

ANDERSON CANDIDO DA SILVA

**DESEMPENHO DINÂMICO DE UMA SEMEADORA-ADUBADORA EM FUNÇÃO
DO MECANISMO DOSADOR E DA CARGA APLICADA PELA RODA
COMPACTADORA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015

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

T

S586d
2015
Silva, Anderson Candido da, 1986-
Desempenho dinâmico de uma semeadora-adubadora em
função do mecanismo dosador e da carga aplicada pela roda
compactadora / Anderson Candido da Silva. – Viçosa, MG,
2015.

ix, 42f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.36-42.

1. Mecanização agrícola. 2. Semeadeira-adubadeira -
Desempenho. 3. Feijão - Semeadura . I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 681.7631

ANDERSON CANDIDO DA SILVA

**DESEMPENHO DINÂMICO DE UMA SEMEADORA-ADUBADORA EM FUNÇÃO
DO MECANISMO DOSADOR E DA CARGA APLICADA PELA RODA
COMPACTADORA**

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

APROVADA: 23 de fevereiro de 2015.

Prof. Mauri Martins Teixeira
(Coorientador)

Prof. José Eustáquio de Souza
Carneiro

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio incondicional, confiança e incentivo.

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

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pelas oportunidades, orientação, ensinamentos e contribuição para realização deste trabalho.

Aos professores coorientadores Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon, pelos ensinamentos, sugestões e esclarecimentos.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola, Marcelo, Vantuil, Danilo, Geraldo e Gil.

Aos colegas do Laboratório de Mecanização Agrícola: Marconi, Paulo, Daniel, Diego, Juliana, Jardênia, Larissa, Danilo, Flávio, Raquel, Humberto, Christiam, Raphael, Júlio, Matheus, Ronaldo, Édilus, Robson, Gracielly, Emanuel, Amélia, Anderson Costa, Flora, Denis, Remo, Nara, Cristina, Michael, Frederico e Gregory pelo apoio e companheirismo.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, concedido por meio da bolsa de pesquisa, durante o curso de mestrado.

Aos demais familiares, colegas e amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ANDERSON CANDIDO DA SILVA, filho de Benedito Candido da Silva e Durvalina Moutinho da Silva, nasceu no dia 16 de abril de 1986 no Distrito de Nova América, Município de Itápolis, São Paulo.

Em 2003 concluiu o ensino médio pela Escola Técnica Estadual Dr. Adail Nunes da Silva, em Taquaritinga, São Paulo.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais em 2013.

Em 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Mecanização Agrícola, em nível de mestrado, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2015, submeteu-se à defesa pública de dissertação, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A cultura do feijão	3
2.2 A semeadora	4
2.2.1 Semeadoras pneumáticas.....	4
2.2.2 Velocidade periférica do disco dosador de sementes	6
2.2.3 Compactação do solo sobre a semente	6
2.2.4 Distribuição longitudinal de sementes	8
2.2.5 Velocidade de emergência de plântulas.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Caracterização do solo	11
3.1.1 Caracterização química do solo	11
3.1.2 Caracterização física do solo	11
3.1.2.1 Densidade do solo	11
3.1.2.2 Teor de água do solo.....	12
3.1.2.3 Resistência do solo à penetração.....	12
3.1.2.4 Análise textural do solo.....	13
3.2 Cultivar.....	13
3.3 Conjunto mecanizado	14
3.3.1 Trator.....	14
3.3.2 Semeadora-adubadora	15
3.4 Preparo do solo e semeadura.....	16
3.5 Aquisição de dados e determinação dos parâmetros operacionais.....	17
3.5.1 Vácuo no mecanismo dosador de sementes	17
3.5.2 Velocidade periférica do disco dosador de sementes	18
3.5.3 Carga aplicada pela roda compactadora.....	19
3.6 Distribuição longitudinal de plântulas.....	20
3.7 Índice de velocidade de emergência de plântulas	21
3.8 Tempo médio de emergência de plântulas	22
3.9 Análise estatística dos dados	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Caracterização da área experimental	23
4.1.1 Análise química do solo	23
4.1.2 Análises físicas do solo	23

4.1.2.1 Densidade e teor de água do solo	23
4.1.2.2 Resistência do solo à penetração.....	24
4.1.2.3 Análise textural do solo.....	24
4.2 Caracterizações das sementes.....	25
4.3 Distribuição longitudinal de plântulas.....	25
4.3.1 Espaçamentos duplos entre plântulas.....	25
4.3.2 Espaçamentos falhos entre plântulas.....	27
4.3.3 Espaçamentos aceitáveis entre plântulas	28
4.3.4 Espaçamento médio entre plântulas	29
4.3.5 Índice de precisão da semeadura	31
4.4 Emergência de Plântulas	32
4.4.1 Índice de velocidade de emergência das plântulas	32
4.4.2 Tempo médio de emergência das plântulas.....	33
5 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

RESUMO

SILVA, Anderson Candido da, M. Sc, Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2015. **Desempenho dinâmico de uma semeadora-adubadora em função do mecanismo dosador e da carga aplicada pela roda compactadora.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon.

O feijão está entre os produtos agrícolas de maior importância econômica da agricultura brasileira. Além de suprir a maior parte da demanda por esse produto, a produção nacional de feijão contribui para o aumento do número de empregos no campo. A qualidade da operação de semeadura pode ser um fator determinante da produtividade do feijoeiro. Durante essa operação podem ocorrer erros que influenciam os espaçamentos entre sementes. Nas semeadoras com mecanismo pneumático de dosagem o nível de vácuo e a velocidade do disco dosador de sementes são os fatores que mais influenciam o espaçamento entre sementes e, conseqüentemente, a qualidade da semeadura. Apesar das semeadoras pneumáticas estarem amplamente difundidas ainda são poucas as informações sobre o efeito do nível de vácuo e da velocidade do disco dosador na semeadura de algumas culturas. Além de depositar a semente na linha de semeadura é necessário que a semeadora feche o sulco e faça a compactação do solo sobre a semente. A compactação do solo, na linha de semeadura, é realizada pela roda compactadora da semeadora. Os poucos trabalhos sobre a influência da carga aplicada pela roda compactadora da semeadora sobre a emergência de plântulas apresentam resultados controversos. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de uma semeadora-adubadora, em função do vácuo e velocidade do mecanismo dosador de sementes e da carga aplicada pela roda compactadora, na semeadura do feijão. O trabalho foi realizado em área experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, em Novembro de 2014. O experimento foi conduzido no esquema de parcelas subdivididas tendo nas parcelas as cargas aplicadas pela roda compactadora da semeadora-adubadora. Nas subparcelas foi montado um esquema fatorial 3 x 2 com três velocidades do disco dosador de sementes (0,24; 0,34 e 0,44 m s⁻¹) e dois níveis de vácuo (1,8 e 2,4 kPa), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Na semeadura foi utilizada uma semeadora de grãos graúdos, com mecanismo pneumático de dosagem de sementes, acoplada a um trator agrícola de pneus. Foram avaliadas a

distribuição longitudinal e a velocidade de emergência das plântulas de feijão. A carga aplicada pela roda compactadora não influenciou a distribuição longitudinal das plântulas. O aumento do nível de vácuo, de 1,8 para 2,4 kPa, e a diminuição da velocidade do disco dosador, de 0,44 para 0,24 m s⁻¹ aumentaram os espaçamentos duplos de 3 para 19% e os espaçamentos aceitáveis de 14 para 68% do total de espaçamentos. Além disso, os espaçamentos falhos reduziram de 90 para 10%, o espaçamento médio reduziu de 22,4 para 6,6 cm e o índice de precisão diminuiu de 36 para 22%. A velocidade de emergência das plântulas de feijão não foi influenciada pelo nível de vácuo e pela velocidade do disco dosador de sementes. O aumento da carga aplicada pela roda compactadora, de 250 para 364 N, aumentou o índice de velocidade de emergência (IVE) das plântulas de 17,24 para 19,69. A partir de 364 N o aumento da carga diminuiu o IVE das plântulas até 19,10, para a carga de 420 N. Além disso, o aumento da carga aplicada pela roda compactadora, de 250 para 362 N, diminuiu o tempo médio de emergência das plântulas de 7,87 para 7,52 dias. A partir de 362 N a carga aplicada pela roda compactadora aumentou o tempo médio de emergência das plântulas de feijão, que atingiu o valor de 7,61 para a carga de 420 N.

ABSTRACT

SILVA, Anderson Candido da, M. Sc, Universidade Federal de Viçosa, February, 2015. **Performance of a planter as a function of the measuring system and the load applied by the press wheel.** Advisor: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisors: Mauri Martins Teixeira and Paulo Roberto Cecon.

The usual beans is among the agricultural products of more economic and social importance of Brazilian agriculture. Addition to supplying most of the demand for the grain, domestic production contributes to the increase in the number of jobs in the countryside. The quality of the sowing operation can be crucial in the beans productivity. During this operation errors can occur that cause an increase or decrease the spacing between seeds. In sowing machine with pneumatic dosing mechanism the vacuum level and the peripheral speed of the seeds doser disk are the factors that most influence these spacing and therefore the quality of sowing. Despite the pneumatic sowing machines are largely disseminated are still little information on the effect of the vacuum level and the doser disk speed at sowing of some crops. Besides deposit the seeding machine at sowing line is necessary that the seeder close the groove and make soil compaction on the seed. Soil compaction, in the sowing line, is performed by the press wheels of the sowing machine. The few studies on the influence of load applied by the press wheel sowing machine on seedling emergence is controversial. Therefore, this study objective to evaluate the performance of a seeder as a function of vacuum and speed of the doser system seeds and load applied by the press wheel, the bean sowing. The study was conducted in an experimental area of the Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa, Brazil, in November 2014. The experiment was conducted in split plot with loads applied by the compaction wheel seeder machine assigned to the plots. In the subplots was set up a factorial 3 x 2 with three disc doser speeds seeds (0.24, 0.34 and 0.44 m s⁻¹) and two vacuum levels (1.8 and 2.4 kPa) in a completely randomized design with three replications. The sowing was used a seeder machine of coarse grains, with pneumatic seed metering mechanism, coupled to an agricultural tractor tires. We evaluated the longitudinal distribution and the speed of emergence of bean seedlings. The load applied by the compaction wheel did not influence the longitudinal distribution of seedlings. The increase of the vacuum level of 1.8 to 2.4 kPa, and the decrease of doser disc speed of 0.44 to 0.24 m s⁻¹

increased to 3 double spacing and the spacings 19% acceptable 14 to 68% of the spacing. The speed of emergence, bean seedlings was not affected by the vacuum level and the speed of the doser disk seeds. Increasing the load applied by the press wheel, from 250 to 364 N, increased the speed of emergence index (IVE) of seedlings of 17.24 to 19.69. From 364 N the load increases decreased to 19.10 IVE seedling to the load of 420 N. Furthermore, the increased load applied by the press wheel 250 to 362 N, decreased the average time of seedling emergence from 7.87 to 7.52 days. Starting at 362 N load applied by the compaction wheel increased the average time of emergence, bean seed lings that amounted to 7.61 for the load of 420 N.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos produtos agrícolas de maior importância econômica produzidos no Brasil. Apesar de geralmente ser plantado em pequenas áreas nos últimos anos seu cultivo foi adotado por agricultores de alto nível tecnológico, com uso intenso da irrigação e mecanização dos tratos culturais. A mecanização das atividades supre a carência de mão-de-obra no campo e torna o trabalho menos árduo. Além disso, o uso das operações mecanizadas possibilita a melhoria da qualidade dos serviços e o aumento da área cultivada.

