

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**

**QUALIDADE DA SEMEADURA DAS CULTURAS DO  
ALGODÃO, MILHO E SOJA SOB A AÇÃO DE FORÇAS  
DESCENDENTES EM LINHA**

**Luan Pereira de Oliveira**

Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**

**QUALIDADE DA SEMEADURA DAS CULTURAS DO  
ALGODÃO, MILHO E SOJA SOB A AÇÃO DE FORÇAS  
DESCENDENTES EM LINHA**

**Luan Pereira de Oliveira**

**Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

**Coorientadores: Profa. Dra. Brenda Valeska Ortiz**

**Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para o título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

O48q

Oliveira, Luan Pereira de

Qualidade da semeadura das culturas do algodão, milho e soja sob a ação de forças descendentes em linha / Luan Pereira de Oliveira. -- Jaboticabal, 2021

142 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani

1. Agricultura. 2. Máquinas agrícolas. 3. Agricultura de precisão. 4. Implementos agrícolas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal




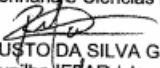
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

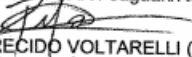
TÍTULO DA TESE: QUALIDADE DA SEMEADURA DAS CULTURAS DO ALGODÃO, MILHO E SOJA SOB A AÇÃO DE FORÇAS DESCENDENTES EM LINHA

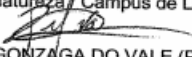
**AUTOR: LUAN PEREIRA DE OLIVEIRA**  
**ORIENTADOR: ROVERSON PEREIRA DA SILVA**  
**COORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI**  
**COORIENTADORA: BRENDA VALESKA ORTIZ**  
**COORIENTADOR: TIAGO RODRIGO FRANCKETTO**

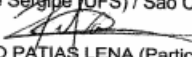
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
 Prof. Dr. ROVERSON PEREIRA DA SILVA (Participação Virtual)  
 Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
 Prof. Dr. LUCAS AUGUSTO DA SILVA GIRIO (Participação Virtual)  
 Instituto Federal Farroupilha (IFFAR) / Jaguarí/RS

  
 Prof. Dr. MURILO APARECIDO VOLTARELLI (Participação Virtual)  
 Centro de Ciências da Natureza / Câmpus de Lagoa do Sino - UFSCar - Buri/SP

  
 Prof. Dr. WELINGTON GONZAGA DO VALE (Participação Virtual)  
 Universidade Federal de Sergipe (UFS) / São Cristóvão/SE

  
 Pós-Doutorando BRUNO PATIAS LENA (Participação Virtual)  
 Auburn University / Auburn/Alabama

Jaboticabal, 16 de abril de 2021

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**ME. LUAN PEREIRA DE OLIVEIRA** – nascido em Sousa, Paraíba, Brasil, no dia 11 de junho de 1991, filho de Junio José de Oliveira e Maria Ildanir Pereira. Coursou o ensino fundamental nas Escolas Escadinha da Vida e E. E. Tito Lima, nos municípios de Sousa, PB e São Bernardo do Campo, SP, respectivamente. Coursou ensino médio nas escolas E. E. Antônio Caputo e E. E. E. M. Mestre Júlio Sarmiento em São Bernardo do Campo, SP, e Sousa, PB, respectivamente. Ingressou no ensino superior em 08 de agosto de 2011 no curso de Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, campus II, sediado na cidade de Areia, PB. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo em julho de 2016. Durante a graduação foi bolsista de Iniciação Científica (CNPq) por um ano na área de ciências do solo sob a orientação do Prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcanti (*In memoriam*). Foi bolsista de extensão (PROBEX) e (PROEXT) durante três anos no qual trabalhou com projetos de extensão com hortas escolares sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Núbia Pereira da Costa Luna. Em fevereiro de 2014 iniciou o curso Técnico em Agronegócio, finalizando o mesmo em dezembro de 2017, obtendo o título de Técnico em Agronegócio pelo SENAR - MS. Ao decorrer da graduação colaborou com a execução e apresentação de trabalhos científicos, com resumos e artigos científicos publicados em periódicos especializados. Em agosto de 2016, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), com concentração na área de Máquinas e Mecanização Agrícola, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, pelo Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), localizado no Departamento de Engenharia e Ciências Exatas dessa instituição, sob orientação do Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva. No decorrer do curso realizou pesquisas com foco em colheita mecanizada de diversas culturas, porém, principalmente para a cultura da cana-de-açúcar. Em julho de 2018, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia, o qual foi aprovado. Em agosto de 2018 iniciou o curso de Doutorado também pela FCAV/UNESP, no qual realizou pesquisas relacionadas à semeadura de milho, algodão, amendoim e soja, submetendo-se à banca examinadora para a obtenção do título de doutor em Agronomia (Produção Vegetal) em 16 de abril de 2021.

“Cem vezes todos os dias tens de lembrar a si mesmo que sua vida interior e exterior depende dos trabalhos de outros homens, vivos ou mortos, e que deves esforçar-te a fim de devolver na mesma medida que recebes”

(Albert Einstein)

Aos meus pais Junio José de Oliveira e Maria Ildanir Pereira e aos meus avós  
Francisca Gomes de Oliveira “Chiquita” (*In Memoriam*), Ortelina Pereira (*In  
Memorian*), João Deó Pereira (*In Memoriam*) e José Francisco de Oliveira “Zezinho”  
(*In Memoriam*).

A vocês,

**DEDICO!**

À minha esposa, meu filho, minha irmã, aos meus sobrinhos, meu afilhado e a todos  
os meus familiares,

**OFEREÇO!**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, por iluminar e dar proteção durante toda a minha vida, por tudo que nela já conquistei e ainda irei conquistar, e pela fé que move nossas vidas enfrentando os desafios em busca de novos horizontes.

Aos meus queridos pais, Junio e Ildanir, pelo companheirismo, educação e valores transmitidos, essenciais na formação do meu caráter; além de todo apoio em cada momento de minha vida, eu amo vocês!

À minha esposa Karolayne Oliveira pelo amor, carinho, apoio e parceria em todos os momentos da nossa união.

À minha irmã Mayara pela parceria em todo nosso convívio, os grandes momentos compartilhados e ainda a serem vividos.

À toda minha família, avós, tios e tias, primos, primas e sobrinhos que são a base que sustenta toda a minha vida, estando cada um sempre pronto a acolher meus problemas e apontar o caminho da sabedoria.

Ao Centro de Ciências Agrárias da UFPB, a todos seus professores e funcionários que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, e em especial aos estimados amigos da Turma de Agronomia 2011.2.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e à CAPES pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelos conselhos, ensinamentos, parceria e amizade, além dos valores e conhecimentos a mim transmitidos. *The Best Advisor ever!*

To my Co-Advisor and friend, Dr. Brenda Valeska Ortiz for all the knowledge and support gave to me. *I'll always be thankful!*

Ao meu coorientador e amigo, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, por estar sempre disponível quando precisei.

Ao meu coorientador e amigo, Prof. Dr. Tiago Rodrigo Francetto, por todas as palavras de suporte nos momentos em que sempre precisei, bem como pela disponibilidade.

Ao professor e amigo, Dr. Cristiano Zerbato tanto pela coorientação no mestrado quanto pela amizade durante a pós-graduação.

Aos amigos/irmãos que fiz no exterior, Bruno Lena e Guilherme Morata, muito obrigado pela parceria desde 2019!

À banca examinadora pela disponibilidade, pelas palavras e considerações, Dr. Bruno Lena, Prof. Dr. Lucas Gírio, Prof. Dr. Murilo Voltarelli e Prof. Dr. Wellington do Vale.

Ao Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV/UNESP, aos seus professores e funcionários, que de alguma forma colaboraram com minha formação e realização deste trabalho. Obrigado David e Maranhão pela parceria!

Aos amigos integrantes e egressos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) – Adão Felipe, Aline Sppagiari, Antônio Loureiro, Armando Brito, Aycon Tinoco, Bruno Rafael, Bruno Rocca, Carla Paixão, Danilo Tedesco, Edcarla Nicolau, Elizabeth Kazama, Franciele Morlin, Jarlyson Brunno, Jean Lucas, João Godinho, João Paulo, Leonardo Bernache, Lígia Negri, Lucas Gírio, Mailson Oliveira, Marcelo Júnior, Marco Vrech, Maria Abertina, Nivanda Lima, Olavo Betiol, Patrícia Candida, Paulo Sérgio, Rafael Bertonha, Rafael De Graaf, Rafael Noronha, Renata Queiroz, Samira Luns, Tassio Ormond, Tiago Tavares, Vinícius Carreira, Watus Cleigson pela convivência e auxílio nas atividades durante todos estes anos.

Thanks for the Alabama Precision Ag Team for all the support in the tests and shared friendship, Mary, Megan, Taylor, Kyle, Barret, Pierce, Hunter, Tyler and Ross.

Thanks for the Auburn University Research Stations Staff, Greg Pate, Kris Balkcom, Jason Faulk, Christopher Parker, Larry Wells, Jarrod.

Aos meus compadres José Ricardo Lima Pinto e Simone Gomes pela amizade durante o mestrado e doutorado, bem como pelo presente enorme que nos deram, em sermos padrinhos do Joaquim.

Aos irmãos da República TOca Fogo, Adão Felipe, Edgard Henrique, Emmanuel Moreira, Everton Carvalho, Jarlyson Brunno, Armando Brito, João Godinho e Mailson Oliveira pela força e companheirismo mútuo.

À CAPES pelo suporte por meio da bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À AGCO pela disponibilidade do suporte econômico e maquinário para desenvolvimento de um dos experimentos da presente tese.

Finalmente agradeço a todos aqueles que de uma forma contribuíram para minha caminhada até este momento, por meio de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha eterna gratidão.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>CAPÍTULO 1 - Considerações gerais</b> .....	1
<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>1.1. Revisão bibliográfica</b> .....	5
<b>1.1.1. Culturas</b> .....	5
<b>1.1.2. Semeadura mecanizada</b> .....	7
<b>1.1.3. Sistema de força descendente em linha de semeadura</b> .....	9
<b>1.1.4. Tipos de sistema de força descendente em linha de semeadura</b> .....	11
<b>1.1.4.1. Hidráulico</b> .....	11
<b>1.1.4.2. Pneumático</b> .....	12
<b>1.1.4.3. Mecânico</b> .....	12
<b>1.1.5. Interação semeadora-solo-semente</b> .....	12
<b>1.1.6. Ferramentas sulcadoras na semeadura</b> .....	14
<b>1.1.7. Controle estatístico de processos</b> .....	15
<b>1.2. Referências bibliográficas</b> .....	18
<b>CAPÍTULO 2 - Interação de forças descendentes aplicadas nas rodas calibradora de profundidade com o solo, emergência e desenvolvimento inicial do milho e algodão</b> .....	27
<b>Resumo</b> .....	27
<b>Abstract</b> .....	28
<b>2.1. Introdução</b> .....	28
<b>2.2. Material e métodos</b> .....	30
<b>2.3. Resultados e discussão</b> .....	36

<b>2.4. Conclusões .....</b>	<b>43</b>
<b>2.5. Agradecimentos.....</b>	<b>44</b>
<b>2.6. Referências bibliográficas .....</b>	<b>44</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>48</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. Introdução .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2. Material e métodos.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3. Resultados e discussão .....</b>	<b>59</b>
<b>3.4. Conclusões .....</b>	<b>84</b>
<b>3.5. Agradecimentos.....</b>	<b>84</b>
<b>3.6. Referências bibliográficas .....</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO 4 - Qualidade da semeadura de milho e algodão sob a ação de um sistema de força descendente em linha em três texturas de solo.....</b>	<b>88</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>88</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>89</b>
<b>4.1. Introdução .....</b>	<b>89</b>
<b>4.2. Material e métodos.....</b>	<b>91</b>
<b>4.3. Resultados e discussão .....</b>	<b>97</b>
<b>4.4. Conclusões .....</b>	<b>116</b>
<b>4.5. Agradecimentos.....</b>	<b>117</b>
<b>4.6. Referências bibliográficas .....</b>	<b>117</b>
<b>CAPÍTULO 5 - Desempenho de mecanismos de pressão em linha para semeadura direta da soja .....</b>	<b>121</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>121</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>121</b>
<b>5.1. Introdução .....</b>	<b>122</b>
<b>5.2. Material e métodos.....</b>	<b>124</b>

<b>5.3. Resultados e discussão .....</b>	<b>129</b>
<b>5.4. Conclusões .....</b>	<b>137</b>
<b>5.6. Agradecimentos.....</b>	<b>138</b>
<b>5.7. Referências bibliográficas .....</b>	<b>138</b>
<b>CAPÍTULO 6 - Considerações finais .....</b>	<b>141</b>

## QUALIDADE DA SEMEADURA DAS CULTURAS DO ALGODÃO, MILHO E SOJA SOB A AÇÃO DE FORÇAS DESCENDENTES EM LINHA

**RESUMO** – O sistema de força descendente em linha (*downforce*) é um sistema acoplado às unidades de semeadura individuais com o intuito de auxiliar a manutenção das rodas calibradoras na profundidade de semeadura regulada, garantindo um contato constante com o solo. Atualmente, três sistemas de força descendente predominam no mercado: hidráulico, mecânico e pneumático. O sistema hidráulico pode ser configurado em dois modos de operação: ativo (automático) ou fixo (manual). A força descendente pré-configurada é automaticamente regulada de acordo com a variabilidade do terreno no modo automático. Em contraste, o modo manual mantém a força alvo previamente definida, não considerando a variabilidade do terreno, o que pode causar alteração nas forças aplicadas, bem como o sistema mecânico (molas). Objetivou-se verificar se a qualidade da distribuição de forças verticais em dois modos de operação possui influência sobre características do solo, profundidade de semeadura, emergência e crescimento de plantas na semeadura do algodão, milho e soja. Os estudos com as culturas do algodão e milho foram conduzidos nos anos de 2019 e 2020 na Estação Experimental de E.V. Smith em Shorter, AL, EUA em áreas com solos de predominância Franco-arenosa, Franco-argilosa e Franco-argilo-arenosa. Para a cultura da soja, os estudos foram realizados em áreas comerciais próximas às cidades de Itapeva, SP, Brasil e Rondonópolis, MT, Brasil no ano de 2020 em solos com textura predominantemente argilosa. Uma semeadora John Deere Max Emerge Plus com seis unidades de semeadura foi equipada com um sistema de força descendente hidráulico comercial para os experimentos com algodão e milho, e, para a cultura da soja, utilizou-se semeadora MF 73 HF com 12 unidades de semeadura, equipada nas seis linhas do lado esquerdo da máquina com mecanismo de força descendente mecânico (molas), bem como do lado direito com mecanismo hidráulico comercial. As variáveis analisadas nos experimentos foram nível de força vertical, resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), densidade do solo, profundidade de semeadura, índice de velocidade de emergência e altura de plantas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições para os experimentos com algodão e milho, porém, para a cultura da soja o delineamento seguiu o esquema fatorial 5x3 (5 forças verticais e três ferramentas sulcadoras) em três repetições. Os dados foram coletados ao longo do tempo, de acordo com as especificações do Controle Estatístico de Processos (CEP). Os tratamentos para as culturas do algodão e milho para cada modo operacional (Manual e Automático), foram níveis de forças verticais: Sem força descendente; Muito Baixo; Baixo; Médio; Alto e Muito Alto tanto para o modo manual, quanto para o automático de operação totalizando onze tratamentos. Para a cultura da soja, dois níveis: Muito Baixo e Baixo em modo automático e manual utilizando-se de duas fontes de forças verticais (mecânico e hidráulico), bem como dois tipos de ferramentas sulcadoras (haste e disco duplo). A variabilidade do processo de semeadura foi avaliada pelas cartas de controle I-MR e Xbar-S. Foi efetuada análise de variância e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A variabilidade da distribuição de forças verticais foi maior sem aplicação de forças (0 N). Não houve diferença entre as qualidades operacionais ao

comparar os modos ativo ou fixo. O processo de semeadura relacionado à profundidade foi considerado uniforme com forças verticais altas ou muito altas. A RMSD e a densidade do solo, não foram influenciadas pelas forças verticais aplicadas. A profundidade de semeadura foi incrementada com o aumento das forças descendentes aplicadas independente do tipo de solo. A emergência do milho foi incrementada em solo franco-argiloso com o aumento das forças. Para a cultura da soja verificou-se incremento na emergência de plântulas utilizando-se sistema hidráulico juntamente às ferramentas sulcadoras. De maneira geral, a utilização de um sistema hidráulico de força descendente em linha de semeadura, proporciona melhor distribuição de sementes, quando da utilização de força vertical correta, a emergência de plântulas e altura de plantas são incrementadas comparando-se com a ausência de algum sistema.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão, controle estatístico de processos, semeadura mecanizada, *Gossypium hirsutum* L, *Glycine max*, *Zea mays*.

**ABSTRACT** - The downforce system is a system mounted to individual row-units in order to keep the gauge-wheels at the right seeding depth, ensuring constant contact with the soil. Currently, there are three main downforce systems on market: hydraulic, mechanical and pneumatic. The hydraulic system can be set in two operational modes: active (automatic) or fixed (manual). The pre-set down force is automatically adjusted according to terrain variability in automatic mode. In contrast, the manual mode maintains the previously defined target force, not considering ground variability, which can cause changes in the applied forces. The same applies to the mechanical system (springs). The objective was to verify if the operational quality of the vertical forces distribution in two operational modes has influence on soil characteristics, sowing depth, emergence and plant growth in cotton, corn and soybeans. Studies with cotton and corn crops were conducted in 2019 and 2020 at the E.V. Smith Research Center in Shorter, AL, USA in areas with sandy loam, clay loam and sandy clay loam predominance. For soybean crop, studies were carried out in commercial areas near Itapeva, SP, Brazil and Rondonópolis, MT, Brazil in 2020 in soils predominantly clay. A John Deere Max Emerge Plus planter with six row units was equipped with a commercial hydraulic down force system for experiments with cotton and corn, and for soybeans, a MF 73 HF planter was used with 12 row units, equipped on the six rows on the left side of the machine with a mechanical down force system (springs), as well as on the right side with a commercial hydraulic system. The analyzed variables were level of vertical force, soil mechanical resistance to penetration (RMSD), soil density, sowing depth, emergence velocity index and plant height. The experimental design was a randomized blocks with four replications for the experiments with cotton and corn, however, for the soybean crop the design followed a 5x3 factorial scheme (5 vertical forces and three tilling tools) in three replications. Data was collected through the time, according to the specifications of Statistical Process Control (SPC). The treatments for cotton and corn crops for each operational mode (Manual and Automatic), were levels of vertical forces: No down force; Very low; Low; Average; High and Very High for both manual and automatic operation modes, totaling eleven treatments. For soybean crop, two levels of vertical forces: Very Low

and Low in automatic and manual mode, using two different systems (mechanical and hydraulic), as well as two types of tilling tools (rod and double disc). Sowing process variability was evaluated by I-MR and Xbar-S control charts. Analysis of variance was performed and, when significant, means were compared by Tukey's test at 5% probability. The variability of vertical forces distribution was greater without application of load (0 N). There was no difference between operational quality when comparing manual or automatic modes. The depth-related seeding process was considered uniform with high or very high vertical loads. RMSP and soil density were not influenced by the applied downforces. Sowing depth was increased with the increase of applied loads regardless of the soil type. Corn emergence was increased in clay loam soil with increasing vertical loads. For soybean crop, there was an increase in seedling emergence using a hydraulic system together with tilling tools. In general, the use of a hydraulic downforce system in the row-units provides better seed distribution. When using the correct load, the emergence of seedlings and plant height are increased compared to the absence of any system.

**Keywords:** Precision agriculture, statistical process control, mechanized sowing, *Gossypium hirsutum* L, *Glycine max*, *Zea mays*.

## **CAPÍTULO 1 - Considerações gerais**

### **1. Introdução**

As culturas do milho, algodão e soja, destacam-se pela imensa variedade de subprodutos que podem ser derivados destas, os quais são destinados aos setores industrial, alimentício e animal. Produzidas em larga escala, essas commodities, necessitam de grandes áreas, as quais requerem mecanização em todo o processo produtivo, desde a semeadura até à colheita. Dentre as operações mecanizadas, os cuidados ao efetuar o processo de semeadura devem ser redobrados para não ocorrer o desperdício de sementes. Um dos maiores custos da produção agrícola está presente na implantação da cultura, principalmente no que se refere aos investimentos com sementes, devido ao pagamento de royalties associados às tecnologias transgênicas presentes nas mesmas.

Neste sentido, são vários os fatores que podem influenciar o processo de semeadura, começando pela escolha do método (plantio convencional ou direto), regulagem da máquina, força na linha de semeadura e rodas compactadoras, distribuição longitudinal (espaçamento), e profundidade de sementes, bem como fatores relacionados ao solo, como teor de água e temperatura.

Devido à complexidade do processo de semeadura, algumas variáveis podem causar atraso na emergência das plântulas, como por exemplo a má deposição de sementes, o que inclui semeadura muito rasa ou muito profunda, bem como a má formação do leito de semeadura. No entanto, depositando-se a semente na profundidade ideal, a germinação e emergência são potencializadas. A formação de um leito de semeadura com adequadas características físico-mecânicas do solo as quais garantam a migração de água e transferência de calor, bem como boa compactação do solo sobre as sementes, originada pela máquina de modo a eliminar bolsões de ar e grandes torrões, que impedem o desenvolvimento satisfatório das radículas e dos caulículos das culturas.

A formação de um ambiente ótimo para germinação das sementes (leito de semeadura), depende em grande parte do bom funcionamento dos órgãos ativos

presentes nas máquinas. Sendo assim, as ferramentas sulcadoras, discos sulcadores, juntamente às rodas calibradoras de profundidade e rodas compactadoras são os responsáveis por proporcionar às sementes profundidade ideal e ótimo contato com o solo.

Alguns autores relataram que a pressão aplicada pelas rodas compactadoras promoveram melhor contato entre a semente com o solo, incrementando germinação e emergência, porém, a utilização de excessivas forças verticais causa encrostamento superficial do solo, retardando a emergência das plântulas (Kooistra et al. 1992; Prado et al. 2001; Modolo et al. 2008).

Devido a avanços tecnológicos no setor agrícola, atualmente, a semeadura mecanizada conta com dispositivos que podem ser adicionados às semeadoras para melhorar a distribuição de sementes, bem como o processo de semeadura mecanizada como um todo. Um dos sistemas utilizados é o de força descendente (*Downforce*) que é acoplado às unidades de semeadura que tem como principal característica manter as rodas calibradoras de profundidade em constante contato com a superfície do solo, bem como profundidade de semeadura.

A utilização de sistemas de força descendente já é recorrente entre produtores, tendo em vista que existem diferentes opções do produto no mercado, variando entre opções mais e menos acessíveis economicamente. A opção mais empregada consiste na utilização de um sistema mecânico com molas helicoidais, que quando pressionadas, retraem e efetuam uma força descendente na unidade de semeadura contra o solo. Outras opções também utilizadas são forças descendentes hidráulicas, as quais utilizam cilindros de fluido incompressível e pneumáticas, que utilizam bolsas de ar.

A força descendente exercida pelos distintos sistemas, somada com a massa das unidades de semeadura, é denominada força descendente total. Porém a força que sobra após as rodas calibradoras de profundidade estarem em total contato com o solo, é distribuída entre os discos sulcadores, rodas calibradoras de profundidade e rodas compactadoras. Essa força é geralmente denominada de margem e, a força de reação do solo faz com que a força descendente seja distribuída de formas diferentes

entre os órgãos ativos da semeadora dependendo da distribuição textural do solo (Sharda et al. 2017).

Os sistemas de força descendente em linha hidráulico e pneumático permitem a determinação da força de dentro da cabine, bem como a utilização de modos de operação distintos (automático e manual). O modo automático ao ser determinado, mantém a força alvo independentemente da distribuição espacial da área, por meio do ajuste da magnitude da força e do sentido de aplicação, de acordo com as necessidades de cada linha. No modo manual, a força é definida pelo operador e não considera a variabilidade do solo. Devido ao fato do sistema manual não ser capaz de dinamicamente regular a força para compensar a variação textural do solo, tem sido observado um grande avanço em pesquisas com o desenvolvimento de sistemas automáticos (Brune et al. 2018).

A aplicação de forças verticais foi verificada como potencializadoras da profundidade de semeadura, no qual ocorreram profundidades acima do estipulado ao utilizar forças muito altas (Hanna et al. 2010; Fulton et al. 2015). Badua et al. (2021) observaram que em campos com preparo de solo em linha (Strip-Till), forças verticais baixas juntamente às velocidades de deslocamento mais lentas do conjunto trator-semeadora, são suficientes para alcançar a profundidade de semeadura desejada, porém, com o incremento da velocidade, maiores forças são necessárias para alcançar a profundidade.

O solo, por sua vez, também é afetado pelas forças descendentes, no qual a aplicação das forças influencia a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), bem como provoca a compactação da parede do sulco, o que pode prejudicar a emergência e o crescimento das culturas (Iqbal et al. 1998; Way et al. 2018, Jing et al. 2020).

Em Sistema Plantio Direto, outro fator adicionado à qualidade da semeadura mecanizada são as ferramentas sulcadoras necessárias para o corte da palhada, bem como abertura do sulco para a deposição do adubo. Dessa forma, pode existir interação entre os mecanismos sulcadores e pressão aplicada em linha.

A variabilidade do solo, somada à quantidade e variabilidade de forças descendentes podem promover uma má distribuição transversal de sementes, o que representa má qualidade do processo de plantio. Sendo assim, tendo em vista que a variabilidade é inversamente proporcional à qualidade de qualquer operação agrícola mecanizada, alguns indicadores devem ser levados em consideração para avaliar o desempenho do processo de semeadura. A variação na profundidade de sementes, velocidade de emergência de plântulas e crescimento inicial de uma cultura importantes indicadores para verificar se processo de semeadura foi bem conduzido.

Considerando que a variabilidade na distribuição de diferentes forças exercidas por um ou mais sistemas de força descendente, bem como a interação entre mecanismos sulcadores e forças verticais, podem afetar a qualidade da semeadura e emergência e crescimento de plantas, objetivou-se por meio do presente trabalho, avaliar e compreender a distribuição de forças descendentes exercidas por um sistema hidráulico de força em linha, nos modos de operação ativo e fixo.

Objetivou-se também verificar o impacto das forças descendentes na densidade e resistência mecânica à penetração do solo, bem como na variabilidade da profundidade de semeadura, emergência de plântulas, espaçamento entre plantas, crescimento inicial e população do milho e algodão e, ainda, verificar a profundidade de semeadura, emergência de plântulas e produtividade da cultura da soja quando submetidas a forças verticais aplicadas por sistemas de força descendente hidráulico e mecânico utilizando-se diferentes ferramentas sulcadoras em Sistema Plantio Direto.

A presente tese é dividida em 6 capítulos para a melhor compreensão do trabalho: no capítulo 1 estão inseridas as considerações gerais, abrangendo a introdução e o referencial teórico utilizado para o embasamento técnico-científico, necessário para a análise dos resultados obtidos nos capítulos seguintes. Em seguida, no capítulo 2 são apresentados e discutidos os resultados relacionados ao impacto das forças verticais no solo e crescimento inicial de plantas de milho e algodão. No terceiro capítulo, o assunto abordado é a qualidade da distribuição de forças verticais pelos modos manual e automático de um sistema hidráulico, bem como o impacto na

qualidade da profundidade de semeadura e emergência de plântulas de milho e algodão.

No capítulo 4 são abordados os resultados sobre a qualidade da operação de semeadura quando submetida a diferentes forças descendentes, bem como uma abordagem sobre a população final após a aplicação dos tratamentos. No capítulo 5 são apresentados resultados referentes à profundidade de semeadura, altura de plantas e produtividade da cultura da soja em plantio direto efetuado por dois sistemas de força descendente em linha, bem como a interação entre forças verticais e ferramentas sulcadoras. Finalizando a tese, tem-se no capítulo 6 as considerações finais do trabalho, sintetizando os resultados obtidos na tese apontando algumas diretrizes para trabalhos futuros.

## **1.1.Revisão bibliográfica**

### **1.1.1. Culturas**

A cultura do milho é destaque no cenário mundial pelo grande progresso de conhecimentos técnico-científicos relacionados à essa espécie vegetal, bem como pelo imenso potencial produtivo que a mesma apresenta (Silva, 2002). Além das características citadas acima, a cultura também destaca-se pela imensa variedade de subprodutos, os quais são destinados às cadeias industrial, alimentícia e animal.

O Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de milho, produzindo aproximadamente 101 milhões de toneladas por ano, ficando, apenas, atrás de EUA e China. Aproximadamente 50 por cento da produção mundial de milho está concentrada nas américas (FAO, 2020). No Brasil, segundo a CONAB (2020), a área plantada para safra principal de milho em 2019/2020 foi de aproximadamente 14 milhões de hectares com produtividade estimada de 5.500 kg ha<sup>-1</sup>.

Fornasieri Filho (2001) afirma que a colocação das sementes em profundidade inadequada pode prejudicar ou até mesmo impedir a emergência das plântulas. Este autor também recomenda que em solos arenosos a profundidade de semeadura seja de 5 a 8 cm e que em solos argilosos seja de 4 cm para a cultura do milho. Silva et al.

(2008) relataram que na realização da semeadura, um dos fatores que devem ser considerado é a profundidade de deposição de sementes, pois esse pode afetar a emergência de plântulas.

Pommel (1990), verificando a interação entre massa de sementes e profundidade de semeadura no crescimento e desenvolvimento de plântulas, relatou que o milho quando semeado mais profundo utiliza as reservas da semente de forma mais eficaz, além de proporcionar melhor desenvolvimento. Alessi & Power (1971) afirmaram que a semente de milho depende diretamente da temperatura do solo para germinar, porém, em temperaturas do sulco acima de 10 graus Celsius, esta tem pequena influência em porcentagem e tempo de emergência.

O algodão é uma das culturas mais importantes para a produção de alimento e fibra, sendo produzida na maior parte dos países do mundo (Howell et al. 2004). Paralelamente ao setor alimentício, a demanda por fibra também está em constante aumento, o que acarreta a necessidade de recursos (área, água, tecnologia) para lidar com os atuais desafios (Shareef et al. 2018). A China é a maior produtora mundial de algodão, produzindo cerca de 23 milhões de toneladas anuais de semente. O Brasil ocupa o quarto lugar na produção mundial (FAO, 2020).

Virk et al. (2020) relataram que, dependendo das condições de solo o algodão é semeado em profundidades que variam entre 6 e 25mm. Por sua vez, Ferreira e Lamas (2006) recomendam que a semeadura do algodão seja efetuada em até 3 cm de profundidade em solos argilosos e até 5 cm de profundidade em solos arenosos. Os autores indicam a semeadura muito rasa influenciar de forma a tombar as plantas, enquanto que semeadura muito profundas quando, e pode atrasar a emergência.

A soja é uma *Fabaceae* de grande importância para o Brasil, devido ao elevado valor de exportação dos grãos (Silva et al. 2004). Em 2020 o Brasil foi o maior produtor de soja do mundo, produzindo aproximadamente 114 mil toneladas da commodity, o que representa cerca de 35 % do total da produção mundial (FAO, 2020). Ainda segundo a Food and Agriculture Organization, nos últimos 20 anos, a área colhida de soja no Brasil aumentou em 40%. O crescimento provavelmente se deu pela alta demanda por alimentos e subprodutos da cultura, que resultou em uma área plantada de 37 milhões de hectares de soja na safra 2019/2020 segundo a companhia nacional

de abastecimento (CONAB, 2021), com previsão para mais de 38 milhões de ha para 2020/2021.

Em um estudo realizado em casa de vegetação (sem a presença de palhada), Eisenberg et al. (2014) verificaram que a emergência de plântulas foi reduzida ao efetuar semeadura a 6 cm comparando-se com 1.5 cm de profundidade. Os autores também relataram diminuição no número de folhas, sendo o fato relacionado ao investimento inicial de reservas das sementes para o rompimento da barreira física imposta pela alta profundidade de semeadura.

De acordo com a EMBRAPA (2008) um dos aspectos a serem considerados para a cultura da soja é a profundidade, na qual a semeadura deve ser efetuada entre 3 e 5 cm.

### **1.1.2. Semeadura mecanizada**

A semeadura mecanizada é efetuada por meio de unidades de semeadura individuais, projetadas para simultaneamente abrir o sulco em profundidade controlada, dosar as sementes em quantidade previamente configurada, depositá-las no sulco em intervalos iguais de distanciamento, cobrir o sulco e compactar o solo para propiciar ótimo contato da semente com o solo (Morrison, 1989).

Bridges (2016) em sua pesquisa relacionada à interação do solo com distribuição de forças verticais relatou que muitas semeadoras utilizadas em operações de semeadura são atualmente configuradas de maneira similar às semeadoras JohnDeere Max Emerge (Figura 1), pois todas possuem os mesmos princípios de funcionamento. Sendo assim, o autor relatou que a função do *design* das semeadoras é abrir um sulco em forma de V por meio de discos abertores de sulco (1) e, enquanto a semeadora é movida pelo trator por meio de uma barra porta-ferramentas (2), o sistema pantográfico (3) conectado à barra permite que toda a estrutura se mova de acordo com o relevo superficial do solo. As rodas calibradoras de profundidade (4) controlam a profundidade de semeadura, sendo limitadas pelo limitador das rodas de controle de profundidade (5), a qual é regulada posição das alavancas calibradoras (6) (Figura 2 A). Uma vez que o sulco é criado, sementes

começam a ser liberadas por um mecanismo dosador de sementes (7) e transportadas por um tubo condutor localizado entre os dois discos abertores (8). Enquanto a semeadora é movida, o sulco é fechado e pressionado pelas rodas compactadoras (9). Em semeadoras modernas, toda a unidade de semeadura é pressionada contra o solo por um mecanismo de força descendente (10). As configurações e componentes utilizados podem variar entre semeadoras e cultura.

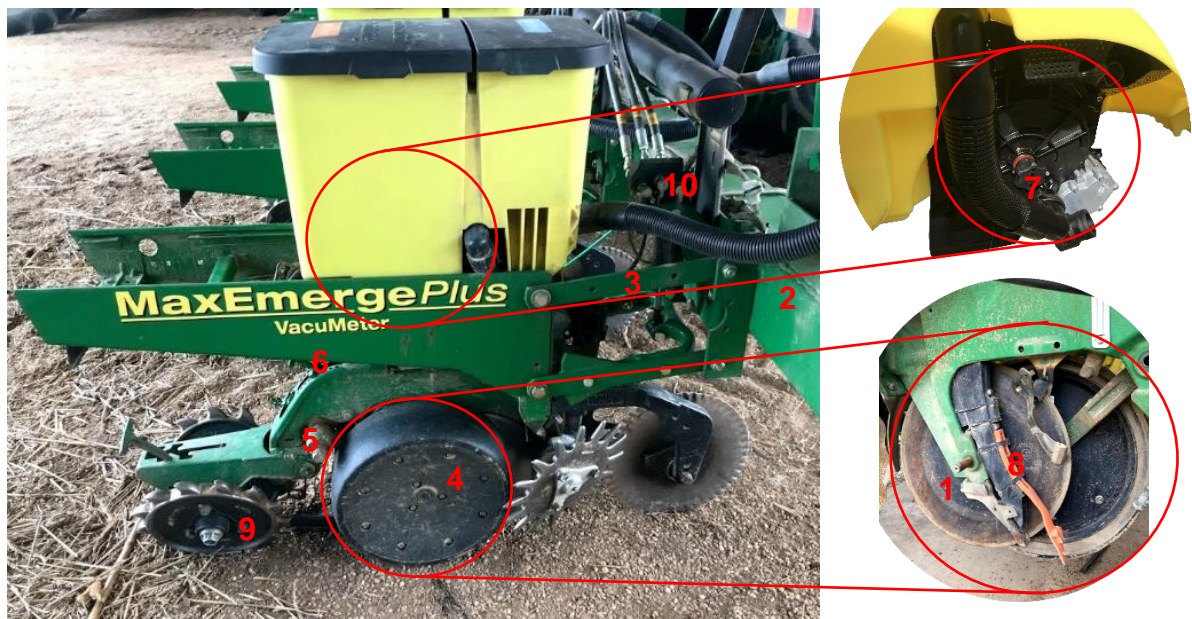


Figura 1. Unidade de Semeadura Max Emerge Plus.

1: Discos sulcadores; 2: Barra porta-ferramentas; 3: Sistema pantográfico; 4: Rodas calibradoras de profundidade; 5: Limitador; 6: Alavancas calibradoras; 7: Mecanismo dosador; 8: Tubo condutor de sementes; 9: Rodas compactadoras; 10: Mecanismo de força descendente.

Cada unidade de semeadura possui ao menos um dosador de sementes e um mecanismo para efetuar a abertura e fechamento do sulco. A profundidade de sementes é configurada anteriormente à semeadura controlando-se a posição vertical das rodas limitadoras de profundidade em relação aos discos abertores de sulco, por meio da movimentação da alavanca calibradora de profundidade no qual o posicionamento da mesma em uma série de configurações determina a profundidade desejada de semeadura (Figura 2 A e B) (Bridges, 2016; Poncet, 2016).

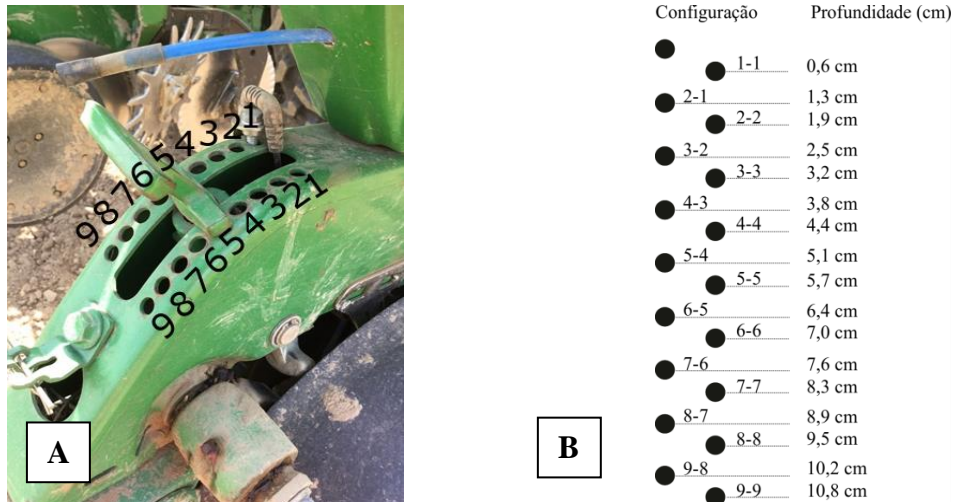


Figura 2. Alavanca de controle de profundidade e configurações padrão.

