

Com a necessidade de alcançar a profundidade de adubação de 0,16 m, foi efetuada modificação no sistema de abertura de sulco com o intuito de aumentar a profundidade de deposição de adubo. Prolongou-se a haste perfurada de regulação da profundidade (Figura 6a) e foi colocada uma mola de maior comprimento e pressão (Figura 6b). Foi trocado o sistema de abertura de sulco, retirando os discos desencontrados e colocando hastes sulcadoras com algumas modificações e largura de 40 mm (Figura 7). As mudanças foram necessárias, pois testes preliminares indicaram não capacidade da semeadora no estado original de atingir profundidades superiores a qual foi construída. A semeadora após as mudanças pode ser observada na Figura 8.

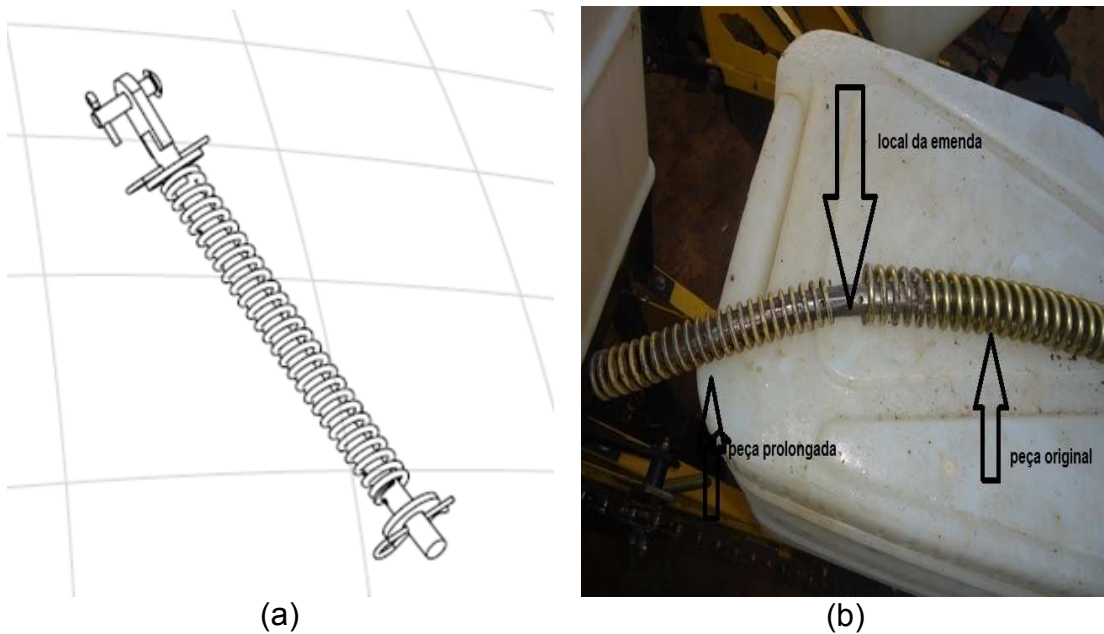


Figura 6 - Sistema de abertura do sulco: (a) peça original e (b) peça modificada.



Figura 7 - Haste parabólica sendo adaptada.



Figura 8 - Semeadora-adubadora utilizada no experimento, após mudanças nas peças.

2.2.3. Pivô central

Foi utilizado um pivô central da marca FOCKING SA, modelo AF2740-15, com painel automatizado, sistema de regulação das lâminas de água aplicada, sendo reguladas usando as velocidades das torres de irrigação (Figura 9).



Figura 9 - Pivô central: (a) torres de irrigação e (b) painel automatizado.

2.3. Caracterização da área experimental

2.3.1. Composição química e textural do solo

As análises da composição química e textural do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), *Campus* Santa Teresa, ES, segundo a metodologia descrita pela Embrapa (1997), tendo como objetivo a caracterização da área experimental.

2.3.2. Caracterização física do solo

Foram determinadas as propriedades físicas do solo como: densidade, resistência do solo a penetração e Massa seca da matéria da cobertura vegetal.

2.3.2.1. Teor de água no solo

Foi utilizado o método gravimétrico-padrão, com base no peso de solo seco em estufa na temperatura de 105-110°C até atingir massa constante, conforme Embrapa (1997). Na condução do experimento, foram realizadas amostragens de solo no dia da operação da semeadura e determinado o teor de água nas faixas de 0 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; e 0,20 a 0,30 m de profundidade. A amostragem foi feita no dia da operação de semeadura, coletando quatro amostras de cada parcela experimental, nas profundidades mencionadas anteriormente.

2.3.2.2. Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada na camada de 0 a 0,30 m de profundidade, utilizando-se o método do anel volumétrico, descrito pela Embrapa (1997). As amostras foram coletadas e acondicionadas em cápsulas de alumínio, sendo posteriormente lacradas até a chegada ao laboratório. A amostragem foi realizada antes da aplicação dos tratamentos, retirando-se quatro amostras em cada parcela experimental.

2.3.2.3. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi obtida com o penetrômetro, marca DLG, modelo PNT-2000 (Figura 10), cujas principais características estão descritas no Quadro 2.



Figura 10 - Penetrômetro utilizado.

Quadro 2- Características do penetrômetro PNT-2000

Tipo	Parâmetro
Alimentação	Bateria interna recarregável de 3,6 Vcc
Tipos de cone	De acordo com a norma ASAE S313.3: - Cone tipo 1 (grande): 323 mm ² - Cone tipo 2 (médio): 129 mm ² Não normalizados - Cone tipo 3 (pequeno): 71,25 mm ²
Profundidade máxima de penetração	0,6 m
Medição de força	Célula de carga de capacidade máxima de 1.000 N
Medição de profundidade	Por meio de sensor ultrassônico com precisão de 0,001 m
Capacidade de memória	768 ensaios

Fonte: DLG Automação (2010).