A produtividade das culturas agrícolas é condicionada, dentre outros fatores, pela densidade populacional e pelo arranjo espacial das plantas. Portanto, a distribuição das sementes na linha de semeadura deve ser feita com a maior precisão possível. Devido ao alto custo de aquisição de sementes e fertilizantes é necessário que as máquinas responsáveis pela dosagem e distribuição desses insumos apresentem alto desempenho em campo. Ademais, essas máquinas devem apresentar versatilidade para satisfazer as condições exigidas pelos diferentes tipos de cultura e sistemas de preparo de solo utilizados na produção de grãos.

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

A dosagem de sementes pelo mecanismo pneumático pode ser realizada com pressão positiva ou negativa (vácuo), sendo mais comum o uso de dosadores pneumáticos à vácuo. Nesse tipo de mecanismo o vácuo gerado por uma turbina, acionada pela tomada de potência (TDP) do trator, é aplicado aos orifícios do disco dosador de sementes. À medida que o disco dosador gira seus orifícios capturam as sementes do reservatório e as carrega até a área do dosador em que ocorre a interrupção do vácuo. Após o vácuo ser cessado a semente é transportada pelo duto condutor até sua deposição no sulco de semeadura.

Durante a dosagem das sementes podem ocorrer erros que comprometem a qualidade da semeadura. O orifício pneumático pode falhar no momento da captura da semente e não realizar a dosagem. Por outro lado, o orifício pneumático pode capturar e dosar mais de uma semente com conseqüente diminuição do

espaçamento entre as plantas. Esses erros na dosagem das sementes estão associados principalmente ao nível de vácuo e à velocidade periférica do disco dosador. Apesar do uso de semeadoras com mecanismo pneumático de dosagem de sementes serem amplamente difundidas, o nível de vácuo e a velocidade do disco dosador de sementes adequados às diversas culturas ainda não foram determinados.

Após a deposição da semente são necessários o fechamento do sulco de semeadura e a compactação do solo para aumentar seu contato com a semente. A falta de contato com o solo pode dificultar a absorção de água pela semente e comprometer sua germinação. Por outro lado, a compactação excessiva na linha de semeadura pode dificultar a emergência das plântulas pela dificuldade em romper a camada superficial do solo. Por sua vez, o aumento no tempo de emergência deixa as plântulas mais expostas às doenças e pragas na fase inicial da cultura.

A compactação do solo na linha de semeadura é realizada pela roda compactadora da semeadora-adubadora e o desenho da roda compactadora, além do teor de água do solo determinam o efeito da compactação na linha de semeadura. Os poucos estudos realizados sobre a influência da carga aplicada pela roda compactadora das semeadoras sobre a emergência de plântulas apresentam resultados controversos.

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho de uma semeadora-adubadora, na semeadura de feijão, em função do vácuo e velocidade do disco dosador de sementes e da carga aplicada pela roda compactadora.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do feijão

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais importantes da dieta da população brasileira. Seus grãos são excelente fonte de proteína e apresentam quantidade considerável de carboidratos e ferro. Além da importância alimentar o feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social no Brasil. No estado de Minas Gerais estima-se 295 000 produtores que geram demanda por mão-de-obra durante o ciclo dessa cultura (BORÉM; CARNEIRO, 2006).

A produtividade média nacional do feijoeiro é de 1 024 kg ha⁻¹, com grandes variações dependendo da região produtora. A região norte/nordeste apresenta produtividade média de 431 kg ha⁻¹, enquanto que a produtividade das demais regiões supera 1500 kg ha⁻¹. O Brasil é o maior consumidor e o terceiro maior produtor mundial de feijão. Na safra 2013/2014 a produção nacional foi de aproximadamente 3,4 milhões de toneladas. O estado do Paraná foi responsável por 24% do total produzido, seguido por Minas Gerais, responsável por 17% da produção nacional (BRASIL, 2014).

A produção de feijão no estado de Minas Gerais era tradicionalmente obtida de duas épocas de plantio, denominadas épocas “das águas” e “da seca”. No entanto, a expansão das áreas irrigadas e o ciclo curto do feijoeiro favoreceram o plantio na entressafra, que deu origem a uma terceira época de plantio, denominada “plantio de inverno”. Dessa maneira, a semeadura do feijão em Minas Gerais ocorre em outubro-novembro (“águas”), fevereiro-março (“seca”) e abril-junho (“inverno”) (ARAÚJO; FERREIRA, 2006).

Segundo Paula Júnior et al. (2010), no plantio “das águas” as altas temperaturas, principalmente na época de floração, e a baixa insolação são fatores limitantes da produtividade das plantas de feijão. Ademais, Araújo e Ferreira (2006) citam a possibilidade de morte do feijoeiro por encharcamento do solo e o comprometimento da colheita, quando esta coincide com longos períodos chuvosos.

O principal risco para a produção do feijoeiro no cultivo “da seca” é a falta de chuva. Os longos períodos sem chuva podem comprometer o desenvolvimento da cultura com conseqüente diminuição da produtividade. Em função disto alguns produtores antecipam a semeadura para janeiro, apesar da pouca probabilidade de

sucesso com a semeadura fora de época (ABREU; BIAVA, 2005).

No cultivo de inverno, a aplicação de fertilizantes e o uso da irrigação, somados a uma adequada população de plantas, proporcionam altos níveis de produtividade do feijoeiro, que podem ultrapassar os 3 000 kg ha⁻¹. Esses fatores, somados ao rápido retorno econômico, colocam a cultura do feijão entre as mais plantadas sob irrigação no período de entressafra (AZEVEDO et al., 2008).

2.2 A semeadora

A semeadura deve ser realizada com a maior precisão e qualidade possíveis, uma vez que se trata de uma operação determinante da produtividade das culturas agrícolas. Reis et al. (2007) citam como principais funções das semeadoras a dosagem das sementes, a abertura do sulco de semeadura, a deposição das sementes no sulco, a cobertura das sementes com solo e a compactação do solo em torno da semente.

As semeadoras podem ser classificadas de acordo com a forma que realizam a distribuição das sementes. As semeadoras de fluxo contínuo, em linha, são máquinas que distribuem as sementes na linha de semeadura, sem espaçamento regular entre sementes. Nas semeadoras de precisão a distribuição das sementes é realizada em linha, uma a uma ou agrupadas, em intervalos regulares de acordo a densidade de semeadura estabelecida (ABNT, 1994).

A semeadura de precisão possibilita a distribuição das sementes em espaçamento pré-definido. A precisão no espaçamento entre as sementes é determinada, dentre outros fatores, pelo desempenho do mecanismo dosador de sementes da semeadora. Os tipos de mecanismo dosador de sementes mais utilizados são o disco perfurado, o rotor acanalado, o dedo prensor, o copo distribuidor e o dosador pneumático (REIS et al., 2007).

2.2.1 Semeadoras pneumáticas

Nas semeadoras com mecanismo dosador de sementes do tipo pneumático à vácuo a captura das sementes é um dos fatores mais determinantes da qualidade da semeadura. O excesso de vácuo pode promover a captura de mais de uma semente pelo orifício pneumático. Por outro lado, quando o vácuo é insuficiente, a captura da semente pelo orifício do disco dosador é comprometida (PORTELLA et al., 1999). Pinheiro Neto et al. (2008) observaram melhor desempenho na distribuição de

sementes de soja por uma semeadora pneumática em relação a uma semeadora de discos horizontais, independentemente da velocidade operacional. Segundo Portella (2001), as principais vantagens das semeadoras com dosador pneumático são a precisão na dosagem e a ausência de danos às sementes. Reis et al. (2006) citam como desvantagem dessas semeadoras a possibilidade de obstrução do orifício do disco dosador por pedaços de sementes ou resíduos do tratamento de sementes.

O mecanismo dosador de sementes das semeadoras pneumáticas é equipado com um disco dotado de orifícios. O vácuo produzido pela turbina da semeadora é aplicado aos orifícios do disco para a captura das sementes do reservatório. À medida que o disco dosador gira os orifícios sob vácuo devem capturar as sementes e mantê-las presas até o momento de liberá-las para a deposição na linha de semeadura (SHAABAN et al., 2009).

O nível de vácuo a ser utilizado no mecanismo dosador deve ser estabelecido de acordo com as propriedades físicas das sementes. A utilização de sementes de diferentes culturas requer diferentes características operacionais e construtivas das semeadoras. O diâmetro médio, a geometria e a massa das sementes determinam o diâmetro do orifício pneumático, a velocidade periférica do disco dosador de sementes e o nível de vácuo (Yazgi; Degirmencioglu, 2007.; Yazgi; Degirmencioglu, 2014; Yazgi et al., 2010).

O mecanismo dosador pode falhar na seleção da semente ou deixá-la desprender-se do orifício pneumático. Esse tipo de falha resulta no aumento do espaçamento entre as sementes na linha de semeadura. Por outro lado, o mecanismo dosador pode selecionar e depositar mais de uma semente. Essa deposição de um número maior de sementes resulta na diminuição do espaçamento entre plantas (KARAYEL et al., 2004).

Portella et al. (1999) estudaram o enchimento do disco dosador de uma semeadora pneumática com sementes de milho sob diferentes níveis de vácuo. O enchimento do disco dosador aumentou de 78%, na pressão de 2 kPa, para 96% na pressão de 6 kPa. Karayel et al. (2004) desenvolveram um modelo matemático, de acordo com as propriedades físicas das sementes, para estimar o vácuo a ser aplicado na dosagem e observaram que o nível de vácuo que apresenta a melhor qualidade da semeadura é de 4 kPa para sementes de milho, 3 kPa para sementes de algodão e soja e 2,5 kPa para sementes de melancia e pepino.

2.2.2 Velocidade periférica do disco dosador de sementes

A velocidade operacional do conjunto trator-semeadora é um dos fatores mais determinantes da qualidade de distribuição das sementes. A alteração da velocidade operacional do conjunto mecanizado altera a velocidade do disco dosador de sementes e, conseqüentemente, a distribuição das sementes na linha de semeadura (GARCIA et al., 2011). Além disso, Alonço et al. (2014) realçam a importância de conhecimento da velocidade do disco dosador devido sua relação com a eficiência do individualizador de sementes.

O aumento da densidade de plantio, com a utilização de um mesmo disco dosador, implica na necessidade de aumentar a velocidade desse disco. Esse aumento de velocidade reduz o tempo de exposição da semente ao orifício pneumático e pode comprometer a captura das sementes (TOURINO et al., 2007). Segundo Önal et al. (2012) o uso de discos dosadores com maior número de orifícios proporciona maior índice de espaçamentos aceitáveis na semeadura de milho e algodão devido a possibilidade do disco operar em velocidades menores.

Moody et al. (2003) avaliaram o desempenho em campo de uma semeadora na distribuição de sementes de milho e algodão. Para as velocidades de 0,16, 0,23 e 0,31 m s⁻¹ do disco dosador de sementes foi observado que a variabilidade nos espaçamentos entre sementes aumentou em função do acréscimo na velocidade do disco dosador. Segundo Satti et al. (2013) o aumento da velocidade do disco dosador diminui a porcentagem de espaçamentos aceitáveis e duplos para sementes de trigo. Além disso, a porcentagem de espaçamentos falhos é aumentada.

Silva et al. (1999) observaram variação nas classes de espaçamentos, na semeadura de feijão, em função da velocidade de operação da semeadora ao trabalharem com velocidades de 3 a 11,2 km h⁻¹. A velocidade de 3 km h⁻¹ proporcionou o maior percentual de espaçamentos aceitáveis e, conseqüentemente, menores percentuais de espaçamentos duplos e falhos.