A: Alavanca de controle; B: Configurações da Alavanca de controle.

Sendo assim, a semeadura mecanizada de precisão (SMP) surgiu com o objetivo principal de equipar semeadoras com novas tecnologias para que as sementes sejam colocadas na profundidade e espaçamento desejados (Liu et al. 2017). De acordo com Yin et al. (2018) as ferramentas de SMP permitem que a operação de semeadura seja efetuada com grande precisão e acurácia.

Mesmo que muitos mecanismos relacionados à semeadura mecanizada de precisão estão sendo patenteados recentemente, os fazendeiros ainda preferem as semeadoras convencionais sem tecnologia embarcada, provavelmente devido ao custo e simplicidade mecânica de operação (Conceição et al. 2016).

### 1.1.3. Sistema de força descendente em linha de semeadura

A força descendente é a quantidade de massa adicional (Força Aplicada) transferida do chassi da semeadora para as unidades individuais de semeadura (linha de semeadura) (Morrison, 1988). Cargas verticais em uma unidade de semeadura são utilizadas para manter as sementes na profundidade desejada e, ao utilizar a pressão correta, além do controle da profundidade pode-se prevenir compactação do solo (Badua et al. 2018).

Brune et al. (2018) relataram que vários sistemas de força descendente estão sendo desenvolvidos para controlar a quantidade de forças verticais durante a semeadura devido à heterogeneidade nas texturas dos campos. Os mesmos autores também relataram que quantitativamente, a força descendente total (FDT) da semeadora representa o somatório das forças mecânicas necessárias para deslocar o solo, de modo a criar o sulco no qual as sementes serão depositadas. Os dois principais componentes da FDT são o peso morto (PM) de uma unidade de semeadura, oriundo da massa do equipamento, e qualquer força mecânica sobreposta aplicada à unidade de linha de um sistema montado na barra de ferramentas da semeadora.

A FDT é distribuída entre os discos abertores de sulco, rodas calibradoras de profundidade e rodas compactadoras, sendo que a distribuição depende da força de reação de cada solo para os componentes (Sharda et al. 2017). Ao alcançar a profundidade de semeadura desejada, a força descendente oriunda de um sistema fica disponível nas rodas calibradoras, rodas compactadoras e discos sulcadores, esta força geralmente é denominada de margem.

Segundo Morrison (1987) um ou mais mecanismos de força vertical devem ser utilizados para manter constante o contato das rodas calibradoras de profundidade com o solo durante a semeadura. Sharda et al. (2016) concluíram que cargas excessivas na roda calibradora de profundidade resultarão em excessiva compactação nas paredes do sulco.

A força exercida pelo sistema de força em linha pode ser aplicada de forma hidráulica (fluido incompressível), pneumática (ar pressurizado) ou mecânica (molas) no qual, os dois primeiros princípios de aplicação podem ser considerados como ativos, pois os mesmos ajustam a magnitude de força e sentido de aplicação de acordo com as necessidades de cada unidade de semeadura. Segundo Poncet (2016), sistemas de força descendente ativos estão sendo desenvolvidos para substituir as molas, estes são pistões hidráulicos, ou bolsas de ar.

### 1.1.4. Tipos de sistema de força descendente em linha de semeadura

#### 1.1.4.1. Hidráulico

O sistema de consiste na utilização de pressão de óleo proveniente do sistema hidráulico do trator, direcionado por uma válvula para pistões acoplados às unidades de semeadura (Figura 3 A) (Morrison, 1988).

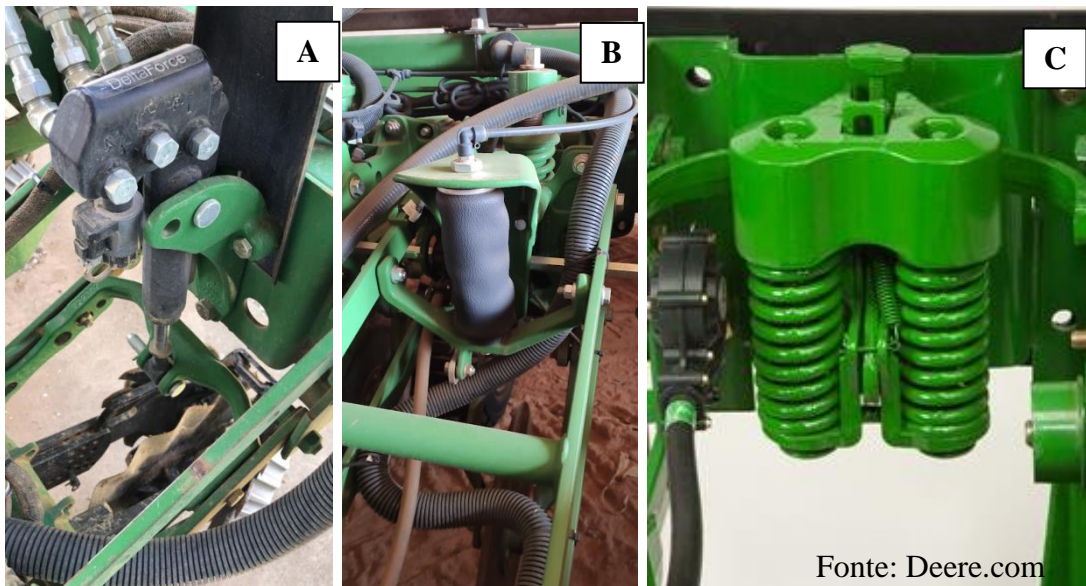


Figura 3. Tipos de sistemas de força descendente. A: Hidráulico; B: Pneumático; C: Mecânico.

O mecanismo eletro-hidráulico permite, por meio do computador de bordo do trator, selecionar o modo de operação, no qual podem ser pré-configurados os modos automático e manual. O primeiro ajusta a magnitude de força e sentido de aplicação de acordo com as necessidades de cada unidade de semeadura, enquanto no modo manual, a força vertical é fixa, definida pelo operador (Precision Planting, 2018).

Ao utilizar o modo automático em solos com maior resistência mecânica a penetração com menores forças descendentes no sistema, o mecanismo não consegue manter carga suficiente para penetrar o solo e abrir o sulco durante a operação (Strasser, 2017). Porém, a vibração causada pela resistência mecânica do solo à penetração é reduzida, e conseqüentemente melhor uniformidade na

profundidade de semeadura foram encontradas quando utilizou-se cargas altas juntamente ao modo ativo (Badua, 2018).

#### **1.1.4.2. Pneumático**

O ar comprimido é fornecido por um compressor de ar acoplado ao trator e direcionado para pitões ou bolsas de ar (Figura 3 B), sendo o mesmo controlado de dentro da cabine (Morrison, 1987). O sistema pneumático fornece forças verticais mais consistentes ao longo do campo quando comparado às molas, no qual deve-se configurar os valores de força a serem aplicados pelo sistema, no qual o mesmo irá funcionar automaticamente (Deere, 2020).

#### **1.1.4.3. Mecânico**

O sistema mecânico utiliza a carga vertical criada pela compressão de molas (Figura 3 C) e é composto por um conjunto de molas e uma alavanca de ajuste (Poncet, 2016). Assim como a profundidade de semeadura, as forças verticais no sistema mecânico são configuradas por meio do ajuste na posição de uma alavanca. Na prática, a força descendente gerada por um sistema mecânico requer constante atenção e muitos ajustes por parte do operador devido às mudanças nas condições do campo, pois o ajuste das molas para abrir um sulco em solo com alta resistência ao corte criará pressão excessiva em porções do campo onde a resistência é baixa (Morrison, 1987).

#### **1.1.5. Interação semeadora-solo-semente**

A germinação das sementes e emergência das plântulas dependem do comportamento físico do solo ao redor da semente para o desenvolvimento inicial da cultura, o que pode assegurar a uniformidade na população de plantas (Silva, 2002). Bewley & Black (1978) afirmam que o processo de germinação começa com absorção de água pela semente – embebição, e termina com o início da alongação do eixo embrionário. Coelho (1979) esclarece que neste processo, o teor de água, a temperatura e o comportamento físico do solo são fatores primordiais para um bom

desenvolvimento inicial de uma cultura, pois afetam a intensidade de embebição da semente.

Profundidade de semeadura, deposição e acondicionamento de sementes no sulco são indicadores de desempenho da precisão de uma semeadora e tal desempenho não é exclusivamente dependente apenas do mecanismo dosador, como também de todos os outros componentes da máquina (Reis, 2001). Grotta et al. (2007) conceituaram semeadoras como agentes modificadores das características do solo, atribuindo a compactação às cargas verticais exercidas pelas rodas compactadoras.

Knappenberger & Koller (2012) relataram que as condições de germinação podem variar de acordo com as propriedades hidráulicas, mecânicas e térmicas do solo, por este motivo, em seu estudo a emergência de plântulas foi afetada pela profundidade de semeadura. Porém, de acordo com os autores, menores porcentagens de emergência não necessariamente levam à redução da produtividade, mas sim um conjunto de fatores, como profundidade de raízes e quantidade de água disponível.

A profundidade de semeadura deve ser mantida de forma uniforme, de forma a distribuir as sementes no sulco com variações de no máximo +/- 0.3 cm para melhor estabelecimento da cultura (Bowen, 1966). Semeaduras realizadas em profundidades muito abaixo do recomendado podem ocasionar déficit hídrico ou térmico em sementes, o que pode refletir na emergência e afetar a densidade de plantas (Alves et al. 2014). Por outro lado, sementes dispostas muito profundas (além do recomendado) podem ficar susceptíveis à patógenos, bem como pode haver redução da expressão do vigor de sementes por meio de barreira física, tendo em vista a profundidade (Marcos Filho, 2005; Alves et al. 2014).

Badua et al. (2021) relacionaram cargas verticais nas rodas abertoras de sulco com a profundidade de semeadura. Os autores verificaram que o incremento das forças verticais resultou em profundidades além da ótima configurada. Para Sordi (2000), verificando a interação entre cargas verticais e profundidade de semeadura na cultura do feijão, o índice de sobrevivência das plantas foi maior ao utilizar cargas altas.

Segundo Cortez et al. (2005) forças verticais de 0 a 200N nas rodas compactadoras não interferem na emergência do algodão, os autores atribuíram os resultados à umidade do solo.

O índice de cone é a média da força requerida para inserir um cone de metal no solo versus a área basal do cone (Davidson, 1965). A aplicação de cargas verticais no solo possui influência no índice de cone em solos previamente preparados (Jing et al. 2020). Conceição et al. (2016) verificaram que em dois anos de trabalho houve correlação negativa entre resistência mecânica do solo à penetração e profundidade de semeadora, os autores concluíram que a associação entre essas duas variáveis é inversamente proporcional. Profundidades de semeadura relacionadas a diferentes cargas verticais nas rodas compactadoras também foram verificadas por Furlani et al. (2001). Os autores observaram que a resistência mecânica do solo aumentou com o incremento das cargas.

Badua et al. (2021) relatam que o modo automático (ativo) de um mecanismo de força descendente proporciona redução da vibração de uma unidade de semeadura, portanto, também da profundidade de semeadura. Hanna et al. (2010) analisando o impacto das cargas verticais da semeadora na emergência do milho verificaram que quando cargas maiores foram aplicadas nas rodas calibradoras de profundidade, maior foi a taxa de emergência de plântulas em solos secos.

#### **1.1.6. Ferramentas sulcadoras na semeadura**

Os mecanismos sulcadores (ferramentas sulcadoras) causam diferentes efeitos no solo devido à ampla diversidade de opções de modelos, sendo eles responsáveis pela abertura do sulco para posterior deposição de fertilizantes e sementes (Francetto, 2017). Ao utilizar diferentes mecanismos de abertura de sulco, espera-se que ocorram diferenças na relação solo semente bem como na qualidade da semeadura. Sendo assim, pesquisas já foram desenvolvidas envolvendo dois tipos de sulcadores, facão (haste sulcadora) ou disco duplo (Reis et al. 2004).

A área mobilizada do solo, segundo Francetto (2017) é maior quando utiliza-se a haste sulcadora em relação ao disco duplo, bem como a largura e profundidade

máxima do sulco. Koakoski et al. (2007) em seu trabalho verificando o desempenho de uma semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores (haste e disco duplo) verificaram que a haste sulcadora proporciona maior porosidade do solo e profundidade de deposição de sementes, bem como há interação entre a pressão aplicada pelas rodas compactadoras e o mecanismo rompedor do solo para a implantação da cultura da soja.

Ward et al. (1990) relatam que a combinação entre disco de corte ondulado juntamente ao facão sulcador resultou em melhor manipulação do leito de semeadura, resultando em germinação e vigor melhorado quando comparados à outras combinações. Os mesmos autores relatam ainda a importância do uso da haste sulcadora juntamente à rodas compactadoras em diversos cenários, destacando-se para solos com alto teor de argila.

A haste sulcadora diminui a densidade do solo e aumenta a macroporosidade e porosidade total na linha de cultivo, bem como proporciona maior superfície mobilizada do solo e promove redução da camada compactada entre linhas de cultivo em solos de várzea. A haste sulcadora também influencia a força de tração e o consumo de combustível de um trator (Vizzoto, 2014).

A utilização de ferramenta sulcadora do tipo disco duplo proporciona melhor corte de palhada, bem como menor demanda energética do trator em relação à haste sulcadora; não existe diferença significativa entre as duas ferramentas para a produtividade do milho (Silva, 2003).

#### **1.1.7. Controle estatístico de processos**

Montgomery e Runger, (2003) conceituaram qualidade como adequação ao uso. Segundo Silva & Voltarelli (2015) esta qualidade se traduz quando se atende às exigências de uma determinada operação agrícola dentro do processo produtivo.

A variabilidade pode ser conceituada como redução da qualidade e um processo possui duas fontes de variabilidade, a primeira é inerente ao processo, que está atrelada a causas comuns ou aleatórias e dificilmente podem ser removidas do

processo. A segunda é extrínscica ao processo e ocorre devido a causas especiais ou não aleatórias (Silva & Voltarelli, 2015).

O Controle Estatístico de Processos (CEP) está inserido dentro do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), ferramenta muito utilizada na área industrial para monitorar e reduzir variação de processos produtivos, o que conseqüentemente aumenta a qualidade do produto (Montgomery, 2009).

É fundamental a utilização do CEP em operações agrícolas mecanizadas para que o número de defeitos no seu produto seja reduzido. Além da implementação de método de controle, é essencial que os operadores das máquinas participem de treinamentos para que a melhoria e a diminuição das falhas sejam atingidas, o que proporcionará melhor qualidade e produtividade ta atividade (Hessler, 2008).

A utilização do CEP para avaliações de natureza agrônômica está tornando-se muito difundida entre os autores tendo em vista que os processos agrônômicos também necessitam de acompanhamento ponto a ponto para o melhor entendimento dos mesmos (Cassia et al. 2013; Noronha et al. 2011; Silva et al. 2008; Toledo et al. 2008; Voltarelli et al. 2017).

As ferramentas mais aplicáveis em operações agrícolas são as cartas de controle de Shewhart, sendo estas uma alternativa para aumentar o nível de qualidade de de uma operação (Silva et al. 2013). A finalidade das cartas de controle de maneira geral é detectar as possíveis variações externas ao processo sempre levando em consideração até que ponto a melhoria contínua de um processo não afeta os custos de produção (Voltarelli, 2013).

As cartas de controle de valores individuais e amplitude móvel (Figura 4) são formadas por uma linha central que representa a média geral, bem como os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC), calculados com base no desvio padrão das variáveis (LSC = média mais três vezes o desvio padrão; LIC = média menos três vezes o desvio padrão, quando maior que zero) (Montgomery, 2009).

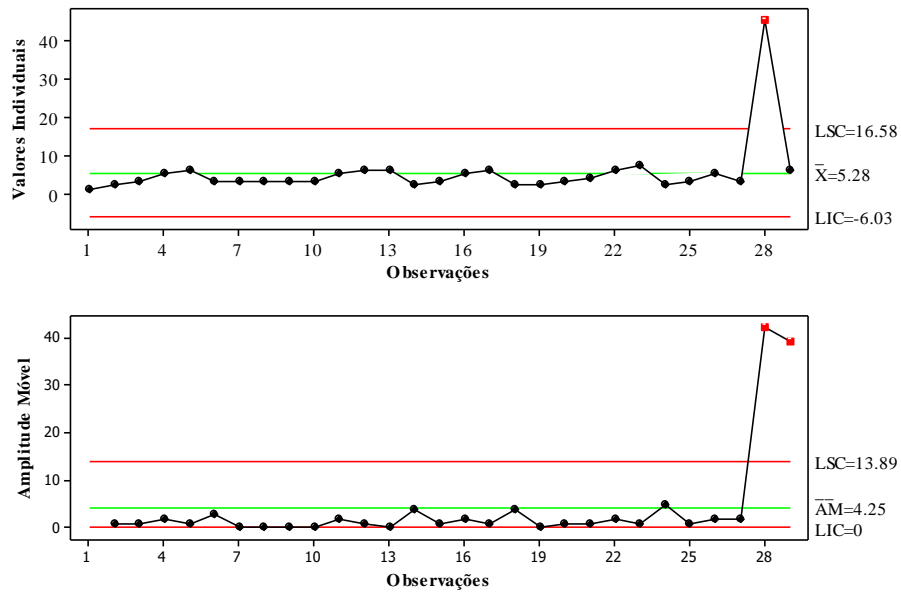


Figura 4. Modelo de carta de controle de valores individuais e amplitude Móvel IM-R. LSC: Limite superior de controle;  $\bar{X}$ : Média; LIC: Limite inferior de controle.

Unidades criadas sob o mesmo conjunto de condições são denominadas subgrupos. As medições dentro de um subgrupo devem ser efetuadas próximas no tempo, porém, independente umas das outras (Minitab, 2021a). Uma maneira de verificar a variação de um processo com grande quantidade de dados são as cartas de controle para subgrupos. A escolha do tipo de gráfico depende da quantidade de observações dentro de cada subgrupo. Quando é necessária a criação de amostras com 9 ou mais observações é indicado o uso das cartas de controle Xbarra-S (Figura 5), a qual permite identificar e corrigir instabilidades em um processo por meio do monitoramento ao longo do tempo e também por meio do desvio padrão das amostras em relação à média (Minitab, 2021b).

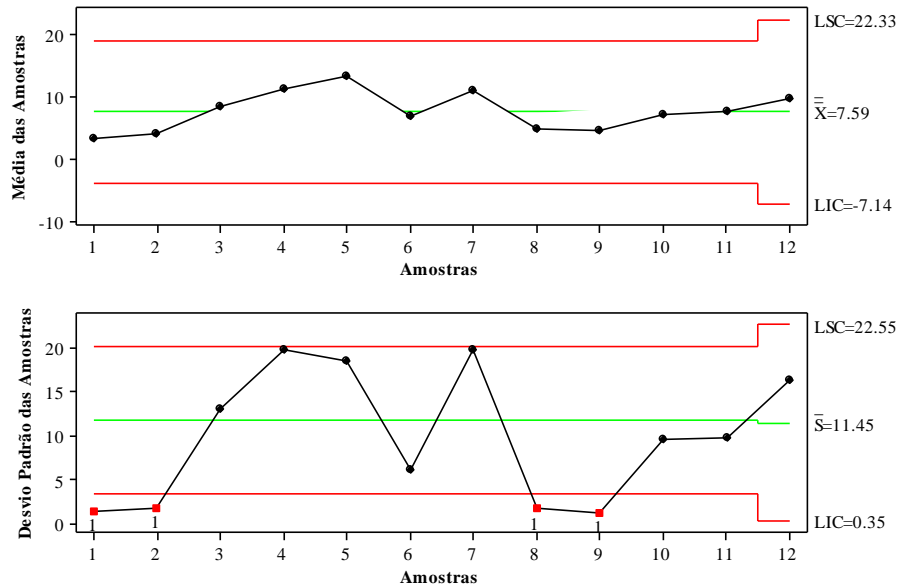


Figura 5. Carta de Controle Xbarra-S, com amostras de tamanhos diferentes.

Na maioria das condições, não é necessário corrigir a não normalidade das observações, a menos que os dados sejam altamente distorcidos. Wheeler (1995) e Wheeler & Chambers (1992) sugerem que não é necessário transformar dados que são usados em cartas de controle, porque cartas de controle funcionam bem em situações em que os dados não são normalmente distribuídos.

## 1.2.Referências bibliográficas

Alessi J, Power JF (1971) Corn emergence in relation to soil temperature and seeding depth. *Agronomy Journal*, Madison, 63: 717-726.

Alves AU, Cardoso EA, Ailixandre TF, Cavalcante ÍHL, Beckmann CMZ (2014) Emergência de plântulas de feva em função de posições e profundidades de semeadura. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 30(1) 33-42.

Badua S, Sharda A, Strasser R, Ciampitti I, Griffin TW (2018) Influence of Planter Downforce Setting and Ground Speed on Seeding Depth and Plant Spacing Uniformity of Corn. In: *Proceedings of 14<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*. Montreal, Quebec, Canada.

- Badua SA, Sharda A, Strasser R, Ciampittu I (2021) Ground speed and planter downforce influence on corn seed spacing and depth. *Precision Agric.*
- Bewley JD, Black M (1978) *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination*. New York: Springer-Verlag, 305 p.
- Bowen HD (1966) Measurement of Edaphic Factors for Determining Planter Specifications. *Transactions of the ASAE*, 9(5): 725-735.
- Bridges RW (2016) Soil-planter interaction force distribution as affected by planting depth setting and planter configuration. *Dissertação (Mestrado)*. College of Agriculture. Auburn University. 169p.
- Brune PF, Ryan BJ, Technow F, Myers DB (2018) Relating planter downforce and soil strength. *Soil & Tillage Research*, Elsevier, 184: 243-252.
- Cassia MT, Silva RP, Chioderolli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. *Ciência Rural* 43: 28–34.
- Coelho FC (1979) Influência da profundidade de semeadura e compressão do solo, na emergência e desenvolvimento inicial da soja (*Glycine max* (L.). *Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP*. 71 p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2020) Acompanhamento da safra brasileira (Grãos) segundo levantamento. 8(2):84p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 06 Jan 2021.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2021) Acompanhamento da safra brasileira (Grãos) quarto levantamento. 8(2):84p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 31 Jan 2021.
- Conceição L, Barreiro P, Dias S, Garrido M, Valero C, Silva J (2016) A partial study of vertical distribution of conventional no-till seeders and spatial variability of seed depth placement of maize in the alentejo region, Portugal. *Precis. Agric.*, 17 (1) (2016), pp. 36-52.

Cortez JW, Carvalho FA, Silva RP, Furlani CEA (2005) Efeito de cargas verticais exercidas sobre rodas compactadoras na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). FAZU em Revista, Uberaba, 2:45-50

Davidson DT (1965) Penetrometer measurements. In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. American Soc. Of Agronomy. Agronomy 9:472-484.

Deere J (2020) Downforce system options. Disponível em: [http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en\\_NA/seeding/2018/feature/row\\_units\\_and\\_drill\\_opener/planters/downforce\\_system.html](http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_NA/seeding/2018/feature/row_units_and_drill_opener/planters/downforce_system.html). Acesso em: 29 Dez 2020.

Einsenberb GR, Pedó T, Aumonde TZ, Villela FA (2014) Vigor e desempenho de crescimento inicial de plantas de soja: efeito da profundidade de semeadura. Enciclopédia Biosfera, 10(18):3081-3092.

EMBRAPA (2008) Árvore de Conhecimento (Soja) – Aspectos a serem considerados. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONT000fxdaw3oc02wyiv80soht9hbe6amyb.html>>. Acesso em: 22 Fev 2021.

FAO - Food And Agriculture Organization (2020a) Faostat. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 03 Jan 2021.

FAO - Food And Agriculture Organization (2020b) Faostat. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 06 Jan 2021.

Ferreira ACB, Lamas FM (2006) Manejo do solo e instalação da cultura do algodoeiro. Campina Grande: Embrapa Circular Técnica 91. 8f.

Fornasieri Filho DA (2001) A cultura do milho. Jaboticabal: FUNEP, 273 p.

Francetto TR (2017) Comportamento operacional de elementos sulcadores de fertilizantes em função da distância dos mesmos para o mecanismo de corte. 152f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFSM, Santa Maria.

Fulton JP, Poncet A, Mcdonald T, Bridges R, Shaw J, Knappenberger TJ, Balkcom KS (2015) Considerations for site-specific implementation of active downforce and

seeding depth technologies on row-crop planters. In: Proceedings of the 73rd Conference, November 6-7, 2015, Hannover, Germany. 2251p:139-145.

Furlani CEA, Lopes A, Rezende LC, Silva SSS, Leite MAS (2001) Influência da compactação do solo na emergência das plântulas de milho a diferentes profundidades de semeadura. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, 9(3):147-53.

Grotta DCC, Furlani CEA, Silva RP, Santos L, Cortez JW, Reis GN (2007) Cultura da soja em função da profundidade de semeadura e da carga vertical sobre fileira de semeadura. *Jaboticabal. Engenharia Agríc.* 27(2): 487-492.

Hanna HM, Steward BL, Aldinger L (2010) Soil loading effects of planter depth-gauge wheels on early corn growth. *Applied Engineering in Agriculture.* 26(4):551- 556.

Hessler CV (2008) Aplicação de controle estatístico de processo na empresa “Metasa” como uma ferramenta de competitividade. 120 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Caixias do Sul, Caixias do Sul.

Howell T, Evett S, Tolk J, Schneider A (2004) Evapotranspiration of full-, deficitirrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains. *J. Irrig. Drain. Eng.* 130: 277–285.

Iqbal M, Marley SJ, Erbach DC, Kaspar TC (1998) An evaluation of seed furrow smearing. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.* 41:1243-1248.

Jing H, Dongxing Z, Yunxia W, Li Y, Chenlong F Huihui Z, Hailiang W, Yaohui Z, Jingchun P, Tao C (2020) Development and performance evaluation of an electro-hydraulic downforce controls system for planter row unit. *Computers and Elec. In Agriculture* 172(5):105380.

Knappenberger T, Koller K (2012) Spatial assessment of the correlation of seeding depth with emergence and yield of corn. *Precision Agriculture* 13:163-180.

Koakoski A, Souza CMA, Rafull LZL, Souza LCF, Reis EF (2007) Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se de dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. *Brasília, Pesq. Agropec. Brasileira* 42(5):725-731.

Kooistra MJ, Schoonderbeek D, Boone FR, Veen BW, Noordwijk M (1992) Van root-soil contact of maize as measured by a thin-section technique. II-effects of soil compaction. *Plant Soil*. 139:119-129.

Liu QW, He XT, Yang L, Zhang DX, Cui T, Qu Z, et al (2017) Effect of travel speed on seed spacing uniformity of corn seed meter. *Int J Agric & Biol Eng*, 10(4): 98–106.

Marcos FJ (2005) *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, 495p,

Minitab (2020a) *Trabalhando com subgrupos em cartas de controle de variáveis*. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/supporting-topics/data/working-with-subgroups-in-variables-control-charts/#what-is-a-subgroup>. Acesso em: Jan 04, 2021.

Minitab (2020b) *Visão geral de carta Xbarra-S*. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/how-to/variables-charts-for-subgroups/xbar-s-chart/before-you-start/overview/>. Acesso em: Jan 04, 2021.

Modolo AJ, Fernandes HC, Schaefer CEG, Silveira JCM (2008) Efeito da compactação sobre a emergência de plântulas de soja em sistema de plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*. 32(4): 1259-1265.

Montgomery DC, Runger GC (2003) *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 463 p.

Montgomery DC (2009) *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. Rio de Janeiro: LTC. 528p.

Morrison JE (1987) Interactive Planter Depth Control and Pneumatic Downpressure System. *Transactions of the ASAE*, 31(1):14-18.

Morrison, JE (1988) Hydraulic downpressure system performance for conservation planting machines. *Trans. ASAE*, 31(1):19-23.

Morrison JE (1989) Factors Affecting Plant Establishment with a No-Tillage Planter 130 Opener. *Applied Engineering in Agriculture*, 5(3):316-318.

Noronha RHF, Silva RP, Chioderoli CA, Santos EP, Cassia, MT (2011) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. *Bragantia* 70: 931–938.

Pommel B (1990) Effects of seed weight and sowing depth on growth and development of maize seedlings. *AGRONOMIE* 10(9): 699-708.

Poncet AM, Fulton JP, McDonald TP, Balkcom KS, Knappenberger T, Shaw JN, Bridges RW (2016) Optimization of standard depth control systems to improve row-crop planter performance in the southeast US. Tese (Doutorado). College of Agriculture. Auburn University. 224p.

Prado RM, Torres JL, Roque CG, Coan O (2001) Semente de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: influência no índice de velocidade de emergência. *Scientia Agrária*. 2(1/2):45-49.

PRECISION PLANTING (2018) Deltaforce operator's guide for gen 3 20|20 displays. Disponível em: <  
<https://cloud.precisionplanting.com/pubs/?view=1xA3Q9ceKbJmJBKNJVInwQaeXw3Q3Fbn>> Acesso em: 06 Jan 2021.

Reis AV (2001) Erros na semeadura. *Pelotas, Cultivar Máquinas*, 2:12-13.

Reis EF, Fernandes HC, Schaefer CEGR, Araújo EC (2004) Avaliação dos mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. *Eng. Na Agricultura*, 12: 212-221. *R. Bras. Ciência do Solo*, 30:777-786.

Sharda A, Badua S, Flippo D, Griffin TW, Ciampitti I (2016) Real-time gauge wheel load variability on planter with downforce control during field operation. In: *Proceedings of 13<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture*. St Louis, Missouri, USA.

Sharda A, Fulton J, Badua S, Terry G, Ciampitti I, Haag L (2017) Planter Downforce Technology for Uniform Seeding Depth. Disponível em: <  
<https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf3331.pdf>>. Acesso em: 06 Jan 2021.

Shareef M, Gui D, Zeng F, Waqas M, Zhang B, Iqbal H (2018) Water productivity, growth, and physiological assessment of deficit irrigated cotton on hyperarid desert-oases in northwest China . *Agricultural Water Manag.* 206:1-10.

Silva RP (2002) Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura nas características agronômicas do milho (*Zea Mays* L.). Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 119p.

Silva PRA (2003) Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Sea mays* L.) no sistema ede plantio direto. Dissertação (Energia na Agricultura). UNESP, Botucatu.

Silva RP, Teixeira FAC, Campos MAO (2004) Efeito da profundidade de semeadura e da carga sobre a roda compactadora no desenvolvimento da soja (*Glycine max*). *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, 12(3): 169-176.

Silva RP, Corá JE, Furlani CEA, Lopes A (2008) 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. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 32(3): 929-937,

Silva RP, Correa CF, Cortez JW, Furlani CEA (2008) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola* 28: 292-304.

Silva RP, Cassia MT, Voltarelli MA, Compagnon AM, Furlani CEA (2013) Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. *Revista Ciência Agronômica* 44: 61-69.

Silva RP, Voltarelli MA (2015) Controle de qualidade em operações agrícolas. In: *Controle de Qualidade em Operações Agrícolas Mecanizadas*. 244p.

Sordi F (2000) Efeito da profundidade de semeadura e compactação do solo sobre a semente na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 50p.

Strasser RS (2017) Development of a test stand for the evaluation of row crop planter automatic downforce systems and the evaluation of a row crop planter electronic drive singulation seed meter. Dissertação (Mestrado) – College of Engineering, Kansas State University, Manhattan. Kansas, 101p.

Toledo A, Tabile RA, Silva RP, Furlani CEA, Magalhães SC, Costa BO (2008) Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. Engenharia Agrícola 28: 710-719.

Virk SS, Porter WM, Li C, Rains GC, Snider JL, Whitaker JR (2020) On-farm evaluation of planter downforce in varying soil textures within grower fields. Precision Agric.

Vizzoto VR (2014) Desempenho de mecanismos sulcadores em semeadora-adubadora sobre os atributos físicos do solo em várzea no comportamento da cultura da soja (Glycine max l). Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFSM, Santa Maria.

Voltarelli MA (2013) Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno. 168 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Unesp, Jaboticabal.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Dalóia JGM, Paixão CSS (2017). Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. Revista Ciência Agronômica 48: 438–447.

Ward LD, Norris CP, Thomas EC (1991) Component interactions in zero-till planters for heavy clay soils of southern Queensland. Soil Tillage Research. 20: 19-32.

Way TR, Kornecki TS, Tewolde H (2018) Planter closing wheel effects on cotton emergence in a conservation tillage system. Applied Engineering in Agriculture (ASABE), 34(1): 177-186.

Wheeler DJ, Chambers DS (1992) Understanding Statistical Process Control, Second Edition, SPC Press, Inc.

Wheeler DJ (1995) Advanced Topics in Statistical Process Control: The Power of Shewhart Charts, SPC Press, Inc.

Yin Y X, Chen LP, Meng ZJ, LiB, Luo CH, Fu WQ (2018) Design and test of precision seeding monitoring system for maize planter. *Int J Agric & Biol Eng*, 11(4):186–192.

## **CAPÍTULO 2 - Interação de forças descendentes aplicadas nas rodas calibradora de profundidade com o solo, emergência e desenvolvimento inicial do milho e algodão**

Luan Pereira de Oliveira, Brenda Valeska Ortiz, Tiago Rodrigo Francetto, Rouverson Pereira da Silva

### **Resumo**

Maquinários agrícolas são um dos principais fatores causadores de mudanças na estrutura do solo. A força vertical efetuada por sistemas de força descendente na linha de semeadura é usada para manter a profundidade alvo ao aplicar pressão na superfície do solo, o que pode aumentar a resistência mecânica à penetração (RMSP) e densidade do solo, diminuindo então o potencial de emergência de crescimento das plantas. Portanto, objetivou-se por meio do presente trabalho, avaliar se a força nas rodas calibradoras de profundidade, gerada por um sistema hidráulico de força descendente, influencia a RMSP e a densidade do solo após a semeadura do milho e algodão nos modos operacional manual e automático, bem como avaliar a emergência e crescimento inicial das culturas. O estudo foi conduzido na Estação Experimental E.V Smith, localizada em Shorter, Alabama, USA. O solo das áreas experimentais foi Franco-arenoso e Franco-argiloso para as culturas do algodão e milho, respectivamente. Utilizou-se uma semeadora John Deere Max Emerge plus equipada com um sistema comercial de força descendente hidráulico para a distribuição dos tratamentos no solo. Uma célula de carga foi instalada em cada unidade de linha para coletar os dados da roda reguladora aplicada para a verificação das forças descendentes. Para cada modo operacional (Manual e Automático) do mecanismo, níveis de forças verticais foram testados: Sem Força Descendente, Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto para os modo automático e manual totalizando onze tratamentos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. As variáveis analisadas foram RMSP, densidade do solo na camada de 0-15 e 0-5 cm, respectivamente, bem como emergência e altura de plantas 30 dias após a semeadura (DAS). A avaliação foi feita por estatística descritiva, ANOVA e, quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O índice de cone e a densidade do solo não apresentaram diferenças significativas em relação aos tratamentos. A emergência de plântulas foi incrementada com o aumento de forças verticais para a cultura do milho em solo franco-argiloso. A emergência do algodão não foi afetada pelas forças verticais. A altura de plantas de milho e algodão aos 30 DAS são influenciadas por forças aplicadas na linha de semeadura.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão, downforce, *Gossypium hirsutum* L, *Zea mays*.

## Abstract

Agricultural machinery are one of the main factors that causes soil structure changes. The vertical force applied by downforce systems is used to maintain the target depth by applying pressure to the soil surface, which can increase the soil mechanical resistance to penetration (SMRP) and soil density, thus decreasing the potential for emergence and plant growth. Therefore, the objective with this study was to evaluate if the force on the depth gauge wheels, generated by a hydraulic downforce system, influences the SMRP and soil bulk density after corn and cotton sowing using manual and automatic operational modes. As well as evaluate crop emergence and early growth. The study was conducted at the E.V Smith Research Center, in Shorter, Alabama, USA. The soil in the experimental areas was sandy loam and clay loam for cotton and corn crops, respectively. A John Deere Max Emerge plus planter equipped with a commercial hydraulic down force system was used. A load cell was installed on each row unit to collect applied downforce data. For each operational mode (Manual and Automatic) of the downforce system, vertical force levels were tested: No Down Force, Very Low, Low, Medium, High and Very High for the automatic and manual modes totaling eleven treatments. The experimental design was a random complete blocks with four replications. The analyzed variables were RMSP, soil bulk density in the 0-15 and 0-5 cm layer, respectively, as well as emergence and plant height 30 days after sowing (DAS). The evaluation was performed using descriptive statistics, ANOVA and, when significant, the means were compared using the Tukey test at 5% probability. The cone index and the density of the soil did not show significant differences in relation to the treatments. Seedling emergence was increased with the increase of vertical loads for corn in clay loam soil. Cotton emergence was not affected by vertical loads. The height of corn and cotton plants at 30 DAS are influenced by applied downforces.

**Key words:** Precision agriculture, downforce, *Gossypium hirsutum* L, *Zea mays*.

## 2.1. Introdução

Boa parte dos custos da produção agrícola estão presentes na implantação de uma cultura, sendo este atrelado à aquisição de sementes devido ao pagamento de *royalties* associados às tecnologias transgênicas presentes no produto. Sendo assim, o processo de semeadura deve ser criteriosamente conduzido para minimizar os desperdício destes insumos. Neste caso, a emergência de plântulas e o

crescimento inicial de uma cultura tornam-se importantes indicadores para verificar se processo de semeadura foi bem desenvolvido.