A coleta dos dados para indicar a resistência do solo à penetração foi feita em oito pontos distintos de cada unidade experimental, com a retirada simultânea de amostras de solo para a determinação do teor de água no solo. A obtenção dos valores de resistência à penetração foi apresentada em forma de gráficos, nas faixas de 0 a 0,30 m de profundidade, sendo os valores expressos em MPa. O tipo de cone utilizado para a realização das coletas de dados foi o tipo 2 (médio), com 129 mm² de área da seção transversal do cone.

2.3.3. Matéria seca da cobertura vegetal

A massa seca da matéria da cobertura vegetal foi coletada antes da semeadura, utilizando-se um quadro de madeira de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) (Figura 11), que foi lançado aleatoriamente sobre a cobertura.



Figura 11 - Quadro de madeira utilizado para a coleta da massa da cobertura vegetal.

Foram coletadas quatro amostras em cada parcela experimental e posteriormente secadas em estufa a 65°C até atingir massa constante, sendo os valores expressos em kg ha⁻¹. Encontravam-se na área uma cobertura vegetal nativa de sorgo selvagem (*Sorghum arundinaceum*) e capim colômbio

(*Urochloa máxima* co. *colonião*) estando essa área em estado de pousio há dois anos.

2.4. Teste de germinação das sementes

Antes do plantio, foi feito o teste de germinação das sementes no Laboratório de Pesquisa em Sementes do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Campus Santa Teresa, ES.

Utilizou-se como substrato o papel *germitest*, umedecido com água destilada na proporção de 2,5:1 (peso da água: peso do papel), com quatro repetições de 50 sementes, que foram colocadas em germinador à temperatura constante de 25°C. A avaliação dos resultados seguiu as recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). A germinação das sementes (plântulas normais), no quinto dia após a semeadura, foi de 100%.

2.5. Plantio e tratos culturais

20 dias antes do plantio foi aplicado o herbicida sistêmico *glyphosate*, na dosagem de 3,0 L ha⁻¹ (Figura 12) e após o controle das plantas daninhas presentes na área foi efetuado o plantio.



Figura 12 - Aplicação de herbicida pré-semeadura.

A semeadora-adubadora foi regulada para um espaçamento entre as linhas de 0,50 m, distribuindo-se 12 sementes por metro, em uma profundidade de 0,03 m, para obtenção de uma população de aproximadamente 240.000 sementes de feijão por hectare.

A semente de feijão, cultivar BRSMG Madrepérola utilizada no experimento, é considerada a nova opção para as áreas de produção da Região Sudeste, em função da sua ampla adaptabilidade e estabilidade. As quantidades de fertilizantes usada na formulação foram distribuídas na dosagem recomendada em razão da análise química do solo, sendo distribuídas 42 gramas da mistura por metro linear de semeadura, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de fertilizante utilizado na formulação do adubo de plantio, conforme manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 5.^a aproximação

Nutrientes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Zn	Cu	B	Mn	Mo
Quantidades (kg)	15	100	30	40	5	1	1	1	0,5

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Aos 30 dias após o plantio, foi realizado o controle de plantas daninhas utilizando-se o herbicida seletivo Flex[®] (FOMESAFEN), com uma dosagem de 1,0 L ha⁻¹. Já o controle entre as parcelas foi realizado por meio de gradagens leves sempre que necessário.

No início do florescimento, foi aplicado o fungicida *Frownicide* 500 SC[®] (FLUAZINAM) a uma dosagem de 1,0 L ha⁻¹.

2.6. Desempenhos da semeadora-adubadora

As características analisadas para verificar o desempenho da semeadora foram: emergência das plântulas (porcentual de emergência de plântulas e índice de velocidade de emergência), estande final e rendimento e seus componentes.

2.6.1. Emergência das plântulas

O porcentual e o índice de velocidade de emergência de plântulas foram avaliados em um comprimento de 10 m na linha central da parcela.

Iniciou-se a contagem das plântulas no primeiro dia de emergência, que se deu no quinto dia, após a semeadura, encerrando-se quando a emergência das plântulas foi estabilizada, que ocorreu no 11.º dia, após a semeadura.

Para a determinação do índice de velocidade de emergência de plântulas, foi utilizada a Equação 1, adaptada de Maguire (1962).

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que

IVE = índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n , = número de plântulas emergidas na primeira, segunda,..., última contagem; e

N_1, N_2, N_n , = número de dias da semeadura a primeira, segunda,..., última contagem.

A definição da porcentagem de emergência de plântulas foi calculada, conforme a Equação 2.

$$PEP = \frac{N_p}{N_s} 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

em que

PEP = porcentagem de emergência de plântulas (%);

N_p = número de plantas emergidas; e

N_s = número de sementes viáveis distribuídas na linha de plantio pela semeadora.

2.7. Irrigação da cultura

2.7.1. Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi conduzido com auxílio do aplicativo Irrisimples, em que foi determinada a demanda hídrica do feijoeiro, utilizando-se coeficientes de ajuste (coeficiente da cultura “kc”, de localização da irrigação “kl” e do solo “ks”) sobre a evapotranspiração de referência (ET_o). A lâmina bruta de irrigação foi calculada por meio de um balanço hídrico, em que as entradas de água foram a irrigação e precipitação pluvial (Tabelas 5 e 6) e as saídas, a evapotranspiração da cultura (ET_c) e percolação, além da profundidade efetiva do sistema radicular, conforme metodologia apresentada por Bernardo et al. (2008).

Como o objetivo de repor a água evapotranspirada pela cultura, iniciou-se o balanço hídrico do solo no primeiro dia após a última irrigação de estabilização da cultura. Em seguida, acumulou-se a evapotranspiração da cultura diariamente até que essa se igualou à lâmina que usualmente se aplicou a cada irrigação. Manteve-se o conteúdo de água no solo sempre próximo ao valor inicial pressuposto para cada tratamento.

As lâminas de irrigação foram aplicadas por um pivô central da marca *Fockink*, com 90% de eficiência, que foram corrigidas na velocidade da torre de irrigação do pivô para adequar a 100% de eficiência, tendo o mínimo de 1,66 mm e o máximo de 33,20 mm de água.