2.2.3 Compactação do solo sobre a semente

A compactação do solo após a semeadura tem apresentado efeitos positivos e negativos no cultivo de cereais. Em alguns casos a compactação acelera a germinação e a emergência das plântulas. No entanto, alguns experimentos revelam efeitos negativos como o encrostamento do solo sobre a semente. Além

disso, existem outros efeitos como a destruição de agregados e a remodelação da superfície do solo, com consequente diminuição da profundidade de semeadura (HÅKANSSON et al., 2011).

A ação das rodas compactadoras sobre o solo pode ou não proporcionar um ambiente favorável ao desenvolvimento da semente, dependendo do nível de pressão, do desenho da roda e do teor de água do solo durante o período de semeadura e emergência (HUMMEL et al., 1981).

A aplicação de maiores cargas sobre o solo, pelas rodas compactadoras da semeadora, aumentam a porcentagem de germinação e o vigor das plântulas de milho devido ao maior contato do solo com a semente, que facilita a absorção de água e nutrientes pelas raízes (TORRES et al., 2007). No entanto, Grotta et al. (2007) não observaram efeito da carga aplicada pela roda compactadora, sobre a germinação de sementes de soja, ao trabalharem com cargas até 294 N.

O desenho da roda compactadora determina a localização da compactação do solo na linha de semeadura. A roda-dupla, com nervura simples, promove a compactação lateral do solo na linha de semeadura. Tal efeito também é observado para a roda duplo-angulada, que, além da compactação lateral, promove a elevação do solo com consequente diminuição da profundidade da semente em cargas de 75 a 325N. Para cargas maiores que 325 N tende a ocorrer a compactação direta sobre a linha de semeadura. A roda do tipo convexa larga exerce pressão diretamente sobre a linha de semeadura (SILVA et al., 2005).

O teor de água condiciona o efeito da carga aplicada pela roda compactadora sobre a densidade do solo. Em teores de água do solo menores que $0,36 \text{ g g}^{-1}$ a aplicação de cargas de até 140 N não altera a densidade do solo. No entanto, acima desse valor as cargas aplicadas pela roda compactadora aumentam a densidade do solo para níveis que influenciam negativamente o crescimento radicular da soja (MODOLO et al., 2007).

A resistência do solo à penetração é aumentada pelo aumento da carga aplicada pela roda compactadora em cargas de 63 a 553 N. Com a aplicação da carga de 553 N a resistência do solo à penetração alcança valores próximos a 3,5 kPa, em umidades de 9,2 e 15,4% (SILVA et al., 2006). Segundo Lima et al. (2010) a resistência do solo à penetração influencia a produtividade do feijão e apresenta valor crítico de 1,7 MPa em solo com teor de água de $0,22 \text{ g g}^{-1}$.

2.2.4 Distribuição longitudinal de sementes

A regularidade na distribuição longitudinal das sementes, na linha de semeadura, tem sido apontada por normas de ensaios e trabalhos de pesquisa como uma das características operacionais das semeadoras que mais contribui para obtenção de um estande adequado de plantas e conseqüentemente boa produtividade das culturas agrícolas (KURACHI, 1989).

A precisão no espaçamento entre as sementes pode ser influenciado por muitos fatores. Esses fatores são inerentes às propriedades construtivas e operacionais da semeadora e às características das sementes (SRIVASTAVA et al., 1993). Segundo Panning et al. (2000) os fatores relacionados à semeadora incluem o desempenho na captura e deposição das sementes, a movimentação das sementes no sulco após serem liberadas pelo tubo condutor e o deslocamento das sementes causado pelo fechamento do sulco.

O mecanismo dosador pode falhar ao capturar as sementes e provocar o aumento do espaçamento entre plantas. Por outro lado, esse mecanismo pode selecionar e depositar mais de uma semente, com diminuição do espaçamento entre plantas. O formato do tubo condutor da semente, juntamente com outros fatores, determina o ponto em que a semente ficará posicionada (KACHMAN; SMITH, 1995).

O desempenho das semeadoras em campo pode ser avaliado com a medição dos espaçamentos entre plântulas. No entanto, esses espaçamentos podem ser influenciados pelas condições do solo e pelo potencial de germinação das sementes (LAN et al., 1999). De acordo com Tourino et al. (2007) os espaçamentos, entre sementes ou plântulas, são medidos e distribuídos em classes de frequência, em relação a um espaçamento de referência. Segundo Kurachi et al. (1989) os espaçamentos são classificados em aceitáveis, duplos e falhos. Os espaçamentos aceitáveis são aqueles compreendidos entre 0,5 e 1,5 vezes o espaçamento de referência. Os espaçamentos duplos são aqueles menores que 0,5 vezes o espaçamento de referência e os falhos são aqueles maiores que 1,5 vezes o espaçamento de referência.

Segundo Coelho (1996) as semeadoras equipadas com mecanismo pneumático de dosagem devem proporcionar no mínimo 90% de espaçamentos aceitáveis. Kachman e Smith (1995) propõem a utilização do índice de precisão, que é função do desvio padrão dos espaçamentos aceitáveis e do espaçamento de referência.

2.2.5 Velocidade de emergência de plântulas

A rápida germinação e emergência das plântulas de feijão possibilita o cobrimento mais rápido do solo, que contribui para formação de um estande homogêneo. A desuniformidade e a redução do estande de plantas podem levar à diminuição na produtividade de grãos e aumentar a ocorrência de plantas daninhas (MAIA et al., 2011). Além disso, Reis et al. (2007) afirmam que o maior tempo até a emergência deixa as plantas mais expostas ao ataque de pragas do solo.

Segundo Maguire (1962), lotes de sementes com a mesma porcentagem de germinação podem variar quanto a velocidade de emergência e ao crescimento das plântulas. Portanto, o autor propõe a utilização do índice de velocidade de emergência (IVE) para avaliação do vigor das plântulas. Edmond e Drapala (1958) propuseram o cálculo do tempo médio de emergência das plântulas (Nm).

Modolo et al. (2010) constataram que a semeadura do feijão na profundidade 0,05 m proporciona maior IVE para as plântulas que a semeadura nas profundidades de 0,03 e 0,07 m. Na menor profundidade pode ocorrer o mau fechamento do sulco, que impossibilita que a semente seja totalmente coberta pelo solo. Por outro lado, na maior profundidade ocorre aumento da espessura da camada de solo que a plântula deverá romper para emergir. Prado et al. (2002) não observaram influência da profundidade de semeadura sobre o IVE de plântulas de milho ao trabalharem com a semeadura nas profundidades de 0,03; 0,05 e 0,07 m.

A deposição do fertilizante, em menor profundidade diminui o tempo necessário à emergência das plântulas de feijão devido à sua menor distância em relação às sementes. A menor distância entre semente e fertilizante facilita a absorção do fertilizante. Dessa forma, a semente apresenta menor dependência das suas reservas para o desenvolvimento inicial (RINALDI et al. 2010).

A semeadura sem aplicação de carga, pela roda compactadora da semeadora, resulta nos menores valores de IVE para cultura do milho. O aumento da carga aplicada aumenta o IVE, de tal modo que a aplicação de cargas entre 50 a 150 N reflete em plântulas mais vigorosas (PRADO et al., 2002). Segundo Torres et al. (2007) a carga de 150 N proporciona maior índice de velocidade de emergência e maior vigor em plântulas de milho. Os autores atribuem esses resultados ao maior contato da semente com o solo, que possibilita maior absorção de água e nutrientes pelas raízes.

Segundo Silveira et al. (2012) o aumento da velocidade do conjunto

mecanizado de 3,5 para 7 km h⁻¹ proporciona queda de 41% no IVE para plântulas de milho. Efeito semelhante foi observado por Trogello et al. (2013) ao aumentarem a velocidade operacional de 4,5 para 7 km h⁻¹. Os autores atribuem os resultados ao melhor acondicionamento da semente junto ao solo que é obtido com a semeadura em menores velocidades.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em uma área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa – MG, situada à 20° 45' 16"S e 42° 50' 21"O, com altitude média de 660 m. A área experimental apresenta declividade média de 1% e seu solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, segundo EMBRAPA (2006).

O relevo da região é classificado como montanhoso e o clima como mesotérmico úmido (Cwa), de acordo com a classificação de Köppen (1948), com verão quente e inverno seco. A temperatura máxima média é de 26°C e a mínima média é de 14°C. A área experimental apresentava vegetação espontânea composta por capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), mentrasto (*Ageratum conyzoides*), caruru (*Amaranthus spinosus*), trevo (*Oxalis oxypetera*), corda de viola (*Ipomoea grandifolia*) e falsa serralha (*Emilia fosbergii*).

O experimento foi conduzido no esquema de parcelas subdivididas, com as cargas aplicadas pela roda compactadora da semeadora (250, 318 e 420 N) atribuídas às parcelas. Nas subparcelas foi montado um esquema fatorial 3 x 2, com três velocidades do disco dosador de sementes (0,24; 0,34 e 0,44 m s⁻¹) e dois níveis de vácuo (1,8 e 2,4 kPa), no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As unidades experimentais constaram 1,5 metros de largura e 14 metros de comprimento. Entre as parcelas foi deixado espaçamento de três metros para as manobras do conjunto mecanizado.

3.1 Caracterização do solo

3.1.1 Caracterização química do solo

A amostragem do solo foi realizada com a retirada de amostras simples, na profundidade de 0,20 m. Estas amostras foram misturadas para compor uma amostra composta, que foi encaminhada ao Laboratório de Análises de Solo, do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Viçosa.

3.1.2 Caracterização física do solo

3.1.2.1 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico,

conforme descrito por EMBRAPA (1997). As amostras foram retiradas com auxílio de um trado para amostra indeformada (Figura 1). Foram amostrados quatro pontos por parcela, na profundidade de 0,20 m, estratificada a cada 0,10 m.



Figura 1 - Trado utilizado para a coleta das amostras indeformadas.

3.1.2.2 Teor de água do solo

O teor de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico padrão (EMBRAPA, 1997), com secagem das amostras em estufa, em temperatura média de 105°C por 24 horas. Foram amostrados quatro pontos por parcela, na profundidade 0,20 m, estratificada a cada 0,10 m.

3.1.2.3 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi determinada com o uso de um penetrômetro digital, marca Falker®, modelo PenetroLOG-PLG 1020 (Figura 2), equipado com ponta cônica tipo II. Foram amostrados 10 pontos por parcela, na camada de 0 a 0,30 m de profundidade, com leitura a cada 10 mm.



Figura 2 – Penetrômetro digital utilizado no experimento.

3.1.2.4 Análise textural do solo

Foi realizada, a partir de uma amostra composta, pelo método da peneira e pipeta, conforme descrito por EMBRAPA (1997). As amostras simples, que compunham a amostra composta, foram retiradas na camada de 0 a 0,20 m de profundidade.

3.2 Cultivar

Foram utilizadas sementes de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris L.*), cultivar Ouro Vermelho, que apresenta hábito de crescimento indeterminado (planta tipo II), porte semi-ereto, floração média de 38 dias, ciclo de 80 a 90 dias e grão de forma elíptica e cor vermelha.

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

A caracterização física das sementes foi realizada com a determinação de suas dimensões lineares, medidas com um paquímetro digital, e pela determinação da massa de cem sementes, com auxílio de uma balança de precisão. O diâmetro

médio geométrico das sementes (D_g) foi calculado com a Equação 1, proposta por Afify (2009).

$$D_g = (L W T)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

em que

D_g = diâmetro médio geométrico da semente (mm);

L = comprimento da semente (mm);

W = largura da semente (mm); e,

T = espessura da semente (mm).