Muitas variáveis podem causar atraso na emergência de plântulas, sendo que a profundidade de semeadura ideal, juntamente a outros fatores como teor de água do solo e oxigênio disponíveis dentro do sulco, potencializam a germinação e conseqüentemente, elevam a velocidade na qual as plântulas emergem. Alguns autores relatam que a pressão aplicada pelas rodas compactadoras ajuda a criar melhor contato entre a semente com o solo, incrementando germinação e emergência, mas a utilização de excessivas forças verticais causam encrostamento superficial do solo, retardando a emergência das plântulas (Kooistra et al. 1992; Prado et al. 2001; Modolo et al. 2008).

Além da pressão gerada pelas rodas compactadoras, existe também a distribuição de forças verticais em toda a linha. Este sistema é denominado mecanismo de força descendente, popularmente conhecido entre os agricultores como pressão na linha de semeadura. Sharda et al. (2017) relatam que a reação do solo para cada força aplicada é distribuída entre os discos sulcadores, rodas calibradoras de profundidade e rodas compactadoras, e esta distribuição é variável de acordo com o tipo de solo.

Dentre os produtos comerciais disponíveis, o sistema de distribuição de força na linha de semeadura com maior destaque é o hidráulico, pois apresenta vantagem de determinar a forma de aplicação das forças verticais em modos manual ou automático. O primeiro modo aplica as cargas de forma fixa, não levando em consideração a interação do solo com os dispositivos ativos da semeadora, enquanto o segundo controla o fluxo hidráulico de forma a aplicar as forças de maneira uniforme, considerando a variabilidade do solo. Badua et al. (2018), avaliando as forças descendentes distribuídas por um sistema de força descendente hidráulico em modo fixo e automático, concluíram que o uso de controle automático não somente promoveu melhor uniformização da aplicação das forças, mas também a melhorou na qualidade da semeadura de forma a reduzir a quantidade de falhas.

Existem também relatos de que a emergência de plântulas é afetada por cargas verticais distribuídas em toda a linha de semeadura. Hanna et al. (2010) verificaram

que o incremento das forças verticais é uma boa alternativa para incrementar a emergência do milho quando em situações de semeadura atrasada e em reduzida umidade disponível no solo. Para a cultura do algodão entretanto, em que a semeadura é efetuada de forma convencional (com preparo prévio do solo), a utilização de forças descendentes consideradas médias ou altas pode ser prejudicial à emergência da cultura (Virk et al. 2020).

A distribuição da força vertical sobre as rodas calibradoras de profundidade gera pressão na superfície de contato com o solo em que, juntamente com contato dos discos sulcadores com a parede interior do sulco, podem causar maior resistência à penetração da parede do sulco, também conhecido como “*sidewall compaction*” (Hanna et al. 2010). Segundo alguns autores, este fenômeno pode retardar a emergência e enraizamento das culturas, prejudicando o crescimento das plantas (Iqbal et al. 1998; Way et al. 2018).

Partindo do pressuposto de que o incremento da resistência mecânica à penetração e densidade do solo, bem como a emergência e crescimento das culturas estão atreladas à cargas aplicadas pelo sistema de força na linha de semeadura, objetivou-se por meio do presente trabalho verificar se ocorrem mudanças significativas na densidade e resistência mecânica do solo após a semeadura, entre diferentes níveis de cargas aplicadas pelo sistema de força descendente em dois modos de operação, bem como se a emergência e o crescimento inicial das culturas do milho e algodão são influenciados pelas forças verticais.

## **2.2. Material e métodos**

O presente trabalho contou com dois experimentos distintos, ambos desenvolvidos na Estação Experimental E.V. Smith (Farm Services Unit) em Shorter, Alabama, Estados Unidos, próximos às coordenadas 32°26'46"N, 85°54'15"W e altitude média de 120 m. Os principais práticas agrônômicas de cada experimento são apresentados abaixo:

- Experimento 1: milho híbrido DK6208, semeado em 2 de abril de 2020, com 3,8 cm de profundidade desejada e densidade populacional de 90.000

sementes  $\text{ha}^{-1}$  em solo com textura Franco-Argilosa (30% de Areia, 29% de Argila e 41% de Silte). Foi efetuada gradagem leve no solo anteriormente à semeadura na camada 0-18 cm.

- Experimento 2: algodão híbrido DP1646B2XF, semeado em 2 de maio de 2020, com 3,8 cm de profundidade e densidade populacional de 90.000 sementes  $\text{ha}^{-1}$  em solo com textura Franco-Arenosa (81% de Areia, 14% de Argila e 5% de Silte). Prior à semeadura, não houve preparo prévio do solo, a cultura foi implantada por meio de Sistema Plantio Direto (sem a presença de resíduos vegetais).

De acordo com a Classificação Climática de Köppen, o clima do estado do Alabama é considerado como subtropical húmido, com médias anuais de temperatura e precipitação próximas a  $18^{\circ}\text{C}$  e 1400 mm, respectivamente. Os climogramas da época de ambos os experimentos podem ser verificados na Figura 1 (A e B).

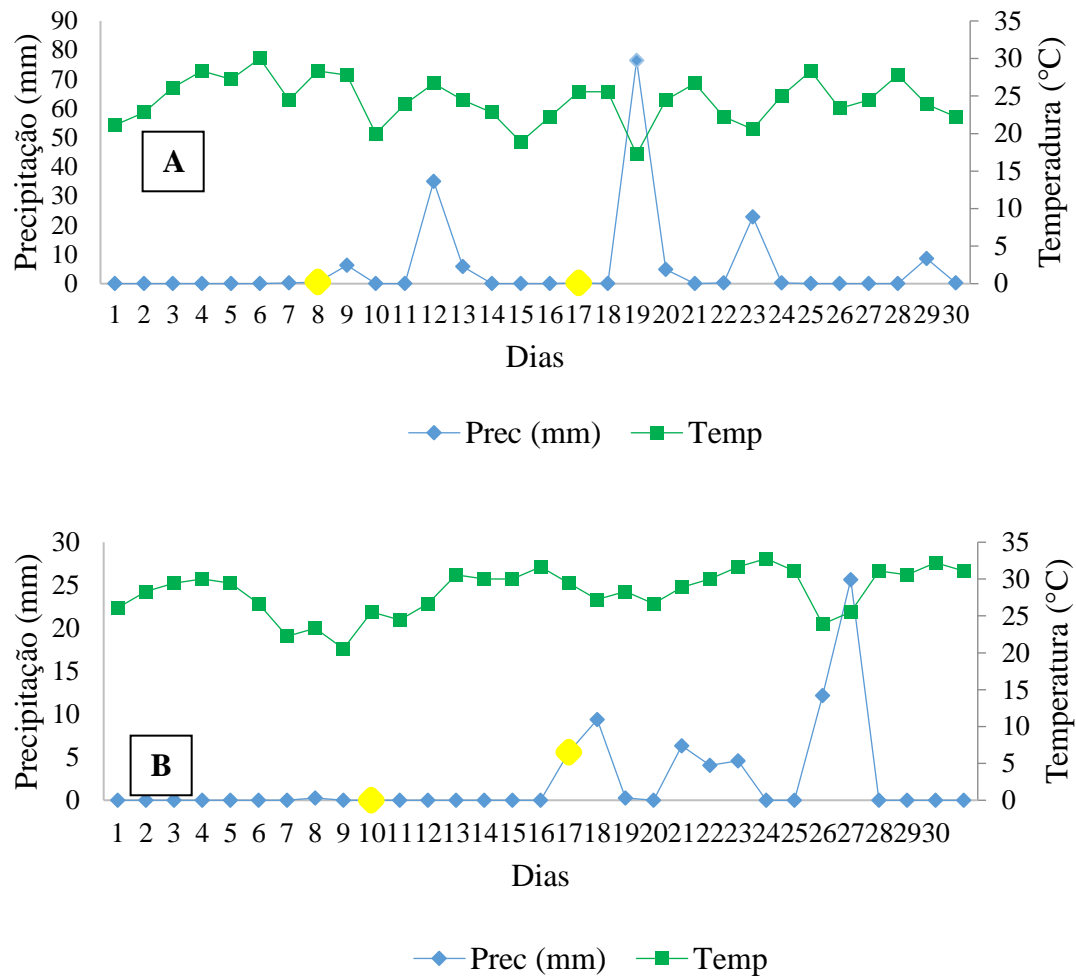


Figura 1. Climograma da época de semeadura e acompanhamento de emergência referentes aos experimentos: A) Experimento Milho (Abril/2020); B) Experimento com Algodão (Maio/2020). Pontos amarelos indicam os dias inicial e final da contagem da emergência de plântulas.

Ambos os experimentos foram semeados utilizando um conjunto motomecanizado constituído de um trator John Deere 6145R 4x2 TDA (John Deere, IL, USA), com potência máxima de 141 kW (192 cv) no motor e uma semeadora John Deere MaxEmerge Plus (John Deere, IL, USA), com 6 unidades de semeadura espaçadas em 91 cm (sistema de dosagem com auxílio pneumático). O conjunto foi guiado por um sistema de piloto automático John Deere StarFire 6000 (John Deere, IL, USA) utilizando sinal de correção RTK e conectado por meio do Monitor 20|20 3ª geração e manteve-se em velocidade de 8 km h<sup>-1</sup> durante o experimento. Cada unidade de semeadura foi equipada com um mecanismo de pressão hidráulico Delta Force® (Precision Planting, IL, USA), representado pela Figura 2.

A força descendente oriunda do sistema e aplicada nas rodas calibradoras de profundidade durante o plantio foram monitoradas com o auxílio da células de carga instaladas no mecanismo de controle de profundidade. Os mecanismos dosadores de sementes, bem como os tubos condutores de sementes utilizados foram Precision Planting VDrive® e BullsEye respectivamente (Precision Planting, IL, USA).



Figura 2. Sistema de força descendente hidráulico em linha instalado na unidade de semeadura.

Os valores máximos de força descendente do mecanismo hidráulico utilizado são de 867 N para o modo automático e aproximadamente 2800 N para o modo manual. Forças descendentes de 0, 550, 1100 e 1800 N são comumente utilizadas pelos produtores devido às configurações de um sistema comercial que utiliza molas incompressíveis (Poncet et al. 2018). Portanto, partindo dos valores máximos do sistema utilizado, bem como da utilização das forças comumente utilizadas pelos produtores, determinou-se seis níveis de forças verticais para os dois modos de operação: sem força descendente, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Modo de Operação	Descrição/Abreviação	Força (N)
Sem Força Descendente*	SDF	-
Modo Manual (M)	Muito Baixo / MB-M	444
	Baixo / BX-M	534
	Médio / MED-M	667
	Alto / AT-M	890
	Muito Alto / MA-M	1112
Modo Automático (A)	Muito Baixo / MB-A	444
	Baixo / BX-A	534
	Médio / MED-A	667
	Alto / AT-A	756
	Muito Alto / MA-A	868

\*Sistema de força em linha desligado.

A determinação do teor de água (TAS) do solo foi realizada com a utilização da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (coloque aqui o modelo, fabricante, cidade?, estado, país), na camada de 0 a 8 cm (Tabela 2) após a semeadura, utilizando-se sonda TDR FieldScout 300 Meter da empresa Spectrum Technologies (Spectrum Inc, IL, USA), devidamente calibrada de acordo com o manual do fabricante. Os valores de TAS se referem à média de seis pontos amostrais coletados dentro da parcela.

Tabela 2. Teor de água do solo (TAS) após a semeadura.

Modo de Operação	Tratamento	TAS (%)	
		Experimento 1 (Milho)	Experimento 2 (Algodão)
Modo Manual	SDF	12,7	7,5
	MB-M	12,1	6,7
	BX-M	14,1	7,4
	MED-M	14,6	7,2
	AT-M	14,1	6,9
	MA-M	14,0	6,6
Modo Automático	MB-A	13,4	7,1
	BX-A	13,4	7,5
	MED-A	14,8	6,3
	AT-A	13,8	8,1
	MA-A	12,1	6,5

**MB:** Muito Baixo; **BX:** Baixo; **MED:** Médio; **AT:** Alto; **MA:** Muito Alto; **SDF:** Sem Força Descendente; **(M):** Modo Manual; **(A):** Modo Automático

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi obtida por meio do uso de um penetrômetro digital ultrassônico (Rimik Agricultural Electronics). Em cada parcela do experimento foram coletadas seis amostras de RMSP após a semeadura, efetuando-se mensuração no rastro da roda calibradora de profundidade na camada 0-15 cm do solo em intervalos de 1 cm.

A densidade do solo foi obtida por meio da coleta de amostras indeformadas na camada 0-4 cm (profundidade de semeadura). Foi coletada uma amostra por parcela pelo método do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 1997), utilizando-se cilindros de 250 cm<sup>3</sup>. As amostras foram coletadas no local onde houve pressão da roda calibradora de profundidade para com o solo (rastro).

A contagem da emergência de plantas iniciou-se logo após o crescimento da primeira folha verdadeira, sendo a contagem interrompida quando a porcentagem de plântulas emergidas foi menor que 1% em relação ao dia anterior. A avaliação ocorreu por meio do índice de velocidade de emergência proposto por Maguire (1962), que representa a rapidez na qual as plantas de cada tratamento emergiram sendo calculado por meio da equação (1).

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

Em que:

IVE: índice de velocidade de emergência

E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>: número de plântulas normais contabilizadas na primeira, segunda e última avaliação respectivamente

N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>: número de dias entre a primeira, segunda e última avaliação respectivamente.

A altura de plantas foi obtida para ambas as culturas aproximadamente a 30 dias após a semeadura (DAS). Para a cultura do milho, a mensuração foi obtida entre o perfil superficial do solo e o ponto de inflexão da folha posterior à última folha verdadeira seguindo metodologia proposta por Sharma et al. (2016). Para o algodão, a altura das plantas foi obtida entre a distância do perfil superficial do solo e o ápice das plantas.

O delineamento experimental seguiu esquema de blocos casualizados com quatro repetições para cada tratamento, totalizando 44 parcelas para cada experimento. Utilizou-se metodologia proposta por Krall et al. (1977) o qual utilizou parcelas constituídas por 3 m de comprimento em linha da semeadora para averiguação do espaçamento entre plantas após a semeadura. Cada parcela foi constituída por 3 m de comprimento em 3 linhas da semeadora (linhas 3, 4, e 5) (Figura 3), totalizando área amostral total de aproximadamente 8 m<sup>2</sup>.

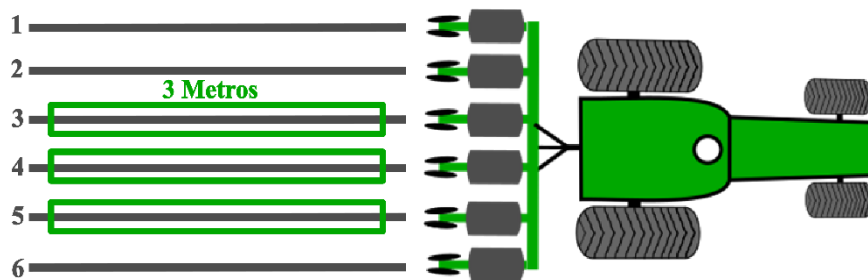


Figura 3. Características de definição das unidades experimentais.

Foi efetuada análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade, por meio do uso do software estatístico R (R Core Team, 2019) e, quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 2.3. Resultados e discussão

#### Resultados e discussão relacionados ao experimento 1 (Milho)

Observa-se por meio da Figura 4 A que a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) para o solo estudado (franco-argiloso) e para modo manual, demonstrou valores maiores ao se utilizar forças descendentes muito baixas, baixas e médias em profundidades superiores a 5 cm. Porém, na profundidade de semeadura configurada (0 a 3,8 cm), esta variável entre os tratamentos em modo manual manteve-se próxima. Em modo automático (Figura 4 B), a resistência mecânica do solo à penetração também manteve-se próxima entre os tratamentos na profundidade

de semeadura configurada, porém, em profundidades maiores a força vertical alta e baixa apresentaram maiores valores de RMSP.

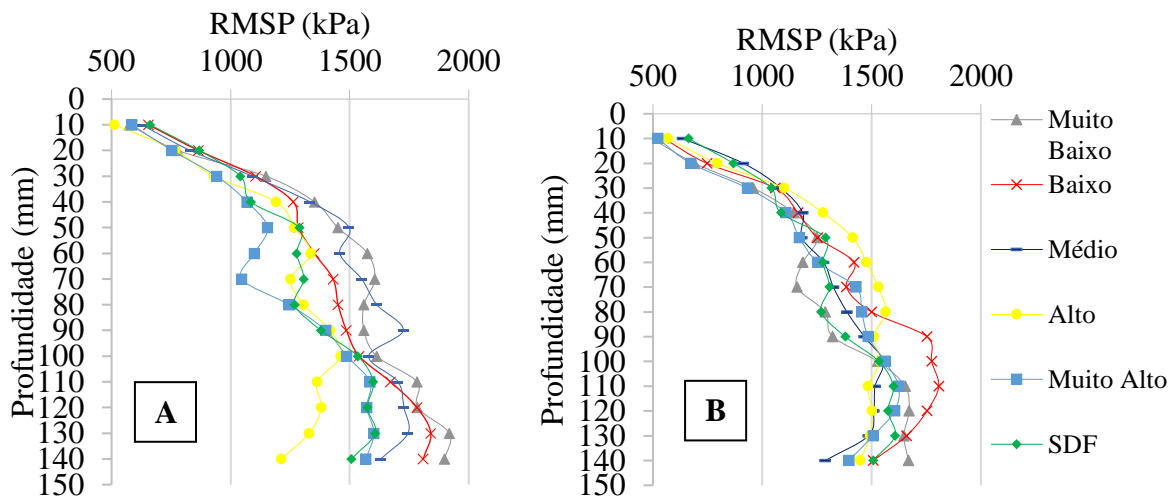


Figura 4. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) para o Experimento 1 em modo manual (A) e automático (B) de operação.

Jing et al. (2020) estudaram o impacto de forças verticais na semeadura em solos previamente preparados e sob plantio direto e relataram incremento na média da RMSP principalmente após 3 cm de profundidade quando houve preparo prévio do solo, porém, quando não houve preparo (plantio direto), não foi observado diferença entre os resultados. Os resultados apresentados por esses autores corroboram com os do presente trabalho, devido ao fato de que as cargas aplicadas não influenciaram na região onde a semente é depositada. Além disso, quando houve o aumento das forças verticais, ocorreu também incremento do índice de cone, o que não foi observado para o presente trabalho. Streck et al. (2004), verificando o incremento da RMSP após o tráfego de máquinas agrícolas pesadas em Sistema Plantio Direto, relataram que só existiu diferença para a RMSP do solo após 4 passagens do maquinário pelo mesmo lugar em relação a zero passagens, resultados estes que também corroboram com os do presente trabalho.

Ao observar a Tabela 3, verificou-se que para a cultura do milho houve diferença estatística apenas para o índice de velocidade de emergência (IVE) e altura de plantas. Resultados semelhantes foram observados por Hanna et al. (2010) para a emergência do milho.

Tabela 3. Análise de Variância para as variáveis analisadas.

	Densidade do Solo	IVE	Altura de Plantas
F	1,13	2,48	4,90
Valor – p	0,38 <sup>ns</sup>	0,01*	0,00**

IVE: Índice de velocidade de emergência; \*: Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>: Não significativo.

A densidade do solo (Tabela 4) não apresentou diferença estatística entre todos os tratamentos e modos de operação e demonstrou, em sua maioria, valores mais baixos quando utilizou-se forças verticais baixas ou muito baixas em modo manual, bem como quando o mecanismo não esteve ligado (SDF). Os coeficientes de variação para a densidade foram considerados como baixos e médios de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009), em modo manual de operação quando houve aumento das forças verticais a variabilidade diminuiu.

Devido ao fato que a densidade não diferiu entre os tratamentos testados (principalmente quando comparando-se quando da não utilização do sistema), é possível confirmar que a aplicação de forças verticais não necessariamente aumenta a densidade do solo. Modolo et al. (2009), verificando o impacto de forças descendentes correspondentes a 0, 50, 90 e 140 N também observaram que a densidade do solo não foi modificada entre os tratamentos testados.

Tabela 4. Teste de médias para as variáveis analisadas.

Tratamento	Densidade do Solo (g cm <sup>-3</sup> )		IVE		Alturas de Plantas (cm)	
	$\bar{X}$	C.V. (%)	$\bar{X}$	C.V. (%)	$\bar{X}$	C.V. (%)
MB-M	1,45 a	10,0	8,7 ab	52,0	18,4 b	6,8
BX-M	1,40 a	8,4	8,7 ab	48,1	19,5 b	12,3
MED-M	1,40 a	13,0	8,6 ab	50,7	18,9 b	10,4
AT-M	1,49 a	4,8	11,1 ab	62,2	21,0 ab	10,7
MA-M	1,51 a	4,6	13,1 a	48,7	24,0 a	15,2
MB-A	1,51 a	8,5	6,2 b	63,9	17,9 b	7,7
BX-A	1,60 a	7,8	6,7 ab	63,6	19,5 b	8,4
MED-A	1,56 a	6,5	7,6 ab	53,5	18,8 b	8,4
AT-A	1,46 a	6,9	7,4 ab	40,7	20,7 ab	10,7
MA-A	1,57 a	10,6	8,1 ab	55,9	20,1 ab	7,7
SDF	1,35 a	4,2	6,2 b	42,3	17,7 b	8,0

$\bar{X}$ : Média; **C.V. (%)**: Coeficiente de Variação; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático. Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 ou 1% de probabilidade.

Quanto ao índice de velocidade de emergência (IVE) (Tabela 4), as forças descendentes muito altas em modo manual foram estatisticamente maiores em comparação com forças verticais muito baixas em modo automático ou SDF. Resultados estes que corroboram com os de Hanna et al. (2010) que verificaram que a velocidade de emergência depende das forças verticais aplicadas, porém, também da umidade do solo. Em solo com condições de umidade próximas as do presente trabalho, a emergência foi incrementada com o aumento das forças aplicadas. Por outro lado, Karayel e Sarauskis (2011) verificaram que o tempo médio em dias para a emergência foi incrementado com o aumento das cargas aplicadas no solo; Porém, os autores verificaram que a porcentagem total de emergência foi maior quando forças equivalentes a 1400 N foram utilizadas em relação à 680 N. Vale ressaltar também que a emergência das plântulas também dependem da qualidade e vigor de um lote de sementes. A variabilidade na emergência foi considerada muito alta para todos os tratamentos verificados de acordo com Pimentel-Gomes (2009).

O crescimento inicial de plantas, representado pela altura 30 dias após a semeadura (Tabela 4), apresentou comportamento semelhante à emergência de plântulas, no qual ao aplicar forças verticais muito altas em modo manual contra o solo, houve incremento na altura de plantas comparando-se às condições nas quais utilizou-se forças médias, baixas e muito baixas, o que também pode ser observado pela Figura 5. Os resultados do presente trabalho diferem dos de Silva et al. (2004), em que não verificaram diferenças para a altura do milho aplicando diferentes forças verticais nas rodas compactadoras. Os autores verificaram diferenças entre a altura de plantas submetidas a pressões aplicadas pelas rodas compactadoras apenas quando relacionadas à profundidade de semeadura, no qual semeando em profundidades próximas a 7 cm, a altura de plantas foi reduzida. Modolo et al. (2011), também não verificaram impacto da pressão causada pelas rodas compactadoras no solo para altura de plantas de feijão. Vale ressaltar que a maior força aplicada no presente trabalho foi de aproximadamente 1000 N a mais do que os trabalhos acima citados, o que pode ter influenciado para o melhor contato da semente com o solo, conseqüentemente em melhor germinação, emergência e desenvolvimento.

A variação dos resultados foi maior em situação a qual aplicou-se forças verticais muito altas tanto em modo automático quanto modo manual de operação.

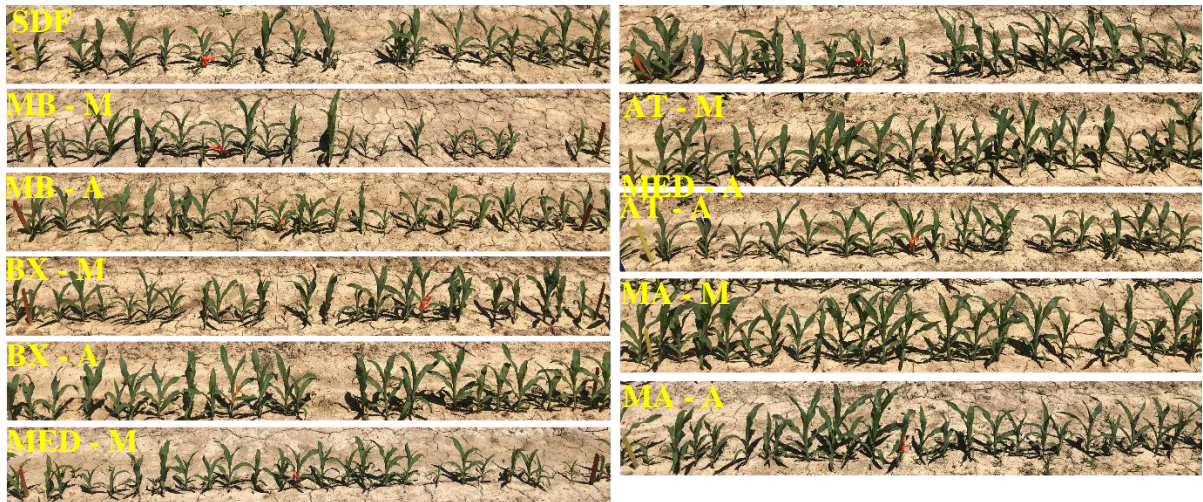


Figura 5. Plantas de milho 35 dias após a semeadura.

Segundo Brown et al. (1996), a redução da macroporosidade dentro do sulco gerada pela compactação, melhora o contato da semente com o solo dentro do leito de semeadura. Outro fator que pode estar atrelado a isso, é que, segundo Sharda et al. (2017), em solos franco-argilosos a força de reação do solo para com as rodas calibradoras de profundidade é de aproximadamente 30% da força total aplicada, sendo que o restante fica presente nos discos sulcadores; esta força de reação reduz o contato dos órgãos da semeadora com o solo e conseqüentemente reduzindo também o contato da semente com o leito de semeadura.

Portanto, a maior altura de plantas verificada para o tratamento no qual foi aplicado a maior força vertical (Tabela 4 e Figura 4) pode estar relacionada à melhora do contato da semente para com o solo provocada pela força, o que influenciou primeiramente para melhor emergência.

## Resultados e discussão relacionados ao experimento 2 (Algodão)

No cenário da semeadura do algodão em solo franco-arenoso, a RMSP (Figura 6 A e B) após a aplicação das forças em modo manual e automático, apresentou comportamento semelhante à semeadura do milho em solo franco-argiloso (Figura 4 A e B), na qual dentro da profundidade configurada para a semeadura a RMSP mantêve-se próxima entre todos os tratamentos, porém, em modo manual Figura 6 A

forças verticais altas e médias representaram valores mais elevados de RMSP, bem como em modo automático, o tratamento Muito Alto proporcionou maior resistência do solo à penetração.

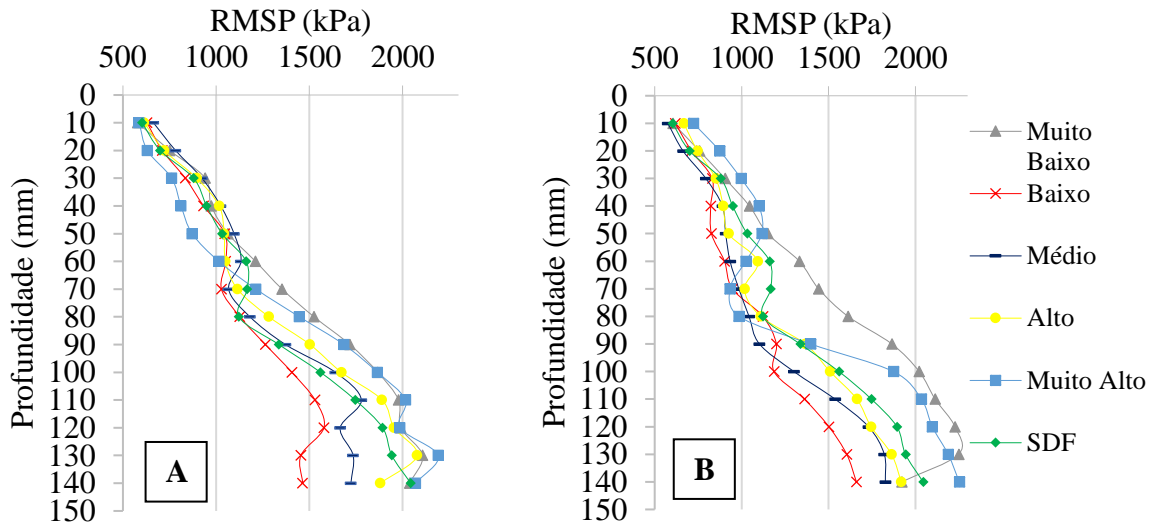


Figura 6. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) para o Experimento 2 em modo manual (A) e automático (B) de operação.

Não houve diferença para as variáveis densidade do solo e índice de velocidade de emergência no experimento conduzido para a cultura do algodão em solo franco-arenoso (Tabela 5), porém, na variável altura de plantas os resultados diferiram entre si. Pongelluppi (1979), avaliando diferentes profundidades de semeadura (3, 4 e 5 cm) e diferentes forças (87, 147 e 207 N) na cultura do algodão, observou que não houve diferença estatística na porcentagem de emergência e nem para o número médio de dias para a emergência para as forças verticais, o que corrobora com o presente experimento.

Tabela 5. Análise de Variância para as variáveis analisadas.

	Densidade do Solo	IVE	Altura de Plantas
F	0,49	0,91	4,80
Valor - p	0,88 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>**</sup>

\*: Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>: Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A densidade do solo não foi estatisticamente diferente entre todos os tratamentos testados (Tabela 6). O coeficiente de variação para a variável densidade

foi considerado como médio apenas no tratamento MED-A, sendo a variabilidade em todos os outros tratamentos considerada como baixa. Reis et al. (2006) também não observaram diferenças para a densidade do solo utilizando diferentes cargas verticais.

Ao verificar os resultados relacionadas ao IVE, observou-se que o maior valor observado (mesmo não havendo diferença significativa) ocorreu no tratamento AT-M. Observou-se também que em modo automático, os melhores valores de IVE foram verificados quando as forças verticais foram muito baixas ou baixas (MB-A e BX-A). Cortêz et al. (2005) também não verificaram diferenças entre forças verticais aplicadas na semeadura do algodão para a emergência. Os autores verificaram que não existiu diferença significativa para a velocidade de emergência do algodão comparando forças de 0, 100, 150 e 200N. Virk et al. (2020) também verificando a distribuição de forças verticais (0, 555 e 1110 N) utilizando sistema de força descendente mecânico (molas) em semeadura convencional e sistema hidráulico (0, 445 e 890 N) em semeadura direta não verificaram diferenças na emergência do algodão (1, 2 e 3 semanas após a semeadura) em solos com baixa condutividade elétrica (solos arenosos), o que coincide com os resultados do presente trabalho.

Tabela 6. Teste de médias para as variáveis analisadas.

Tratamento	Densidade do Solo (g cm <sup>-3</sup> )		IVE		Alturas de Plantas (cm)	
	$\bar{X}$	C.V. (%)	$\bar{X}$	C.V. (%)	$\bar{X}$	C.V. (%)
MB-M	1,43 a	9,6	14,9 a	12,0	17,4 a	9,5
BX-M	1,32 a	4,1	14,9 a	20,1	16,7 ab	8,6
MED-M	1,33 a	9,7	14,7 a	16,9	14,9 abcd	8,9
AT-M	1,39 a	7,1	16,6 a	11,4	13,4 cd	14,6
MA-M	1,41 a	6,4	14,9 a	10,6	13,8 bcd	19,6
MB-A	1,40 a	7,5	16,0 a	14,5	14,2 abcd	22,1
BX-A	1,32 a	9,2	15,2 a	17,8	16,5 abc	8,4
MED-A	1,31 a	11,5	15,5 a	15,2	14,5 abcd	15,5
AT-A	1,40 a	4,8	14,5 a	13,6	14,1 abcd	7,2
MA-A	1,42 a	6,9	14,9 a	21,5	16,0 abc	5,6
SDF	1,38 a	8,3	14,6 a	15,1	12,8 d	12,4

$\bar{X}$ : Média; **C.V. (%)**: Coeficiente de Variação; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático. Letras diferentes na coluna diferem entre si a 5 e 1 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

De maneira geral quando utilizou-se forças verticais altas ou muito altas em modo manual de operação (AT-M e MA-M), a altura de plantas de algodão foi

reduzida, comparando-se ao cenário de quando utilizou-se o tratamento MB-M (444 N) (Tabela 6). Verificou-se também que os tratamentos (MB-M, BX-M, BX-A, MA-A) foram maiores e estatisticamente diferentes em relação ao tratamento sem força descendente (SDF).

Hemmat e Khashoei (2000) verificando o impacto da presença, ausência e distância das rodas compactadoras perante ao sulco na semeadura do algodão em um solo franco-argiloso, relataram que rodas compactadoras distantes do sulco promoveram uma maior profundidade de semeadura, bem como menor altura das plantas. Virk et al. (2020), ao verificar impactos de forças descendentes em condições variáveis de solo na profundidade de semeadura de sementes de milho, atribuíram mudanças na profundidade de semeadura à insuficiências nas cargas verticais. Tais resultados indicam que as diferenças encontradas para a altura de plantas do algodão apresentados no presente experimento podem estar relacionadas à profundidade de semeadura, em que a profundidade de semeadura é aumentada conforme se aumenta as forças verticais e portando, prejudicando a emergência de plantas. No entanto, ainda é necessário o desenvolvimento de estudos para verificar o efeito das cargas verticais na semeadura do algodão nas profundidades de semeadura.

## **2.4. Conclusões**

Forças verticais consideradas muito baixas (444 N), Baixas (534 N), Médias (667 N), Altas (890 N) ou Muito Altas (1112 N) em modo manual, bem como Muito Baixas, Baixas, Médias, Altas (756 N) ou Muito Altas (868 N) em modo automático não influenciam a densidade de solos franco-argilosos previamente preparados ou solos franco-arenosos em Sistema Plantio Direto.

As mesmas forças verticais não influenciam na resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) na camada superficial do solo (0-5 cm).

Na semeadura de milho em solo franco-argiloso, o incremento de cargas verticais beneficia a emergência e altura de plantas quando comparado a cargas muito baixas ou quando não aplica-se forças verticais.

A emergência de plântulas de algodão semeado a 3,8 cm não é afetada por forças verticais distribuídas na linha de semeadura.

Na semeadura de algodão em solo franco-arenoso a altura de plantas é influenciada por cargas verticais, sendo necessário um estudo mais apurado entre forças e profundidades.

## **2.5. Agradecimentos**

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

## **2.6. Referências bibliográficas**

Badua S, Sharda A, Strasser R, Ciampitti I, Griffin TW (2018) Influence of Planter Downforce Setting and Ground Speed on Seeding Depth and Plant Spacing Uniformity of Corn. In: Proceedings of 14th International Conference on Precision Agriculture. Montreal, Quebec, Canada.

Brown AD, Dexter AR, Chamen WCT, Spoor G (1996) Effect of soil macroporosity and aggregate size on see-soil contact. *Soil and Tillage Research*, 38(3-4):203-216.

Cortez JW, Carvalho FA, Silva RP, Furlani CEA (2005) Efeito de cargas verticais exercidas sobre rodas compactadoras na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). *FAZU em Revista*, Uberaba, 2:45-50

EMBRAPA (1997) Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed.rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

Hanna HM, Steward BL, Aldinger L (2010) Soil loading effects of planter depth-gauge wheels on early corn growth. *Applied Engineering in Agriculture*. 26(4):551- 556.

Hemmat A, Khashoei AA (2000) Effect of planting equipment and crust breaking method on cotton emergence. In: XIV Memorial CIGR World Congress. Proceedings of the xiv memorial cigr world congress 2000, Tusukuba, Japan. CIGR p. 493-498.

Iqbal M, Marley SJ, Erbach DC, Kaspar TC (1998) An evaluation of seed furrow smearing. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.* 41:1243-1248.

Jing H, Dongxing Z, Yunxia W, Li Y, Chenlong F, Huihui Z, Hailiang W, Yaohui Z, Jingchun P, Tao C (2020) Development and performance evaluation of an electro-hydraulic downforce controls system for planter row unit. *Computers and Elec. In Agriculture* 172(5):105380.

Karayel D, Sarauskis E (2011) Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy sand soils. *Agricultural Engineering*, 43(3):16-24.

Kooinstra MJ, Schoonderbeek D, Boone FR, Veen BW, Noordwijk M (1992) Van root-soil contact of maize as measured by a thin-section technique. II-effects of soil compaction. *Plant Soil*. 139:119-129.

Krall JM, Esechie HA, Raney RJ, Clark S, TenEyck G, Lundquist M, Humburg NE, Axthelm LS, Dayton AD, Vanderlip RL (1977) Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield. *Agronomy Journal*. 69(5): 797–799.

Maguire JD (1962) Speed germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci, Madison*. 2:176-177.

Modolo AJ, Fernandes HC, Naime JM, Silveira JCM, Schaefer CEG, Santos NT (2006) Efeitos da umidade do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora na densidade do solo na linha de semeadura. *Revista Ceres, Viçosa*, 56(5):627-633.

Modolo AJ, Fernandes HC, Schaefer CEG, Silveira JCM (2008) Efeito da compactação sobre a emergência de plântulas de soja em sistema de plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*. 32(4): 1259-1265.

Modolo AJ, Trogello E, Nunes AL, Silveira JCM, Kolling EM (2011) Efeito da compactação do solo sobre a sementes no desenvolvimento da cultura do feijão. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 33(1): 89-95.

Pimentel-gomes F (2009) *Curso de estatística experimental*. 15. Ed, Piracicaba: Fealq, 451 p.