Utilizou-se o método de Hargreaves-Samani (ALLEN et al., 1998) para a estimativa da ET_o pelo Irrisimples, utilizando os elementos meteorológicos disponíveis (temperaturas máxima e mínima). Os dados meteorológicos usados para o uso do modelo citado foram obtidos na estação meteorológica automática do IFES, *Campus Santa Teresa*.

Na Tabela 3, observam-se as lâminas de 25, 50, 75 e 125% de reposição da evapotranspiração, que foram determinadas com base na lâmina de 100% de reposição da ET_o, e as quantidades de precipitação.

Tabela 3 - Lâminas de água repostas via irrigação mais precipitação na cultura do feijoeiro, em razão da evapotranspiração

ET0 Milímetros	25% (mm)	50% (mm)	75% (mm)	100% (mm)	125% (mm)
Lâmina	<u>81,03</u>	<u>162,06</u>	<u>243,09</u>	<u>324,13</u>	<u>405,16</u>
Precipitação	28,10	28,10	28,10	28,10	28,10
Total	109,13	190,16	271,19	352,23	433,26

2.8. Estande final, componentes do rendimento e produtividade de grãos

Quando o feijão atingiu a maturação, esse foi colhido manualmente em uma área de 6,0 m², no centro de cada unidade experimental. Depois de secados naturalmente à sombra, foi feita a contagem das plantas colhidas de cada parcela predeterminada.

Na mesma época, colheram-se aleatoriamente 10 plantas, dentro de cada parcela, determinando o número de vagens por planta, pela relação número total de vagens e número total de plantas; o número de sementes por vagem, obtido pela relação número total de sementes e número total de vagens; e a massa de 100 grãos, por meio da coleta ao acaso e da pesagem de uma amostra de 100 sementes de cada parcela.

As amostras das sementes foram obtidas aleatoriamente e colocadas em estufa a 105°C, seguindo-se a metodologia proposta por Brasil (1992). As sementes foram pesadas antes de serem acondicionadas na estufa; em seguida, retiradas para se determinar, de acordo com a Equação 3, o teor de água na amostra.

$$U = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

em que

P_i = massa inicial da amostra (g);

P_f = massa final da amostra (g); e

U = teor de água (% b.u.).

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

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

em que

M_f = massa das sementes com 13% umidade. (g);

U_i = teor de água inicial (%);

U_f = teor de água final (%); e

M_i = massa das sementes inicial (g).

Para o cálculo da produtividade, as sementes das parcelas colhidas foram pesadas em uma balança com precisão de 0,01 g, padronizando-se para 13% de umidade e extrapolando para kg ha^{-1} .

2.9. Análises estatísticas dos dados obtidos no experimento

Os dados foram analisados por meio de análise de regressão. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($r^2 = \text{SQ regressão} / \text{SQ tratamento}$) e no fenômeno biológico. Foi usado o programa computacional SAEG 9.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da área experimental

3.1.1. Caracterização química e textural do solo

De acordo com os resultados da análise química do solo (Tabela 4), não se verificou a necessidade da realização de correção no pH (potencial hidrogeniônico em água) do solo, pois os valores de saturação por bases (V), acidez trocável (Al^{+3}) e saturação por Al^{+3} (m) estão dentro dos limites aceitáveis para o cultivo do feijoeiro, dispensando assim a realização dessa prática de cultivo.

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

PH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	P-rem
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)					cmol _c dm ⁻³				%		mg L ⁻¹
5,6	20,6	73	4,5	2,0	0,00	3,2	6,9	6,69	6,89	67,6	0,0	32,1

*Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos do IFES, segundo a metodologia descrita pela Embrapa (1997).

As disponibilidades de fósforo (P-rem), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e soma de bases (SB) foram classificadas como muito boas, enquanto a disponibilidade potássio (K), a capacidade de troca de cátions efetiva (t), a capacidade de troca de cátions em pH 7 (T) e fósforo (P) foram classificadas como boas, conforme manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo, 5.^a aproximação (EMBRAPA, 1997).

Na Tabela 5, são apresentadas as frações de areia grossa, silte e argila, obtidas pela análise granulométrica do solo da área experimental. O solo é classificado como Latossolo Amarelo Eutrófico, textura arenosa, contendo 62% de argila na composição dele (EMBRAPA, 1997).

Tabela 5 - Análise granulométrica do solo, na camada de 0 a 0,20 m de profundidade

Partículas	Porcentual (%)
Argila	63,0
Silte	7,0
Areia	30,0

3.1.2. Caracterização física da área experimental

3.1.2.1. Teor de água e densidade do solo

Tabela 6 - Teor médio de água no solo (U) e densidade do solo (DS), nas faixas de 0 a 0,10 m; 0,10 a 0,20 m; e 0,20 a 0,30 m

Profundidade	U (%b.s)	DS (g cm ⁻³)
0 - 0,10 m	22,51a	1,48b
0,10 - 0,20 m	22,14a	1,60a
0,20 - 0,30 m	22,22a	1,67a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 6, não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) para variável teor de água no solo, comparando-se as faixas de profundidade do solo. Esses resultados ocorreram-se provavelmente em virtude de a área estar a quatro meses sem chuvas e irrigação, o que levaram os baixos índices de umidade apresentados. Entretanto, para a densidade do solo, o maior valor encontrado foi na faixa de 0,10 a 0,20m e 0,20 a 0,30 m de profundidade do solo. A maior densidade foi devida ao elevado nível de compactação nesta camada com maior índice de resistência à penetração, porém não sendo restritiva ao desenvolvimento das raízes do feijoeiro.

Os valores encontrados neste trabalho ficaram semelhantes aos encontrados por Secco et al. (2005) e Rosa Filho (2008), os quais trabalharam com um mesmo tipo de solo, com valores médios de densidade do solo de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,61 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente.

3.1.2.2. Resistência do solo à penetração

Os valores médios da resistência do solo à penetração, em razão da profundidade, são apresentados na Figura 13.