A esfericidade das sementes (Φ) foi calculada com a Equação 2, proposta por Mohsenin (1986).

$$\Phi = \frac{(L W T)^{\frac{1}{3}}}{L} 100 \quad (2)$$

em que

Φ = esfericidade da semente (%);

L = comprimento da semente (mm);

W = largura da semente (mm); e,

T = espessura da semente (mm).

3.3 Conjunto mecanizado

3.3.1 Trator

Foi utilizado um trator agrícola de pneus marca John Deere[®], modelo 5705 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), e potência de 63 kW (85 cv) no motor a 2400 rpm (Figura 3).



Figura 3 – Trator John Deere® modelo 5705.

As principais características do trator utilizado no experimento são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características técnicas do trator John Deere® 5705

Características técnicas	
Potência do motor na rotação nominal	63 kW
Potência da TDP na rotação nominal do motor	53 kW
Rotação de potência máxima	2400 rpm
Faixa de rotação com potência constante	2000 – 2400 rpm
Torque máximo	330 Nm
Rotação de torque máximo	1600 rpm
Número de cilindros do motor	4
Cilindrada	4500 cm ³
Aspiração	Turboalimentado
Relação peso/potência	498,29 kW N ⁻¹

Fonte: John Deere®

3.3.2 Semeadora-adubadora

Foi utilizada uma semeadora-adubadora de precisão, marca Jumil®, modelo POP JM2670PD SH EX (Figura 4), com três linhas de semeadura e mecanismo pneumático para dosagem e distribuição das sementes.



Figura 4 – Semeadora-adubadora utilizada na semeadura do feijão.

As especificações técnicas da semeadora-adubadora utilizada no experimento são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações técnicas da semeadora-adubadora

Parâmetro/Função	Características
Unidade para Fertilizantes	Depósito Individual com capacidade para 75L, sulcador tipo haste sulcadora.
Unidade Semeadora	Pivotada, sulcador disco duplo desencontrado, depósito com capacidade para 55L, sistema de dosagem de sementes pneumático.
Controle da Profundidade	Fixo, com barra de regulagem.
Rodas Compactadoras	Compactadores flutuantes em “V”.
Engate	Acoplamento no sistema de levante hidráulico do trator.

Fonte: Jumil®

3.4 Preparo do solo e semeadura

Previamente à operação de semeadura foi realizado o preparo do solo por meio de gradagem com grade aradora. Logo após, foram realizadas duas gradagens, com grade destorroadora-niveladora, para sistematização do terreno e preparo do leito de semeadura.

A semeadura foi realizada com a linha central da semeadora-adubadora, que operou com os depósitos de sementes e fertilizante abastecidos com 50% de sua capacidade volumétrica. Nos depósitos de sementes e fertilizante das linhas laterais foram adicionados lastros para obtenção da massa correspondente a metade de suas capacidades volumétricas.

A semeadora-adubadora foi regulada para obtenção do espaçamento de 0,5 m entrelinhas, profundidade média de cinco centímetros para deposição das sementes e sete centímetros para deposição do fertilizante, com espaçamento médio de dois centímetros entre semente e fertilizante. As rodas de fechamento do sulco e as rodas compactadoras operaram com suas regulagens na posição intermediária.

O mecanismo dosador de sementes, equipado com disco de 45 orifícios, foi regulado para a dosagem de 15 sementes de feijão por metro de sulco para obtenção de uma população de aproximadamente 260 000 plantas ha⁻¹. O mecanismo dosador de fertilizantes foi calibrado para dosar e distribuir 32 gramas de fertilizante granulado NPK, formulação 4:14:8 por metro de sulco, para uma dosagem 640 kg ha⁻¹.

3.5 Aquisição de dados e determinação dos parâmetros operacionais

Na coleta de dados do conjunto mecanizado foram utilizados transdutores conectados a um sistema de aquisição de dados da marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM[®]), modelo Spider 8, gerenciado pelo software HBM Catman[®] 2.2, instalado em um computador portátil embarcado no trator. Os dados adquiridos foram armazenados no computador para posterior processamento e determinação dos parâmetros operacionais do conjunto mecanizado.

3.5.1 Vácuo no mecanismo dosador de sementes

O vácuo empregado na dosagem e distribuição das sementes foi mensurado por um transdutor de pressão, marca Sensata Technologies[®], modelo 100CP7-1, instalado no mecanismo dosador de sementes (Figura 5).

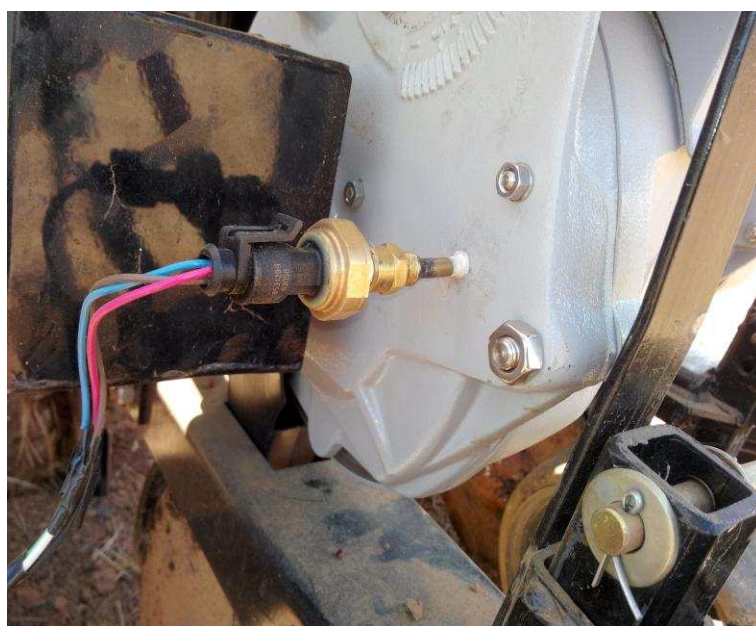


Figura 5 - Transdutor de pressão instalado no mecanismo dosador de sementes.

Os níveis de vácuo foram obtidos com a alteração da posição da chave seletora que regula simultaneamente a intensidade do vácuo e a posição do individualizador de sementes, que foi substituído por um individualizador fixo, de modo que a alteração da posição da chave seletora alterava somente o nível de vácuo.

3.5.2 Velocidade periférica do disco dosador de sementes

As velocidades do disco dosador de sementes foram obtidas pela alteração da velocidade operacional do conjunto mecanizado, mediante a seleção das marchas do trator (Tabela 1), sob regime de rotação nominal.

Tabela 1 – Velocidade do conjunto mecanizado, da roda de acionamento da semeadora e do disco dosador de sementes

Velocidade operacional (km h ⁻¹)	Velocidade da roda de acionamento (rps)	Velocidade do disco dosador (m s ⁻¹)
4,4	0,75	0,24
6,2	1,07	0,34
8,4	1,37	0,44

A velocidade da roda de acionamento dos mecanismos dosadores, da semeadora-adubadora, foi determinada com o uso de um transdutor tubular indutivo, marca Autonics[®], modelo PRCM 18, associado à engrenagem motora do mecanismo

dosador de sementes (Figura 6). A velocidade periférica do disco dosador de sementes foi determinada pela relação de transmissão entre o mecanismo dosador e a roda de acionamento dos mecanismos da semeadora-adubadora.



Figura 6 - Transdutor associado à engrenagem motora do mecanismo dosador.

3.5.3 Carga aplicada pela roda compactadora

A carga aplicada pela roda compactadora, na linha de semeadura, foi determinada com o uso de uma célula de carga, marca Omega[®], modelo LC101-1K, com capacidade de 4,45 kN, fixada, por meio de suporte metálico, à parte inferior do depósito de sementes e à roda compactadora da semeadora-adubadora (Figura 7).



Figura 7 – Suporte com a célula de carga instalada na roda compactadora.

O valor da carga aplicada pela roda compactadora foi determinado pelo módulo da diferença entre a leitura da carga inicial (obtida com a roda compactadora suspensa) e a leitura da carga com a semeadora em operação. Os níveis de carga aplicados pela roda compactadora foram obtidos pela alteração da pressão na mola de regulagem.

3.6 Distribuição longitudinal de plântulas

Após a estabilização da emergência, foram medidos os espaçamentos (X_i) entre trinta plântulas, amostrados no centro da linha de semeadura. Esses espaçamentos foram distribuídos, em relação ao espaçamento de referência (X_{ref}), em classes de frequência (Tabela 3), que são apresentadas em porcentagem do total de espaçamentos, conforme proposto por Kurachi et al. (1989). Os espaçamentos aceitáveis são aqueles compreendidos entre 0,5 e 1,5 vezes o espaçamento de referência. Os espaçamentos duplos são aqueles menores que 0,5 vezes o espaçamento de referência e os espaçamentos falhos são aqueles maiores que 1,5 vezes o espaçamento de referência.

Na avaliação da distribuição longitudinal de plântulas foi considerado espaçamento de referência (X_{ref}) aquele obtido na calibração da semeadora-adubadora por meio da alteração na relação de transmissão das engrenagens do

mecanismo dosador de sementes.

Tabela 3 - Classificação dos espaçamentos entre plântulas

Classificação do espaçamento	Intervalo da classe do espaçamento
Duplos	$X_i < 0,5 X_{ref}$
Aceitáveis	$0,5 X_{ref} < X_i < 1,5 X_{ref}$
Falhos	$X_i > 1,5 X_{ref}$

Fonte: Kurachi (1989)

O espaçamento médio entre plântulas (E_m) foi determinado pela média aritmética do total de espaçamentos e o índice de precisão da semeadura foi calculado com a Equação 3, proposta por Kachman e Smith (1995).

$$I_p = \frac{S}{X_{ref}} 100 \quad (3)$$

em que

I_p = índice de precisão (%);

S = desvio padrão dos espaçamentos aceitáveis (cm) e,

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

3.7 Índice de velocidade de emergência de plântulas

O índice de velocidade de emergência das plântulas foi calculado com a Equação 4, adaptada de Maguire (1962). A contagem das plântulas, realizada nos três metros centrais da linha de semeadura, teve início no primeiro dia de emergência (quinto dia após a semeadura) e foi realizada diariamente até a estabilização do número de plantas (nono dia após a semeadura). Foi considerada planta emergida aquela, que após romper a camada superficial de solo, apresentava o par de cotilédones.

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n} \quad (4)$$

em que

IVE = índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n = número de plantas emergidas, na primeira, segunda,..., última

contagem; e,

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

3.8 Tempo médio de emergência de plântulas

O tempo médio de emergência das plântulas (Nm) foi determinado a partir da contagem das plântulas nos três metros centrais da linha de sementeira. A contagem teve início no primeiro dia de emergência das plântulas (quinto dia após a sementeira) e foi mantida até a estabilização do número de plantas (nono dia após a sementeira). No cálculo do tempo médio de emergência foi utilizada a Equação 5, proposta por Edmond e Drapala (1958).

$$N_m = \frac{E_1 N_1 + E_2 N_2 + E_n N_n}{E_1 + E_2 + \dots + E_n} \quad (5)$$

em que

Nm = tempo médio de emergência (dias);

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

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

3.9 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos no experimento foram submetidos à análise de regressão e os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, com o teste t, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas no programa computacional R (R Core Team, 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da área experimental

4.1.1 Análise química do solo

Os resultados da análise química do solo são apresentados no Quadro 2. Segundo os critérios de interpretação de análise de solo sugeridos por Alvarez et al. (1999) a acidez ativa do solo (pH) apresenta nível classificado quimicamente como médio e agronomicamente como baixo. A acidez trocável (Al^{3+}) e a saturação por bases (V) apresentam níveis classificados como baixos.