Poncet AM, Fulton JP, McDonald TP, Knappenberger T, Shaw JN, Bridges R (2018) Effect of heterogeneous field conditions on corn seeding depth accuracy and uniformity. *Applied Engineering in Agriculture*. 34(5): 819-830.

Pongeluppi JB (1979) Influência da profundidade de semeadura e compressão do solo, na emergência e desenvolvimento inicial do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) var. IAC-17. 53 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal.

Prado RM, Torres JL, Roque CG, Coan O (2001) Semente de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: influência no índice de velocidade de emergência. *Scientia Agrária*. 2(1/2):45-49.

Reis EF, Schaefer CEG, Fernandes C, Naume JM, Araujo EF (2006) Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 30:777-786.

Sharda A, Fulton J, Badua S, Terry G, Ciampitti I, Haag L (2017) Planter Downforce Technology for Uniform Seeding Depth. Disponível em: <<https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf3331.pdf>>. Acesso em: 06 Jan 2021.

Sharma LK, Bu H, Franzen DW, Denton A (2016) Use of corn height measured with an acoustic sensor improves yield estimation with ground based active optical sensors. 124, 254-262.

Silva RP, Teixeira FAC, Campos MAO (2004) Efeito da profundidade de semeadura e da carga sobre a roda compactadora no desenvolvimento da soja (*Glycine max*). *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, 12(3): 169-176.

Streck CA, Reinert DJ, Reichert JM, Kaiser DR (2004) Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural, Santa Maria*. 34(3):755-760.

Virk SS, Porter WM, Snider JL, Whitaker JR, Rains GC, Li CC (2020) Influence of seeding rate, planter downforce and cultivar on crop emergence and yield in singulated and hill-dropped cotton. *The journal of cotton science* 24:137-147.

Virk SS, Fulton JP, Porter WM, Pate GL (2020) Row-crop planter requirements to support variable-rate seeding of maize. *Precision Agriculture*, 21:603–619.

Virk SS, Porter WM, Li C, Rains GC, Snider JL, Whitaker JR (2020) On-farm evaluation of planter downforce in varying soil textures within grower fields. *Precision Agriculture*, 1-23.

Way TR, Kornecki TS, Tewolde H (2018) Planter closing wheel effects on cotton emergence in a conservation tillage system. *Applied Engineering in Agriculture (ASABE)*, 34(1): 177-186.

### **CAPÍTULO 3 - Qualidade da distribuição de forças verticais pelo mecanismo de força descendente hidráulico e impactos na profundidade de semeadura e emergência do milho e algodão**

Luan Pereira de Oliveira, Brenda Valeska Ortiz, Tiago Rodrigo Francetto, Carlos Eduardo Angeli Furlani, Rouverson Pereira da Silva

#### **Resumo**

Os sistemas de força descendente hidráulico ativo ajuda a manter a força nas rodas calibradoras de profundidade em unidades de semeadura individuais, utilizando-se de forças fixas (modo manual) e ajustando automaticamente as cargas de acordo com a variabilidade do campo (modo automático). Objetivou-se por meio do presente trabalho verificar se a qualidade operacional da semeadura é influenciada com a utilização dos modos de força descendente automático ou manual em comparação com a não utilização do sistema, bem como, verificar se a variabilidade criada por cinco níveis de força descendente em ambos os modos operacionais pode influenciar a deposição de sementes de algodão e milho. O estudo foi conduzido na Estação Experimental de E.V Smith em Shorter, Alabama, EUA. Utilizou-se uma semeadora John Deere Max Emerge Plus equipada com um sistema de força descendente comercial. As variáveis foram nível de força descendente, profundidade de semeadura e emergência. Para cada modo operacional (Manual e Automático), níveis de força foram testados: Sem Força Descendente, Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, totalizando onze tratamentos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e os dados foram coletados ao longo do tempo, de acordo com as especificações do Controle Estatístico de Processos (CEP). A variabilidade do processo de semeadura foi avaliada pelos gráficos de controle I-MR e Xbar-S. Os resultados mostraram que mais pontos fora de controle foram encontrados ao usar forças descendentes mais baixas e o maior número de pontos fora de controle foi verificado ao não usar força descendente, o que significa que quanto maior a carga, mais uniforme será a operação. O processo de semeadura relacionado à aplicação de forças foi mais uniforme quando o modo automático foi usado em comparação com o modo manual e ambos exibiram melhor qualidade quando comparados a nenhum uso de forças descendentes. Verificou-se que quanto maior foi a carga aplicada, houve incremento da uniformidade na profundidade de semeadura para ambas culturas.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão, downforce, semeadura.

## **Abstract**

The active hydraulic downforce systems help to maintain the load on the depth gauge wheels on individual row units, using fixed forces (manual mode) and automatically adjusting the loads according to field variability (automatic mode). The objective of this work was to verify if the operational quality of sowing is reduced with the use of automatic or manual downforce modes compared to control, as well as to verify if the variability created by five levels of downward forces in both operational modes can influence the seeding depth of cotton and corn seeds. The study was conducted at the E.V Smith Research Center in Shorter, Alabama, USA. A John Deere Max Emerge Plus planter was equipped with a commercial downforce system. The variables were downforce level, seeding depth and emergence. For each operational mode (Manual and Automatic) of the downforce system, vertical force levels were tested: No Down Force, Very Low, Low, Medium, High and Very High for the automatic and manual modes totaling eleven treatments. The experimental design was a complete random blocks with four replications and data was collected through time, according to the specifications of the Statistical Process Control (SPC). The variability of planting process was evaluated by the I-MR and XBar-S control charts. The results showed that more out-of-control points were found when using lower loads and the greater number of outliers was found when not using downforce, which means that the greater the load, the more uniform the operation will be. The sowing process related to forces application was more uniform when the automatic mode was used in comparison with manual mode and both showed better quality when compared to no downforce use. It was found that the greater the load applied, there was an increase in the seeding depth uniformity for both crops.

**Keywords:** Precision agriculture, downforce, sowing

### **3.1. Introdução**

Com o avanço constante das tecnologias no setor agrícola, sensores e mecanismos são utilizados em conjunto durante a semeadura para inserir a semente no sulco de forma a atingir a profundidade desejada e buscar o adequado contato com o solo. Ortolani et al. (1986) apontaram que a temperatura do sulco, a umidade e o oxigênio são fundamentais para a germinação das sementes, e esses podem ser utilizados como fatores de qualidade do sulco. Ainda, Silva (2002) destacou que a

profundidade de semeadura é outro fator importante que deve ser levado em consideração para a emergência.

Um dos mecanismos que vêm ajudando os produtores a manter a profundidade de semeadura desejada é o mecanismo de força descendente e linha. O sistema consiste na aplicação de força em sentido vertical para que a unidade de semeadura seja impulsionada contra o solo, evitando a flutuação, com o intuito de manter os discos sulcadores em profundidade constante. Neste mecanismo, a força exercida pode ser aplicada de forma hidráulica (fluido incompressível), pneumática (fluido compressível) ou mecânica (mola helicoidal). O mecanismo hidráulico permite, por meio do computador de bordo no trator, selecionar o modo de operação, no qual podem ser pré-configurados como automático ou manual. O primeiro tem como característica o ajuste dinâmico da magnitude de força e sentido de aplicação de acordo com as necessidades de cada linha em relação a variabilidade textural do terreno, enquanto que no modo manual, a força é definida pelo operador e não considera a condição textural do solo (Precision Planting, 2018).

Vários sistemas de força descendente ativos estão sendo desenvolvidos para controlar a quantidade de força aplicada, que pode se alterar devido às variações texturais de solo (Brune et al. 2018). Os mesmos autores relatam ainda que, quantitativamente, a força descendente total (FDT) da semeadora representa o somatório das forças mecânicas necessário para deslocar o solo, de modo a criar o sulco no qual as sementes serão depositadas. Os dois principais componentes da FDT são a massa do equipamento relativo a uma unidade de linha individual, denominado popularmente de peso morto (PM), e outra fonte de força aplicada à unidade de semeadura.

Como mencionado anteriormente, a distribuição espacial da textura em um campo pode afetar diretamente na variabilidade da distribuição das forças verticais, pois, a FDT ideal é distribuída de forma diferente para os discos sulcadores, rodas calibradoras de profundidade e rodas compactadoras conforme a condição textural do solo (Sharda et al. 2017). Segundo esses autores, a alta variabilidade textural pode acarretar em uma má distribuição de forças descendentes, interferindo na

profundidade de deposição das sementes e, conseqüentemente, afetando a emergência das plântulas.

Alguns estudos já constataram que o incremento das forças do mecanismo força descendente em linha afeta positivamente a profundidade de semeadura (Karayel & Sarauskis 2011, Virk et al. 2020), bem como que o aumento de forças descendentes incrementa ou diminui a porcentagem de plântulas emergidas quando submetidas a diferentes condições climáticas (Hanna et al. 2010).

Análises utilizando ferramentas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) abordando o assunto da variabilidade na distribuição de forças verticais pelo sistema de força descendente hidráulico ainda são escassos, apesar de que essa ferramenta tem sido amplamente aplicada para operações agrícolas mecanizadas (Silva et al. 2008, Toledo et al. 2008, Noronha et al. 2011, Cassia et al. 2013, Voltarelli et al. 2017).

Portanto, este trabalho parte do pressuposto de que o sistema de forças descendentes ativo (automático) proporciona distribuição de força mais uniforme em relação ao modo fixo (manual), e que, independentemente da força aplicada, ou do modo escolhido, o sistema favorece a redução da variabilidade da profundidade de semeadura e da emergência das plântulas de milho e de algodão.

Desta forma, objetivou-se por meio do presente estudo, avaliar e compreender a distribuição de forças descendentes pelo sistema, nos modos de operação manual e automático, bem como a variabilidade causada na profundidade de semeadura e emergência de plântulas de milho, em solo com textura franco-argilosa, e algodão em solo com textura franco-arenosa.

### **3.2. Material e métodos**

O presente trabalho contou com dois experimentos distintos, ambos desenvolvidos na Estação Experimental E.V. Smith (Farm Services Unit) em Shorter, Alabama, Estados Unidos, próximos às coordenadas 32°26'46"N, 85°54'15"W e altitude média de 120 m. Os principais práticas agrônômicas de cada experimento são apresentados abaixo:

- Experimento 1: milho híbrido DK6208, semeado em 2 de abril de 2020, com 3,8 cm de profundidade desejada e densidade populacional de 90.000 sementes ha<sup>-1</sup> em solo com textura Franco-Argilosa (30% de Areia, 29% de Argila e 41% de Silte). Foi efetuada gradagem leve no solo anteriormente à semeadura na camada 0-18 cm.
- Experimento 2: algodão híbrido DP1646B2XF, semeado em 2 de maio de 2020, com 3,8 cm de profundidade e densidade populacional de 90.000 sementes ha<sup>-1</sup> em solo com textura Franco-Arenosa (81% de Areia, 14% de Argila e 5% de Silte). Prior à semeadura, não houve preparo prévio do solo, a cultura foi implantada por meio de Sistema Plantio Direto (sem a presença de resíduos vegetais).

De acordo com a Classificação Climática de Köppen W. (1948), o clima do estado do Alabama é considerado como subtropical húmido, com médias anuais de temperatura e precipitação próximas a 18°C e 1400 mm, respectivamente. Os climogramas da época de ambos os experimentos podem ser verificados na Figura 1 (A e B).

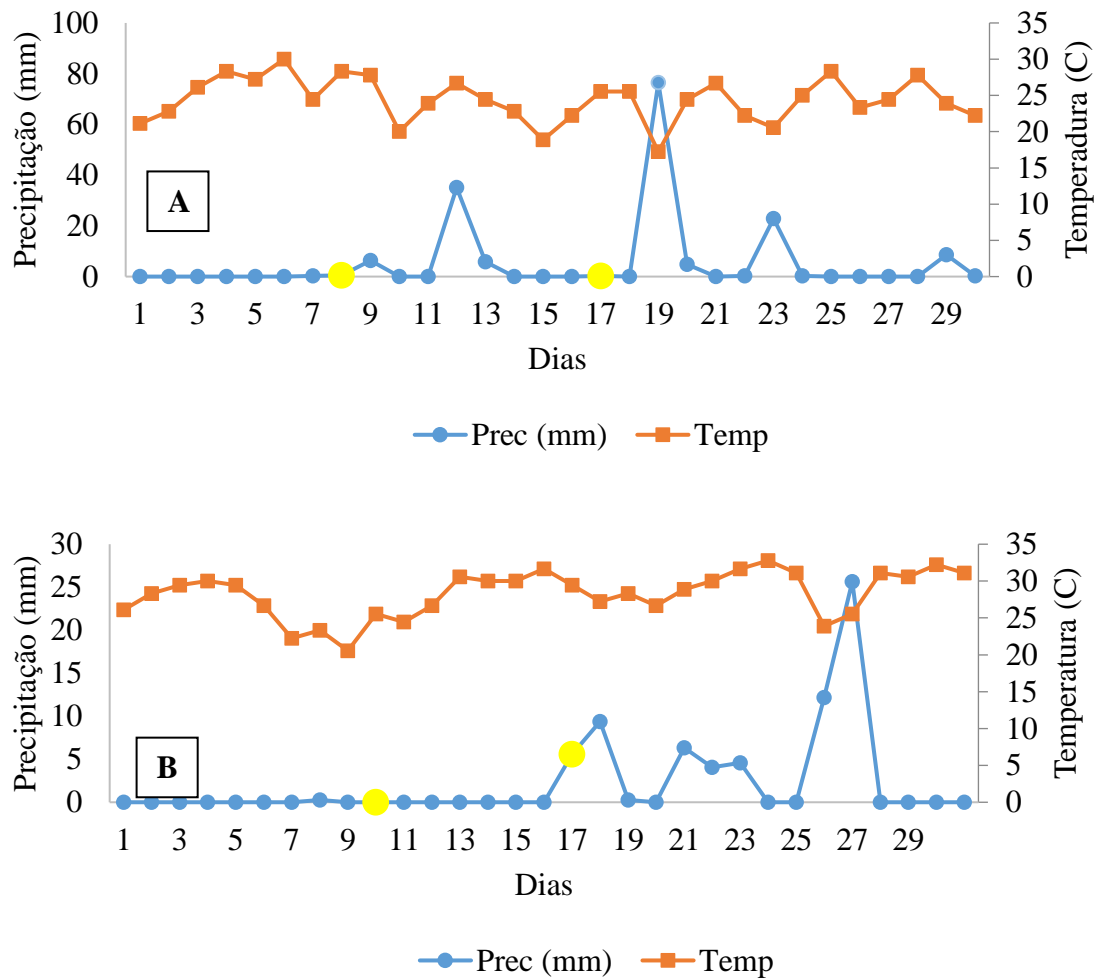


Figura 1. Climograma da época de semeadura e acompanhamento de emergência referentes aos experimentos. A) Experimento Milho (Abril/2020); B) Experimento com Algodão (Maio/2020). Pontos amarelos indicam os dias inicial e final da contagem da emergência de plântulas.

Ambos os experimentos foram semeados utilizando um conjunto motomecanizado constituído de um trator John Deere 6145R 4x2 TDA (John Deere, IL, USA), com potência máxima de 141 kW (192 cv) no motor e uma semeadora John Deere MaxEmerge Plus (John Deere, IL, USA), com 6 unidades de semeadura espaçadas em 91 cm (sistema de dosagem com auxílio pneumático). O conjunto foi guiado por um sistema de piloto automático John Deere StarFire 6000 (John Deere, IL, USA) utilizando sinal de correção RTK e conectado por meio do Monitor 20|20 3ª geração e manteve-se em velocidade de 8 km h<sup>-1</sup> durante o experimento. Cada unidade de semeadura foi equipada com um mecanismo de pressão hidráulico Delta Force® (Precision Planting, IL, USA), representado pela Figura 2.

A força descendente oriunda do sistema e aplicada nas rodas calibradoras de profundidade durante o plantio foram monitoradas com o auxílio da células de carga instaladas no mecanismo de controle de profundidade. Os mecanismos dosadores de sementes, bem como os tubos condutores de sementes utilizados foram Precision Planting VDrive® e BullsEye respectivamente (Precision Planting, IL, USA).



Figura 2. DeltaForce Precision Planting situado na unidade de semeadura.

A profundidade real e massa de cada unidade de semeadura foi verificada anteriormente à operação. Por meio da utilização de uma régua graduada, mensurou-se a distância entre a superfície de contato das rodas calibradoras de profundidade com o solo e a extremidade dos discos sulcadores (Figura 3). Utilizando-se uma balança eletrônica com precisão de 0,5 kg verificou-se a massa de cada unidade de semeadura. A massa média das unidades de semeadura foi de 143 kg.

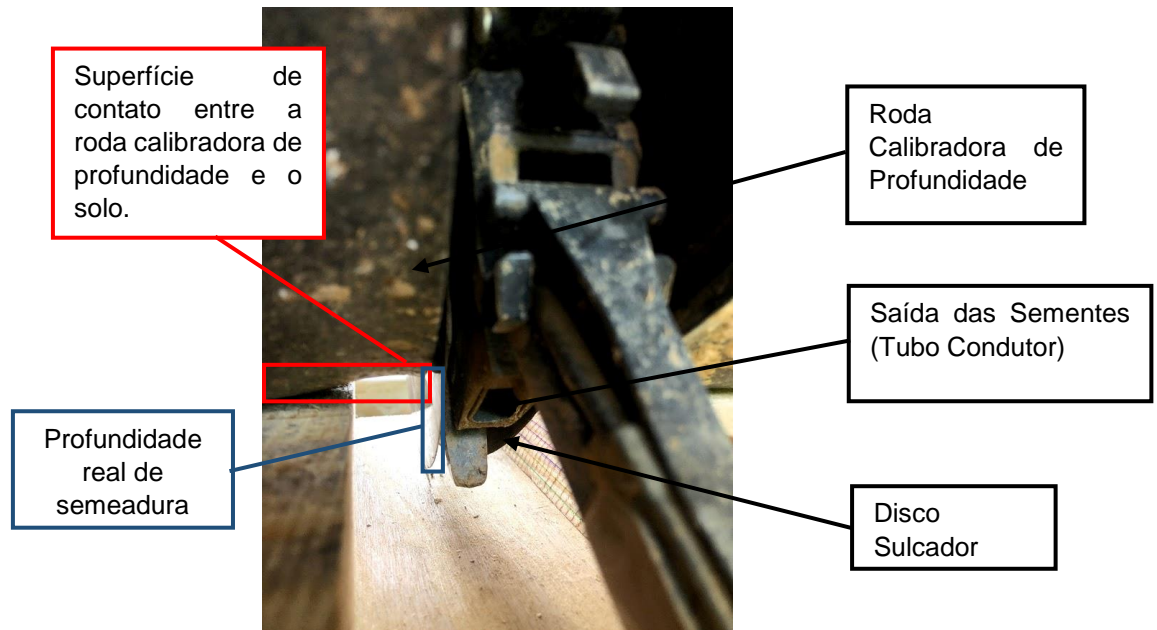


Figura 3. Caracterização da profundidade real de semeadura

Os valores máximos de força descendente do mecanismo hidráulico utilizado são de 867 N para o modo automático e aproximadamente 2800 N para o modo manual. Forças descendentes de 0, 550, 1100 e 1800 N são comumente utilizadas pelos produtores devido às configurações de um sistema comercial que utiliza molas incompressíveis (Poncet et al. 2018). Portanto, partindo dos valores máximos do sistema utilizado, bem como da utilização das forças comumente utilizadas pelos produtores, determinou-se seis níveis de forças verticais para os dois modos de operação: sem força descendente, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Modo de Operação	Descrição/Abreviação	Força (N)
Modo Manual (M)	Muito Baixo / MB-M	444
	Baixo / BX-M	534
	Médio / MED-M	667
	Alto / AT-M	890
	Muito Alto / MA-M	1112
Modo Automático (A)	Muito Baixo / MB-A	444
	Baixo / BX-A	534
	Médio / MED-A	667
	Alto / AT-A	756
	Muito Alto / MA-A	868
Sem Força Descendente*	SDF	-

\*Sistema de força em linha desligado.

A determinação do teor de água (TAS) do solo foi realizada com a utilização da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (coloque aqui o modelo, fabricante, cidade?, estado, país), na camada de 0 a 8 cm (Tabela 2) após a semeadura, utilizando-se sonda TDR FieldScout 300 Meter da empresa Spectrum Technologies (Spectrum Inc, IL, USA), devidamente calibrada de acordo com o manual do fabricante. Os valores de TAS se referem à média de seis pontos amostrais coletados dentro da parcela.

Tabela 2. Teor de água do solo (TAS) após a semeadura.

Modo de Operação	Tratamento	TAS (%)	
		Experimento 1 (Milho)	Experimento 2 (Algodão)
Modo Manual	MB-M	12,1	6,7
	BX-M	14,1	7,4
	MED-M	14,6	7,2
	AT-M	14,1	6,9
	MA-M	14,0	6,6
Modo Automático	MB-A	13,4	7,1
	BX-A	13,4	7,5
	MED-A	14,8	6,3
	AT-A	13,8	8,1
	MA-A	12,1	6,5
	SDF	12,7	7,5

Após a extração dos dados pelo computador de bordo das máquinas os mesmos foram processados por meio do software computacional QGIS no qual foram removidas as bordaduras (30 m) das superfícies superior e inferior referentes às passadas do trator restando apenas o centro de cada passada (100 m) (Figuras 4 A, B, C e D).

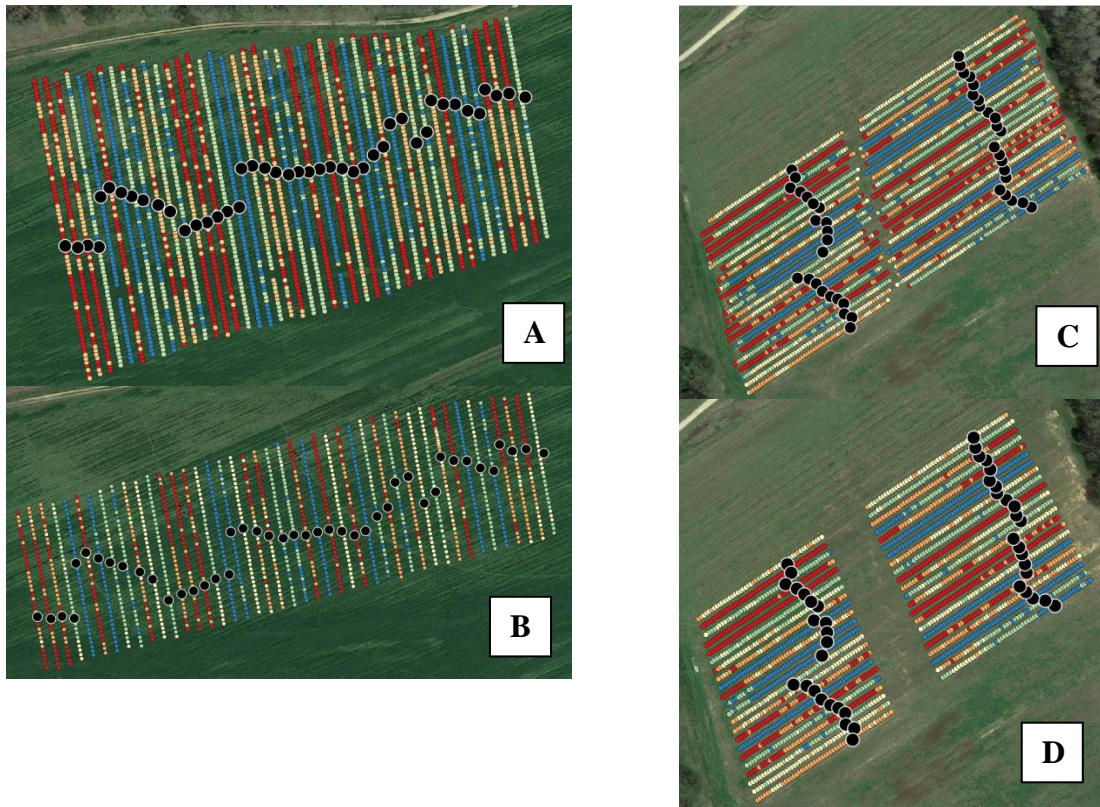


Figura 4. Disposição das áreas amostrais.

**A:** Distribuição de forças verticais durante a semeadura do milho (Sem remoção das bordaduras); **B:** Distribuição de forças verticais durante a semeadura do milho (Bordaduras removidas); **C:** Distribuição de forças verticais durante a semeadura do algodão (Sem remoção das bordaduras); **D:** Distribuição de forças verticais durante a semeadura do algodão (Bordaduras removidas). Linhas representam os tratamentos aplicados (Distribuição de força vertical no solo); Círculos pretos representam as localidades das parcelas.

A profundidade de semeadura foi avaliada um dia após a operação por meio da abertura de um metro longitudinal de sulco em cada parcela, utilizando-se uma régua graduada mediu-se a distância entre a semente e o perfil superficial do solo, ao total foram efetuadas aproximadamente 350 medições.

A emergência foi quantificada por meio da contagem diária de plântulas consideradas emergidas a partir da manifestação da primeira folha verdadeira. Iniciou-se a contagem a partir da primeira plântula emergida, e concluiu-se a contagem quando a população foi incrementada menos de 1%, comparando-se com o dia anterior de acordo com metodologia proposta por Hanna et al. (2010). Ao final, efetuou-se o cálculo da porcentagem de plântulas emergidas, comparando com a esperada.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições para cada tratamento, totalizando 44 parcelas. A distribuição das parcelas foi efetuada por meio da metodologia proposta por Krall et al. (1977) o qual utilizou parcelas constituídas por 3 metros de comprimento em linha da semeadora para averiguação do espaçamento entre plantas após a semeadura. No caso do presente experimento, utilizou-se as linhas 3, 4, e 5 da máquina para a distribuição das parcelas, totalizando área amostral total de aproximadamente 8 m<sup>2</sup> (Figura 5). As avaliações no presente experimento foram efetuadas de acordo com as premissas do Controle Estatístico de Processos (CEP) no qual os dados foram coletados ao longo do tempo.

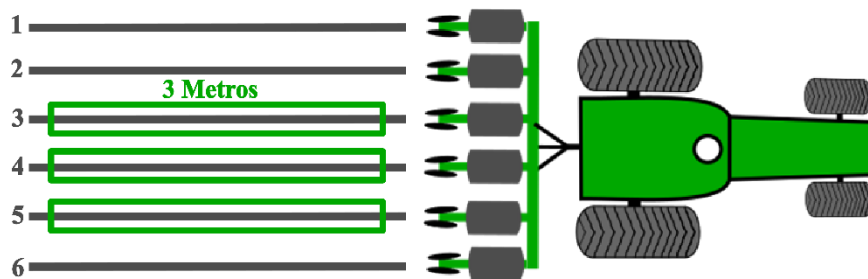


Figura 5. Características de definição das unidades experimentais.

Para a análise da qualidade da operação, inicialmente foram gerados gráficos sequenciais para permitir a visualização de padrões de não aleatoriedade no processo.

O processo de distribuição de forças verticais, devido à quantidade de observações coletadas pelas células de carga foi avaliado por meio da utilização de cartas de controle de subgrupos (Xbar-S). A qualidade profundidade de semeadura e porcentagem de emergência de plântulas foram avaliados por meio de cartas de controle de valores individuais e amplitude móvel (I-MR). Ambas as cartas são formadas por uma linha central que representa a média geral dos dados, e por duas outras linhas, que representam os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC, respectivamente) (Montgomery, 2009). Os subgrupos da cartas de controle Xbar-S foram gerados utilizando-se dez observações de força descendente.

Foram inseridos também nas cartas de controle de valores individuais Limites Específicos de Controle Superior e Inferior (LSEC e LIEC, respectivamente) para a variável profundidade de semeadura, no qual foram adicionados 0,5 cm acima e abaixo da profundidade desejada (profundidade alvo) para os LSEC e LIEC, respectivamente.

### 3.3. Resultados e discussão

#### Resultados e discussão relacionados ao experimento 1 (Milho)

Ao valiar os padrões de não aleatoriedade por meio do resumo dos gráficos sequenciais (Tabela 3) foi possível verificar que os tratamentos Baixo e Muito Alto no modo de operação manual apresentaram padrões de agrupamento e tendência. Sendo assim, o padrão de tendência sugere que houve incremento ou diminuição sustentada das forças no processo, bem como grupos de observações acima ou abaixo da média. Tais padrões também sugerem a ocorrência de alguma causa especial extrínseca ao processo, podendo estar atrelada aos fatores 6M's (Máquina, Mão de Obra, Material, Meio Ambiente, Método, Medição) (Montgomery, 2009).

Tabela 3. Padrões de não aleatoriedade para a variável forças descendentes aplicada durante a semeadura do milho em solo com textura franco-argilosa.

Tratamento	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
MB-M	0,21	0,79	0,14	0,87
BX-M	0,01**	0,99	0,00**	1,0
MED-M	0,40	0,60	0,60	0,41
AT-M	0,09	0,90	0,14	0,86
MA-M	0,00**	1,00	0,00**	1,00
MB-A	0,09	0,90	0,33	0,67
BX-A	0,22	0,79	0,33	0,67
MED-A	0,09	0,91	0,14	0,86
AT-A	0,40	0,60	0,81	0,19
MA-A	0,61	0,15	0,14	0,86
SDF	0,30	0,70	0,66	0,33

**MB:** Muito Baixo; **BX:** Baixo; **MED:** Médio; **AT:** Alto; **MA:** Muito Alto; **SDF:** Sem Força Descendente; **(M):** Modo Manual; **(A):** Modo Automático.

Ao observar as forças descendentes aplicadas na semeadura do milho (Tabela 4), observou-se que os valores aplicados pelo modo manual foram maiores em

relação ao modo automático nos tratamentos em que foram selecionadas as mesmas configurações BX, BA e MED (444, 534, 667 N, respectivamente), o que pode estar atrelado pelo fato de que a força criada pelo modo manual é fixa, e não considera a variabilidade do solo, criando em alguns pontos forças maiores que o necessário. A ocorrência de forças maiores, pode estar atrelada à não necessidade da quantidade de força pelo sistema para criar o sulco, sendo assim, a força disponível nas rodas calibradoras de profundidade foi incrementada. O modo automático considera a variabilidade do solo, fazendo com que a força disponível esteja a todo momento próxima do desejado.

De acordo com Pimentel-Gomes (2009), os coeficientes de variação foram muito baixos para todas as variáveis analisadas. Os Coeficientes de Assimetria (Cs) mantiveram-se próximos de zero para MB-M; BX-M; MA-M; BX-A e MA-A, indicando grau de assimetria pequeno e distribuição uniforme em ambos os lados da média. Os demais tratamentos apresentaram grau de assimetria moderado, com assimetria à direita (AT-M; AT-A e SDF), indicando que o processo tem tendência para produzir valores de forças maiores que a média observada, enquanto que para MED-M; MB-A e MED-A a assimetria foi negativa, ou seja, ocorreu maior frequência dos dados com valores de forças de baixos que a média.

Tabela 4. Estatística Descritiva para a variável forças descendentes aplicadas na semeadura do milho em solo franco-argiloso.

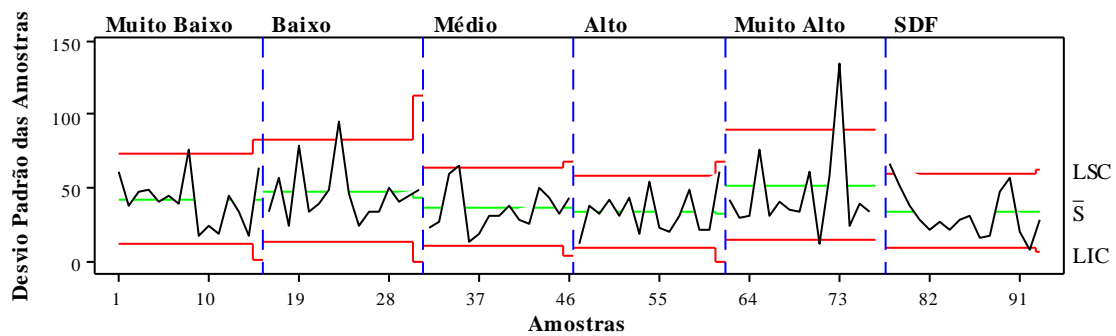
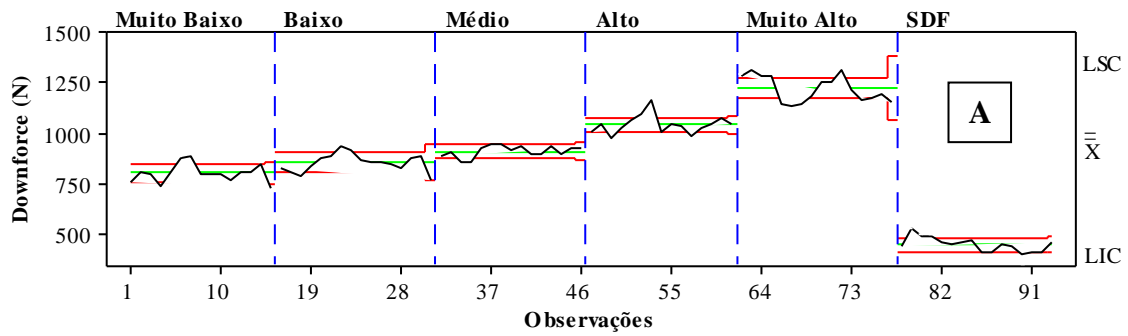
Tratamento	Força (N)	$\bar{X}$ (N)	C.V (%)	Cs	Ck	Ryan-Joiner (P-Valor)
MB-M	444	840,7	7,3	0,05	0,23	>0,1 <sup>N</sup>
BX-M	534	858,5	7,2	-0,05	0,00	>0,1 <sup>N</sup>
MED-M	667	911,9	5,0	-0,90	2,44	<0,01 <sup>NN</sup>
AT-M	890	1040,9	5,3	0,40	0,16	0,05 <sup>NN</sup>
MA-M	1112	1223,3	6,6	0,01	-0,73	0,09 <sup>NN</sup>
MB-A	444	455,0	6,8	-0,20	-0,10	>0,1 <sup>N</sup>
BX-A	534	462,0	6,7	0,10	-0,49	>0,1 <sup>N</sup>
MED-A	667	690,0	6,0	-0,60	2,28	<0,01 <sup>NN</sup>
AT-A	756	751,8	5,0	0,20	0,32	>0,1 <sup>N</sup>
MA-A	868	854,1	4,2	0,06	-0,72	>0,1 <sup>N</sup>
SDF	-	446,0	8,5	0,50	1,34	<0,01 <sup>N</sup>

**Força:** Força descendente pré-fingurada;  $\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático; <sup>N</sup>: Distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner (P-valor >0,1); <sup>NN</sup>: Distribuição não normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner (P-valor <0,1).

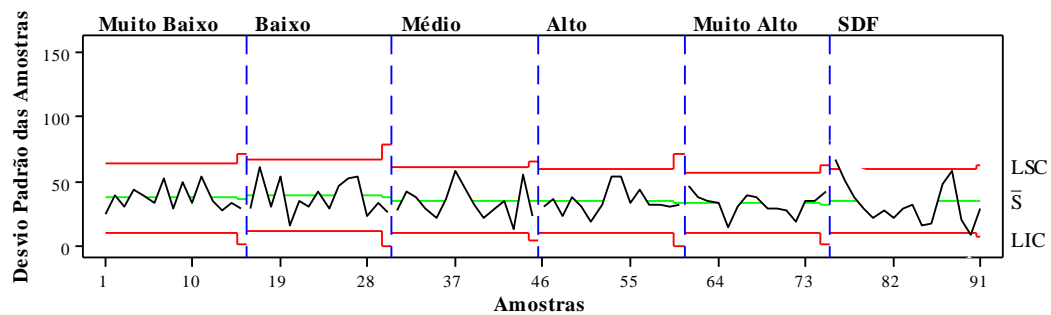
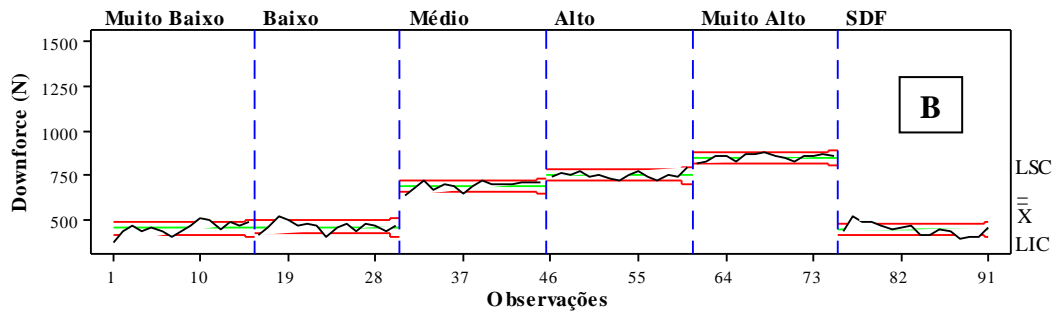
Com exceção do tratamento BX-M, que apresentou grau de achatamento de curva mesocúrtica ( $C_k=0$ ), os demais tratamentos em modo de operação manual apresentaram curvas leptocúrticas ( $C_k>0$ ) (Tabela 4). Esses resultados sugerem uma maior probabilidade das forças aplicadas estarem distribuídas próximas aos valores extremos, estes confirmados pela distribuição normal dos dados pelo teste de Ryan-Joiner. Valores negativos de  $C_k$ , assim como verificado para os MA-M; MB-A; BX-A e MA-A, indicam curvas platicúrticas (mais achatadas), ou seja, com menor probabilidade de a força aplicada estar distribuída ao redor de valores extremos (próximos da média e mediana).

A maioria dos tratamentos apresentaram distribuição normal, com exceção de MED-M, AT-M, MA-M e MED-A porém, de acordo com Wheeler (1995), Wheeler & Chambers (1992) e Samohyl (2009) não é necessário transformar dados que são usados em cartas de controle, porque cartas de controle funcionam bem em situações onde as observações não estão normalmente distribuídas.