Observou-se que em maiores profundidades ocorreu aumento na resistência do solo à penetração. Na camada de 0 a 0,30 m, os valores de resistência do solo à penetração variaram de 0 a 1,82 MPa. As maiores resistências do solo à penetração nas profundidades acima de 0,20 m foram próximas de 1,55 a 1,82 MPa e se deram por causa de a área experimental apresentar um histórico de preparo convencional do solo, realizado desde 1960. Abaixo da camada de 0,20 m, percebeu-se o efeito do acúmulo das cargas dos implementos de preparo convencional do solo, o que resultou no aumento da resistência do solo a penetração.

Beutler et al. (2007), trabalhando com diversos implementos de preparo convencional do solo, observaram formação de uma zona de maior compactação na profundidade de trabalho dos equipamentos, bem como um pouco abaixo dessas camadas, exceto para o preparo com escarificador.

3.2. Peso da matéria seca da cobertura vegetal

O valor médio do peso da matéria seca da cobertura vegetal foi de 4.622 kg ha^{-1} , sendo esse valor representado pela média da área experimental. Sendo considerado com um valor médio de cobertura vegetal para prática do plantio direto da palha (PDP).

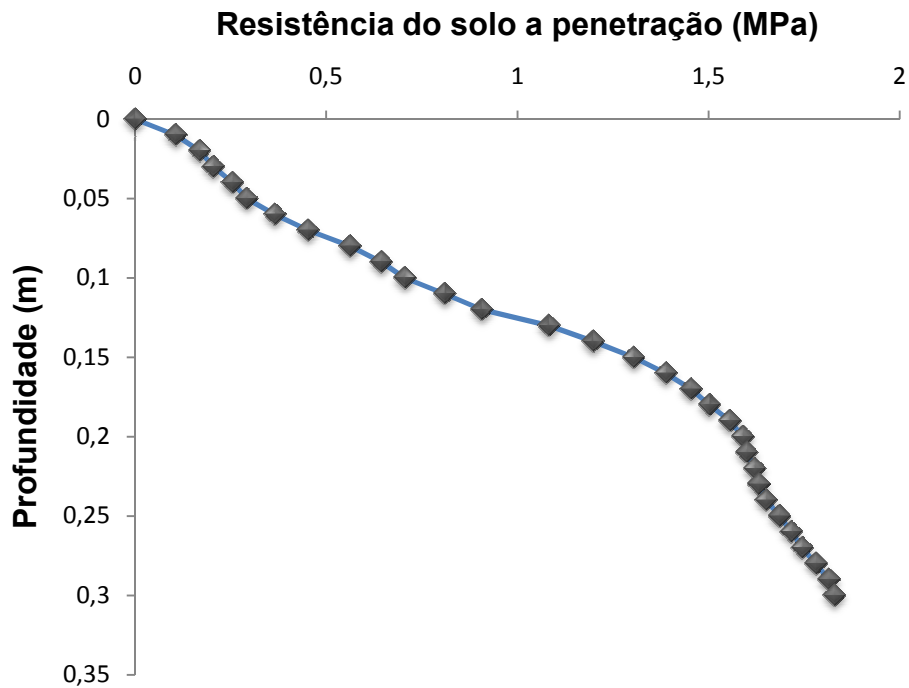


Figura 13 - Resistência do solo à penetração (MPa), por causa das profundidades do solo na área experimental.

3.3. Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência das plântulas (PEP)

Pode-se verificar que os resultados do índice de velocidade de emergência de plântulas foi significativo para a variável profundidade de adubação, determinado pela Equação 5. Na Figura 14, observa-se o comportamento dos dados.

$$\hat{IVE} = 100,027 + 228,703PF \quad \text{Eq. (5)}$$

$$r^2 = 0,7138$$

em que

IVE = índice de velocidade de emergência de plântulas (adimensional); e

PF = profundidade de adubação (m).

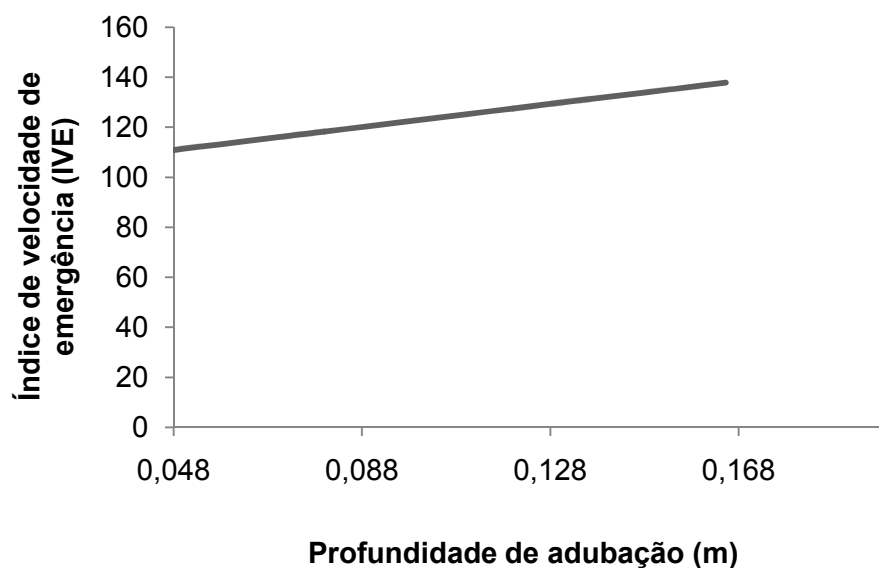


Figura 14 - Resultados do índice de velocidade de emergência (IVE).

Por meio dos resultados, pode-se observar que à medida que se aumenta a profundidade de adubação há aumento linear no IVE. Possivelmente, esse resultado seja em razão da maior mobilização do solo e conseqüentemente maior interação deste com a semente, proporcionando um IVE maior.