Quadro 2 – Resultados da análise química do solo da área experimental

pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	SB	t	T	V	M	P-rem
(H_2O)	mg dm^{-3}		----- cmol c dm^{-3} -----							-----%-----		mg L^{-1}
5,44	2,2	66	1,52	0,81	0,29	5,8	2,5	2,79	8,3	30,1	10,4	22,9

pH em água; P e K Extrator Mehlic-1; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} Extrator KCl - 1 mol L^{-1}

Os níveis de cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}), soma de bases (SB), ctc efetiva (t) e ctc pH 7 (T) são classificados como bons. A saturação por alumínio (m) é classificada como muito baixa e a acidez potencial (H+Al) como boa. O nível de fósforo (P-rem), classificado como muito baixo, e o de potássio (K), classificado como médio, indicaram a necessidade da aplicação de fertilizante no momento da semeadura. Foram aplicados 640 kg ha^{-1} de fertilizante granulado NPK formulação 4:14:8, para um nível tecnológico NT_2 , conforme proposto por Chagas et al. (1999).

4.1.2 Análises físicas do solo

4.1.2.1 Densidade e teor de água do solo

As médias do teor de água do solo, expresso em base seca, e da densidade do solo, na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, estratificada a cada 0,10 m, para as três parcelas experimentais, são apresentadas no Quadro 3. Os maiores teores de água e densidade do solo foram observados na camada de 0,10 a 0,20 m de profundidade em todas as parcelas.

Quadro 3 - Teor de água (base seca) e densidade do solo da área experimental

Parcela	Profundidade	Teor de água do solo (g g ⁻¹)	Densidade (g cm ⁻³)
1	0 – 0,10 m	40,56	1,03
	0,10 – 0,20 m	42,29	1,10
2	0 – 0,10 m	41,21	1,03
	0,10 – 0,20 m	42,59	1,15
3	0 – 0,10 m	42,39	0,97
	0,10 – 0,20 m	44,86	1,11

Parcela 1: carga de 250 N, Parcela 2: carga de 318 N, Parcela 3: carga de 420 N

4.1.2.2 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração, na camada de 0 a 0,30 m, aumentou em função do aumento da profundidade de amostragem (Figura 8). Para todas as parcelas a resistência do solo à penetração apresentou valores máximos próximos a 4,5 MPa. Segundo Lima et al. (2010) a resistência do solo à penetração influencia a produtividade do feijão e apresenta valor crítico de 1,7 MPa em solo com teor de água de 0,22 g g⁻¹.

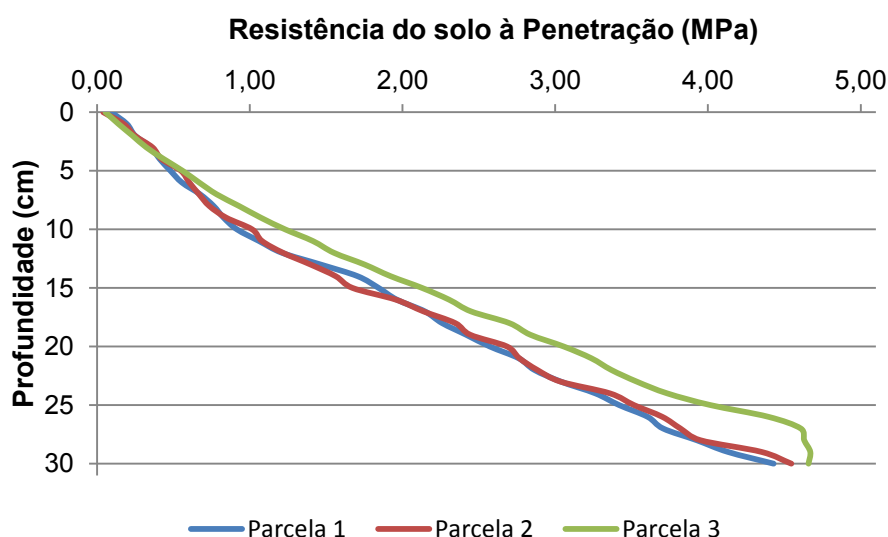


Figura 8 – Resistência do solo à penetração da área experimental. Parcela 1: carga de 250 N, parcela 2: carga de 318 N e parcela 3: carga de 420 N.

4.1.2.3 Análise textural do solo

As frações granulométricas do solo da área experimental são apresentadas

no Quadro 4. De acordo com a classificação textural, proposta pela EMBRAPA (1997), o solo da área experimental é classificado como franco-argiloso.

Quadro 4 – Resultado da análise textural do solo da área experimental

Fração granulométrica	dag kg ⁻¹
Argila	53
Areia	26
Silte	21

4.2 Caracterizações das sementes

O lote de sementes apresentou 96% de germinação (96% de plantas normais e 4% de plantas anormais). As características dimensionais e a massa de cem sementes são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Características físicas das sementes de feijão cultivar ouro vermelho

Característica	Valores	Desvio padrão
Comprimento	10,08 mm	0,33 mm
Largura	6,43 mm	0,32 mm
Espessura	4,49 mm	0,32 mm
Diâmetro geométrico (Dg)	6,63 mm	0,22 mm
Esfericidade (Φ)	69,09%	1,52%
Massa de 100 sementes	21,43g	0,75 g

4.3 Distribuição longitudinal de plântulas

A carga aplicada pela roda compactadora da semeadora-adubadora não influenciou a distribuição longitudinal das plântulas ($p < 0,05$). As classes de espaçamento, o espaçamento médio e o índice de precisão foram influenciados pelo vácuo e pela velocidade do disco dosador de sementes.

4.3.1 Espaçamentos duplos entre plântulas

O aumento do vácuo, de 1,8 para 2,4 kPa, e a diminuição da velocidade do disco dosador, de 0,44 para 0,24 m s⁻¹ aumentaram a porcentagem de espaçamentos duplos (D), com efeito mais pronunciado da velocidade do disco dosador de sementes, principalmente nos menores níveis de vácuo (Figura 9). Nessas condições foi verificada a maior porcentagem de espaçamentos duplos, que

representaram 19% do total de espaçamentos. A diminuição do vácuo para 1,8 kPa e o aumento da velocidade do disco dosador de sementes para 0,44 m s⁻¹ diminuiriam os espaçamentos duplos para 3% do total de espaçamentos.

$$\hat{D} = 29,76^* - 4,26^* V - 146,31^* Vd + 56,68^* V Vd \quad R^2 = 0,65$$

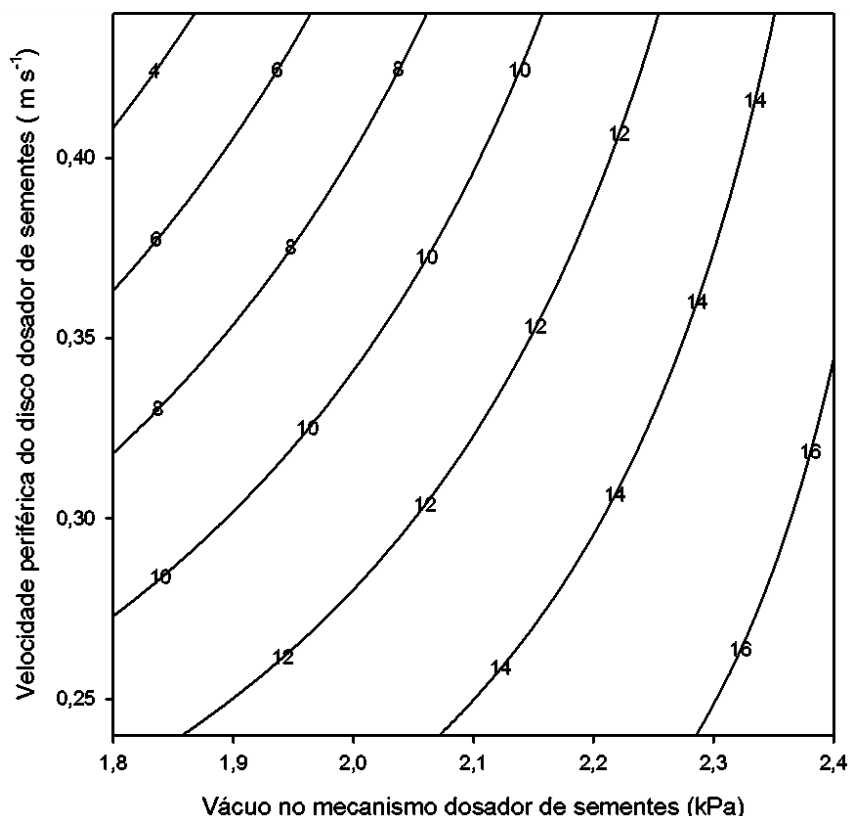


Figura 9 – Espaçamentos duplos (D) em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (V) e da velocidade periférica do disco dosador (Vd), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Singh et al. (2005), observaram efeito semelhante ao estudarem a distribuição longitudinal de sementes de algodão por uma semeadora pneumática. Ao trabalharem com o disco dosador de sementes na velocidade de 0,42 m s⁻¹, sob 2 kPa de vácuo os autores observaram 6% de espaçamentos duplos.

O maior nível de vácuo, associado às baixas velocidades do disco dosador, pode favorecer a captura de mais de uma semente pelo orifício pneumático. Dessa forma, o aumento da porcentagem de espaçamentos duplos é favorecido com a diminuição dos espaçamentos aceitáveis. O aumento da porcentagem de espaçamentos duplos, devido a diminuição da velocidade do disco dosador foi relatado por Karayel (2009) ao avaliar a distribuição longitudinal de sementes de

soja. Shaaban et al. (2009) atribuem esse aumento à captura de mais de uma semente pelo orifício pneumático, devido ao maior tempo de exposição da semente ao orifício, quando a dosagem ocorre sob menores velocidades do disco dosador de sementes.

4.3.2 Espaçamentos falhos entre plântulas

O aumento do vácuo, de 1,8 para 2,4 kPa, e a diminuição da velocidade do disco dosador de sementes, de 0,44 para 0,24 m s⁻¹, diminuíram a porcentagem de espaçamentos falhos (F), com efeito mais pronunciado da velocidade do disco dosador de sementes, principalmente nos menores níveis de vácuo (Figura 10).

$$F^A = -174,30^* + 57,65^* V + 833,83^* Vd - 260,06^* V Vd \quad R^2 = 0,91$$

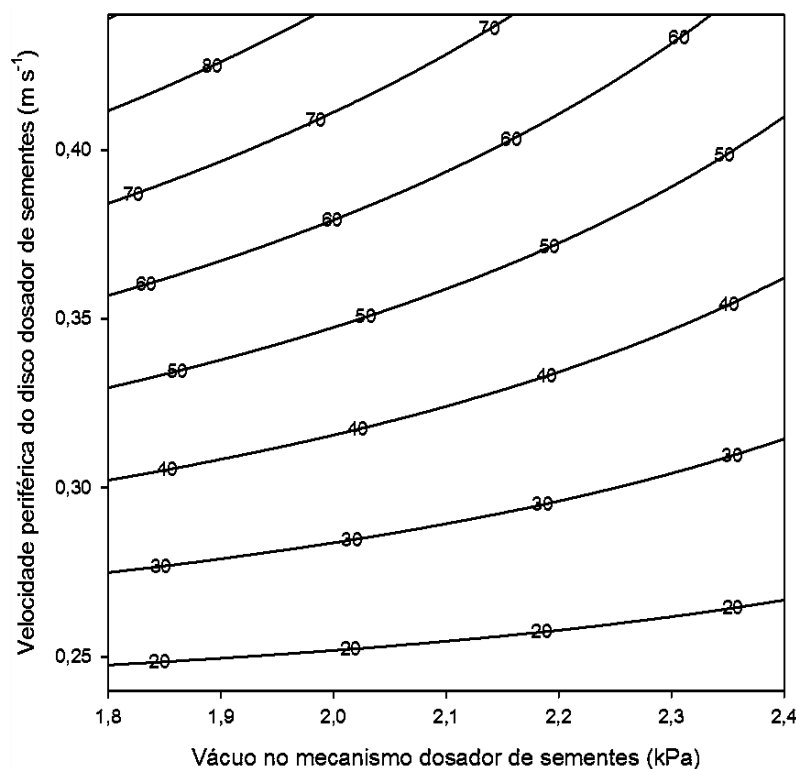


Figura 10 – Espaçamentos falhos (F) em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (V) e da velocidade periférica do disco dosador (Vd), equação ajustada e coeficiente de determinação (R²) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Nessas condições ocorre a menor porcentagem de espaçamentos falhos, que é de 14% do total de espaçamentos. A diminuição do vácuo para 1,8 kPa e o aumento da velocidade do disco dosador de sementes para 0,44 m s⁻¹ provocaram o aumento dos espaçamentos falhos para 90% do total de espaçamentos. A captura

da semente pelo orifício pneumático pode ser favorecida pelo aumento do vácuo e pela diminuição da velocidade do disco dosador de sementes. Nas menores velocidades do disco dosador o orifício pneumático tem mais tempo para capturar a semente e preencher o disco dosador. O preenchimento dos orifícios do disco dosador diminui os espaçamentos falhos e aumenta os espaçamentos aceitáveis.