Para o processo de distribuição de forças verticais durante a semeadura (Figuras 6 A e B) observou-se que em modo manual a menor ocorrência de pontos fora de controle ocorreu ao se utilizar MED-M (13%), quando comparada com MB-M ou BX-M (33%), AT-M (40%), MA-M (60%) ou SDF (55%). No modo automático, foi possível verificar que ao utilizar forças descendentes AT-A e MA-A, a incidência de pontos fora de controle foi de 0% e as porcentagens de pontos fora de controle foram as mesmas para os tratamentos MB-A, BX-A e MED-A comparando-se ao modo de operação manual.



Testes desenvolvidos com amostras de tamanhos diferentes



Testes desenvolvidos com amostras de tamanhos diferentes

Figura 6. Carta de Controle de Subgrupos ( $\bar{X}$ -S) para as forças descendentes aplicadas durante a semeadura do milho.

LSC: Limite Superior de Controle (Linha vermelha superior); LIC: Limite Inferior de Controle (Linha vermelha inferior);  $\bar{X}$ : Média dos Subgrupos; (Linha verde central);  $\bar{S}$ : Média dos desvios padrões (Linha verde central). (A): Modo Manual; (B): Modo Automático

Os desvios padrões das amostras (Figuras 6 A e 6 B) sugerem que os dados estavam mais dispersos das médias ao utilizar forças baixas e muito baixas em modo manual, porém, para o modo automático não se percebe diferença entre a variabilidade ou média dos desvios.

Sob a óptica do Controle Estatístico de Processos (CEP), observou-se que houve maior variabilidade nos resultados quando utilizou-se forças muito baixas, baixas e muito altas no modo manual, o que afetou a qualidade da distribuição da força descendente nas rodas calibradoras de profundidade da semeadora. Porém, no modo automático, o contrário foi observado, aferindo maior qualidade de distribuição das cargas quando houve a utilização de força descendente média, alta e muito alta. Estes resultados corroboram com os de Strasser (2017) que, em um trabalho de simulação entre diferentes forças em diferentes condições de campo com mecanismo de força descendente em modo automático, verificou que durante mudanças na textura do solo e durante condições de campo extremas (solo altamente argiloso e com presença de rochas) ao utilizar forças descendentes elevadas, a variabilidade encontrada foi menor. Ao comparar os dois modos de operação, observou-se que o modo automático em sua maioria distribuiu as forças de forma uniforme ao longo do tempo como pode ser observado nas Figuras 6 A e B.

Apesar de somente os tratamentos BX-M e MA-A no modo de operação manual terem apresentado padrões de não aleatoriedade (Tabela 3), verificou-se a instabilidade do processo em todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos AT-A e MA-A (modo automático). Esta instabilidade do processo pode ser atribuída aos fatores Máquina e Meio Ambiente, tendo em vista que os discos sulcadores, rodas calibradoras de profundidade e rodas compactadoras estão em contato constante com o solo, dificultando a manutenção constante da força.

Forças descendentes muito baixas, altas ou muito altas nos dois modos de operação acarretaram em padrões de não aleatoriedade de tendência (Tabela 5). Sendo uma tendência um desvio dos dados de forma linear para cima ou para baixo, pode-se indicar com esse padrão que o processo sairá fora de controle. O ajuste da força descendente pelo mecanismo hidráulico em modo automático ou a manutenção de uma força fixa em modo manual podem vir a ser os principais motivos do aumento

e/ou diminuição linear nas profundidades. Foram verificados padrões de agrupamento nos tratamentos MB-M, MA-A e MA-A, o que indica o agrupamento de observações acima o abaixo da mediana. Neste caso, a baixa ou alta quantidade de força nos tratamentos podem estar relacionadas a profundidades constantes mais profundas ou mais rasas.

Tabela 5. Padrões de não aleatoriedade para a variável profundidade de semeadura na cultura do milho em solo franco-argiloso.

Tratamento	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
MB-M	<0,01**	0,99	<0,01**	0,99
BX-M	0,07	0,93	0,57	0,42
MED-M	0,75	0,25	0,18	0,82
AT-M	0,07	0,93	<0,01**	0,99
MA-M	<0,01**	1,00	<0,01**	0,99
MB-A	0,06	0,94	<0,01**	0,99
BX-A	0,63	0,37	0,18	0,82
MED-A	0,08	0,36	0,92	0,64
AT-A	0,26	0,75	0,02*	0,98
MA-A	<0,01**	0,99	0,18	0,82
SDF	0,78	0,22	0,77	0,24

**MB:** Muito Baixo; **BX:** Baixo; **MED:** Médio; **AT:** Alto; **MA:** Muito Alto; **SDF:** Sem Força Descendente; **(M):** Modo Manual; **(A):** Modo Automático.

Os resultados expressos na Tabela 6 demonstram que a profundidade de semeadura foi possivelmente incrementada de acordo com o incremento da força descendente. Karayel & Šarauskis (2011), avaliando o desempenho de um mecanismo mecânico de força descendente (Molas), em condições de textura de solo e forças verticais semelhantes às utilizadas no presente experimento, verificaram que o aumento da força descendente resultou em incremento de 1,8 e 1,5 cm na profundidade entre os tratamentos com 680 e 1400 N e 680 e 1150 N, respectivamente.

Os coeficientes de variação (Tabela 6) variaram entre baixo e médio de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009). Por meio dos coeficientes de assimetria verificou-se que os tratamentos Muito Baixo em modo Manual (MB-M), Muito Baixo, Baixo e Médio em Modo Automático (MB-A, BX-A, MED-A) apresentaram assimetria negativa, ou seja, maior incidência de profundidades maiores que a média, ocorrendo o contrário altas e muito altas, tanto no modo automático como manual.

Quanto ao coeficiente de curtose, de maneira geral, para o modo de operação manual o grau de achatamento da curva, foi mais afilado, aferindo curvas leptocúrticas quando utilizou-se forças baixas e muito altas, e para o modo automático, quando utilizou-se forças muito altas e médias.

Tabela 6. Estatística descritiva para a variável profundidade de sementes na cultura do milho em solo franco-argiloso.

Tratamento	Força (N)	$\bar{X}$ (cm)	C.V (%)	Cs	Ck	Ryan-Joiner (P-valor)
MB-M	444	3,3	12,3	-0,09	-0,23	>0,1 <sup>N</sup>
BX-M	534	3,2	11,7	0,45	-0,07	>0,1 <sup>N</sup>
MED-M	667	3,7	6,5	0,56	0,57	>0,1 <sup>N</sup>
AT-M	890	3,6	9,8	0,60	0,60	>0,1 <sup>N</sup>
MA-M	1112	3,8	10,5	0,68	-0,15	>0,1 <sup>N</sup>
MB-A	444	3,2	19,9	-1,43	1,73	<0,01 <sup>NN</sup>
BX-A	534	3,2	9,6	-0,62	2,58	>0,1 <sup>N</sup>
MED-A	667	3,3	14,8	-0,06	-0,71	>0,1 <sup>N</sup>
AT-A	756	3,8	14,0	0,94	3,32	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-A	868	4,1	12,7	0,49	-1,08	>0,1 <sup>N</sup>
SDF	-	2,8	13,3	0,63	-0,60	>0,1 <sup>N</sup>

**Força:** Força descendente pré-fingurada;  $\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático; <sup>N</sup>: Distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner (P-valor >0,1); <sup>NN</sup>: Distribuição não normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner (P-valor <0,1).

Foram encontrados padrões de agrupamento para os tratamentos baixo e muito alto, no modo manual de operação, bem como muito alto para o modo automático (Tabela 6), indicando que podem existir causas especiais na variação do processo de semeadura. Estes agrupamentos podem indicar que estas causas especiais podem estar relacionadas a problemas de medição, ou variabilidade nas configurações, que neste caso seria do mecanismo avaliado.

Ao se analisar o processo de distribuição de sementes expresso nas cartas de controle de valores individuais nos modos manual e automático (Figuras 7 A e 7 B, respectivamente), verifica-se que mesmo havendo variabilidades mais elevadas em cargas mais altas no modo manual (Figura 6 A), foi possível obter maior qualidade na profundidade das sementes ao utilizar MED, AT e MA quando comparado aos outros tratamentos tendo em vista que os limites de controle estão mais próximos uns dos outros. O ajuste das forças verticais pelo mecanismo hidráulico pode vir a ser o

principal motivo do aumento e/ou diminuição linear nas profundidades como observado nas Figuras 7 A e 7 B, verificados pelos gráficos sequenciais (Tabela 5).

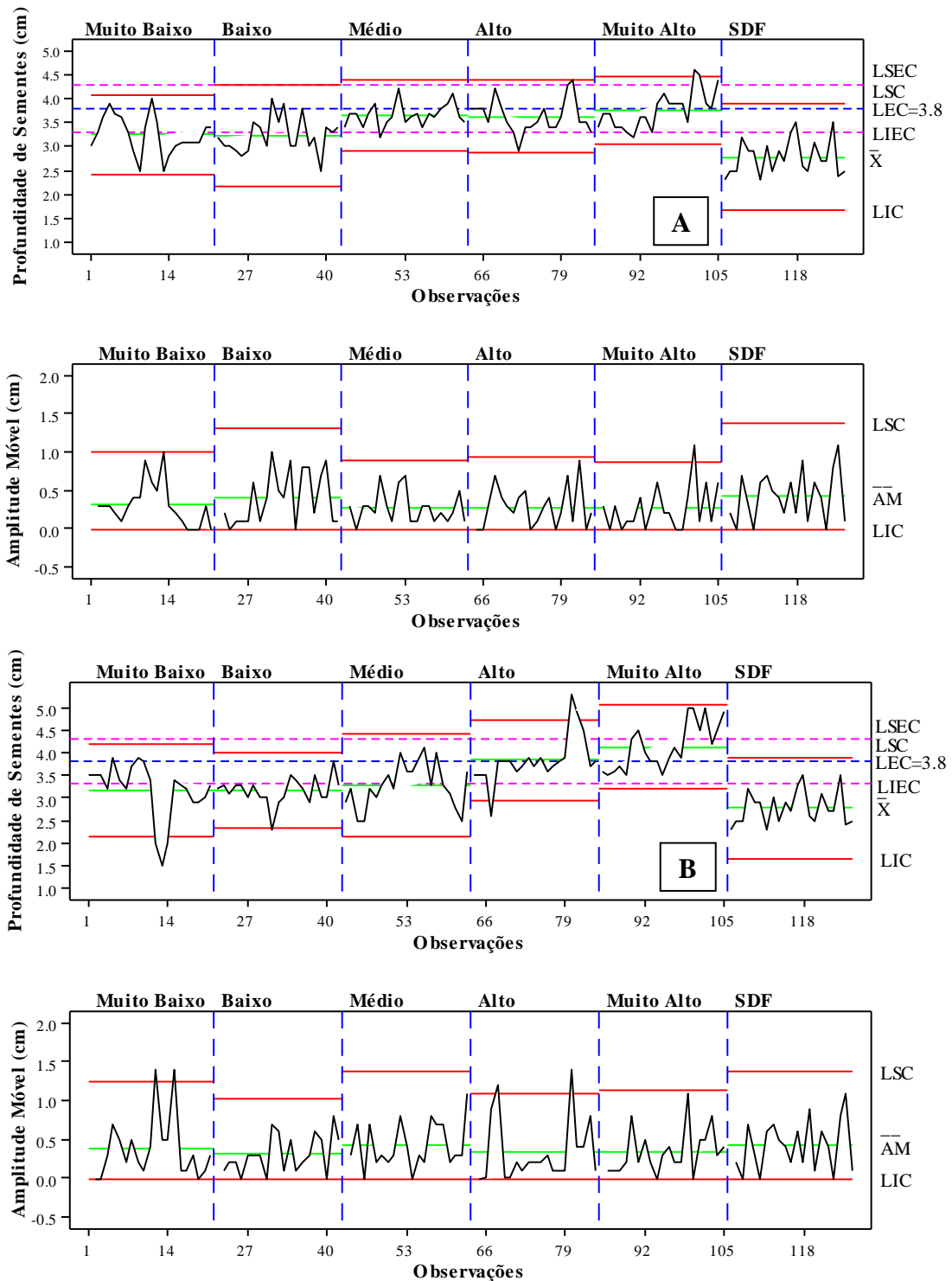


Figura 7. Carta de controle de valores individuais e amplitude móvel para a variável profundidade de semeadura da cultura do milho.

LSC: Limite Superior de Controle (Linha vermelha superior); LIC: Limite Inferior de Controle (Linha vermelha inferior);  $\bar{X}$ : Média (Linha verde central);  $\overline{AM}$ : Média da Amplitude (Linha verde central). (A):

Modo Manual; (B): Modo Automático. LSEC: Limite Superior Específico de Controle (Linha rosa superior); LEC: Limite Específico de Controle (Linha azul); LIEC: Limite Inferior Específico de Controle (Linha rosa inferior).

Estes resultados corroboram com os de Karayel & Šarauskis (2011), em que verificaram CV's médios ao utilizar cargas mais altas e CV's altos ao utilizar forças descendentes baixas.

O tratamento SDF acarretou na desuniformidade da profundidade de semeadura. A alta variabilidade na amplitude móvel demonstra também que a uniformidade na distribuição vertical das sementes foi afetada ao utilizar-se forças muito baixas ou quando o mecanismo de esteve desligado.

Ao observar a capacidade de cada modo de operação em manter a profundidade de semeadura (Figuras 7 A e B) dentro dos limites específicos de controle ( $\pm 0,5$ cm) foi possível verificar que ao não se adicionar força vertical pelo sistema contando apenas com a massa do implemento (SDF), a porcentagem de observações abaixo do Limite Inferior Específico de Controle (LIEC) foi 85.7% das observações.

Ao utilizar forças MB-M, BX-M, verificou-se que o número de pontos abaixo do LIEC foi em torno de 50% das observações. Para os tratamentos MED-M, AT-M e MA-M a porcentagem de observações abaixo do LIEC foi de 4.7% apenas, porém, para os tratamentos Alto e Muito alto, algumas observações foram acima do Limite Superior Específico de Controle (LSEC), representando 9,5% e 14,3% das observações respectivamente.

Os resultados para a variabilidade em modo manual corroboram com Virk et al. (2020) que, verificando o impacto entre três forças verticais com um sistema mecânico na profundidade de semeadura do milho, relataram que altas variações podem ser esperadas quando não foram adicionadas forças verticais adicionais ou a utilização de cargas muito baixas. Também Badua et al. (2018) verificaram que ao utilizar forças médias e altas operando em modo manual, a profundidade média de semeadura foi mantida.

Para o modo automático, a menor incidência de observações abaixo do LIEC (Figura 7 B) foi verificada nos tratamentos AT-A e MA-A, sendo 4,7 e 0%

respectivamente, porém, também foi verificada alta porcentagem de pontos acima do LSEC totalizando 14,3 e 33% para AT-A e MA-A, respectivamente. A alta incidência de pontos abaixo dos limites específicos de controle pelos tratamentos MB-A, BX-A, MED-A e SDF podem estar relacionados à baixa transferência de energia mecânica por meio dos pistões para a unidade de semeadura, relacionada a resistência à penetração do solo encontrada pelos discos. Já a alta incidência de pontos acima destes limites como observado para o modo automático, pode estar relacionada ao contrário, alta energia mecânica relacionada ao sistema de força descendente convertida em pressão para as rodas calibradoras de profundidade.

Todos os tratamentos apresentaram os mesmos padrões de mistura e tendência ao verificar os gráficos sequenciais para a variável porcentagem de emergência do milho (Tabela 7). Este resultado está relacionado principalmente a presença de alto índice pluviométrico no sexto dia após a emergência das plântulas (Figura 1 A), que afetou diretamente a emergência das plântulas, incrementando a porcentagem de emergência de todos os tratamentos.

Tabela 7. Padrões de não aleatoriedade para a variável porcentagem de emergência após a semeadura do milho.

Tratamento	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
MB-M	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
BX-M	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
MED-M	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
AT-M	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
MA-M	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
MB-A	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
BX-A	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
MED-A	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
AT-A	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
MA-A	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00
SDF	<0,01**	0,99	<0,01**	1,00

**C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático.

É possível verificar que as maiores médias da porcentagem de emergência, ao longo de dez dias de contagem (Tabela 8), foram observadas nas maiores cargas aplicadas nos dois modos de operação. Hanna et al. (2010), obtiveram resultados

semelhantes utilizando um mecanismo hidráulico de força descendente em três teores diferentes de umidade em solo franco-argilo-siltoso na cultura do milho, no qual ao utilizar forças elevadas, obteve-se um índice de porcentagem de emergência maior ao semear a cultura em umidades próximas a 14,0%, destacando que a umidade do solo para o presente trabalho manteve-se próxima a 13,5% durante a semeadura.

Tabela 8. Estatística descritiva para a variável porcentagem de emergência ao longo de dez dias de contagem.

Tratamento	Força (N)	$\bar{X}$ (%)	C.V (%)	Cs	Ck	AD (Valor-p)
MB-M	444	42,8	55,8	0,71	-0,79	0,26 <sup>N</sup>
BX-M	534	40,7	59,9	0,83	-0,78	0,13 <sup>N</sup>
MED-M	667	44,5	58,4	0,77	-0,99	0,07 <sup>N</sup>
AT-M	890	51,3	35,7	0,94	-0,15	0,15 <sup>N</sup>
MA-M	1112	60,7	33,8	0,57	-1,24	0,19 <sup>N</sup>
MB-A	444	32,7	90,4	1,07	-0,58	0,01 <sup>NN</sup>
BX-A	534	33,3	78,5	0,89	-1,16	0,02 <sup>NN</sup>
MED-A	667	38,4	71,6	0,86	-1,19	0,02 <sup>NN</sup>
AT-A	756	37,5	79,4	0,98	-1,01	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-A	868	40,1	65,4	0,86	-1,05	0,02 <sup>NN</sup>
SDF	-	31,9	83,3	1,06	-0,61	0,02 <sup>NN</sup>

**Força:** Força descendente pré-fingurada;  $\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático; <sup>N</sup>: Distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner (P-valor >0,1); <sup>NN</sup>: Distribuição não normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner (P-valor <0,1).

O coeficiente de variação foi considerado como muito alto para todas as variáveis avaliadas (Tabela 8), e todos os tratamentos apresentaram assimetria positiva, sendo a maior concentração dos dados encontrada à esquerda da curva e quanto ao índice de curtose, todas as curvas consideradas platicúrticas. Os resultados para os tratamentos semeados em manual apresentaram distribuição normal pelo teste de Anderson-Darling, o contrário aconteceu aos outros tratamentos.

Ao observar a amplitude dos limites superior e inferior de controle da Figura 8 A, verificou-se que a qualidade da emergência foi maior ao utilizar forças verticais elevadas, neste caso, os mesmos resultados que demonstraram melhor qualidade na profundidade de semeadura, foram os mesmos que mantiveram-se menos variáveis durante o processo de emergência das plântulas. Vale ressaltar ainda que quando não se utilizou força descendente, a média da porcentagem de emergência foi menor

e a variabilidade mais alta, neste caso entende-se que a não utilização de uma força descendente pode afetar mais ainda a emergência do milho do que não utilizar nenhuma força. Na Figura 8 B, observa-se que os limites de controle para todos os tratamentos nesta variável são semelhantes, porém, como verificado na Tabela 8, as médias para pressões mais elevadas foram maiores. Karayel & Šarauskis (2011) reportaram em seus resultados que a porcentagem de emergência aumentou decorrente ao incremento na carga vertical aplicada pelo mecanismo de força descendente. Comparando a Figura 8 A e B verificou-se que ao utilizar tratamentos MB, BX e MED não existiu diferença entre a variabilidade no processo, porém, ao utilizar AT e MA, a variabilidade foi reduzida. Neste caso, torna-se necessário frisar que no modo automático, as forças descendentes máximas são de até 867 Newtons (N), enquanto que para o modo de operação manual vão até 1112 N, o que explica a diferença na variabilidade para as forças aplicadas.

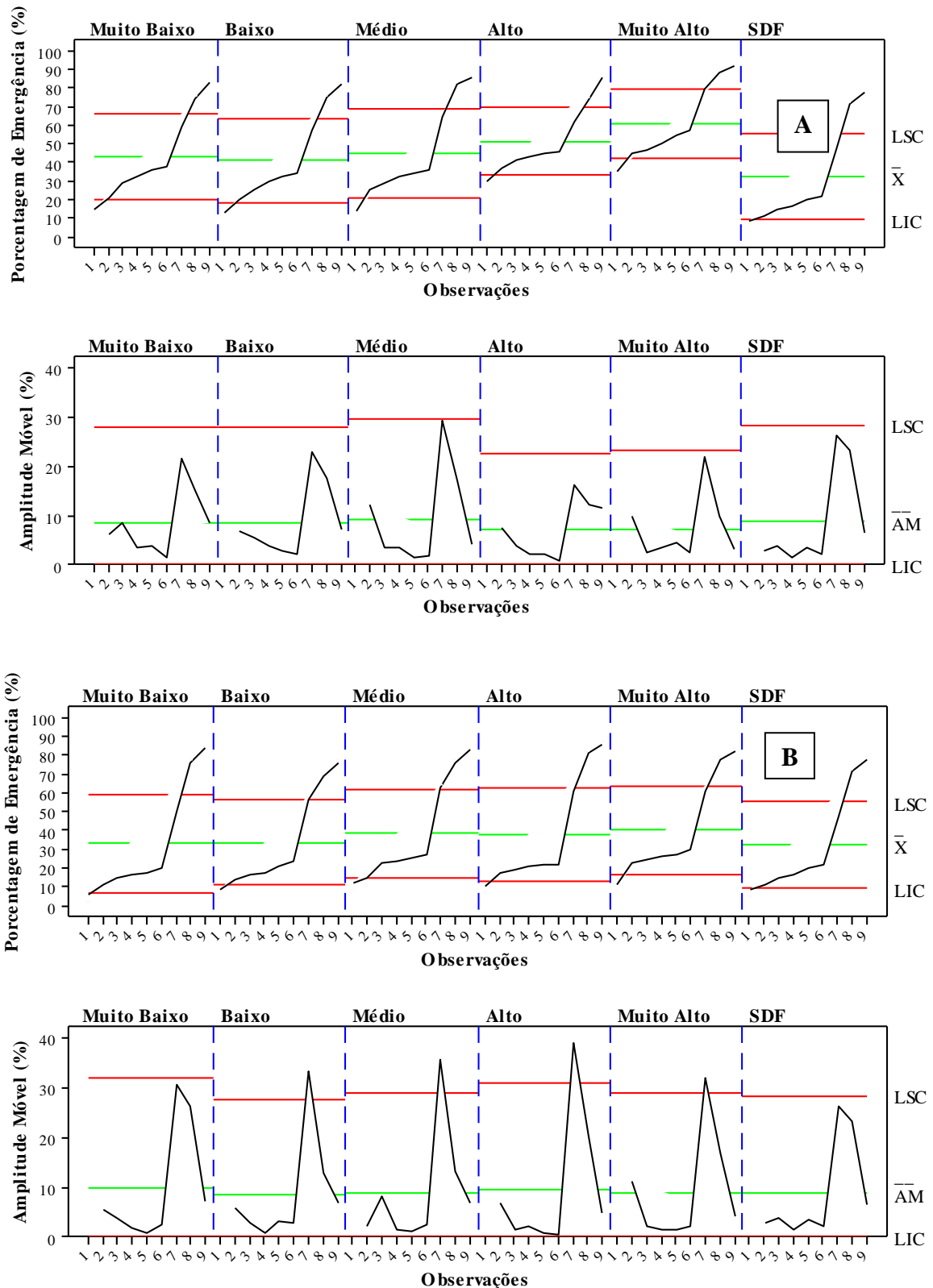


Figura 8. Carta de controle de valores individuais e amplitude móvel para a variável porcentagem emergência após a semeadura do milho. LSC: Limite Superior de Controle (Linha vermelha superior); LIC: Limite Inferior de Controle (Linha vermelha inferior);  $\bar{X}$ : Média (Linha verde central);  $\bar{AM}$ : Média da Amplitude Móvel (Linha verde central). (A): Modo Manual; (B): Modo Automático.

Mesmo que os resultados de profundidade de semeadura (Tabela 6) foram significativamente semelhantes para ambos os modos de operação nos tratamentos AT e MA, um fator que pode estar relacionado ao incremento na qualidade da emergência entre os modos manual e automático é a própria força descendente. Segundo Sharda et al. (2017), as forças para uma situação de solo argiloso são distribuídas em aproximadamente 71% nos discos de abertura de sulco, 14,5% para a roda calibradora de profundidade e 14,5% para as rodas compactadoras. Tendo em vista a maior força vertical no modo manual, a carga aplicada nas rodas compactadoras foi maior, o que, conseqüentemente, criou melhor ambiente para as sementes germinarem e emergirem.

### **Resultados e discussão relacionados ao experimento 2 (Algodão)**

Nos gráficos sequenciais (Tabela 10) observa-se que quando houve a ausência de forças verticais (SDF) acarretou na manifestação de padrões de agrupamento e tendência. Os padrões de agrupamento, segundo Silva & Voltarelli (2015) referem-se a grupos de pontos acima ou abaixo da mediana, enquanto que os padrões de tendência tratam-se de aumentos ou diminuições sucessivos, superiores a sete pontos no sentido crescente ou decrescente os dados. Ainda segundo estes autores, os padrões de não aleatoriedade podem indicar causas especiais de variação, tais como problemas de medição ou na variabilidade de um conjunto. Neste caso, ao observar a Figura 9 é possível verificar tais aumentos e diminuições para o tratamento em questão, no entanto, os padrões de agrupamento também foram encontrados quando utilizou-se MB, BX ou MED nos modos manuais e automático, e MA apenas para o modo manual.

Os padrões de tendência só foram verificados no modo de operação manual para todos os tratamentos, fato que pode ser explicado pela resistência do solo à penetração em relação aos discos sulcadores, sendo que em modo manual a força descendente é sempre fixa, portanto, de acordo com a variabilidade do solo, as forças podem ser incrementadas ou reduzidas linearmente devido à necessidade ou não da força. Em contraste, não foi observado padrões de tendência para o modo automático, sendo esses resultados atrelados às características desse mecanismo. No modo

automático, a força vertical aplicada no sistema de plantio é dinamicamente modificada conforme resistência à penetração do solo em relação aos discos sulcadores.

Tabela 10. Resumo dos gráficos sequenciais para a variável força descendente na cultura do algodão em solo franco-arenoso.

Tratamento	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
MB-M	0,01**	0,90	0,01**	1,00
BX-M	0,00**	1,00	0,00**	1,00
MED-M	0,02*	1,00	0,00**	1,00
AT-M	0,13	0,87	0,90	0,10
MA-M	0,00**	1,00	0,01**	0,99
MB-A	0,04*	0,96	0,20	0,80
BX-A	0,01**	0,99	0,43	0,58
MED-A	0,00**	1,00	0,43	0,57
AT-A	0,66	0,33	0,43	0,57
MA-A	0,50	0,50	0,43	0,57
SDF	0,00**	1,00	0,00**	1,00

**MB:** Muito Baixo; **BX:** Baixo; **MED:** Médio; **AT:** Alto; **MA:** Muito Alto; **SDF:** Sem Força Descendente; **(M):** Modo Manual; **(A):** Modo Automático.

De acordo com a estatística descritiva para as forças verticais no algodão (Tabela 11), observou-se que as cargas mantiveram-se próximas do valor estipulado para os tratamentos em modo automático. Em modo manual de operação observou-se O coeficiente de variação (C.V) de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009) foi considerado alto apenas para o tratamento controle, no qual não se aplicou forças descendentes, o que pode ser explicado pela força de reação do solo para com os discos e rodas calibradoras de profundidade. Os CV's para todos os tratamentos no modo de operação manual foram considerados médios e, para o modo de operação automático médios para os tratamentos MB-A e BX-A, e baixo para MED-A, AT-A e muito alta MA-A.

Os valores de Cs foram considerados positivos apenas para os tratamentos MA-M e MA-A, sendo os graus considerados com moderado e pequeno respectivamente, no qual os valores para o primeiro tendem a estar concentrados abaixo da média e para o segundo, os valores se distribuíram relativamente iguais em ambos os lados. Para o restante dos tratamentos houve assimetria negativa, indicando maior concentração dos dados à esquerda em relação a posição da média.

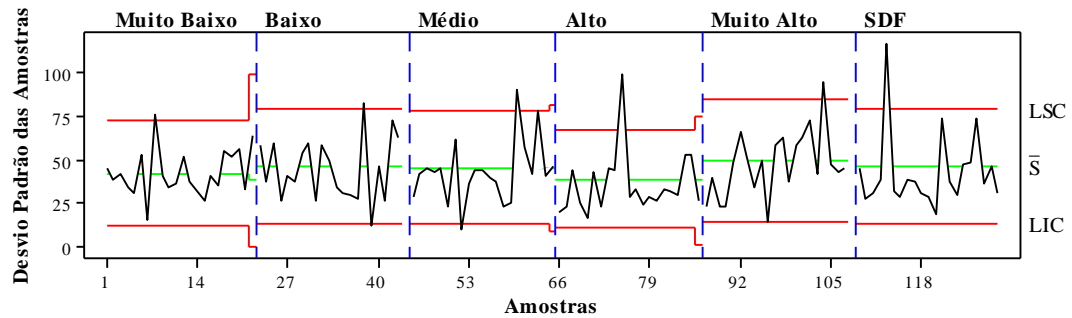
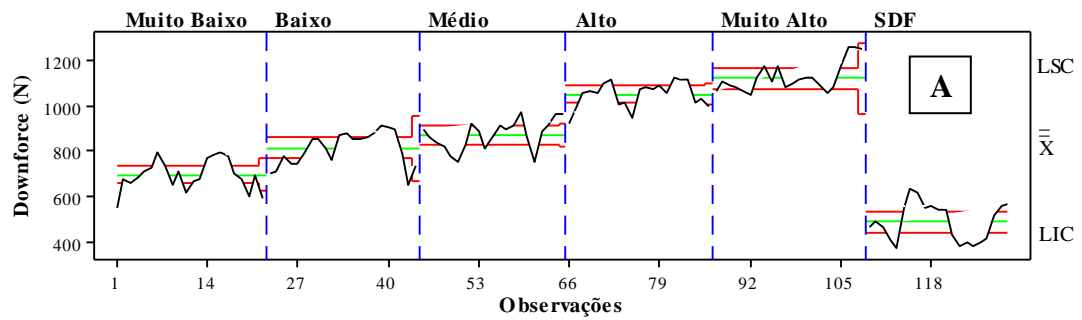
Os resultados relacionados ao coeficiente de curtose demonstram que apenas os tratamentos AT-M, MED-A e AT-A relacionados aos modos de operação manual e automático apresentaram graus de achatamento da curva do tipo leptocúrtica, ou seja, curvas mais afiladas, com possíveis picos de observações. Todos os outros tratamentos apresentaram curvas mais achatadas do tipo platicúrticas.

Tabela 11. Estatística descritiva para a variável força descendente na semeadura do algodão em solo franco-arenoso.

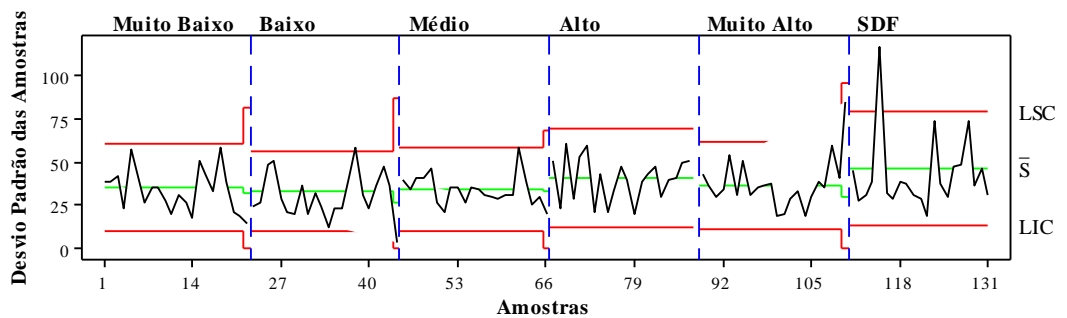
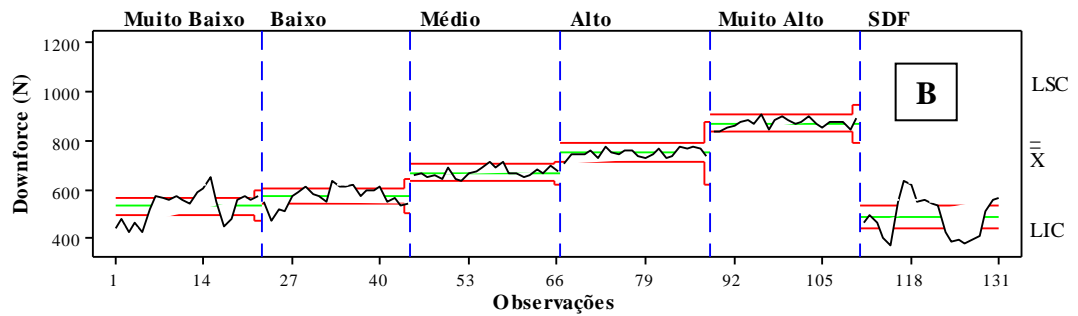
Tratamento	Força (N)	$\bar{X}$ (N)	C.V (%)	Cs	Ck	Ryan-Joiner (P-Value)
MB-M	444	698,4	10,9	-0,35	-0,36	0,04 <sup>NN</sup>
BX-M	534	814,0	10,5	-0,52	-0,08	<0,01 <sup>NN</sup>
MED-M	667	871,9	8,9	-0,15	-0,46	>0,10 <sup>N</sup>
AT-M	890	1054,2	6,4	-0,74	0,21	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M	1112	1121,0	6,9	0,45	-0,07	0,02 <sup>NN</sup>
MB-A	444	533,8	13,2	-0,41	-0,15	<0,01 <sup>NN</sup>
BX-A	534	573,8	8,9	-0,58	-0,05	<0,01 <sup>NN</sup>
MED-A	667	671,7	5,9	-0,39	0,30	>0,10 <sup>N</sup>
AT-A	756	751,7	5,8	-0,21	0,92	0,03 <sup>NN</sup>
MA-A	868	871,9	4,6	0,04	-0,09	>0,10 <sup>N</sup>
SDF	-	484,9	19,0	-0,26	-0,66	0,02 <sup>NN</sup>

**Força:** Força descendente pré-fingurada;  $\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático. <sup>N</sup>: Distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner; <sup>NN</sup>: Distribuição não normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner.

É possível observar, por meio das Cartas de Controle X-Bar S (Figuras 9 A e 9 B), que maiores variabilidades foram encontradas no tratamento SDF, bem como a maior quantidade de subgrupos fora dos limites de controle (81%). Sob a óptica do controle estatístico de processos, o tratamento SDF reduziu a qualidade da operação quando comparada aos tratamentos no qual forças descendentes foram aplicadas. A menor porcentagem de pontos fora de controle para o modo manual (Figura 9 A) foi verificada no tratamento MA.



Testes desenvolvidos com amostras de tamanhos diferentes



Testes desenvolvidos com amostras de tamanhos diferentes

Figura 9. Carta de controle de subgrupos ( $\bar{x}$ -s) para a variável forças descendentes aplicadas durante a semeadura do algodão.

LSC: Limite Superior de Controle (Linha vermelha superior); LIC: Limite Inferior de Controle (Linha vermelha inferior);  $\bar{X}$ : Média dos Subgrupos; (Linha verde central);  $\bar{S}$ : Média dos desvios padrões (Linha verde central). (A): Modo Manual; (B): Modo Automático

Em relação ao modo de operação automático (Figura 9 B), a não aplicação de forças também apresentou a menor qualidade na distribuição, sendo as maiores ocorrências de pontos fora de controle verificadas nos tratamentos Muito Baixo (MB) e SDF, obtendo 67 e 81% dos subgrupos fora de controle respectivamente. Os tratamentos com forças verticais médias, altas e muito altas apresentaram respectivamente 14, 0 e 0% dos subgrupos avaliados fora dos limites de controle. Além desses outliers, a distância entre os limites demonstra que o incremento nas forças descendentes avaliadas melhorou a qualidade da operação no modo automático. Esses resultados podem estar atrelados à vibração das unidades de semeadura, conforme postulado por Badua et al. (2018) avaliando a intensidade da vibração das linhas de semeadura cargas constantes de pressão de óleo de 642 N (baixa) e 935 N (alta) no modo automático em diferentes velocidades de deslocamento, concluíram que velocidades de 7,2 km h<sup>-1</sup>, aliadas a forças descendentes altas em modo automático, podem reduzir a vibração das linhas, bem como Zhai et al. (2019) relatam que o aumento desta vibração reduziram a uniformidade espacial da semeadura de milho.

Comparando a distribuição de forças descendentes ao longo do processo de semeadura, o modo automático demonstrou menor variabilidade e maior estabilidade em relação ao modo manual. Considerando que a variabilidade é inversamente proporcional a qualidade de uma operação, o modo de operação automático demonstrou mais qualidade na distribuição das forças verticais em relação ao manual. Tal qualidade está atrelada à constante adaptação do modo automático quanto à necessidade de força para manter a qualidade de contato das rodas calibradoras de profundidade com o solo e abrir o sulco pelos discos sulcadores.

Pelos padrões de aleatoriedade dos gráficos sequenciais (Tabela 12) verifica-se a ocorrência de agrupamento para o tratamento MB-A com possível ação de alguma causa especial. Todos os demais tratamentos não apresentaram padrões de não-aleatoriedade.

Tabela 12. Resumo dos gráficos sequenciais para a variável profundidade de sementes na cultura do algodão.