A profundidade de adubação não interferiu no percentual de emergência de plântulas (PEP), possivelmente por causa de todas as sementes terem sido depositadas na mesma profundidade, independente do tratamento em questão. Outra observação seria que o adubo, além de estar mais abaixo da semente, estava ao lado da linha de semeadura, não entrando em contato com as sementes, o que não interferiu nos resultados encontrados.

Rinaldi (2008), em avaliação de uma semeadora adubadora de plantio direto, em diferentes velocidades e profundidades de adubação, também não encontrou diferenças significativas ($p > 0,05$) no percentual de emergência de plântulas (PEP).

As lâminas de reposição de água não interferiram nos resultados de IVE e PEP, em razão da diferenciação entre as lâminas terem ocorrido após a estabilização da cultura.

3.4. Peso de 100 sementes, número de vagens por plantas, número de sementes por vagem, estande da cultura e produtividade da cultura

3.4.1. Peso de 100 sementes

Por meio da Figura 15, pode-se verificar o comportamento do peso das 100 sementes, em razão da reposição da lâmina de evapotranspiração, comprovado pela Equação 6. Em relação à profundidade de deposição do adubo, não ocorreram diferenças estatísticas entre as profundidades trabalhadas.

$$\widehat{MS} = 16,7457 + 0,18175 ET_0 - 0,00081 ET_0^2 \quad \text{Eq.(6)}$$

$$R^2 = 0,848$$

em que

MS = massa das sementes (g);

Pf = profundidade de adubação (m); e

ET₀ = reposição da lâmina de evapotranspiração (%).

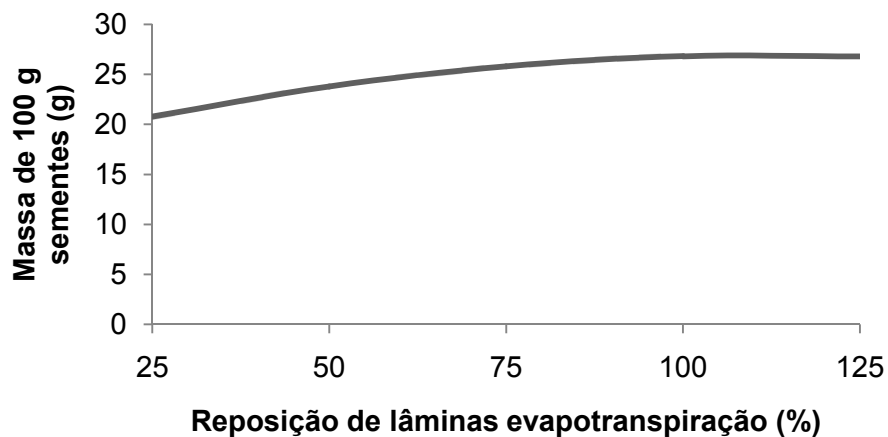


Figura 15 - Massa das 100 sementes, em razão da reposição da lâmina de água.

Verifica-se que a variável peso de 100 sementes eleva-se com o aumento da lâmina de água, em razão da evapotranspiração até o ponto máximo, que ocorre em 112,27 % da ETo; posteriormente, o peso das sementes decai com o aumento da lâmina de reposição de água.

Neste trabalho, os resultados demonstraram que a cultura do feijoeiro é altamente sensível para a variável peso das sementes, em razão da quantidade de água usada na irrigação da cultura. Pôde-se observar que o máximo necessário de água não se encontrou em 100% de reposição da evapotranspiração. A quantidade máxima de água ideal para a planta poder expressar seu potencial máximo de produtividade na variável peso das sementes se deu em 112,27%.

Calvache et al. (1997), avaliando o efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão, encontraram, na massa seca de 100 sementes, diferenças significativa ($p > 0,05$) para o fator regime de irrigação. Esse fato está evidenciando a necessidade da água para formação e transporte de todas as substâncias solúveis, fotossintatos e carboidratos das fontes (folhas e raízes) aos sumidouros (sementes), onde ocorre a transformação em matéria seca.

3.4.2. Número de vagem por planta

O número de vagem por planta é influenciada somente pela quantidade de água, conforme se verifica na Figura 16, em que maiores reposições de lâminas de evapotranspiração aumentam o número de vagem por plantas, como pode ser constatado pela Equação 7.

$$\widehat{NVP} = - 1,81437 + 0,17677 ET_0 - 0,000548 ET_0^2 \quad \text{Eq. (7)}$$

$$R^2 = 0,9174$$

em que

NVP = número de vagens por planta;

Pf = profundidade de adubação (m); e

ET₀ = reposição da lâmina de evapotranspiração (%).

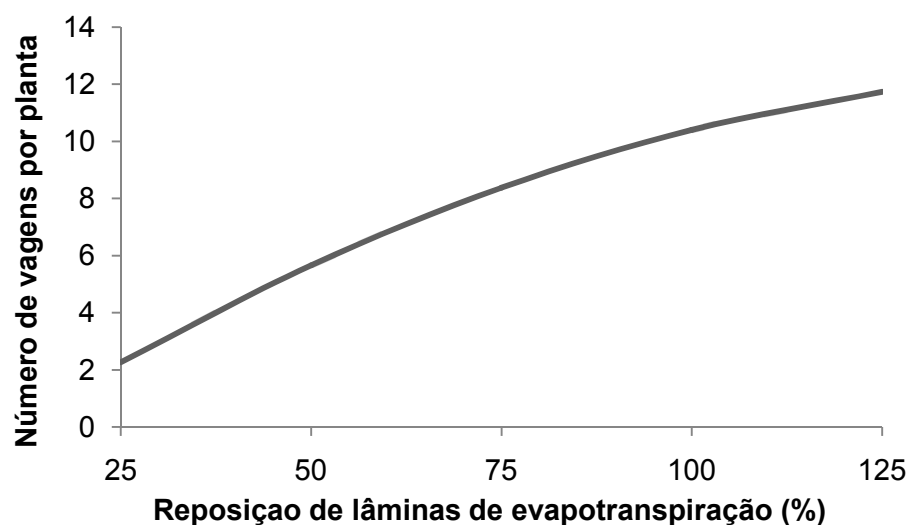


Figura 16 - Número de vagens por planta, em razão da reposição da lâmina de evapotranspiração.