Singh et al. (2005) observaram efeito semelhante na distribuição de sementes de algodão, com obtenção de 19% de espaçamentos falhos quando o disco dosador operou com velocidade de $0,42 \text{ m s}^{-1}$ sob vácuo de 2 kPa. Önal et al. (2010) observaram que o aumento da velocidade do disco dosador de sementes, de $0,17$ para $0,34 \text{ m s}^{-1}$, sob vácuo de 6,3 kPa, aumentou de 1 para 8% os espaçamentos falhos, na distribuição longitudinal de sementes de milho.

Segundo Tourino et al. (2007), o aumento da velocidade do disco dosador de sementes diminui o tempo de exposição da semente ao orifício pneumático com prejuízo para a captura das sementes. Além disso, o menor nível de vácuo influencia a capacidade de enchimento do disco dosador, com aumento de falhas na captura de sementes, principalmente nas maiores velocidades do disco dosador.

4.3.3 Espaçamentos aceitáveis entre plântulas

O aumento do vácuo de 1,8 para 2,4 kPa, e a diminuição da velocidade do disco dosador, de $0,44$ para $0,24 \text{ m s}^{-1}$, aumentaram a porcentagem de espaçamentos aceitáveis (A), com efeito mais pronunciado da velocidade do disco dosador de sementes, principalmente nos menores níveis de vácuo (Figura 11). Nessas condições é observada a maior porcentagem de espaçamentos aceitáveis, que representa 68% do total de espaçamentos. A diminuição do vácuo para 1,8 kPa e o aumento da velocidade do disco dosador para $0,44 \text{ m s}^{-1}$ provocaram a diminuição dos espaçamentos aceitáveis para 10% do total de espaçamentos.

O aumento do nível de vácuo pode favorecer a captura das sementes pelo orifício pneumático do disco dosador. Além da maior capacidade de captura proporcionada por maiores níveis de vácuo, principalmente para sementes de maior massa, as menores velocidades do disco dosador deixam a semente por mais tempo sujeita ao vácuo do orifício pneumático do disco dosador.

$$\hat{A} = 244,59^* - 53,41^* V - 687,66^* Vd + 203,43^* V Vd \quad R^2 = 0,89$$

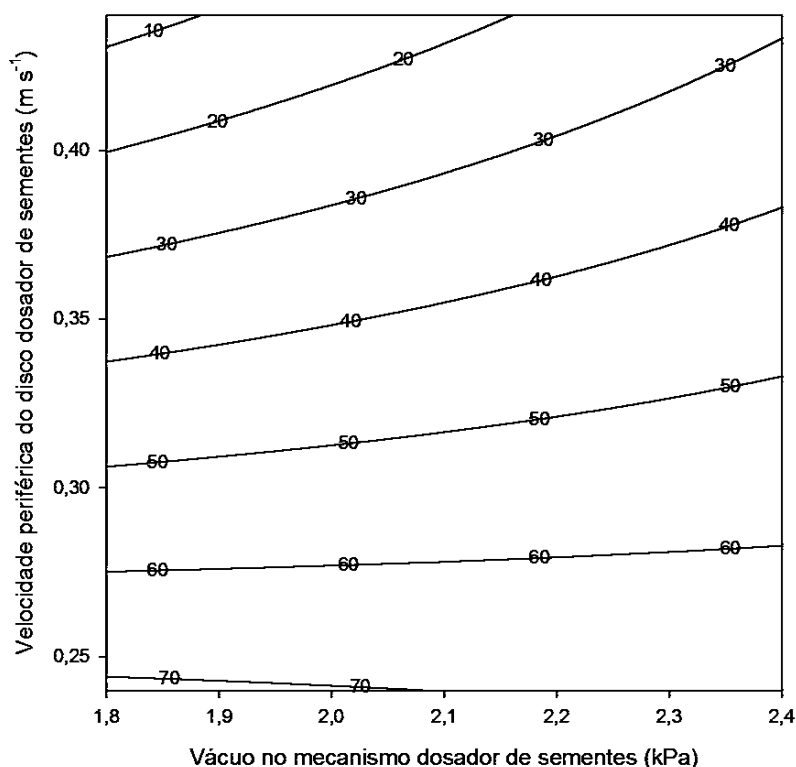


Figura 11 – Espaçamentos aceitáveis (A) em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (V) e da velocidade periférica do disco dosador (Vd), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Segundo Kachman e Smith (1995), a diminuição da velocidade do disco dosador de sementes aumenta a porcentagem de espaçamentos aceitáveis em consequência da diminuição dos espaçamentos falhos. Barut e Ozmerzi (2004) observaram que a quantidade de orifícios preenchidos por sementes de milho é diretamente proporcional ao vácuo aplicado no mecanismo dosador de sementes e que o aumento do vácuo, de 1 para 4 kPa, promove aumento de 69% no enchimento do disco dosador. Yazgi e Degirmencioglu (2014) também observaram aumento dos espaçamentos aceitáveis em função da diminuição da velocidade do disco dosador ao avaliarem a distribuição longitudinal de sementes de algodão.

4.3.4 Espaçamento médio entre plântulas

O aumento do nível de vácuo, de 1,8 para 2,4 kPa, e a diminuição da velocidade do disco dosador, de 0,44 para 0,24 m s⁻¹, diminuíram o espaçamento

médio (E_m) entre plântulas, com efeito mais pronunciado da velocidade do disco dosador de sementes, principalmente em menores níveis de vácuo (Figura 12). Nessas condições o espaçamento médio entre plântulas é de 6,6 cm. A diminuição do vácuo para 1,8 kPa e o aumento da velocidade do disco dosador de sementes para $0,44 \text{ m s}^{-1}$ aumentaram em 3,4 vezes o espaçamento médio entre plântulas, que atingiu 22,4 cm. Zhai et al. (2014) observaram aumento no espaçamento médio entre plântulas em consequência do aumento da velocidade do disco dosador de sementes, na distribuição de sementes de trigo. No entanto, Karayel (2009) não observou influência da velocidade do disco dosador sobre o espaçamento médio entre sementes de soja, a partir do aumento da velocidade do conjunto mecanizado.

$$\hat{E}_m = -16,96^* + 8,77^* V + 145,77^* Vd - 51,22^* V Vd \quad R^2 = 0,79$$

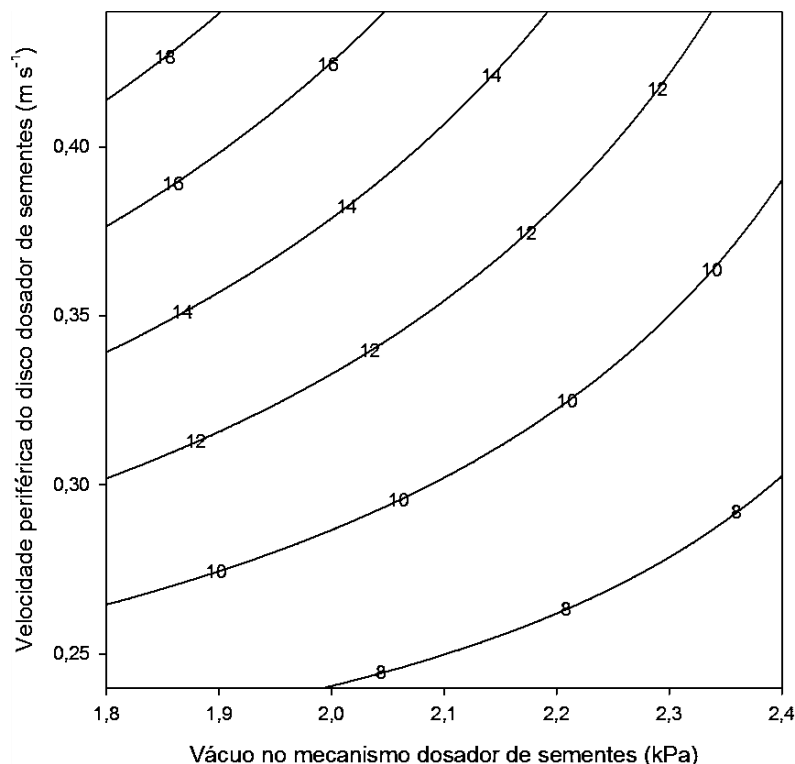


Figura 12 – Espaçamento médio (E_m) em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (V) e da velocidade periférica do disco dosador (Vd), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Os maiores níveis de vácuo, associados às menores velocidades do disco dosador de sementes, favorecem a ocorrência de espaçamentos normais e espaçamentos duplos. A maior ocorrência destes tipos de espaçamento diminui o

espaçamento médio entre plantas. Por outro lado, a diminuição do vácuo e o aumento da velocidade do disco dosador de sementes favorecem a ocorrência de espaçamentos falhos, que aumentam o espaçamento médio entre plântulas. Segundo Kachman e Smith (1995), o espaçamento médio entre plântulas é fortemente influenciado pelos espaçamentos falhos, que são consequência de baixos níveis de vácuo e de altas velocidades do disco dosador de sementes.

4.3.5 Índice de precisão da sementeira

O aumento do nível de vácuo, de 1,8 para 2,4 kPa, e a diminuição da velocidade periférica do disco dosador de sementes, de 0,44 para 0,24 m s⁻¹, provocaram diminuição linear do índice de precisão da sementeira (Figura 13). Nessas condições o índice de precisão da sementeira foi de 22%. A diminuição do vácuo para 1,8 kPa e o aumento da velocidade do disco dosador de sementes para 0,44 m s⁻¹ aumentaram o índice de precisão para 36%.