Tratamento	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
MB-M	0,38	0,62	0,36	0,64
BX-M	0,42	0,59	0,07	0,93
MED-M	0,18	0,82	0,36	0,64
AT-M	0,79	0,21	0,07	0,93
MA-M	0,60	0,41	0,36	0,64
MB-A	<0,01**	0,99	0,07	0,93
BX-A	0,12	0,88	0,36	0,64
MED-A	0,60	0,41	0,18	0,82
AT-A	0,63	0,37	0,37	0,64
MA-A	0,36	0,64	0,07	0,93
SDF	0,15	0,85	0,77	0,20

**MB:** Muito Baixo; **BX:** Baixo; **MED:** Médio; **AT:** Alto; **MA:** Muito Alto; **SDF:** Sem Força Descendente; **(M):** Modo Manual; **(A):** Modo Automático.

Como anteriormente observado nas Figuras 9 A e 9 B, o incremento das forças descendentes aplicadas pelos tratamentos no modo manual e automático (Tabela 13), resultou no aumento da profundidade de semeadura. Resultados semelhantes foram encontrados por Hanna et al. (2010) nos quais ao utilizar três níveis de forças descendentes, maior profundidade média foi verificada no tratamento com a maior força. Segundo Pimentel-Gomes (2009), os coeficientes de variação foram considerados como médios apenas para a condição SDF para a variável profundidade de semeadura, todos os outros tratamentos causaram CV's baixos.

De acordo com o Coeficiente de assimetria (Cs) (Tabela 13), todos os tratamentos, exceto BX-M, MED-M, MA-M e MA-M apresentaram assimetria negativa com grau elevado ou seja, a curva dos resultados em relação à curva de distribuição normal possui cauda mais alongada à direita, bem como a distribuição das forças verticais foi maior que a média na maior parte do tempo. Quanto ao Coeficiente de Curtose (Ck), observou-se que o grau de achatamento da curva foi platicúrtico apenas o tratamento BX-M, possuindo então, todos os outros tratamentos curvas afiladas do tipo leptocúrticas. Com exceção do tratamento MED-A, todos os outros tratamentos apresentaram distribuição normal dos dados para a distribuição de sementes no sulco pelo teste de Ryan-Joiner.

Tabela 13. Estatística Descritiva para a variável profundidade de sementes na cultura do algodão.

Tratamento	Força (N)	$\bar{X}$ (cm)	C.V (%)	Cs	Ck	Ryan-Joiner (P-Value)
MB-M	444	3,48	7,9	-1,1	0,62	0,06 <sup>NN</sup>
BX-M	534	3,54	7,7	-0,3	-0,49	>0,1 <sup>N</sup>
MED-M	667	3,65	6,6	-0,6	0,22	>0,1 <sup>N</sup>
AT-M	890	3,88	3,2	-1,1	3,32	>0,1 <sup>N</sup>
MA-M	1112	3,98	3,6	-0,8	0,23	>0,1 <sup>N</sup>
MB-A	444	3,47	9,7	-1,6	4,42	0,01 <sup>NN</sup>
BX-A	534	3,63	5,8	-1,2	2,74	>0,1 <sup>N</sup>
MED-A	667	3,71	5,7	-1,8	5,50	<0,01 <sup>NN</sup>
AT-A	756	3,81	3,5	-1,0	0,09	>0,1 <sup>N</sup>
MA-A	868	3,96	3,7	-0,2	1,40	>0,1 <sup>N</sup>
SDF	-	3,30	14,4	-1,2	1,84	0,08 <sup>NN</sup>

**Força:** Força descendente pré-fingurada;  $\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático. <sup>N</sup>: Distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner; <sup>NN</sup>: Distribuição não normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner.

Ao verificar os resultados para a qualidade processo de semeadura por meio da profundidade (Figuras 10 A e 10 B), é possível afirmar que devido à qualidade na distribuição de forças descendentes observada nas Figuras 9 A e 9 B, no qual maiores uniformidades foram encontradas em forças elevadas, a profundidade de semeadura também apresentou melhor qualidade no processo ao utilizar forças descendentes maiores. Os limites específicos de controle permitiram identificar que a qualidade da profundidade de deposição das sementes foi reduzida tanto pela maior distância entre os limites superior e inferior de controle, quanto pela amplitude média observada nas cartas de amplitude no tratamento SDF (Figura 10 A e B). Outro fator que deve ser destacado é a quantidade de pontos dentro dos limites específicos de controle.

Os valores de profundidade de semeadura estavam abaixo do Limite Inferior Específico de Controle (LIEC) apenas 19% do tempo utilizando os tratamentos MB-M e BX-M, 9.5% para o tratamento MED-M e durante nenhum momento os tratamentos AT-M e MA-M ficaram acima ou abaixo dos limites superior e inferior específico de controle e sempre próximos do alvo (3.8cm). Os resultados para o modo automático foram mais aceitáveis, 19% (MB-A), 4,7% (BX-A e MED-A) e 0% (AT-A e MA-A), enquanto que quando não utilizou-se do sistema de forças descendentes durante a

semeadura (SDF), a quantidade de observações verificadas abaixo do LIEC ultrapassou os 33%. Badua et al. 2018 em seu trabalho com distribuição de forças verticais em modo manual e automático concluem que melhor uniformidade na distribuição de forças descendentes é esperada para o modo de operação automático. A baixa variabilidade de forças descendentes acarretam distribuições de sementes também variáveis. De maneira geral a qualidade da operação foi melhor durante a utilização do modo automático, porém, a não utilização das forças degrada mais ainda a qualidade da operação comparando-se ao uso de um sistema de força descendente em linha.

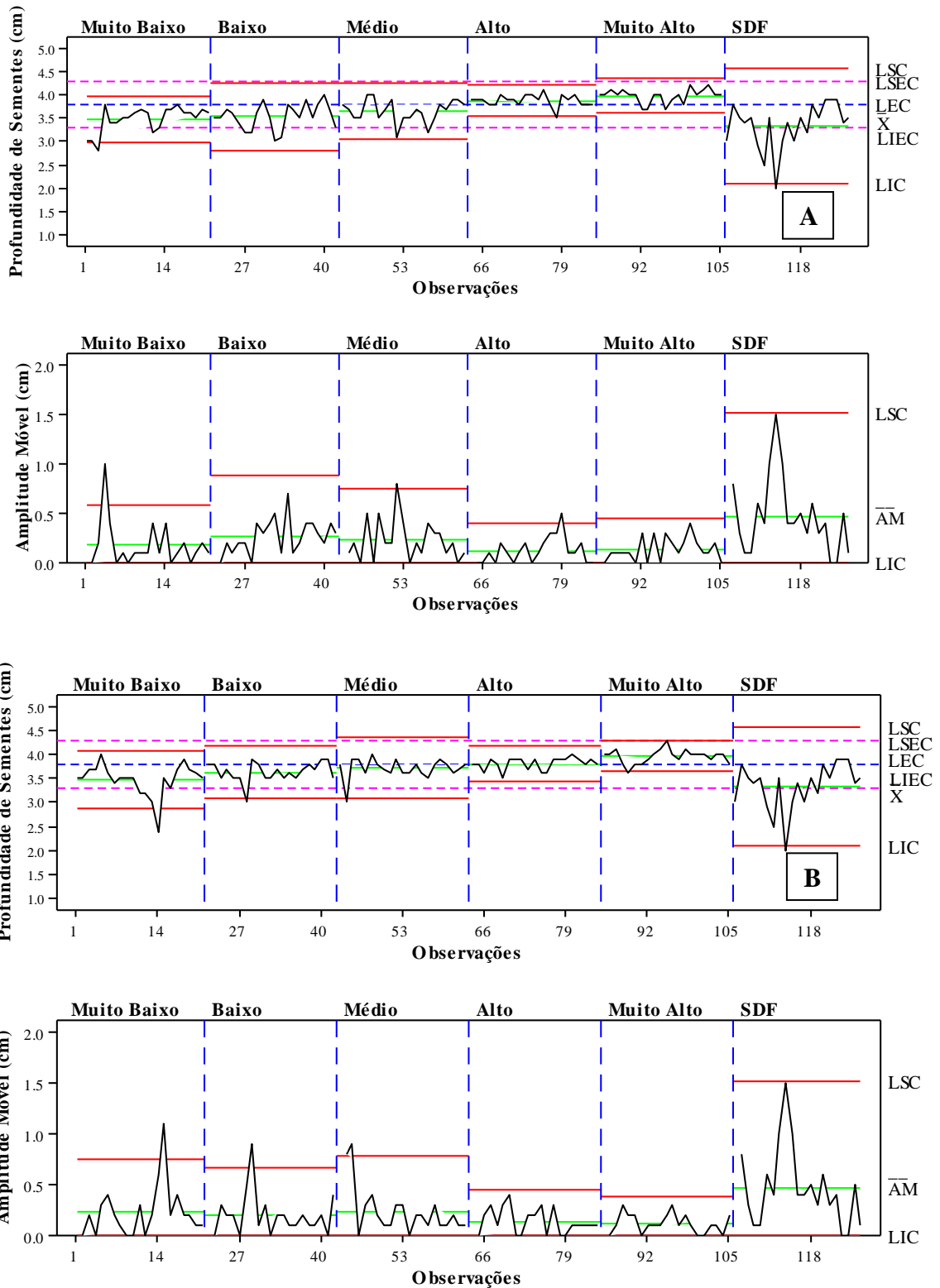


Figura 10. Carta de controle de valores individuais e amplitude móvel para a variável profundidade de sementes na cultura do algodão. LSC: Limite Superior de Controle (Linha vermelha superior); LIC: Limite Inferior de Controle (Linha vermelha inferior);  $\bar{X}$ : Média (Linha verde central);  $\overline{AM}$ : Média da Amplitude (Linha verde central). (A): Modo Manual; (B): Modo Automático. LSEC: Limite Superior Específico de Controle (Linha rosa superior); LEC: Limite Específico de Controle (Linha azul); LIEC: Limite Inferior Específico de Controle (Linha rosa inferior).

Todos os tratamentos apresentaram os mesmos padrões de mistura e tendência ao verificar os gráficos sequenciais para a variável porcentagem de emergência na cultura do algodão (Tabela 14). Este resultado pode estar relacionado principalmente ao vigor e capacidade de germinação das sementes utilizadas, pois, mesmo sendo semeadas em diferentes profundidades mantiveram mesmo padrão de emergência.

Tabela 14. Gráficos sequenciais para a porcentagem de emergência da cultura do algodão.

Tratamento	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
MB-M	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
BX-M	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
MED-M	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
AT-M	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
MA-M	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
MB-A	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
BX-A	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
MED-A	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
AT-A	0,02*	0,98	<0,01*	1,00
MA-A	0,02	0,98	<0,01	1,00
SDF	0,02	0,98	<0,01	1,00

**MB:** Muito Baixo; **BX:** Baixo; **MED:** Médio; **AT:** Alto; **MA:** Muito Alto; **SDF:** Sem Força Descendente; **(M):** Modo Manual; **(A):** Modo Automático.

A porcentagem de emergência (Tabela 15) apresentou médias entre 70 e 80% ao longo de 8 dias de contagem, não demonstrando nenhum padrão quanto ao aumento ou diminuição das forças descendentes. O coeficiente de variação foi considerado como muito alto para todos os tratamentos. Os índices de assimetria representaram graus negativos elevados, representando concentração de dados acima da média na maioria do tempo para todos os tratamentos avaliados e, por meio dos índices de curtose, os resultados positivos demonstram grau de achatamento de curva afilado (leptocúrticas) para todos os tratamentos. A maioria dos tratamentos, por meio do teste de Anderson-Darling apresentaram distribuição não normal.

Tabela 15. Estatística descritiva para a variável porcentagem de emergência na cultura do algodão.

Tratamento	Força (N)	$\bar{X}$ (%)	C.V (%)	Cs	Ck	AD (P-Value)
MB-M	444	73,6	40,5	-1,67	2,74	0,06 <sup>N</sup>
BX-M	534	72,8	37,7	-2,00	4,13	0,02 <sup>NN</sup>
MED-M	667	72,1	39,7	-1,74	2,92	0,04 <sup>NN</sup>
AT-M	890	79,8	31,2	-2,11	4,77	0,02 <sup>NN</sup>
MA-M	1112	72,8	38,1	-2,04	4,32	0,02 <sup>NN</sup>
MB-A	444	77,0	32,9	-1,94	3,89	0,03 <sup>NN</sup>
BX-A	534	73,0	32,4	-1,94	4,03	0,04 <sup>NN</sup>
MED-A	667	75,7	37,3	-1,80	3,26	0,05 <sup>NN</sup>
AT-A	756	70,6	37,5	-1,83	3,39	0,03 <sup>NN</sup>
MA-A	868	72,8	38,1	-1,90	3,73	0,03 <sup>NN</sup>
SDF	-	71,3	36,9	-1,67	2,87	0,07 <sup>N</sup>

$\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; **AD**: Teste de Anderson-Darling; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático. <sup>N</sup>: Distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner; <sup>NN</sup>: Distribuição não normal dos dados de acordo com o teste de Ryan-Joiner.

A qualidade da emergência de maneira geral, ao observar as cartas de controle de valores individuais (Figuras 11 A e 11 B) não foi afetada pelos tratamentos, pois, ao verificar as distâncias entre os limites superior e inferior de controle, não foram encontradas diferenças entre os mesmos para os tratamentos, porém, torna-se necessário frisar que por este ser um teste tanto de alcance de profundidade quanto de emergência de plântulas, a profundidade desejada (3,8 cm) para o presente experimento não foi a ideal para a semeadura do algodão (aproximadamente 2,5cm).

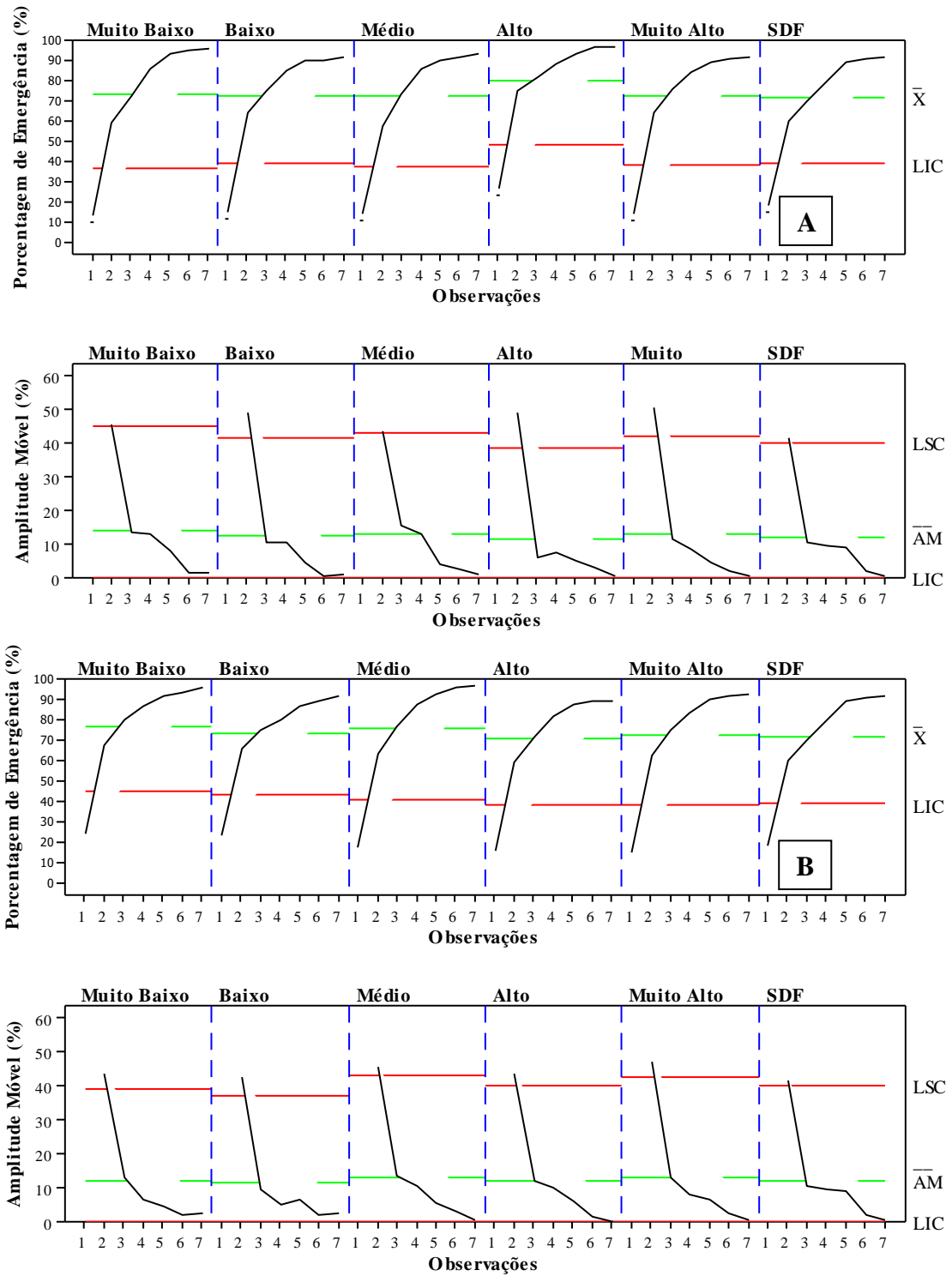


Figura 11. Carta de Controle de Valores Individuais e Amplitude Móvel para a variável Porcentagem de Emergência na cultura do algodão. LSC: Limite Superior de Controle (Linha vermelha superior); LIC: Limite Inferior de Controle (Linha vermelha inferior);  $\bar{X}$ : Média (Linha verde central);  $\bar{AM}$ : Média da Amplitude (Linha verde central). (A): Modo Manual; (B): Modo Automático.

### **3.4. Conclusões**

O modo automático proporciona distribuição mais uniforme de forças descendentes em relação ao modo manual de operação tanto em solos com texturas Franco-Argilosas quanto em Franco-Arenosas.

A qualidade da semeadura em relação a profundidade de semeadura é maior ao utilizar forças verticais Médias, Altas ou Muito Altas independentemente do modo de operação.

A utilização de pressões elevadas beneficia a uniformização da emergência das plântulas de milho em solo Franco-Argiloso quando comparado a utilização de forças muito baixas ou não utilização das mesmas.

### **3.5. Agradecimentos**

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

### **3.6. Referências bibliográficas**

Badua S, Sharda A, Strasser R, Ciampitti I, Griffin TW (2018) Influence of Planter Downforce Setting and Ground Speed on Seeding Depth and Plant Spacing Uniformity of Corn. In: Proceedings of 14th International Conference on Precision Agriculture. Montreal, Quebec, Canada.

Brune PF, Ryan BJ, Technow F, Myers DB (2018) Relating planter downforce and soil strength. *Soil & Tillage Research*, Elsevier, 184: 243-252.

Cassia MT, Silva RP, Chioderolli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. *Ciência Rural* 43: 28–34.

Hanna HM, Steward BL, Aldinger L (2010) Soil loading effects of planter depth-gauge wheels on early corn growth. *Applied Engineering in Agriculture*. 26(4):551- 556.

Karayel D, Šarauškis E (2011) Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils. *Agricultural Engineering Research Papers*, 43(3): 16–24.

Koppen W (1948) *Climatologia: Con um estudo de los climas de la Tierra*. Fondo de Cultura Economico 561p.

Krall JM, Esechie HA, Raney RJ, Clark S, TenEyck G, Lundquist M, Humburg NE, Axthelm LS, Dayton AD, Vanderlip RL (1977) Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield. *Agronomy Journal*. 69(5): 797–799.

Montgomery DC (2009) *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. Rio de Janeiro: LTC. 528p.

Minitab (2019) Interpretar os principais resultados para gráficos de ensaio. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/how-to/run-chart/interpret-the-results/key-results/>. Acesso em: 30 Out 2020.

Noronha RHF, Silva RP, Chioderoli CA, Santos EP, Cassia, MT (2011) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. *Bragantia* 70: 931–938.

Ortolani AF, Banzatto DA, Bortoli NM (1986) Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo, na emergência e desenvolvimento do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 15. São Paulo. Anais... Botucatu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. p.27-39.

Pimentel-gomes F (2009) *Curso de estatística experimental*. 15. Ed, Piracicaba: Fealq, 451 p.

Poncet AM, Fulton JP, McDonald TP, Knappenberger T, Shaw JN, Bridges R (2018) Effect of heterogeneous field conditions on corn seeding depth accuracy and uniformity. *Applied Engineering in Agriculture*. 34(5): 819-830.

PRECISION PLANTING (2018). Deltaforce operator's guide for gen 3 20|20 displays. Disponível em:

<https://cloud.precisionplanting.com/pubs/?view=1xA3Q9ceKbJmJBKNJVinwQaeXw3Q3Fb> Acesso em: 15 de Outubro de 2020.

Samohyl RW (2009) Controle estatístico de qualidade. Rio de Janeiro: Elsevier. 352 p.

Sharda A, Fulton J, Badua S, Terry G, Ciampitti I, Haag L (2017) Planter Downforce Technology for Uniform Seeding Depth. Disponível em: <<https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf3331.pdf>>. Acesso em: 29 Out 2020.

Silva RP (2002) Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura nas características agronômicas do milho (*Zea Mays* L.). Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 119p.

Silva RP, Correa CF, Cortez JW, Furlani CEA (2008) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola 28: 292-304.

Silva RP, Voltarelli MA (2015) Controle de qualidade em operações agrícolas. In: Controle de Qualidade em Operações Agrícolas Mecanizadas. SBEA, Jaboticabal. 242p. 19-30.

Strasser RS (2017) Development of a test stand for the evaluation of row crop planter automatic downforce systems and the evaluation of a row crop planter electronic drive singulation seed meter. Dissertação (Mestrado) – College of Engineering, Kansas State.

Toledo A, Tabile RA, Silva RP, Furlani CEA, Magalhães SC, Costa BO (2008) Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. Engenharia Agrícola 28: 710-719.

Virk SS, Fulton JP, Porter WM, Pate GL (2020) Rowcrop planter requirements to support variable-rate seeding of maize. Precision Agriculture. 21: 603-619.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Daloia JGM, Paixão CSS (2017). Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. *Revista Ciência Agronômica* 48: 438–447.

Wheeler DJ, Chambers DS (1992) *Understanding Statistical Process Control*, Second Edition, SPC Press, Inc.

Wheeler DJ (1995) *Advanced Topics in Statistical Process Control: The Power of Shewhart Charts*, SPC Press, Inc.

Zhai C, Long J, Taylor R, Weckler P, Wang N (2019) Field scale row unit vibration affecting planting quality. *Precision Agriculture*, 21:589–602.

## **CAPÍTULO 4 - Qualidade da semeadura de milho e algodão sob a ação de um sistema de força descendente em linha em três texturas de solo**

Luan Pereira de Oliveira, Brenda Valeska Ortiz, Tiago Rodrigo Francetto, Rouverson Pereira da Silva

### **Resumo**

A formação de um ótimo estande de plantas depende essencialmente da condução do processo de semeadura. Em situações no qual o dosador de sementes é movido por um motor independente, a velocidade de semeadura não é um fator limitante para a distribuição longitudinal de sementes. Porém, a vibração das unidades de semeadura pode causar o ricocheteamento das sementes com as paredes internas do tubo condutor de sementes, e, conseqüentemente provocar espaçamentos múltiplos ou falhos. Um dos fatores que ajudam a reduzir a vibração é a utilização de um sistema de força vertical. Portanto, objetivou-se verificar se a distribuição de forças verticais influencia o espaçamento longitudinal de plantas, bem como se há diferença entre a população final das plantas quando da aplicação de diferentes níveis de forças verticais em modos de operação distintos. Os experimentos foram realizados na Estação Experimental de E.V Smith, em Shorter, Alabama, EUA. Utilizou-se uma semeadora John Deere Max Emerge Plus equipada com um sistema de força descendente comercial. As variáveis analisadas foram espaçamento entre plantas, porcentagem de espaçamentos múltiplos e duplos e densidade populacional de plantas. Para cada modo operacional (Manual e Automático) do mecanismo, níveis de forças verticais foram testados: Sem Força Descendente, Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto para os modo automático e manual totalizando onze tratamentos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo os dados foram coletados ao longo do tempo, de acordo com as especificações do Controle Estatístico de Processos (CEP). A variabilidade do processo de plantio foi avaliada pelos gráficos de controle I-MR. Verificou-se menor uniformidade nos espaçamentos quando não utilizou-se de forças verticais. Em solo franco-argilo-arenoso, forças verticais de 890 N proporcionam melhor distribuição no espaçamento longitudinal entre plantas de milho, porém, em solo franco-arenoso forças verticais de 1112 N, bem como para solos franco-argilosos a qualidade é melhor utilizando forças equivalentes a 1668 N. Em solos franco-argilo-arenosos a qualidade da distribuição dos espaçamentos na cultura do algodão é melhor combinando-se forças muito altas com profundidades maiores, porém, em solos franco-arenosos conclui-se que ao incrementar as forças, a qualidade da distribuição longitudinal das plantas é reduzida.

**Palavras-chave:** Densidade populacional, espaçamento entre plantas, força em linha

## Abstract

Creating an excellent crop stand depends essentially on sowing process conduction. In situations in which the seed meter is driven by an independent motor, the sowing speed is not a limiting factor for the longitudinal seeds distribution. However, the row units bounce can cause the seeds to hit the seed tube walls, and consequently cause multiple or skips spacings. One of the factors that helps to reduce bounce is the use of a vertical force system. Therefore, the objective with this study was to verify if the vertical loads distribution influences the longitudinal crop spacing, as well as if there are differences between the final plant populations when applying different vertical forces levels in different operational modes. The experiments were carried out at the E.V Smith Research Center in Shorter, Alabama, USA. A John Deere Max Emerge Plus planter was equipped with a commercial downforce system. The analyzed variables were plant spacing, percentage of multiples, skips and acceptable spacings and plant population. For each operating mode (Manual and Automatic) of the mechanism, vertical force levels were tested: No Down Force, Very Low, Low, Medium, High and Very High for the automatic and manual modes totaling eleven treatments. The experimental design was a random complete blocks with four replications and data were collected through time, according to the specifications of the Statistical Process Control (SPC). The variability of the planting process was evaluated by the I-MR control charts. There was less uniformity in crop spacing when vertical forces were not used. In Loamy sand soil, vertical loads of 890 N provided better distribution in spacing between corn plants. In sandy loam soils, the cotton spacing distribution was better matching very high vertical loads with greater depths, however, in loamy sand soils it is concluded that by increasing the loads, the quality of the longitudinal distribution of the plants is reduced.

**Keywords:** Plant population, plant spacing, row unit load

### 4.1. Introdução

O processo de semeadura pode ser definido como uma das mais importantes etapas do ciclo produtivo de uma cultura. Quando essa operação é conduzida de maneira inadequada, erros no espaçamento longitudinal entre as sementes, profundidade de semeadura e má formação do sulco podem ocorrer devido a fatores atrelados ao maquinário utilizado, os quais podem refletir em potencial redução da produtividade. Neste caso, a má distribuição longitudinal das sementes torna-se um fator extremamente prejudicial para a etapa inicial de desenvolvimento das plantas, pois pode acarretar em espaçamentos múltiplos e/ou falhos os quais podem auxiliar o surgimento de populações naturais (plantas não cultivadas) que geralmente levam vantagem sobre culturas agrícolas pela elevada taxa de crescimento, grande

capacidade reprodutiva e elevada capacidade de exploração de nutrientes do solo (Grime, 1982).

O espaçamento longitudinal ideal de uma cultura é definido conforme a densidade populacional e a disposição das plantas estabelecidas na área cultivada. A densidade populacional é definida pela relação do número de plantas por unidade de área resultante da combinação entre o espaçamento entre linhas e o número de plantas por metro em linha. Portanto, o espaçamento de referência entre plantas é um fator muito importante para avaliar a uniformidade de semeadura. Esse valor é dependente das características de cada cultivar conforme estabelecido pelo distribuidor.

Semeadoras equipadas com motores independentes para rotação dos discos de sementes, mesmo com a velocidade de semeadura elevada, mantém rotação constante dos discos para distribuição correta da densidade populacional. No entanto, ainda há possibilidade de problemas relacionados à má distribuição longitudinal de sementes por meio do contato das sementes com as paredes do tubo condutor que aumentam o tempo para a semente ser depositada no solo (Siqueira, 2008). Sendo assim, um fator limitante para o causamento do ricocheteamento de sementes com as paredes internas do tubo condutor é a vibração das linhas de semeadura (Badua et al. 2021).

A vibração das linhas de semeadura advém da densidade, presença de resíduos vegetais na superfície do solo e na textura do solo. Portanto, a utilização de um sistema de força descendente em linha de semeadura auxilia manter o constante contato das rodas calibradoras de profundidade com o solo. Acarrentando então, em menor vibração no sistema, resultando em melhor qualidade da semeadura ao utilizar forças consideradas altas (Badua et al. 2018; Karayel & Šarauskis 2011).

Sharda et al. (2017) afirmaram que a força de reação do solo para com os discos sulcadores, bem como para rodas calibradoras de profundidade e compactadoras, variam de acordo com a distribuição textural e umidade do solo. Esses autores concluíram que é necessário aumentar a intensidade de forças verticais para manter as extremidades dos discos sempre ao fundo do leito de semeadura para reduzir a vibração das linhas. Sendo assim, torna-se necessário a verificação do nível

adequado para redução da variabilidade do espaçamentos entre plantas, mesmo que configurações como ausência ou baixa força vertical não são geralmente utilizadas por produtores (Virk et al. 2020).

Diversos são os trabalhos que utilizam-se de ferramentas do controle estatístico de qualidade (CEQ) na semeadura para o aferimento da qualidade de uma operação de semeadura (Arcoverde et al. 2016; Zerbato et al. 2019), bem como para outras operações agrícolas mecanizadas (Silva et al. 2008; Toledo et al. 2008; Noronha et al. 2011, Cassia et al., 2013, Voltarelli et al. 2017). Com isso, pode-se verificar se uma operação agrícola foi ou não bem conduzida para futuras tomadas de decisão.

Portanto, partindo-se do pressuposto de que a qualidade da distribuição dos espaçamentos entre as plantas é afetada pela força aplicada pelo mecanismo de força descendente em diferentes texturas de solo, objetivou-se neste trabalho avaliar e definir por meio do controle estatístico de processos (CEP), a qualidade da operação de semeadura utilizando o espaçamentos entre plantas e a densidade populacional de plantas de milho e algodão semeadas utilizando diferentes forças descendentes e texturas de solo em dois anos de avaliação.

O objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de cartas de controle, o efeito de diferentes níveis de forças verticais descendentes na qualidade da operação de semeadura do milho e algodão cultivados em diferentes tipos de solo.

## **4.2. Material e métodos**

O presente trabalho contou com seis experimentos distintos. As principais atividades agrônômicas desenvolvidas em cada experimento estão descritas na Tabela 1. Todos os estudos foram desenvolvidos desenvolvidos na Estação Experimental E.V. Smith (Farm Services Unit) em Shorter, Alabama, Estados Unidos, próximos às coordenadas 32°26'46"N, 85°54'15"W e altitude média de 120 m.

Tabela 1. Distribuição dos experimentos

Exp	Híbrido	Data de Semeadura	Prof. Semeadura (cm)	Densidade de Semeadura (s ha <sup>-1</sup> )	Análise Textural
1	DK6469 (Milho)	29/03/2019	3,8	65500	Franco-argilo-arenoso 55% AA, 24% AR e 21% SE (Solo 1)
2	DK6469 (Milho)	29/03/2019	3,8	65500	Franco-arenoso 81% AA, 14% AR e 5% SE (Solo 2)
3	DK6208 (Milho)	02/04/2020	3,8	89000	Franco-argiloso 30% AA, 29% AR e 41 SE (Solo 3)
4	DP1646B2XF (Algodão)	22/05/2019	1,9 e 3,8	89000	Franco-argilo-arenoso 55% AA, 24% AR e 21% SE (Solo 1)
5	DP1646B2XF (Algodão)	22/05/2019	1,9 e 3,8	89000	Franco-arenoso 81% AA, 14% AR e 5% SE (Solo 2)
6	DP1646B2XF (Algodão)	02/05/2020	3,8	89000	Franco-arenoso 81% AA, 14% AR e 5% SE (Solo 2)

Exp: Experimento; AA: Areia; AR: Argila; SE: Silte

Segundo Agseeds (2012), híbridos de milho DK 6208, em uma escala no qual 1-2=Excelente, 3-4=Ótima, 5-6=Boa, 7-8=Ruim, 9=Muito ruim, possuem vigor, boa resistência ao calor e capacidade de emergência ótimos (3-4). Híbridos DK 6469 também possuem a mesma classificação (Agseeds, 2013).

Dados técnicos relacionados à emergência e vigor do algodão DP1646 não foram encontrados na literatura ou nas recomendações da empresa responsável, porém, a variedade é reconhecida por ter forte desempenho em campo, mesmo quando submetida a diferentes ambientes, bem como é a mais utilizada pelos agricultores dos EUA (Cottonusa, 2020; Deltapine, 2021).

De acordo com a Classificação Climática de Köppen W. (1948), o clima do estado do Alabama é considerado como subtropical húmido, com médias anuais de temperatura e precipitação anual próximas a 18°C e 1400 mm respectivamente. O climograma da época de ambos experimentos podem ser verificados nas figuras 1 A e B para os experimentos realizados com as culturas do milho e algodão, respectivamente.

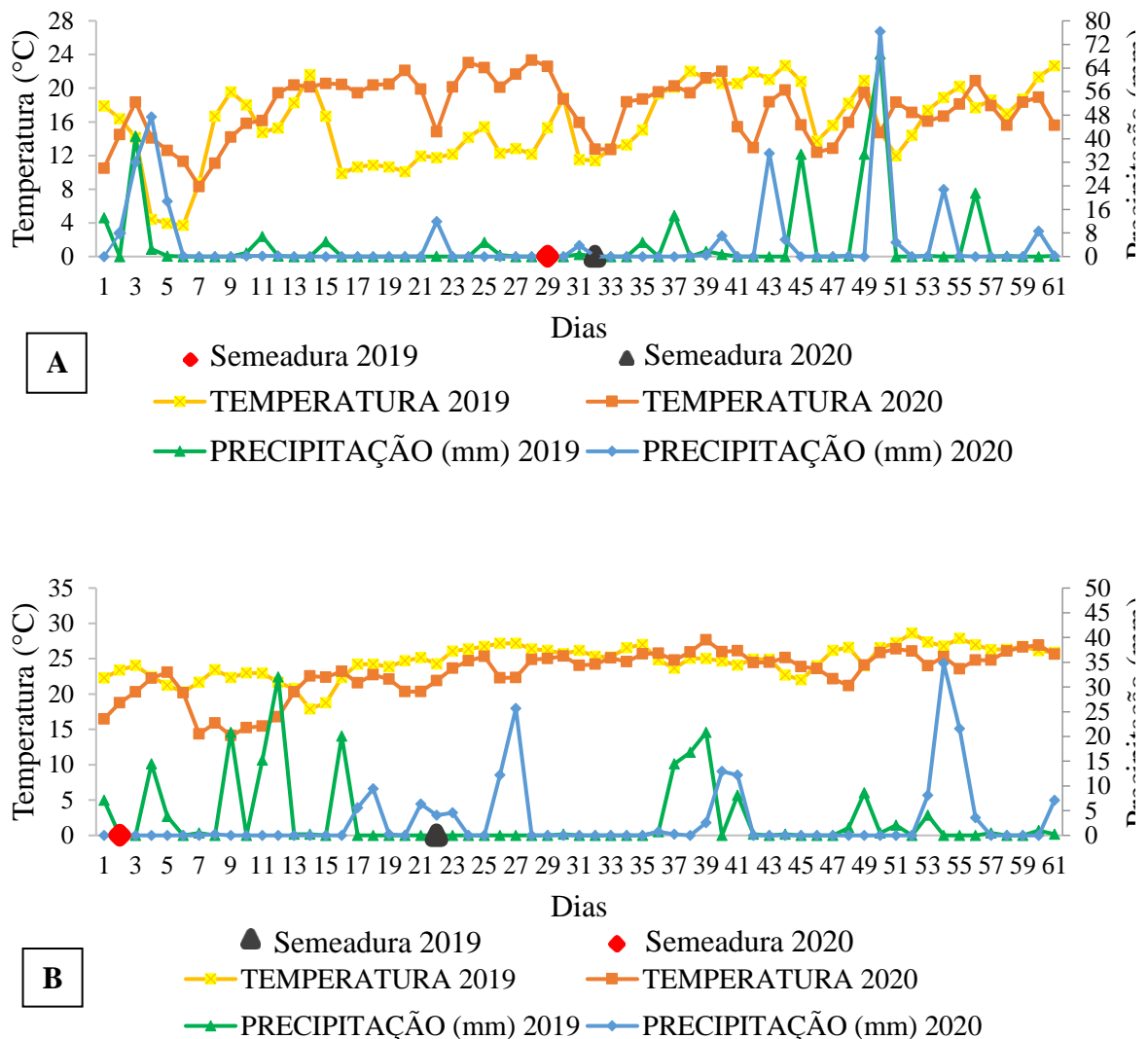


Figura 1. Climograma referentes aos experimentos com Milho e Algodão em 2019 e 2020. **A:** Milho **B:** Algodão

Ambos os experimentos foram semeados utilizando um conjunto motomecanizado constituído de um trator John Deere 6145R 4x2 TDA (John Deere,

IL, USA), com potência máxima de 141 kW (192 cv) no motor e uma semeadora John Deere MaxEmerge Plus (John Deere, IL, USA), com 6 unidades de semeadura espaçadas em 91 cm (sistema de dosagem com auxílio pneumático). O conjunto foi guiado por um sistema de piloto automático John Deere StarFire 6000 (John Deere, IL, USA) utilizando sinal de correção RTK e conectado por meio do Monitor 20|20 3ª geração e manteve-se em velocidade de 8 km h<sup>-1</sup> durante o experimento. Cada unidade de semeadura foi equipada com um mecanismo de pressão hidráulico Delta Force® (Precision Planting, IL, USA), representado pela Figura 2.