A quantidade de água fornecida à cultura influenciou diretamente o número de vagens por planta, em virtude de essa variável ser diretamente dependente da água para expressar maiores produtividades.

Moura et al. (2009), avaliando o efeito da lâmina de irrigação na produtividade do feijão caupi no semiárido brasileiro, observaram que o número de vagens por planta apresentou-se diferente para os tratamentos, sendo maior em maiores lâminas, demonstrando ser esse parâmetro de produção o mais sensível aos diferentes níveis de umidade do solo; quando se elevou a lâmina de irrigação, a variável quantidade de vagens por planta teve tendência de aumento.

Contribuindo com o resultado encontrado neste trabalho, Ferreira (2007), em trabalho destinado a definir os parâmetros de risco climático no consórcio milho x feijão caupi, encontrou que o componente de produção que apresentou maior variabilidade positiva, em resposta ao aumento da lâmina de irrigação e com implicação direta no aumento de produtividade de grãos, foi o número de vagens por planta (NVP).

3.4.3. Número de sementes por vagem

Pode-se verificar que os resultados de número de sementes por vagem foi significativo para as variáveis de profundidade de adubação e para reposição da lâmina de evapotranspiração, determinado pela Equação 8. Na Figura 17, observa-se o comportamento dos dados.

$$\widehat{NSV} = 2,023 + 8,0012 Pf - 36,0801 Pf^2 + 0,05105 ETo - 0,0002115 ETo^2 \quad \text{Eq. (8)}$$

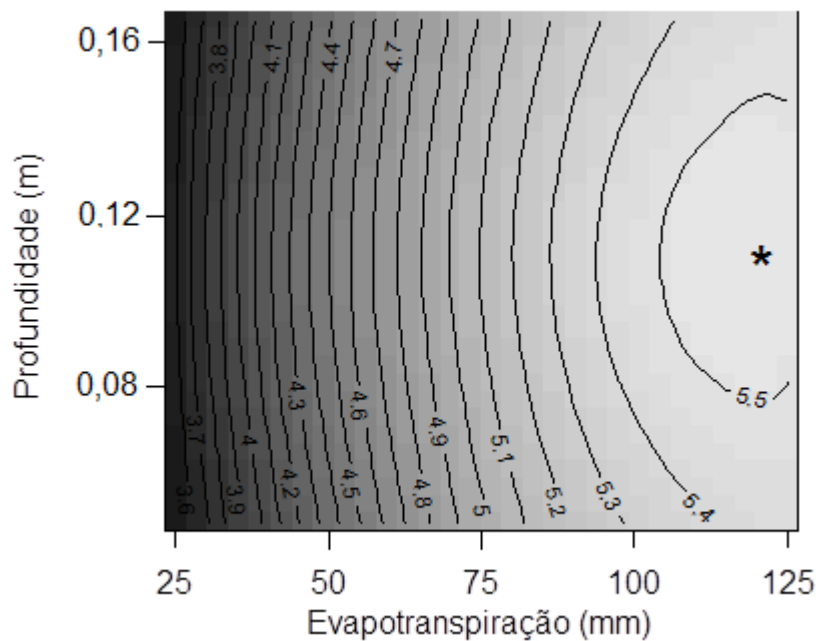
$$R^2 = 0,7367$$

em que

NSV = número de sementes por vagem;

Pf = profundidade de adubação (m); e

ETo = reposição da lâmina de evapotranspiração (%).



* Ponto de Maximo

Figura 17 - Número de grãos por vagem, em razão da reposição da lâmina de evapotranspiração.

Visualiza-se na Figura 17 que o número de sementes por vagens aumenta até o ponto de máximo de 5,548, quando se considera uma lâmina de 120,73% da evapotranspiração, correspondente a 418,35 mm de água na profundidade de 0,1109 m de adubação. Quando se considera 90% da produtividade máxima, encontra-se a reposição da lâmina da evapotranspiração de 112,5%, equivalente a 389.93 mm de água com uma produtividade de aproximadamente 4,99 sementes por vagem. Os resultados evidenciam o potencial produtivo da cultura, quando cultivada sob condições de irrigação.

Houve efeito de aumento no número de sementes por vagens, em razão da profundidade de adubação ($p > 0,05$), sendo maior na profundidade de 11,09 cm de deposição de adubo com interação à lâmina de 120,73% da ETo. A maior produtividade no número de sementes por vagens se deu na profundidade encontrada de 0,1109 m de adubação, possivelmente por causa do desenvolvimento de maior quantidade de raízes ter se alongado até essa profundidade e ali ter encontrado o fertilizante necessário para externar sua maior capacidade produtiva de números de grãos por vagens, conforme Figura 18.



Figura 18 - Profundidade do sistema radicular no intercepto.

Chaib et al. (1984) verificaram melhor desenvolvimento radicular do feijoeiro quando se efetuou a adubação em maior profundidade, em relação à convencional.

3.4.4. Estande da cultura

O número de plantas por hectare foi igual em todos os tratamentos. O resultado é explicado pelo mesmo suprimento de água fornecido em todos os tratamentos até o final da germinação, impedindo a mortalidade dessas e não alterando o estande.

3.4.5. Produtividade da cultura

Na Equação 9, é avaliada a produtividade do feijoeiro em função da profundidade de deposição do adubo e da lâmina de reposição da evapotranspiração.

$$\widehat{\text{Prod}} = -1620,30 + 9082,57 \text{ Pf} - 47135,7 \text{ Pf}^2 + 56,6884 \text{ ETo} - 0,18213 \text{ ETo}^2 \quad \text{Eq. (9)}$$

$$R^2 = 0,7733$$

em que

Prod = produtividade (kg ha^{-1});

Pf = profundidade de adubação (m); e

ETo = reposição da lâmina de evapotranspiração (%).