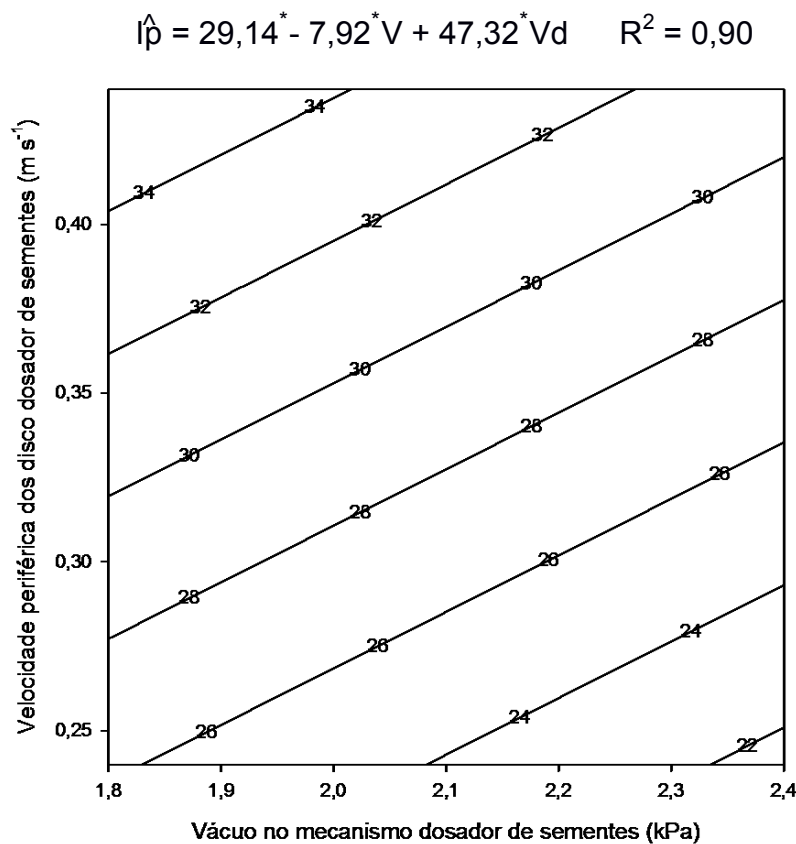


Figura 13 – Índice de precisão (I_p) em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (V) e da velocidade periférica do disco dosador (V_d), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2). *- Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

O índice de precisão da semeadura sofreu maior influência da velocidade do disco dosador de sementes, com incremento de 4,73% para cada aumento de $0,10 \text{ m s}^{-1}$ na velocidade disco dosador. O aumento de 0,10 kPa no nível de vácuo diminuiu em 0,79% o índice de precisão da semeadura. Singh et al. (2005) observaram os melhores índice de precisão da semeadura para os maiores níveis de vácuo e para as menores velocidades do disco dosador na distribuição longitudinal de sementes de algodão.

Onal et al. (2010) observaram a diminuição de 21 para 11% no índice de precisão, para distribuição longitudinal de sementes de milho, quando a velocidade do disco dosador de sementes foi diminuída de 0,35 para $0,17 \text{ m s}^{-1}$, com vácuo na faixa de 5,9 a 8,8 kPa. Bracy et al. (1999) constataram aumento do índice de precisão em consequência do aumento da velocidade do disco para sementes de repolho peletizadas. Kachman e Smith (1995) propuseram um limite prático de 29% para o índice de precisão da semeadura. Acima desse valor a qualidade da semeadura é considerada insatisfatória.

4.4 Emergência de Plântulas

A emergência das plântulas de feijão não foi influenciada pelo vácuo e pela velocidade do disco dosador de sementes ($p < 0,05$). Já a carga aplicada pela roda compactadora da semeadora-adubadora apresentou efeito significativo sobre a velocidade de emergência das plântulas de feijão.

4.4.1 Índice de velocidade de emergência das plântulas

A carga aplicada pela roda compactadora da semeadora-adubadora apresentou efeito quadrático sobre o índice de velocidade de emergência (IVE) das plântulas de feijão (Figura 14). O aumento da carga, de 250 para 364 N, aumentou o IVE das plântulas de 17,24 para 19,69. A partir de 364 N o acréscimo de carga diminuiu o IVE das plântulas até 19,09, para a carga de 420 N.

A aplicação de cargas até 364 N pode promover o aumento do IVE das plântulas devido ao maior contato entre semente e solo. A partir da carga de 364 N a compactação na linha de semeadura pode dificultar a emergência das plântulas pelo impedimento de suas trocas gasosas com o ambiente.

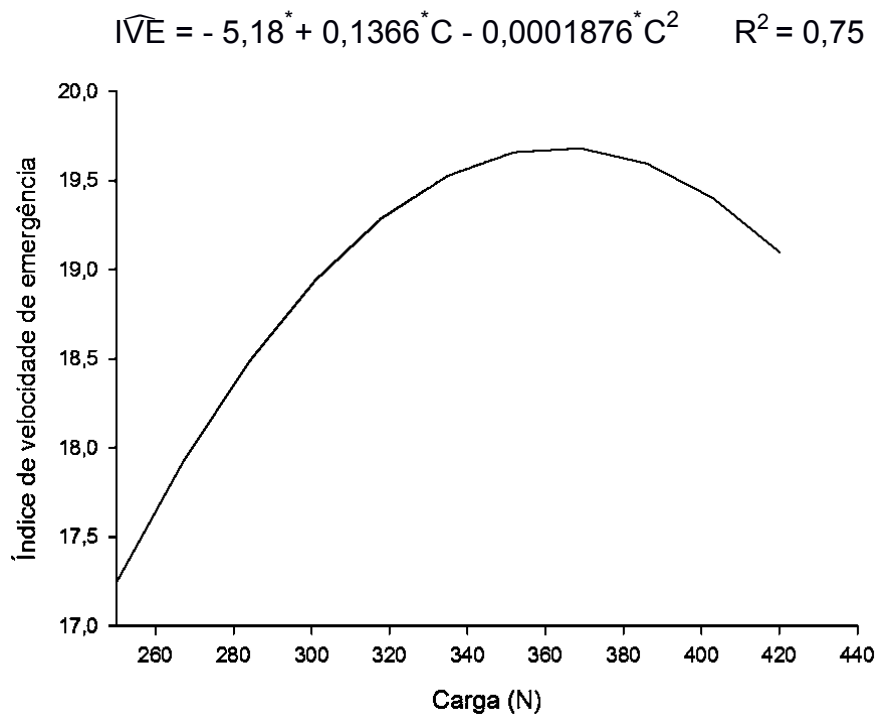


Figura 14 – Índice de velocidade de emergência (IVE) em função da carga (C) aplicada pela roda compactadora, equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) e *- Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Modolo et al. (2007) observaram resultados semelhantes ao avaliarem a emergência de plântulas de soja em função da carga aplicada pela roda compactadora da semeadora-adubadora. Os autores atribuem tal efeito à diminuição do contato entre a semente e o solo, quando são utilizadas as menores cargas, e ao encrostamento superficial do solo quando são aplicadas as maiores cargas.

Na avaliação da emergência de plântulas de feijão, em sistema de plantio direto, com cargas de até 190N, Modolo et al. (2011), não observaram efeito significativo da carga aplicada pela roda compactadora da semeadora-adubadora sobre o índice de velocidade de emergência das plântulas. Resultado semelhante foi constatado por Gonçalves et al. (2010), para a emergência de plântulas de milho, ao trabalharem com cargas de 119 a 339 N.

4.4.2 Tempo médio de emergência das plântulas

A carga aplicada pela roda compactadora da semeadora-adubadora apresentou efeito quadrático sobre o tempo médio de emergência (Nm) das plântulas de feijão (Figura 15). O aumento da carga, de 250 a 362 N, diminuiu o tempo médio de emergência das plântulas de 7,87 a 7,52 dias. A partir de 362 N o acréscimo de carga na roda compactadora aumentou o tempo médio de emergência

das plântulas de feijão até 7,61, para a carga de 420 N.

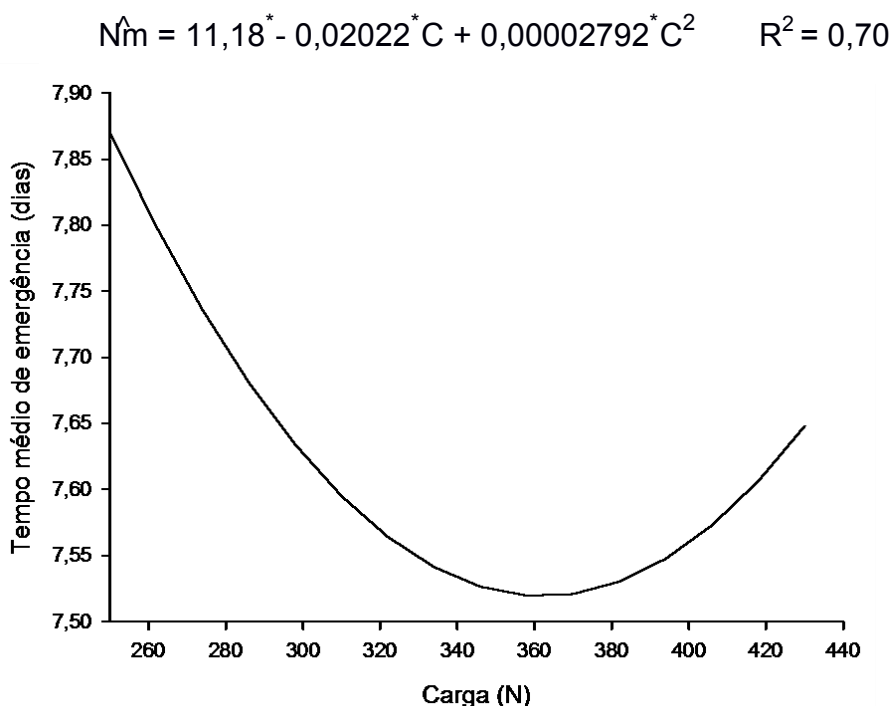


Figura 15 – Tempo médio de emergência (Nm) em função da carga aplicada pela roda compactadora (C), equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2) *- Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A aplicação de cargas até 362 N pode aumentar o contato entre o solo e a semente, de maneira que a água e os nutrientes do solo sejam mais facilmente absorvidos pela semente e a germinação ocorra em menor tempo. Por outro lado, o uso de cargas maiores que 362 N pode provocar a compactação excessiva do solo, na linha de semeadura, principalmente em solos com alto teor de água. Dessa forma, o rompimento da camada de solo sobre a plântula é dificultado com consequente aumento do tempo necessário à emergência. Grotta et al. (2008) não constataram efeito da compactação do solo, na linha de semeadura, sobre o tempo médio de emergência de plântulas de amendoim ao trabalharem com cargas de até 294 N.

Cortez et al. (2010a) não observaram efeito da carga aplicada pela roda compactadora de uma semeadora-adubadora sobre o tempo médio de emergência de plântulas de milho ao trabalharem com cargas de 62,7 a 356,7 N. Tal efeito também não foi constatado por Cortez et al. (2010b) ao avaliarem o efeito da carga aplicada pela roda compactadora de uma semeadora sobre o número de dias necessários à emergência de plântulas de milho, com aplicação de cargas de 162 a

260 N.

5 CONCLUSÕES

O nível de vácuo de 2,4 kPa, no mecanismo dosador de sementes, e a velocidade de $0,24 \text{ m s}^{-1}$ do disco dosador proporcionam a melhor condição de distribuição longitudinal de plântulas de feijão, com 68% de espaçamentos aceitáveis e 19% de espaçamentos duplos.

Nessas mesmas condições de vácuo e velocidade do disco dosador de sementes são obtidos 10% de espaçamentos falhos, índice de precisão de 22% e espaçamento médio de 6,6 cm.

O maior índice de velocidade de emergência das plântulas (19,69) ocorre com a aplicação de uma carga de 364 N pela roda compactadora da semeadora-adubadora.