A força descendente oriunda do sistema e aplicada nas rodas calibradoras de profundidade durante o plantio foram monitoradas com o auxílio da células de carga instaladas no mecanismo de controle de profundidade. Os mecanismos dosadores de sementes, bem como os tubos condutores de sementes utilizados foram Precision Planting VDrive® e BullsEye respectivamente (Precision Planting, IL, USA).



Figura 2. DeltaForce Precision Planting situado nas barras pantográficas da linha de semeadura.

O valor máximo de força descendente do mecanismo hidráulico utilizado para o presente experimento foi de 1668 N, para o modo manual, sendo este valor,

considerado como extremamente alto. A partir deste valor, determinou-se 6 níveis de forças verticais: muito baixa, baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta para os presentes experimentos (Tabela 2).

Tabela 2: Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Modo de Operação	Descrição/Abreviação	Força (N)
Sem Força Descendente*	SDF	-
Modo Manual	Muito Baixo / (MB)	444,0
	Baixo / (BX)	534,0
	Médio / (MED)	667,0
	Alto / (AT)	890,0
	Muito Alto / (MA)	1112,0
	Extremamente Alto / (EAT)	1668,0

A utilização das forças verticais foi diferente para cada avaliação sendo que para os experimentos 1 e 2 foram utilizadas apenas as forças de níveis Baixo (BX-M), Muito Alto (MA-M) e Extremamente Alto (EAT-M). Para os experimentos 4 e 5 apenas as forças descendentes Baixo e Muito Alto, e, para os experimentos 3 e 6, todas as forças descendentes com exceção de EAT-M. A definição dos níveis de força a serem utilizados em cada experimento se deu em função da disponibilidade de área.

Após a semeadura, o teor de água do solo (TAS) foi determinado na camada de 0 a 8 cm (Tabela 3), ao início e durante a contagem da emergência de plântulas utilizando-se sonda TDR FieldScout 300 Meter da empresa Spectrum Technologies, devidamente calibrada de acordo com o manual do fabricante. Os valores de TAS se referem à média de 6 pontos amostrais coletados dentro da parcela em todos os dias de coleta após a emergência, sendo:

Tabela 3. Teor de água do solo após a semeadura.

Modo de Operação	Tratamento	TAS (%)					
		Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6
Modo Manual	Muito Baixo (MB-M)	-	-	12,1	-	-	6,7
	Baixo (BX-M)	11,2	18,5	14,1	14,0	7,5	7,4
	Médio (MED-M)	-	-	14,6	-	-	7,2
	Alto (AT-M)	-	-	14,1	-	-	6,9
	Muito Alto (MA-M)	11,1	17,3	14,0	14,1	8,0	6,6
	Extremamente Alto (EAT-M)	9,7	17,4	-	-	-	-
Controle	SDF	10,4	16,6	12,7	-	-	7,5

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições para cada tratamento nos experimentos 1, 2, 3 e 6 totalizando 18, 18, 24 e 24 parcelas respectivamente para cada experimento e 3 repetições para os experimentos 4 e 5 devido a indisponibilidade de espaço físico na área experimental. A distribuição das parcelas foi efetuada por meio da metodologia proposta por Krall et al. (1977) o qual utilizou parcelas constituídas por 3 metros de comprimento em linha da semeadora para averiguação do espaçamento entre plantas após a semeadura. No caso do presente experimento, utilizou-se as linhas de semeadura 3, 4, e 5 da máquina para a distribuição das parcelas, totalizando área amostral total de aproximadamente 8 m<sup>2</sup>. As avaliações presentes no presente experimento foram efetuadas de acordo com as premissas do Controle Estatístico de Processos (CEP) no qual as análises foram efetuadas de acordo com o tempo.

A mensuração do espaçamento entre plantas ocorreu 30 dias após a semeadura, para ambos os experimentos, por meio da utilização de trena graduada, medindo-se a distância entre cada planta dentro da parcela. A população de plantas foi mensurada por meio da contagem de todas as plantas dentro da parcela.

A quantidade de falhas, espaçamentos múltiplos e aceitáveis foi adquirida múltiplas com base em normativas da ABNT (1994) e ISO 7256 (1984) para verificação de mecanismos dosadores de sementes, que segue os seguintes conceitos:

- Espaçamento de referência (Xref): distância entre as plantas definida a partir da recomendação agrônômica de densidade de semeadura.

- Múltiplos: distâncias entre as plantas menores que 0,5 Xref.

- Falhas: ocorrência de distância entre as plantas maiores que 1,5 Xref.
- Aceitáveis: termo que caracteriza a ocorrência de distâncias entre as plantas dentro dos limites de 0,5 e 1,5 Xref.

A qualidade da distribuição dos espaçamentos entre plantas foi verificada por meio de cartas de valores individuais e amplitude móvel, que são formadas por uma linha central que representa a média geral, bem como pelos limites superior e inferior de controle (LSC e LIC, respectivamente), calculados com base no desvio padrão das variáveis, (LSC = média mais três vezes o desvio padrão; LIC = média menos três vezes o desvio padrão, quando maior que zero) (Montgomery, 2009).

Foram gerados gráficos de controle da qualidade do espaçamento entre plantas, de modo que se possa examinar o nível e a variação da média a partir dos limites superior (LSC) e inferior (LIC) de controle. Foram inseridos também, nas cartas de controle de valores individuais, os Limites Específicos de Controle (LEC), Superior e Inferior (LSEC e LIEC, respectivamente) a fim de verificar a quantidade de espaçamentos múltiplos e falhos presentes ao longo do processo. Também foram gerados gráficos sequenciais para permitir a avaliação da ocorrência de padrões de não aleatoriedade no processo, e diagramas de caixas (BoxPlot) para avaliação da densidade populacional de plantas, por meio do software Minitab® 16 (State College, Pennsylvania, USA).

#### **4.3. Resultados e discussão**

##### **Resultados e discussão relacionados à cultura do milho (Experimentos 1, 2 e 3)**

Pela análise dos resumos dos gráficos sequenciais (Tabela 4) verificou-se, quando da não utilização de forças verticais durante a operação (SDF), que existem padrões de mistura e oscilação nos solos 1 e 2, e apenas mistura no solo 3. Padrões de mistura para EAT foram verificados nas condições de solo 2 e 3. Quando da utilização de forças baixas (BX), verificou-se padrões de mistura e agrupamentos nos solos 2 e 3. O padrão de mistura indica a ausência de pontos próximos à linha central, ou seja, os pontos se alternam acima e abaixo da mediana, mostrando que há a

existência de dois grupos distintos de dados (duas populações). Por outro lado, o padrão de oscilação denota a ocorrência de um padrão regular ao longo do tempo, como por exemplo, um efeito de sazonalidade. A ocorrência de padrões de não aleatoriedade indica a possível ocorrência de causas especiais no processo que afetam o comportamento do processo de maneira não previsível, impossibilitando a obtenção de valores-padrão para esta variável. Essas variações não aleatórias podem ocorrer devido aos chamados fatores “6 M’s” (mão de obra, matéria-prima, método, medição, máquina e meio ambiente).

Tabela 4. Valor-P obtidos por meio dos gráficos sequenciais para a variável espaçamento entre plantas na cultura do milho semeado em 2019 e 2020.

Tratamento	Solo 1 (Franco-argilo-arenoso) - 2019			
	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
BX-M	0,88	0,11	0,31	0,69
MA-M	0,77	0,23	0,39	0,62
EAT-M	0,97	0,02*	0,65	0,35
SDF	0,99	<0,01**	0,97	<0,01**
Tratamento	Solo 2 (Franco-arenoso) - 2019			
BX-M	1,00	0,00**	0,97	0,02**
MA-M	0,84	0,16	0,77	0,22
EAT-M	0,96	0,03*	0,57	0,42
SDF	0,99	<0,01**	0,99	<0,01**
Tratamento	Solo 3 (Franco-argiloso) - 2020			
MB-M	0,77	0,22	0,27	0,72
BX-M	1,00	0,00**	0,92	0,07*
MED-M	0,50	0,50	0,56	0,43
AT-M	0,89	0,10	0,93	0,06
MA-M	0,94	0,06	0,90	0,09
SDF	0,90	0,00**	0,89	0,10

\* significativo a 5% de probabilidade; \*\* significativo a 1% de probabilidade; **BX**: Baixo; **AT**: Alto; **EAT**: Extremamente Alto; **SDF**: Sem Força Descendente.

Na Tabela 4, os resultados obtidos por meio dos gráficos sequenciais para o milho semeado em 2020, demonstram que houve ocorrência de padrões de mistura e oscilação para os tratamentos BX-M e de mistura para SDF.

Assim, como observado anteriormente para a semeadura realizada em 2019, o padrão de mistura indica a existência de dois grupos distintos de dados, um acima e outro abaixo da mediana, o que significa que o espaçamento entre plantas, para estes dois tratamentos, ora se manteve acima da mediana, ora se manteve abaixo da

mediana, o que pode ser um indicador da ocorrência de causas especiais. Já o padrão de oscilação encontrado para o tratamento SDF denota a irregularidade do espaçamento de plantas ao longo do tempo, podendo, também, ser um indicador da ocorrência de causas especiais no processo, o que, no entanto, deve ser comprovado ou refutado pelas cartas de controle.

As médias de espaçamentos entre plantas para o milho semeado em 2019 (Tabela 5), mantiveram-se próximas do desejado ( $89.000$  sementes  $ha^{-1}$ ), tendo em vista que a distância pré-configurada entre as sementes foi de  $16,8$  cm, para ambas texturas dos solos nos quais os tratamentos foram dispostos. Os coeficientes de variação foram considerados como médios na maioria das observações nas três texturas, porém, considerado apresentou-se como alto no tratamento SDF no Solo 2 (textura franco-arenosa), de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009).

O Coeficiente de Assimetria ( $C_s$ ) foi positivo com grau elevado no solo Franco-argilo-arenoso para todas os tratamentos avaliados, demonstrando maior concentração dos dados à esquerda em relação à curva de distribuição normal (observações menores que a média); no solo Franco-arenoso o grau de assimetria positivo foi elevado apenas para o tratamento SDF, sendo todos os outros considerados pequenos. Os resultados para o Coeficiente de Curtose ( $C_k$ ) demonstraram curvas com grau de achatamento afilado para todos os tratamentos ( $C_k > 0$ ), o que representa a presença de picos nas observações de espaçamento entre as plantas, o que também pode indicar a presença de possíveis incidências de espaçamentos considerados falhos.

---

Tabela 5: Estatística descritiva para a variável espaçamento entre plantas na cultura do milho semeado em 2019 e 2020 em solos com texturas franco-argilo-arenosa e franco arenosa (Solo 1 e 2 respectivamente).

Tratamento	Solo 1 (Franco-argilo-arenoso) - 2019				
	$\bar{X}$ (cm)	C.V (%)	Cs	Ck	R.J (Valor-p)
BX-M	17,4	23,7	2,5	8,4	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M	17,2	20,8	1,9	7,7	<0,01 <sup>NN</sup>
EAT-M	17,0	22,5	1,7	6,6	<0,01 <sup>NN</sup>
SDF	17,2	22,2	1,9	5,4	<0,01 <sup>NN</sup>
Tratamento	Solo 2 (Franco-arenoso) - 2019				
BX-M	16,6	18,9	0,0	2,7	>1,00 <sup>N</sup>
MA-M	16,9	19,8	-0,3	0,1	<0,01 <sup>NN</sup>
EAT-M	16,7	14,4	0,4	3,0	1,00 <sup>N</sup>
SDF	17,5	29,3	1,2	0,8	<0,01 <sup>NN</sup>
Tratamento	Solo 3 (Franco-argiloso) - 2020				
MB-M	13,7	38,5	1,6	4,4	<0,01 <sup>NN</sup>
BX-M	12,6	31,3	1,1	3,4	<0,01 <sup>NN</sup>
MED-M	12,3	28,9	-0,1	0,0	>1,00 <sup>N</sup>
AT-M	12,6	25,7	1,6	6,9	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M	12,4	23,8	0,0	1,7	0,04 <sup>NN</sup>
SDF	13,6	34,5	1,5	1,5	<0,01 <sup>NN</sup>

$\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; R.J: valor do teste de normalidade de Ryan Joiner; N: distribuição normal; NN: distribuição não-normal; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático.

A maioria dos tratamentos indicaram distribuição não-normal dos resultados (Tabela 5), com excessão de BX-M e EAT-M em solo franco-arenoso (Solo 2) porém, de acordo com Wheeler (1995), Wheeler & Chambers (1992) e Samohyl (2009) não é necessário transformar dados que são usados em cartas de controle, porque cartas de controle funcionam bem em situações onde os dados não são normalmente distribuídos.

Ao se observar a Tabela 5, verifica-se que as médias dos espaçamentos mantiveram-se distantes do desejado (12,19 cm), bem como que houve variabilidade muito alta dos resultados ao nos tratamentos MB-M e SDF. Houve comportamento semelhante no ano de 2019 em solos franco-arenosos e franco-argilosos.

A dispersão dos dados pelo coeficiente de assimetria, apresentou em sua maioria valores positivos e elevados ( $Cs > 1,0$ ), ou seja, os espaçamentos entre as plantas estiveram agrupados a esquerda em relação à curva, sendo a moda e mediana menores que a média e calda alongada à direita, com excessão dos tratamentos MED-M e MA-M que apresentaram assimetria pequena com

concentração dos dados próximos à média. De acordo com o coeficiente de curtose, o grau de achatamento da curva foi considerado mesocúrtico apenas para o tratamento MED-M, o que representa uma curva de distribuição normal. Para os tratamentos restantes o grau de achatamento da curva foi mais afilado, com picos de resultados maiores ( $C_k > 0.1$ ).

De acordo com o exposto na Figura 3 A e B, verificou-se que a qualidade da distribuição do espaçamento entre as plantas foi melhor ao utilizar forças de 1112 N em solo com textura franco-argilo-arenosa (Solo 1). Porém, ao verificar a distribuição do espaçamento entre as plantas em solo com textura argilo-arenosa (Solo 2), a menor variabilidade foi encontrada quando houve aplicação de maior força descendente (1668 N). Quando não houve aplicação de forças verticais (SDF) a variabilidade tendeu a aumentar nos dois cenários, resultados que concordam com os de Badua et al. (2018), que observaram que ao avaliar a influência de forças descendentes baixas e altas verificou que ao não aplicar a pressão necessária sobre as rodas calibradoras de profundidade, a vibração nas unidades de semeadura afetaram a distribuição das sementes pelos tubos condutores.

Além da variação dos espaçamentos causada pelas forças descendentes, verificou-se por meio dos limites específicos de controle que os tratamentos BX e SDF apresentaram 3 e 5 % dos pontos avaliados como falhas ( $1,5 \cdot X_{ref}$ ) no Solo 1, respectivamente. Quanto à ocorrência de falhas e duplas no Solo 2, a maior quantidade de falhas (7,5 %) foi encontrada no tratamento SDF. Badua et al. (2018), avaliando diferentes forças em modo fixo e automático de um mecanismo de força descendente hidráulico, verificaram que existiu diferença significativa para o índice de falhas entre os tratamentos com forças baixas e altas em modo automático de operação.

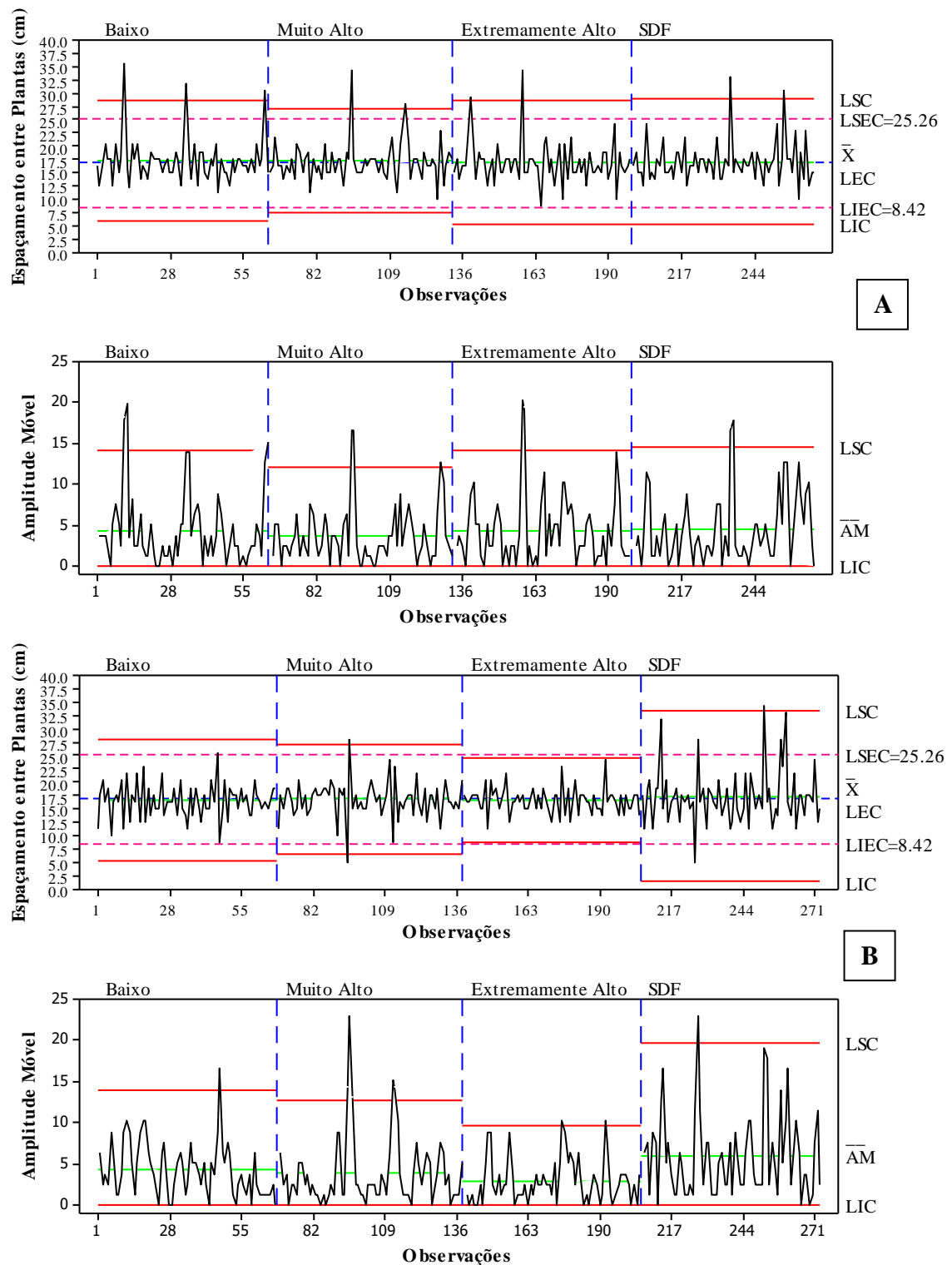


Figura 3. Cartas de Controle de Valores Individuais e Amplitude Móvel para a variável espaçamento entre plantas na cultura do milho semeado em 2019. A: Solo 1; B: Solo 2.

De acordo com os resultados expressos na Figura 4 verificou-se que ao não utilizar forças verticais (SDF) ou aplicar forças mais baixas a variabilidade foi maior, e, com o incremento destas a variação dos dados diminuiu, incrementando apenas quando utilizou-se o tratamento MA. Neste caso, a pode haver potencial redução da produtividade final da cultura, tendo em vista que Krall et al. (1977) afirmaram que a produtividade da cultura do milho decaiu significativamente quando houve aumento no desvio padrão do espaçamento entre as plantas em linha.

Por meio dos limites específicos de controle verificou-se que a maior porcentagem de aceitáveis ocorreu quando utilizou-se forças médias, altas e muito altas, enquanto que a porcentagem de falhas foi de 11 e 17 % (30 e 48cm) quando não utilizou-se forças descendentes e quando utilizou-se forças verticais consideradas baixas respectivamente.

As porcentagens de espaçamentos considerados duplos ( $X_{ref} \cdot 0,5$ ) foram de 4, 1, 4, 1, 2 e 2,5 % para dos tratamentos MB, BX, MED, AT, MA e SDF respectivamente, sendo as maiores encontradas nos tratamentos MB-M e MED-M. Badua et al. (2018) avaliando o índice de uniformidade para espaçamentos duplos verificou que houve diferença significativa entre as amplitudes quando utilizou-se forças descendentes médias e baixas, sendo as menores consideradas as mais prejudiciais. Pela semeadura no presente experimento não ser efetuada de maneira direta (plantio direto) pode existir a possibilidade de aparecimento de plantas daninhas nessas falhas (pontos fora dos limites superiores específicos de controle), o que pode causar competição por água e nutrientes além da perda econômica devido a ausência de plantas produtivas.

De acordo com a óptica do Controle Estatístico de Processos (CEP) o processo foi instável (inserção de limites acima ou abaixo dos limites superior e inferior de controle) quanto utilizou-se os tratamentos MB, BX e SDF para efetuar a semeadura, sendo que estes pontos podem ser atrelados ao fatores 6'Ms quando verificados por meio dos gráficos de corrida (Tabela 6) como padrões de não-aleatoriedade atrelados a causas especiais inerentes ao processo.

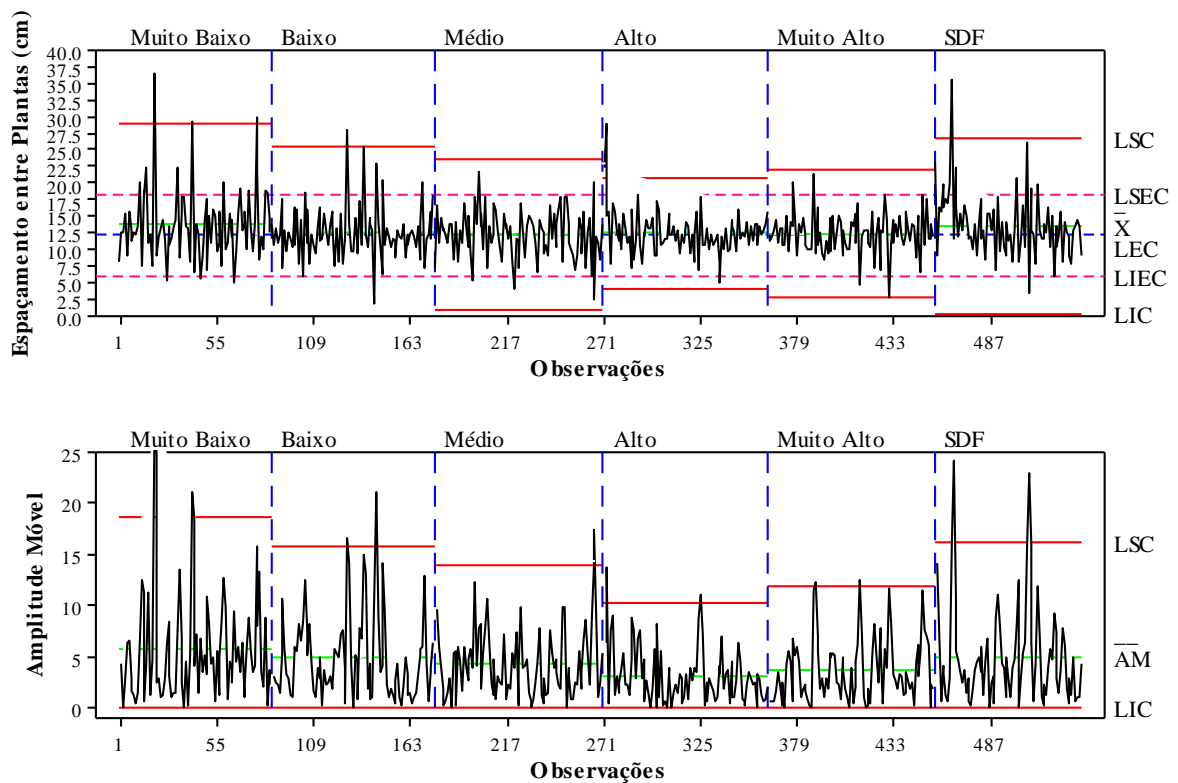


Figura 4: Carta de controle de valores individuais para a variável espaçamento entre plantas na cultura do milho semeado em 2020 em solo Franco-argiloso. LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; LEC: Limite específico de controle; LSEC: Limite superior específico de controle; LIEC: Limite inferior específico de controle;  $\bar{X}$ : Média;  $\overline{AM}$ : Média da Amplitude Móvel.

As porcentagens de espaçamentos considerados múltiplos ( $X_{ref} \cdot 0,5$ ) (Figura 4) foram de 4; 1; 4; 1; 2 e 2,5 % para dos tratamentos MB-M, BX-M, MED-M, AT-M, MA-M e SDF, respectivamente, sendo as maiores encontradas nos tratamentos MB-M e MED-M. Badua et al. (2018) avaliando o índice de uniformidade para espaçamentos múltiplos verificou que houve diferença significativa entre as amplitudes quando utilizou-se forças médias e baixas, sendo as menores consideradas as mais prejudiciais. Os resultados podem estar atrelados à reação do solo para com os discos sulcadores, tendo em vista que Sharda et al. (2017) afirmam que em solos com teores de argila elevados, a reação do solo é maior para com os discos. O impedimento dos discos sulcadores em manter a profundidade de semeadura também afeta a qualidade de contato das rodas calibradoras de profundidade, podendo impedir diminuir o contato das sementes com o solo, e, conseqüentemente a emergências de plântulas.

Pela semeadura no presente experimento não ser efetuada de maneira direta (plântio direto) pode existir a maior propensão do surgimento de plantas daninhas em espaçamentos falhos (pontos fora dos limites superiores específicos de controle), o que pode causar competição por água e nutrientes além da perda econômica devido a ausência de plantas produtivas.

De acordo com a óptica do Controle Estatístico de Processos (CEP,) o processo foi instável (inserção de limites acima ou abaixo dos limites superior e inferior de controle) quanto utilizou-se forças verticais MB, BX e SDF para efetuar a semeadura. Estes pontos podem ser atrelados aos fatores 6'Ms, quando verificados por meio dos gráficos de corrida (Tabela 5) como padrões de não-aleatoriedade atrelados a causas especiais inerentes ao processo.

### **Resultados e discussão relacionados à cultura do algodão (Experimentos 4, 5 e 6)**

Por meio dos gráficos sequenciais para a cultura do algodão semeado em 2019 (Tabela 6) observou-se que apenas o tratamento MA+3,8 cm apresentou indícios de ocorrência de padrão de não aleatoriedade de tendência, apresentando neste caso aumento ou diminuição expressivos na distância entre as plantas. A ocorrência de tendências em um processo pode advertir que o mesmo se encontra próximo de sair de controle, e que isto pode ser devido a fatores tais como, ferramentas utilizadas, uma máquina sem manutenção adequada, ou o turno de operadores. Neste caso, a força excessiva pressionando a linha de semeadura contra o solo, pode ter sido um fator limitante para o aumento da variação no espaçamento entre as plantas.

Tabela 6. Valor-P obtidos por meio dos gráficos sequenciais para a variável espaçamento entre plantas na cultura do algodão semeado em 2019 e 2020.

Tratamento	Solo 1 (Franco-argilo-arenoso) - 2019			
	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
BX-M+R	0,79	0,20	0,60	0,39
BX-M+P	0,76	0,24	0,81	0,18
MA-M+R	0,40	0,60	0,11	0,88
MA-M+P	0,06	0,93	0,04*	0,96
Tratamento	Solo 2 (Franco-arenoso) - 2019			
BX-M+R	0,90	0,10	0,82	0,18
BX-M+P	0,73	0,26	0,88	0,11
MA-M+R	0,17	0,83	0,26	0,74
MA-M+P	0,67	0,33	0,32	0,68
Tratamento	Solo 2 (Franco-arenoso) - 2020			
MB-M	0,96	0,04*	0,84	0,15
BX-M	0,75	0,25	0,50	0,50
MED-M	0,46	0,54	0,60	0,40
AT-M	0,37	0,63	0,80	0,20
MA-M	0,86	0,14	0,64	0,36
SDF	0,71	0,29	0,67	0,33

\* significativo a 5% de probabilidade; \*\* significativo a 5% de probabilidade; **BX**: Baixo; **AT**: Alto; **EAT**: Extremamente Alto; **SDF**: Sem Força Descendente.

Os gráficos sequenciais para a distribuição do espaçamento entre plantas de algodão em 2020 (Tabela 6) demonstraram possíveis padrões de mistura para o tratamento MB-M que são passagens frequentes de ponto pela linha central. Por tratar-se de um padrão que indica a ausência de pontos próximos à linha central, ou seja, os pontos se alternam acima e abaixo da linha central, pode-se auferir que o padrão de tendência verificado no tratamento pode ser um fator limitante para o surgimento de espaçamentos falhos ou múltiplos.

Ao compararmos as médias da distribuição dos espaçamentos entre plantas para o algodão semeado em 2019 com o espaçamento desejado (Tabela 7), verificou-se que no solo 1, as médias ficaram dentro dos limites específicos (entre 6,09 e 18,29 cm) quando optou-se por semear em profundidades maiores, sendo que no solo 2 o mesmo ocorreu apenas para o tratamento MA-M, também em maior profundidade.

Ainda para o ano de 2019, o coeficiente de variação foi considerado como muito alto para ambos os tratamentos. Quanto à assimetria das observações, verificou-se

que para todos os tratamentos a assimetria foi positiva com grau elevado, o que determina que os dados mantiveram-se dispersos à esquerda (moda e mediana menores que a média). Os coeficientes de curtose demonstraram curvas do tipo leptocúrtica, mais afiladas e com picos de observações que neste caso podem vir a serem apresentados como falhas.

Tabela 7: Estatística descritiva para a variável espaçamento entre plantas na cultura do algodão semeado em 2019 e 2020 em solos com texturas franco-argilo-arenosa e franco arenosa (Solo 1 e 2 respectivamente).

Tratamento	Solo 1 (Franco-argilo-arenoso) - 2019				
	$\bar{X}$ (cm)	C.V	Cs	Ck	R.J (Valor-p)
BX-M+R	23,2	62,2	1,87	3,42	<0,01 <sup>NN</sup>
BX-M+P	19,1	59,8	2,04	4,50	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M+R	20,7	63,4	2,04	6,26	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M+P	17,7	55,6	1,00	0,19	<0,01 <sup>NN</sup>
Tratamento	Solo 2 (Franco-arenoso) - 2019				
BX-M+R	21,0	63,2	1,89	4,21	<0,01 <sup>NN</sup>
BX-M+P	22,1	88,7	2,65	8,25	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M+R	21,0	66,2	1,75	3,03	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M+P	17,7	64,0	1,49	1,75	<0,01 <sup>NN</sup>
Tratamento	Solo 2 (Franco-arenoso) - 2020				
MB-M	13,5	35,9	1,5	5,2	<0,01 <sup>NN</sup>
BX-M	13,7	33,9	0,7	0,3	0,04 <sup>NN</sup>
MED-M	14,0	44,6	2,2	6,2	<0,01 <sup>NN</sup>
AT-M	13,9	40,1	1,1	1,5	<0,01 <sup>NN</sup>
MA-M	14,1	40,9	1,0	1,6	<0,01 <sup>NN</sup>
SDF	14,7	34,0	1,3	1,5	<0,01 <sup>NN</sup>

$\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; RJ: valor do teste de normalidade de Ryan Joiner; N: distribuição normal; NN: distribuição não-normal; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático.

Em 2020 (Tabela 7) os espaçamentos para todos os tratamentos mantiveram-se próximos ao desejado (12,2 cm), quanto aos coeficientes de variação, os mesmos foram considerados como muito altos segundo a classificação de Pimentel-Gomes (2009). O coeficiente de assimetria foi considerado como positivo com grau elevado, bem como os coeficientes de curtose, que demonstraram grau de achatamento da curva como mais afilada.

Na Figura 5, verificou-se que a variabilidade entre os limites superior e inferior de controle foram maiores para o espaçamento entre plantas ao utilizar BX-M nas

condições de Solo 1 e 2. bem como ao incrementar a profundidade de semeadura a qualidade da distribuição entre os espaçamentos foi melhor no Solo 1. Todos os tratamentos apresentaram quantidades expressivas de pontos acima do limite superior específico de controle no Solo 1 (Figura 1 B) tendo 49, 36, 45 e 32% de falhas para os tratamentos BX+1,9cm, BX-3,8cm, MA-1,9cm e MA-3,8cm respectivamente, sendo as menores porcentagens de falhas encontradas ao utilizar profundidades maiores.

Os tratamentos com profundidades de semeadura maiores foram provavelmente influenciados pelo fator meio ambiente, devido à ocorrência de um período de escassez hídrica (Figura 1 B). No Solo 2 (Figura 5 B), observou-se maior incidência de falhas quando forças verticais baixas foram aplicadas durante a semeadura, sendo que o tratamento MA+3,8 cm destacou-se pela tanto pela uniformidade, quanto pela menor quantidade de observações abaixo do Limite Superior Específico de Controle (LSEC) nas duas situações (Solos 1 e 2).

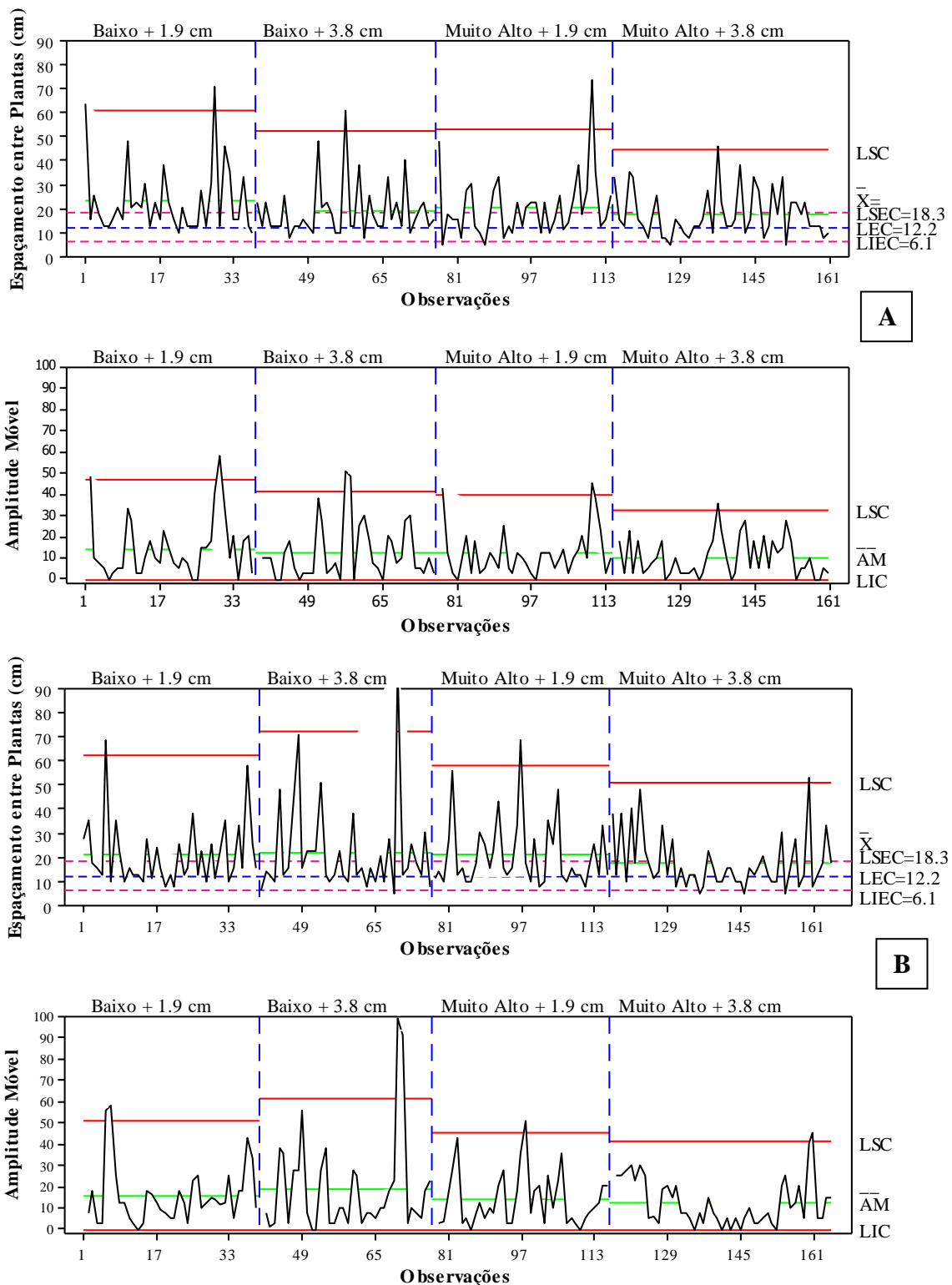


Figura 5. Cartas de Controle de Valores Individuais e Amplitude Móvel para a variável espaçamento entre plantas na cultura do algodão semeado em 2019. A: Solo 1; B: Solo 2.

LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; LEC: Limite específico de controle; LSEC: Limite superior específico de controle; LIEC: Limite inferior específico de controle;  $\bar{X}$ : Média;  $\overline{AM}$ : Média da Amplitude Móvel.

Os gráficos sequenciais para a distribuição do espaçamento entre plantas de algodão em 2020 (Tabela 10) demonstraram possíveis padrões de mistura para o tratamento MB-M que são passagens frequentes de ponto pela linha central.

Tabela 10. Resultados dos Gráficos Sequenciais para a variável Espaçamento Entre plantas na cultura do milho semeado em 2020.

Tratamento	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
MB (M)	0,96	0,04*	0,84	0,15
BX (M)	0,75	0,25	0,50	0,50
MED (M)	0,46	0,54	0,60	0,40
AT (M)	0,37	0,63	0,80	0,20
MA (M)	0,86	0,14	0,64	0,36
SDF	0,71	0,29	0,67	0,33

$\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático.

Os espaçamentos entre as plantas nos tratamentos foram próximos ao desejado (12,19 cm) como verificou-se na Tabela 11, quanto aos coeficientes de variação, os mesmos foram considerados como muito altos segundo a classificação de Pimentel-Gomes (2009). O coeficiente de assimetria foi considerado como positivo com grau elevado, bem como os coeficientes de curtose, que demonstraram grau de achatamento da curva como mais afilada.