Observa-se, na Figura 19, que a produtividade encontrada foi de 3.045 kg ha^{-1} , na profundidade de adubação de $0,0964 \text{ m}$ e reposição da lâmina de evapotranspiração de 125 mm . Para a produção de 90% da produção máxima, foi encontrado $2.751,75 \text{ kg ha}^{-1}$ na reposição de água igual a $112,5\%$ da ETo. Observa-se nos resultados que, o feijoeiro encontrou as melhores condições de produtividade na profundidade de adubação de $0,0964 \text{ m}$; possivelmente em razão de melhor aporte de fertilizantes e quantidade de água ideal, refletindo em maior produtividade da cultura.

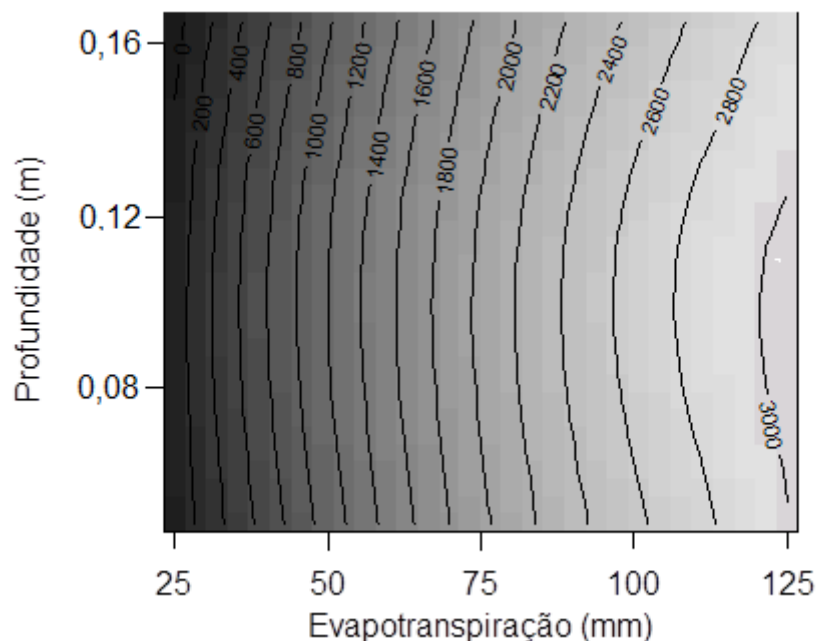


Figura 19 - Produtividade do feijoeiro, em razão da profundidade de deposição do adubo e da lâmina de reposição da ETo.

Bizari et al. (2009), trabalhando na região de Campinas, SP, determinaram que o consumo de água do cultivar de feijão Carioca Precoce, plantado ao final de junho, foi de 261,3 mm para uma produtividade de 1.492 kg ha⁻¹.

Corroborando com os resultados deste trabalho, Stone et al. (2006) encontraram resultados de lâminas totais de água aportadas à cultura do feijoeiro para uma produtividade máxima de 100% da cultura de 460,4 mm de reposição de água da ETo.

Andrade Júnior et al. (2002) obtiveram produtividades de 2.809 kg ha⁻¹ e 2.103 kg h⁻¹ para os cultivares de feijão caupi BR-17 Gurguéia e BR-14 Mulato, respectivamente, em experimento realizado no Litoral Piauiense. Essas produtividades foram obtidas com o emprego de 449,1 mm e 389,9 mm de água, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

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

- A profundidade de adubação de 0,0964 m e a reposição da lâmina de água da evapotranspiração de 125% (433,26 mm de água) propicia maior produtividade do feijão.
- A profundidade de adubação de 0,1109 m e lâmina de evapotranspiração de 120,73% (418,45 mm de água) proporcionaram maior número de sementes por vagens.
- As lâminas de evapotranspiração influenciam de modo linear nas variáveis massa de 100 sementes e número de vagens por planta.
- As profundidades de adubações estudadas não interferem nas variáveis PEP, estande da cultura, massa de 100 sementes e número de vagens por planta.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 319 p. (Irrigation and Drainage, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; RODRIGUES, B.H.N.; FRIZZONE, J.A. et al. Níveis de irrigação no cultivo do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 17-20, 2002.

BALDAN MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS – BALDAN. **Manual ano 2009**. Disponível em: <<http://www.baldan.com.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; GOTTARDO, R.D.; POSSE, R.P. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, 2008.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. **Eng. Agríc.**, v. 27, p. 146-151, 2007.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.39, n.7, p.2073-2079, 2009.

BRANQUINHO, K.B.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A. et al. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 374-380, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.

CALVACHE; A.M.; REICHARDT. K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Sci. Agric.**, v. 54, n.3, 1997.

CARVALHO, J.A. et al. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 710-717, 2000.

CHAIB, S.L.; BULISANI, E.A.; CASTRO, S.M. Crescimento e produção do feijoeiro em resposta à profundidade da aplicação de adubo fosfatado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 817-822, 1984.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Avaliação da safra agrícola 2009/2010 – terceiro levantamento – dezembro/2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 08 fev. 2011.

DLG AUTOMAÇÃO. **Manual 2010**. Disponível em: <<http://www.dlg.com.br>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual e métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, V.M. **Definição de parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho x feijão-caupi**. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 07 fev. 2011.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Potássio: principais fatores que interferem no crescimento radicular das culturas anuais, com ênfase no potássio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 103, p. 5-11, 2003.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H. et al. **Sistema Santa Fé – tecnologia Embrapa**: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Circular Técnica, 38).

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

LOPES, A.S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J.E. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

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

MOURA, M.B.; SOUZA, S.B.; FREIRE, T.G. et al. Efeito da lâmina de irrigação na produtividade do feijão-caupi no semi-árido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38, 2009, Petrolina. **Anais...** Petrolina, 2009.

NÓBREGA, J.Q.; RAO, T.V.R.; NAPOLEÃO, E.M.; BELTRÃO FILHO, J.F. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

RINALDI, P.C.N. **Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROSA FILHO, G. **Produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SOUZA, M.A. et al. Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 175-182, 2009.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; BRAZ, A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 577-582, 2006.