O menor tempo médio de emergência das plântulas de feijão (7,52 dias) é observado para aplicação de uma carga de 362 N pela roda compactadora da semeadora-adubadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.F.B.; BIAVA, M. Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na Região Sul de Minas Gerais. Santo Antônio do Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. (Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, n.6). Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafr aSulMG/index.htm>>. Acesso em: 13 jan. 2015.
- AFIFY, M. T.; EL-HADDAD, Z. A.; HASSAN, G. E.; SHAABAN, Y. A. Mathematical model for predicting vacuum pressure of onion seeds precision seeder. **Misr J. Ag. Eng.**, Giza, v. 26, n. 4, p. 1776-1799, oct. 2009.
- ALONÇO, A. S.; SILVEIRA, H. A. T.; BELLÉ, M. P.; CARPES, D. P.; MACHADO, O. D. C. Influência da inclinação transversal e velocidade de operação sobre o desempenho de dosadores pneumáticos com semente de soja. **Engenharia na Agricultura, Viçosa**, v. 22, n. 2, p.119-127, mar./abr. 2014.
- ALVAREZ V. V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ARAÚJO, G. A. A.; FERREIRA, A. C. B. Manejo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 87-114.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de norma 04: 015. 06 – 004: Semeadora de precisão: ensaio de laboratório - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994. 7p.
- AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M.; RODRIGUES, G. C.; GOMES, A. C. Produtividade do feijão de inverno influenciada por irrigação, densidade de plantio e adubação em solo de cerrado, Comunicado Técnico - Edição: 145, Planaltina – DF. Maio 2008.
- BARUT, Z. B.; ÖZMERZI, A. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter. **Turk. J. Agric.**, Ankara, v. 28, p. 435-441, 2004.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A Cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p.13-18.
- BRACY, R. P.; PARISH, R. L.; McCOY, J. E. Precision seeder uniformity varies with theoretical spacing. **HortThecnology**, Alexandria, v. 9, n. 1, p. 47-50, 1999.
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas 2014**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>> Acesso: 14 jan. 2015.

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

CHAGAS, J. M.; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L. T.; NETO, A. J.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; LANA, R. M. Q.; RIBEIRO, A. C. Sugestões de adubação para as diferentes culturas em Minas Gerais. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 306-307.

COELHO, J. L. D. Ensaio & certificação das máquinas para a semeadura. In MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio & Certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 551-569.

CORTEZ, J. W.; ALVES, P. J. GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A. SILVA, R. P. Profundidade de semeadura e carga aplicada na roda compactadora para produção de milho silagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 5, p. 398-404, set./out. 2010a.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; ZEITOUN, V. Componentes morfológicos do milho com modelos de roda compactadora, cargas verticais e lâminas de irrigação. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1543-1549, nov./dez. 2010b.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

GARCIA, R. F.; VALE, W. G.; OLIVEIRA, M. T. R.; PEREIRA, E. M.; AMIM, R. T.; BRAGA, T. C. Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense. **Acta Scientiarum Agronomy (Online)**, Maringá, v. 33, n. 3, jul./set. 2011. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/6085>>. Acesso: 16 jan. 2015.

GONÇALVES, W. S.; FERNANDES, H. C.; ARAÚJO, E. F.; PINTO, F. A. C. Estabelecimento inicial da cultura do milho em sistema de plantio direto: influência da velocidade operacional e da carga aplicada pelas rodas compactadoras. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 20-29, jan./fev. 2010.

GROTTA, D. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N.; CORTEZ, J. W.; ALVES, P. J. Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo sobre a semente na produtividade do amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 547-552, 2008.

GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; SANTOS, L.; CORTEZ, J. W.; REIS, G. N. Cultura da soja em função da profundidade de semeadura e da carga vertical sobre a fileira de semeadura. **Eng. Agríc. (online)**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 487-492, maio/ago. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n2/a18v27n2.pdf>>. Acesso: 21 dez. 2014.

HÅKANSSON, I.; KELLER, T.; ARVIDSSON, K.; RYDBERG, T. Effects of aggregate size, sowing depth and simulated rainfall after sowing on harmful surface-layer hardening. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, Estocolmo, v. 62, n. 4, p. 362-373, oct. 2011.

HUMMEL, J. W.; GRAY, L. E.; NAVE, W. R. Soybean emergence from field seedbed environments. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 872-878, 1981.

KACHMAN, S. D.; SMITH, J. A. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 38, n. 2, p. 379-387, 1995.

KARAYEL, D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. **Soil & Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 121-125, 2009.

KARAYEL, D.; BARUT, Z. B.; ÖZMERZI, A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. **Biosystems Engineering**, London, v. 87, n. 4, p. 437-444, apr. 2004.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; SOUZA, L. C. F.; REIS, E. F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesq. agropec. Bras. (Online)**, Brasília, vol. 42, no. 5, maio 2007. Disponível em:< http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artt_ext&pid=S0100-204X2007000500016>. Acesso: 19 dez. 2014.

KOCHER, M. F.; LAN, Y. CHEN, C.; SMITH, J. A. Optoelectronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 1, p. 237-245, 1998.

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

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

LAN, Y.; KOCHER, M. F.; SMITH J. A. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. **J. Agric. Eng. Res.**, v.72, n. 2 p. 119-127, 1999.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de argissolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. agropec. Bras. (OnLine)**, Brasília, v. 45, n.1, p.89-98, jan. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n1/a12v45n1.pdf>>. Acesso: 26 jan. 2015.

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.

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

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; NUNES, A. L.; SILVEIRA, J. C. M.; KOLLING, E. M. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 33, n.1, p. 89-95, jan./mar 2011.

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; NUNES, A. L.; FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M.; DAMBRÓS, M. P. Efeito de cargas aplicadas e profundidades de semeadura no desenvolvimento da cultura do feijão em sistema plantio direto. **Ciênc. agrotec.** Lavras, v. 34, n. 3, p. 739-745, maio/jun. 2010.

MODOLO, A. J.; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, C. E. G.; SANTOS, N. T.; SILVEIRA, J. C. M. Efeito do teor de água do solo e da carga aplicada pela roda compactadora na velocidade de emergência da soja. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 29, n. 5, p. 587-592, 2007.

MOHSEIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. **Gordon and Breach Science Publishers**, New York, 1986.

MOODY, F. H.; HANCOCK, J. H.; WILKERSON, J. B. Evaluating planter performance cotton seed placement accuracy. Michigan: American Society of Agricultural Engineering, 2003. 13p.

ÖNAL, I.; DEGIRMENCIOGLU, A.; YAZGI, A. An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments. **Turk. J. Agric.**, v. 36, n. 2, p.133-144, 2012.

PANNING, J. W.; KOCHER, M. F.; SMITH, J. A.; KACHMAN, S. D. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. **Applied Engineering in Agriculture**, Lincoln, v. 16, n. 1, p. 7-13, 2000.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F.; TEIXEIRA, H.; CARNEIRO, J. E. S. Produção de feijão - Guia técnico. Viçosa, MG: Epamig, 2010. 52p.

PORTELLA, J. A. Semeadoras-adubadoras para plantio direto. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 252 p.

PORTELLA, J.A.; PALEROSI, C. A.; CASÃO JÚNIOR, R.; MOLIN, P. S. C.; Semeadora de precisão com controle eletrônico de performance. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999, 44p.

PRADO, R.M.; COAN, O.; VILLAR, M.L.P. Compressão do solo e profundidade de semeadura na emergência e no crescimento inicial da cultura do milho (*Zea Mays L.*). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 2, p. 1-6, 2002.

R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

REIS, E. F.; MOURA, J. R.; DELMOND, J. G.; CUNHA, J. P. A. R. Características operacionais de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*). **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, Habana, v. 16, n. 3, p. 70-75, 2007.

REIS, A.V.; FORCELLINI, F.A.; RAMOS, U.A.P. Avaliação do diâmetro do orifício e da pressão de ar na dosagem pneumática de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 191- 197, 2006.

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

SANTOS, A. J. M.; GAMERO, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; VILLEN, A. C. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 16-23, jan./fev. 2011.

SATTI, Y. H.; LIAO, Q.; YU, J.; HE, D. Dynamic analysis for kernel picking up and transporting on a pneumatic precision metering device for wheat. **Agric Eng Int: CIGR Journal**, Beijing, v. 15, p. 95-100, July 2013.

SHAABAN, U. A.; AFIFY, M. T.; HASSAN, G. E.; EL-HADAD, Z. A. Development of a vacuum precision seeder prototype for onion seeds. **Misr J. Ag. Eng.**, Cairo, v. 26, n. 4, p. 751-1775, oct. 2009.

SILVA, R. P.; CORÁ, J. E.; FILHO, A. C.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A. Efeito da profundidade de semeadura e de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais na temperatura e no teor de água do solo durante a germinação de sementes de milho. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 929-937, maio/jun. 2008

SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; NASCIMENTO, A.; CAMARA, F. T. C. Efeitos da roda compactadora de semeadoras sob cargas verticais na deformação do solo com dois teores de água. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, ago. 2006 .

SILVA, R. P.; CORÁ, J. E.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Ação de rodas compactadoras de semeadoras submetidas a cargas verticais na deformação do solo. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 839-847, jul./ago. 2005.

SILVA, J.G.; KLUTHCOUSKI, J.; STEFANO, J.G.D.; AIDAR, H. Efeitos da velocidade de operação e da profundidade de adubação de uma semeadora adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do feijoeiro sob plantio direto. Avanços tecnológicos com a cultura do feijoeiro comum no sistema de plantio direto. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999, p. 21-25.

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

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; LEITE, D. M.; TEIXEIRA, M. M.; JUNIOR FURTADO, M. R. Avaliação da qualidade da semeadura direta do milho em função do aumento da velocidade de deslocamento e do escalonamento de marcha de um conjunto trator-semeadora-adubadora. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 95-103, mar./abr. 2012.

SINGH R. C.; SINGH G.; SARASWAT, D. C. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. **Biosystems Engineering**, v. 92, n. 4, p. 429-438, 2005.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P.; BUCKMASTER, D. R. Crop Planting. In: SRIVASTAVA et al. **Engineering Principles of Agricultural**. 2. ed. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 231-265.

TORRES, J. L. R.; POYAY, V. G.; ANGELOTTI NETO, A.; AGOSTINI, L.; COAN, O. Profundidade de semeadura e compressão do solo: Influência sobre a emergência de plântulas e o crescimento inicial do milho. **Série Ciências da Vida**, Seropédica, v. 27, p. 6-13, jul./dez. 2007.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; ALMEIDA, L. G. P.; SILVA, L. A. Comparativo na uniformidade/distribuição de sementes em função do tipo de semeadoras. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, p. 383-392, jul./set. 2007.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; SILVA, C. L.; ADAMI, P. F.; DALLACORT R. Manejos de cobertura vegetal e velocidades de operação em condições de semeadura e produtividade de milho. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 17, n. 7, jul. 2013.

PINHEIRO NETO, R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO, A. C. Desempenho de mecanismos dosadores de semente em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, suppl.spe, p. 611-617, 2008.

YAZGI, A.; DEGIRMENCIOGLU, A. Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the number of holes on vacuum plate. **Measurement**, v. 56, p. 128-135, oct. 2014.

YAZGI, A.; DEGIRMENCIOGLU, A. Optimization of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. **Biosystems Engineering**. London, v. 97, n. 3, p. 347-356, july 2007.

ZHAI, J. B.; XIA, J. F.; ZHOU, Y.; ZHANG, S. Design and experimental study of the control system for precision seed-metering device. **Int. J. Agric. & Biol. Eng.**, Beijing, v. 7, n. 3, p. 13-18. jun. 2014