WUTKE, E.B.; PIRES, R.C.M.; TANAKA, R.T. et al. Desenvolvimento vegetativo e radicular e rendimento de grãos e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro da seca após cultivo de adubos verdes, em plantio direto. **Revista de Agricultura**, v.78, p.77-91, 2003.

YOKOYAMA, L.P. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. (Eds.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2002. p. 249-292.

CONCLUSÃO GERAL

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

- O aumento da profundidade de adubação acarreta numa maior demanda de potência do trator.
- O consumo horário de combustível do trator aumenta com o aumento da profundidade de deposição do adubo.
- Aumentando a profundidade de deposição do adubo há uma redução no consumo específico de combustível, aumento no consumo de combustível por hectare e na patinagem das rodas motrizes do trator.
- A profundidade de adubação de 0,964 m e a reposição da lâmina de evapotranspiração de 125% (433,26 mm de água m²) proporciona maior produtividade do feijão.
- A profundidade de adubação de 0,1109 m e lâmina de evapotranspiração de 120,73% (418,45 mm de água mm²) proporciona maior número de grãos por vagens.
- As lâminas de evapotranspiração influenciam de modo linear nas variáveis, massa de 100 grãos e número de vagens por planta.
- As profundidades de adubações estudadas não interferem nas variáveis, IVE, PE, número de planta ha⁻¹, massa de 100 grãos e número de vagens por planta.
- As lâminas de Eto não influenciam massa de 100 grãos, número de vagens por planta, IVE e PEP.
- A adaptação efetuada no sistema de abertura de sulco da semeadora foi eficiente para atingir maiores profundidades de adubação.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 319 p. (Irrigation and Drainage, 56).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS – ASABE. **ASAE D497.5**: agricultural machinery management data. 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. **Agricultural machinery management data**: standards engineering practices data. St. Joseph, 1996.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; RODRIGUES, B.H.N.; FRIZZONE, J.A. et al. Níveis de irrigação no cultivo do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 17-20, 2002.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A.T.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. 3, p.443 - 455 Set/Dez, 2009.

BALDAN MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS – BALDAN. **Manual ano 2009**. Disponível em: <<http://www.baldan.com.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; GOTTARDO, R.D.; POSSE, R.P. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, 2008.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. **Eng. Agríc.**, v. 27, p. 146-151, 2007.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. et al. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade do arroz sequeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 39, p. 575-580, 2004.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.39, n.7, p.2073-2079, 2009.

BRANQUINHO, K.B.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A. et al. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 374-380, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.

CALVACHE; A.M.; REICHARDT. K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Sci. Agric.**, v. 54, n.3, 1997.

CAMPOS, A.T. **Balanço energético relativo à produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

CARVALHO, G.J.; CARVALHO, M.P.; FREDDI, O.S.; MARTINS, M.V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 765-771, 2006.

CARVALHO, J.A. et al. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 710-717, 2000.

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

CHAIB, S.L.; BULISANI, E.A.; CASTRO, S.M. Crescimento e produção do feijoeiro em resposta à profundidade da aplicação de adubo fosfatado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 817-822, 1984.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Avaliação da safra agrícola 2009/2010 – terceiro levantamento – dezembro/2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 08 fev. 2011..

DLG AUTOMAÇÃO. **Manual 2010**. Disponível em: <<http://www.dlg.com.br>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual e métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

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

FERREIRA, V.M. **Definição de parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho x feijão-caupi**. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 07 fev. 2011.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.458-464, 2005a.

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

HERZOG, R.L.S.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.771-780, 2004.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H. et al. **Sistema Santa Fé – tecnologia Embrapa**: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Circular Técnica, 38).

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Potássio: principais fatores que interferem no crescimento radicular das culturas anuais, com ênfase no potássio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 103, p. 5-11, 2003.

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

LOPES, A.S.; PAVANI, L.C.; CORÁ, J.E. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2008. 584p.

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

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

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas**: ensaio e certificação. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIBFEALQ, 1996. 722 p.

MION, R.L.; BENEZ, S.H. Esforços em ferramentas rompedoras de solo de semeadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1594-1600, 2008.

MOURA, M.B.; SOUZA, S.B.; FREIRE, T.G. et al. Efeito da lâmina de irrigação na produtividade do feijão-caupi no semi-árido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38, 2009, Petrolina. **Anais...** Petrolina, 2009.

NÓBREGA, J.Q.; RAO, T.V.R.; NAPOLEÃO, E.M.; BELTRÃO FILHO, J.F. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

PALMA, M.A.Z.; VOLPATO, C.E.S.; BARBOSA, J.A. et al. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinação, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, 2010.

PEREIRA, J.L. **Impacto de sistemas e sucessão de cultivos em artrópodes associados à cultura do feijão**. 2006. 119 f. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

RINALDI, P.C.N. **Influência da profundidade de adubação e da velocidade de uma semeadora de plantio direto na cultura do feijão**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROSA FILHO, G. **Produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP.

SANTOS, A.P.; VOLPATO, C.E.S.; TOURINO, M.C.C. Desempenho de três semeadoras-adubadoras de plantio direto para a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 540-546, 2008.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

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

SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.20, n.2, p.76-82, 2005.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A.G. Ângulo ideal. **Revista Cultivar Máquinas**, n. 13, p.30-32, 2002.

SOUZA, M.A. et al. Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 175-182, 2009.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; BRAZ, A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 577-582, 2006.

WUTKE, E.B.; PIRES, R.C.M.; TANAKA, R.T. et al. Desenvolvimento vegetativo e radicular e rendimento de grãos e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro da seca após cultivo de adubos verdes, em plantio direto. **Revista de Agricultura**, v.78, p.77-91, 2003.

YOKOYAMA, L.P. Aspectos conjunturais da produção de feijão. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. (Eds.). **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2002. p. 249-292.

ZANINI, A.; CAMPOS, A.T.; PRESTES, T.V.M. et al. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Revista Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.