Tabela 11. Estatística Descritiva para a variável Espaçamento entre Plantas na cultura do algodão semeado em 2020.

Tratamento	$\bar{X}$ (cm)	C.V (%)	Cs	Ck	R.J (P-Value)
MB (M)	13,5	35,9	1,5	5,2	<0,01 <sup>NN</sup>
BX (M)	13,7	33,9	0,7	0,3	0,04 <sup>NN</sup>
MED (M)	14,0	44,6	2,2	6,2	<0,01 <sup>NN</sup>
AT (M)	13,9	40,1	1,1	1,5	<0,01 <sup>NN</sup>
MA (M)	14,1	40,9	1,0	1,6	<0,01 <sup>NN</sup>
SDF	14,7	34,0	1,3	1,5	<0,01 <sup>NN</sup>

$\bar{X}$ : Média; **C.V (%)**: Coeficiente de Variação; **Cs**: Coeficiente de Assimetria; **Ck**: Coeficiente de Curtose; **MB**: Muito Baixo; **BX**: Baixo; **MED**: Médio; **AT**: Alto; **MA**: Muito Alto; **SDF**: Sem Força Descendente; **(M)**: Modo Manual; **(A)**: Modo Automático.

O processo de distribuição dos espaçamentos para o algodão (Figura 6) demonstrou que diferentemente do ano de 2019 nos mesmos tratamentos aplicados (BX e MA) e na mesma condição de solo, a qualidade da distribuição dos espaçamentos foi pior ao utilizar cargas muito altas e melhor quando utilizou-se de

baixas forças descendentes, o que pode estar atrelado à data de semeadura que para o ano de 2019 foi efetuada em 22 de Maio e em 2020, 02 de Maio onde as temperaturas ainda estavam amenas, com maior possibilidade da manutenção de umidade no sulco (Figura 1 B). De maneira geral, a variabilidade entre os espaçamentos foi maior com o incremento das forças aplicadas, sendo a maior variação entre o distanciamento entre as plantas verificada no tratamento MA-M.

A amplitude entre os limites de controle (Figura 6) também afetou a porcentagem de falhas entre as plantas ( $1,5 \cdot X_{ref}$ ), sendo a maior quantidade de pontos (20,2 %) acima do LSEC encontrada no tratamento MA-M (1112 N), bem como a menor (13,5 %) quando aplicou-se a quantidade mínima de forças descendentes (444 N), resultados estes que podem estar atrelados à profundidade de semeadura, tendo em vista que diversos estudos (Karayel & Sarauskis, 2011; Hanna et al. 2010 e Badua et al. 2018) relataram que a profundidade é influenciada pelo aumento da força descendente nas rodas calibradoras de profundidade.

A incidência de espaçamentos considerados duplos ( $X_{ref} \cdot 0,5$ ) foi verificada em todos os tratamentos, porém, mais expressivos para os tratamentos MB, MED, AT e MA os quais representaram 4,5, 4,8, 4,6 e 3,6 % respectivamente.

Quanto ao processo, observou-se que apenas os tratamentos BX e SDF não apresentaram pontos fora dos limites superior e inferior de controle, demonstrando que o processo da distribuição dos tratamentos obteve mais qualidade em relação MB, MED, AT e MA.

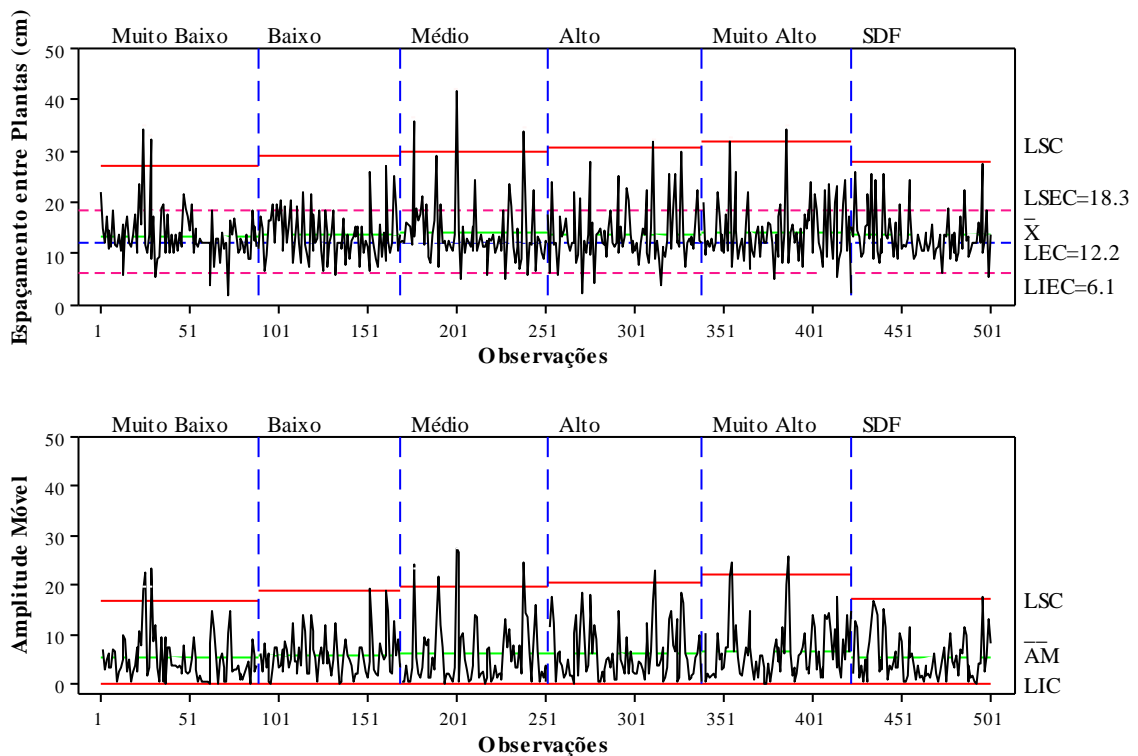


Figura 6. Carta de controle de valores individuais para a variável espaçamento entre plantas na cultura do algodão semeado em 2020.

LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; LEC: Limite específico de controle; LSEC: Limite superior específico de controle; LIEC: Limite inferior específico de controle;  $\bar{X}$ : Média;  $\overline{AM}$ : Média da Amplitude Móvel.

A densidade populacional entre os tratamentos para o milho semeado em 2019 (Figura 7) manteve-se próxima da desejada ( $65500 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) nos tratamentos BX-M e MA-M quando submetidos à semeadura em solo Franco-Argilo-Arenoso (Solo 1) bem como Argilo-Arenoso (Solo 2). Quando não utilizou-se forças descendentes (Tratamento SDF), a média da densidade de plantas distanciou do desejado. O coeficiente de variação foi baixo para ambos os tratamentos de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009). Verificou-se que houve a presença de outliers muito abaixo da população estipulada para os tratamentos BX-M e SDF. Vale ressaltar ainda que estes tratamentos apresentaram maior variabilidade para a variável espaçamento entre plantas nas duas condições de solo. Para o Solo 1, as os tratamentos EAT-M e BX-M apresentaram as menores e maiores observações bem como que para o Solo 2 foram os tratamentos SDF e EAT-M, que neste caso, pode-se correlacionar as observações em solo com textura mais arenosa ao melhor ambiente para as sementes criado pela força descendente no tratamento EAT-M.

Cortez et al. (2010) verificando a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) após a passagem da semeadora com diferentes pressões nas rodas compactadoras relataram que houve aumento na RMSP quando utilizou-se pressões mais altas.

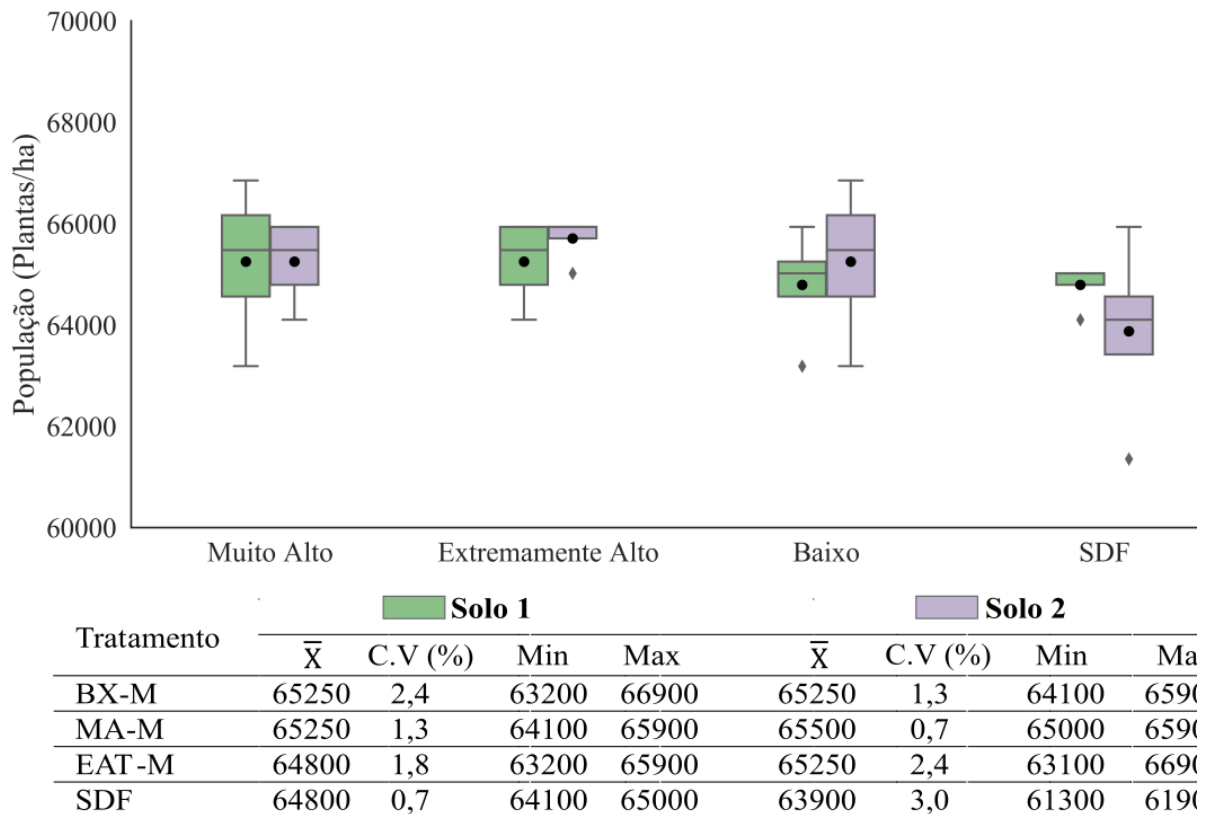


Figura 7. Densidade populacional e estatística descritiva da cultura do milho semeado em 2019.

As médias de densidade populacional no ano de 2020 para o milho mantiveram-se distantes do desejado (89700 plantas ha<sup>-1</sup>) nos tratamentos MB-M e SDF (Figura 8) os quais apresentaram maior variabilidade no espaçamento entre plantas (Figura 4). O coeficiente de variação para a população das plantas foi considerado como baixo para os tratamentos os quais o mecanismo de força descendente foi utilizado (MB-M, BX-M, MED-M, AT-M e MA-M) de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009). Os gráficos de caixas (Figura 8) também demonstraram que a maior variação entre as populações dentro dos três primeiros quartis foram encontradas no tratamento SDF, em que, assim como observado na

carta de controle de valores individuais para o milho no mesmo ano, apresentou alta variabilidade na distribuição dos espaçamentos, ou seja, a amplitude dos desvios neste caso tornou-se um fator crucial para aumento na variação da população das plantas. O menor valor (Min) foi verificado no tratamento SDF.

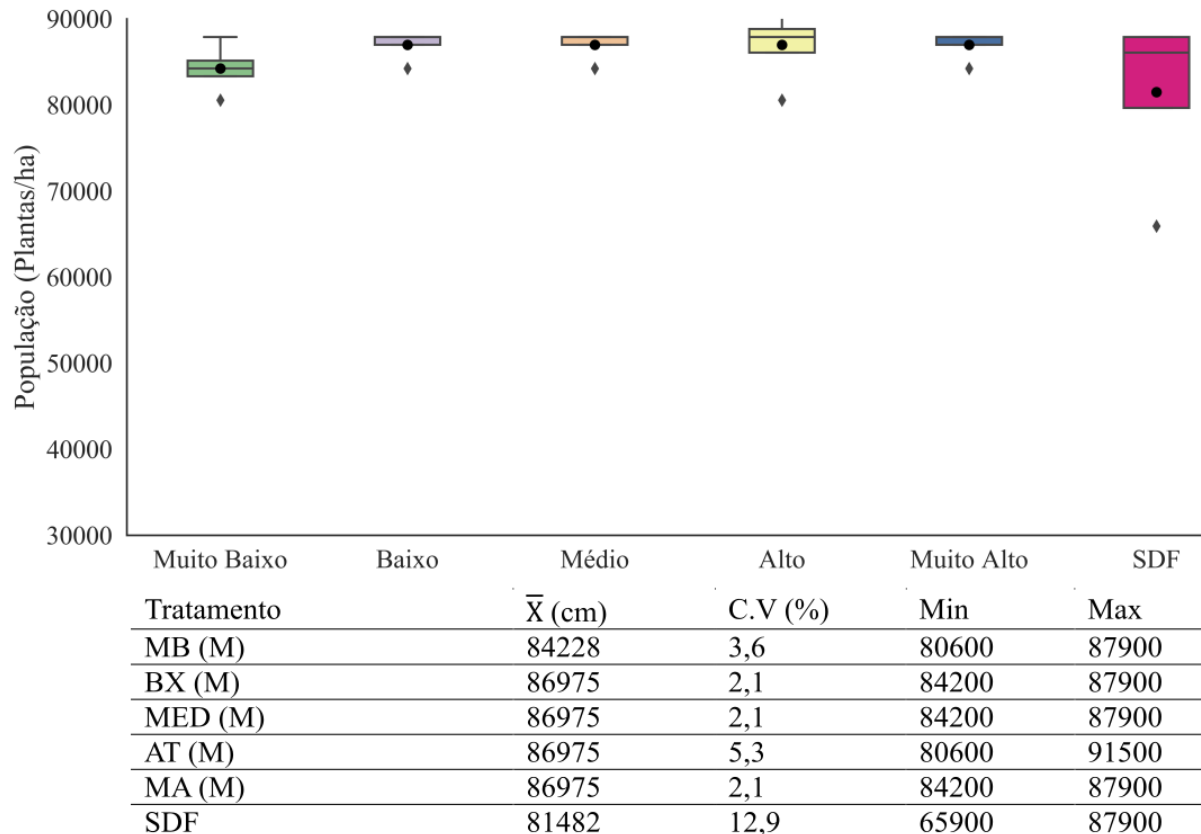


Figura 8. Densidade populacional e estatística descritiva da cultura do milho semeado em 2020.

Como já observado no climograma (Figura 1 B), o aumento das temperaturas aliados à escassez de chuvas para o algodão no ano de 2019 afetaram diretamente também a população de plantas (Figura 9), tornando os valores muito distantes da desejada ( $89.700 \text{ plantas ha}^{-1}$ ), o que afetou também os coeficientes de variação, sendo os mesmos considerados como médios e altos para todos os tratamentos.

Torna-se importante frisar que mesmo as populações sendo consideradas como baixas em 2019, quando combinou-se forças verticais muito altas com profundidades maiores nas duas condições de solo, a população ficou mais próxima

do desejado, bem como houve aumento de valores máximos encontrados para os tratamentos dispostos em profundidades maiores.

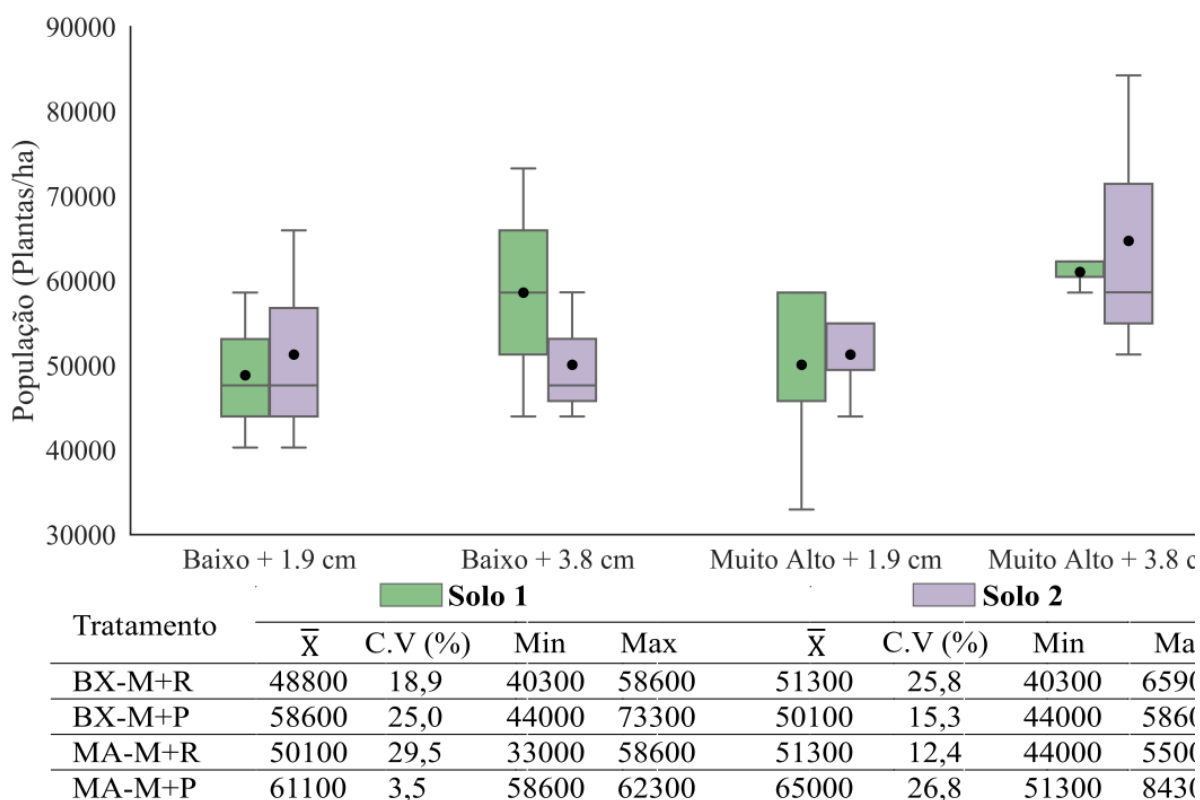


Figura 9. Densidade populacional e estatística descritiva da cultura do algodão semeado em 2019.

Para a cultura do algodoeiro semeado no ano de 2020 (Figura 10) as densidades populacionais foram próximas do desejado para todos os tratamentos. O coeficiente de variação para o tratamento MA-M foi considerado como baixo, o que remete também à uniformidade na produtividade, tendo em vista que ao longo do campo as densidades populacionais possuíam números próximos, sendo que os outros tratamentos apresentaram C.V's médios de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009). Ao observar os valores mínimos e máximos, verificou-se que nos tratamentos os quais houve mais incidência de plantas duplas (Figura 6), o número máximo de plantas ha<sup>-1</sup> foi incrementado.

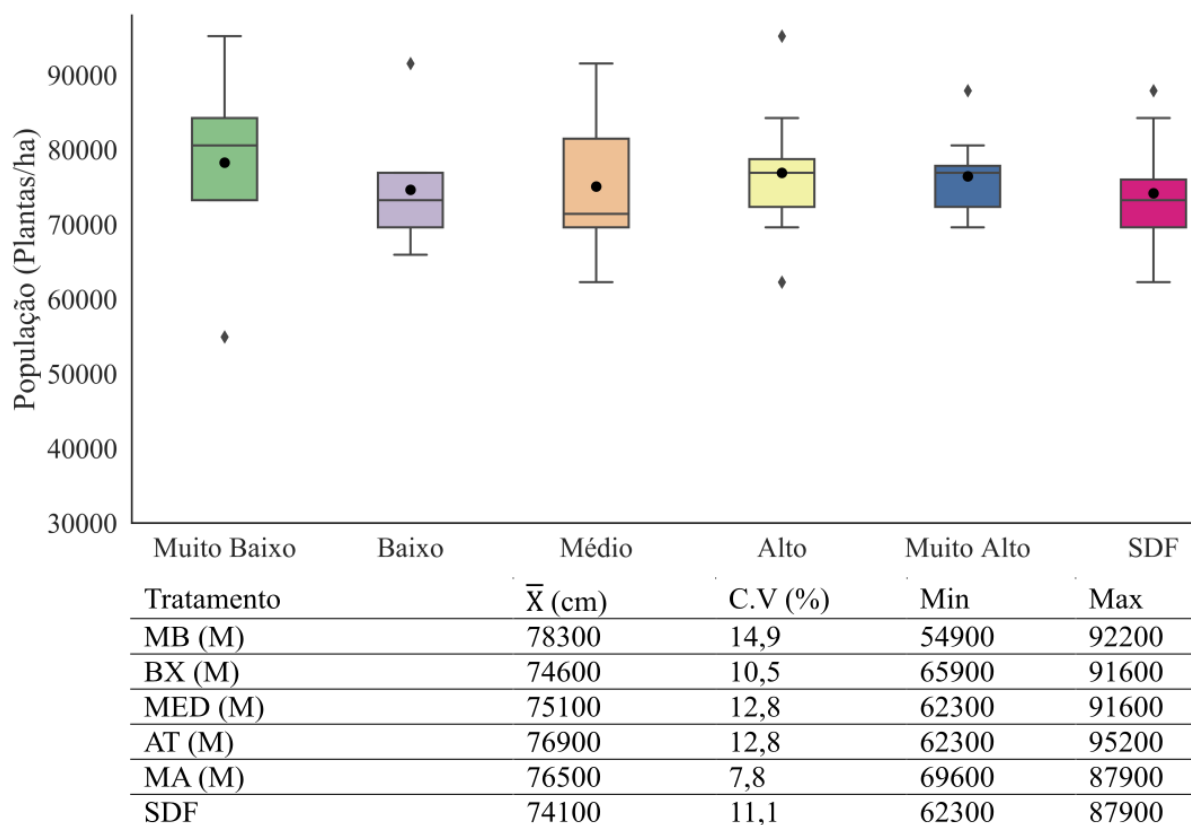


Figura 10. Densidade populacional e estatística descritiva da cultura do algodão semeado em 2020.

#### 4.4. Conclusões

A utilização de forças verticais proporciona melhor uniformidade na distribuição populacional de plantas de milho quando comparada a não utilização de forças.

Aplicação de forças verticais na unidade de semeadura não afeta a uniformidade da densidade populacional de plantas de algodão.

Em solo franco-argilo-arenoso, forças equivalentes a 890 N proporcionam melhor distribuição no espaçamento longitudinal entre plantas de milho. Porém, em solo franco-arenoso e franco-argilosos a melhor qualidade de semeadura foi observada em forças verticais de 1112 e 1668 N, respectivamente.

Em solos franco-argilo-arenosos a qualidade da distribuição dos espaçamentos na cultura do algodão é melhor combinando-se forças verticais muito altas com

profundidades maiores, porém, em solos franco-arenosos conclui-se que ao incrementar as forças, a qualidade da distribuição longitudinal das plantas é reduzida.

#### 4.5. Agradecimentos

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

#### 4.6. Referências bibliográficas

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) Projeto de norma 04:015.06- 004/1995. Semeadora de precisão: ensaio de laboratório/método de ensaio. São Paulo: ABNT. 2l p.

Agseeds (2012) DKC62-08 Brand Blend. Disponível em: <http://www.agseeds.com/agseeds/assets/File/dkc6208rib-1.pdf>. Acesso em: 28 Mar, 2021.

Agseeds (2013) DKC64-69 Brand. Disponível em: <http://www.agseeds.com/agseeds/assets/File/DKC6469rib-1.pdf>. Acesso em: 28 Mar, 2021.

Arcoverde SNS, Souza CMA, Cortez JW, Guazina RA, Maciak PAG (2016) Qualidade do processo de semeadura da cultura do milho de segunda safra. Engenharia na Agricultura, 24(5): 383-392.

Badua S, Sharda A, Strasser R, Ciampitti I, Griffin TW (2018) Influence of Planter Downforce Setting and Ground Speed on Seeding Depth and Plant Spacing Uniformity of Corn. In: Proceedings of 14<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture. Montreal, Quebec, Canada.

Badua SA, Sharda A, Strasser R, Ciampittu I (2021) Ground speed and planter downforce influence on corn seed spacing and depth. Precision Agric.

Cassia MT, Silva RP, Chioderolli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. Ciência Rural 43: 28–34.

Cortez GW, Alves PJ, Grotta DCC, Furlani CEA, Silva RP (2010) Profundidade de semeadura e carga aplicada na roda compactadora para produção de milho silagem. Engenharia na Agricultura 18(5): 398-404.

Cottonusa (2020) The guide to buying cotton – 2020. Disponível em: <<https://cottonusa.org/uploads/documents/CCI-Buyers-Guide-2020.pdf>>. Acesso em 28 Mar, 2021.

Deltapine (2021) Seed finder. Disponível em: <https://www.dekalbasgrowdeltapine.com/en-us/seed-finder/cotton.html#view=national>. Acesso em 28 Mar, 2021.

Grime JP (1982) Estratégias de adaptacion de las plantas y procesos que controlans la vegetacion. 2. ed. México: Limusa, 291 p.

Hanna HM, Steward BL, Aldinger L (2010) Soil loading effects of planter depth-gauge wheels on early corn growth. Applied Engineering in Agriculture. 26(4):551- 556.

International Organization for Standardization (1984) ISO Standard 7256/1-1984 (E). Sowing equipment--Test Methods: Part 1. Single seed drills (precision drills). Genève, Switzerland: ISO

Karayel D, Šarauskis E (2011) Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils. Agricultural Engineering Research Papers, 43(3): 16–24.

Koppen W (1948) Climatologia: Con um estudo de los climas de la Tierra. Fondo de Cultura Economico 561p.

Krall JM, Esechie HA, Raney RJ, Clark S, TenEyck G, Lundquist M, Humburg NE, Axthelm LS, Dayton AD, Vanderlip RL (1977) Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield. *Agronomy Journal*. 69(5): 797–799.

Montgomery DC (2009) *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. Rio de Janeiro: LTC. 528p.

Noronha RHF, Silva RP, Chioderoli CA, Santos EP, Cassia, MT (2011) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. *Bragantia* 70: 931–938.

Pimentel-gomes F (2009) *Curso de estatística experimental*. 15. Ed, Piracicaba: Fealq, 451 p.

Samohyl RW (2009) *Controle estatístico de qualidade*. Rio de Janeiro: Elsevier. 352 p.

Sharda A, Fulton J, Badua S, Terry G, Ciampitti I, Haag L (2017) Planter Downforce Technology for Uniform Seeding Depth. Disponível em: <<https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf3331.pdf>>. Acesso em: 06 Jan 2021.

Silva RP, Correa CF, Cortez JW, Furlani CEA (2008) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola* 28: 292-304.

Siqueira R (2008) Milho: Semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. In: XXVII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Londrina. Anais eletrônicos. Londrina: IAPAR, Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Molin/leb432/Semeadoras/semeadora-adubadora%20para%20sistema%20de%20plantio%20direto%20com%20qualidade.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2020.

Toledo A, Tabile RA, Silva RP, Furlani CEA, Magalhães SC, Costa BO (2008) Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. *Engenharia Agrícola* 28: 710-719.

Virk SS, Fulton JP, Porter WM, Pate GL (2020) Row-crop planter requirements to support variable-rate seeding of maize. *Precision Agriculture*, 21:603–619.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Daloia JGM, Paixão CSS (2017). Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. *Revista Ciência Agronômica* 48: 438–447.

Wheeler DJ, Chambers DS (1992) *Understanding Statistical Process Control*, Second Edition, SPC Press, Inc.

Wheeler DJ (1995) *Advanced Topics in Statistical Process Control: The Power of Shewhart Charts*, SPC Press, Inc.

Zerbato C, Furlani CEA, Oliveira MF, Voltarelli MA, Tavares TO, Carneiro FM (2019) Qualidade da semeadura e do arranquio mecanizados de amendoim com uso do piloto automático. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 23(8): 630-637.

## **CAPÍTULO 5 - Desempenho de mecanismos de pressão em linha para semeadura direta da soja**

Luan Pereira de Oliveira, Brenda Valeska Ortiz, Tiago Rodrigo Francetto, Rouverson Pereira da Silva

### **Resumo**

A produtividade de uma cultura é um somatório de diversos fatores recorrentes do produtivo. Sendo assim, a criação do leito e a profundidade de semeadura, que são fatores limitantes para a emergência e crescimento de plantas podem refletir na produtividade final. Sistemas de forças verticais mecânicos, que utilizam molas para manter as unidades de semeadura sempre em contato com o solo geram maior vibração das unidades de semeadura quando comparados com o sistema hidráulico. Diante disso, objetivou-se por meio do presente trabalho, verificar se a combinação de forças verticais nas rodas calibradoras de profundidade e ferramentas sulcadoras no mecanismo de distribuição de adubo, possuem influência na profundidade de sementes, emergência de plântulas e produtividade da cultura da soja, bem como avaliar o desempenho dos sistemas de força descendente mecânico e hidráulico em relação às variáveis analisadas. Os estudos foram realizados em áreas comerciais próximas às cidades de Itapeva, SP, Brasil e Rondonópolis, MT, Brasil no ano de 2020 em solos com textura predominantemente argilosa. Utilizou-se semeadora MF 73 HF com 12 unidades de semeadura, equipada nas seis linhas do lado esquerdo da máquina com mecanismo de força descendente mecânico (molas), bem como do lado direito com mecanismo hidráulico comercial. Dois níveis de força descendente foram avaliados: Muito Baixo e Baixo em modo automático e manual utilizando-se de duas fontes de forças verticais (mecânico e hidráulico), bem como três tipos de ferramentas sulcadoras (haste e disco duplo). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. A haste sulcadora e o disco duplo proporcionaram melhor ambiente para a semente de soja emergir em situação de semeadura direta em palhada de *brachiaria brizantha*. Quando não utilizou-se de ferramenta sulcadora, a emergência é reduzida utilizando-se forças baixas tanto utilizando-se de um sistema de força descendente mecânico, quanto hidráulico.

**Palavras-chave:** Downforce, *Glyxine max*, plantio direto.

### **Abstract**

Crop yield is a summary of several recurring factors in a crop's cycle. Thus, the creation of the seed bed and seeding depth, which are limiting factors for the emergence and growth of plants, may reflect on the final crop yield. Mechanical downforce systems, which use springs to keep the row units always in contact with the soil, generate greater vibration of the row-units when compared to the hydraulic

system. Therefore, the objective of this work was to verify if the combination of vertical loads and tilling tools in the fertilizer distributor, have influence on the seeding depth, seedling emergence and soybean yield, as well as evaluate the performance of the mechanical and hydraulic downforce systems in relation to the analyzed variables. The studies were carried out in commercial areas near the cities of Itapeva, SP, Brazil and Rondonópolis, MT, Brazil. Tests were placed in soils with a predominantly clayey texture. An MF 73 HF planter with 12 row units was used, the planter was equipped in the six rows on the left side of the machine with a mechanical downforce system (springs), as well as on the right side with a commercial hydraulic mechanism. Two levels of downforce were evaluated: Very Low and Low in automatic and manual mode using two sources of vertical forces (mechanical and hydraulic), as well as two types of tilling tools (rod and double disc). The experimental design was a random complete blocks with three replications. The rod and the double disc provided a better environment for the soybean seed to emerge under direct sowing in brachiaria brizantha straw. When a tilling tool is not used, the emergence is reduced by using low vertical forces in the mechanical and hydraulic systems.

**Keywords:** Downforce, *Glyxine max*, no-till planting.

## 5.1. Introdução

Em 2020 o Brasil foi o maior produtor de soja do mundo, produzindo aproximadamente 114 mil toneladas, o que representa cerca de 35% do total da produção mundial (FAO, 2020). Ainda, segundo a Food and Agriculture Organization, nos últimos 20 anos, a área colhida de soja no Brasil aumentou em 40%. O crescimento provavelmente se deu pela alta demanda por alimentos e subprodutos da cultura, que resultou em uma área plantada de 37 milhões de hectares de soja na safra 2019/2020 segundo a companhia nacional de abastecimento (CONAB, 2021), com previsão para mais de 38 milhões de ha para 2020/2021.

A abertura de novas fronteiras agrícolas está sendo uma das válvulas de escape para a produção de alimentos devido à alta demanda. Outra importante vertente para dar suporte à agricultura, é a utilização de conhecimento e tecnologias geradas através de pesquisa e desenvolvimento nas etapas de preparo do solo, semeadura, acompanhamento e colheita para incrementar a produção sem a necessidade de desmatamento.

No Brasil, a semeadura da soja é efetuada em sua maioria por meio do Sistema Plantio Direto (SPD). A prática do SPD requer semeadoras equipadas com mecanismos de cisalhamento dos resíduos culturais e formadores de sulco, porém, o comportamento operacional dos arranjos entre ferramentas sulcadoras pode apresentar diferenças entre si (Francetto, 2017). Segundo Reis et al. (2004) ao utilizar diferentes mecanismos de abertura de sulco, como por exemplo a haste sulcadora e disco duplo, espera-se que ocorra variabilidade na relação solo semente, bem como na qualidade da semeadura.

Um outro fator também verificado foi a utilização de diferentes pressões nas rodas compactadoras das semeadoras, bem como utilizando modelos distintos de rodas em conjunto com diferentes ferramentas sulcadoras (Ward et al. 1991; Reis et al. 2004). Koakoski et al. (2007) verificaram que a interação entre o mecanismo sulcador e a pressão aplicada influenciam a implantação da cultura da soja, no qual a porcentagem de emergência de plantas foi maior ao utilizar haste sulcadora em relação ao disco duplo utilizando pressões de 18,5 e 24,1 kPa nas rodas compactadoras. Ainda, Kondo & Dias Júnior (1999) relataram que a pressão efetuada acima da capacidade de suporte do solo ao redor da semente pode provocar impedimentos à germinação.

Além da utilização de pressão nas rodas compactadoras, já é recorrente a aplicação de forças verticais em toda a linha de semeadura, por meio de sistemas mecânicos de força descendente (downforce), utilizando-se molas contraídas, que se retraem impulsionando a unidade de semeadura contra o solo. Também já foram verificados impactos positivos na profundidade e velocidade de emergência da soja utilizando este sistema em semeadura convencional (Karayel & Sarauskis, 2011).

Melhores benefícios já foram verificados para o sistema de força descendente hidráulico, em relação à utilização das molas, para a aplicação de força descendente. Jing et al. (2020) concluíram que a uniformidade na profundidade de semeadura apresentou melhores resultados quando utilizado um sistema de força descendente em linha eletro-hidráulico em relação ao mecânico. Apesar de existirem trabalhos na literatura relacionados à aplicação de força no solo com diferentes ferramentas sulcadoras (Reis et al. 2004; Koakoski et al. 2007) , ainda existem nichos que podem

ser explorados relacionados ao assunto, como por exemplo a inserção de diferentes forças descendentes juntamente à utilização de diferentes ferramentas sulcadoras.

Portanto, pressupõe-se que a profundidade de semeadura, emergência de plântulas e produtividade da soja podem ser afetadas ao efetuar semeadura direta, quando da utilização de diferentes ferramentas sulcadoras e, ainda, que a aplicação de diferentes forças verticais, de dois tipos de sistema de força descendente também pode afetar as variáveis acima citadas.

Diante disso, objetivou-se por meio do presente trabalho, verificar se a a combinação de forças descendentes e ferramentas sulcadoras no mecanismo de distribuição de adubo, possuem influência na profundidade de sementes, emergência de plântulas e produtividade da cultura da soja, bem como avaliar o desempenho dos sistemas de força descendente mecânico e hidráulico em relação às variáveis analisadas.

## 5.2. Material e métodos

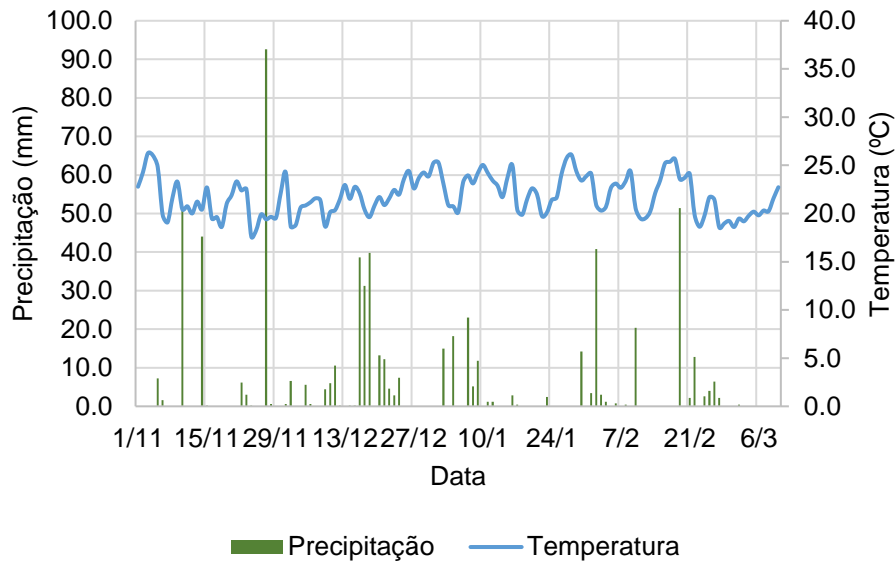
Os experimentos foram desenvolvidos em duas localidades, sendo o primeiro no estado de São Paulo e o segundo no estado do Mato Grosso, cujas características das áreas são apresentadas na Tabela 1, enquanto que os dados meteorológicos para cada localidade são apresentados na Figura 1.

Tabela 1. Caracterização das áreas do experimento.

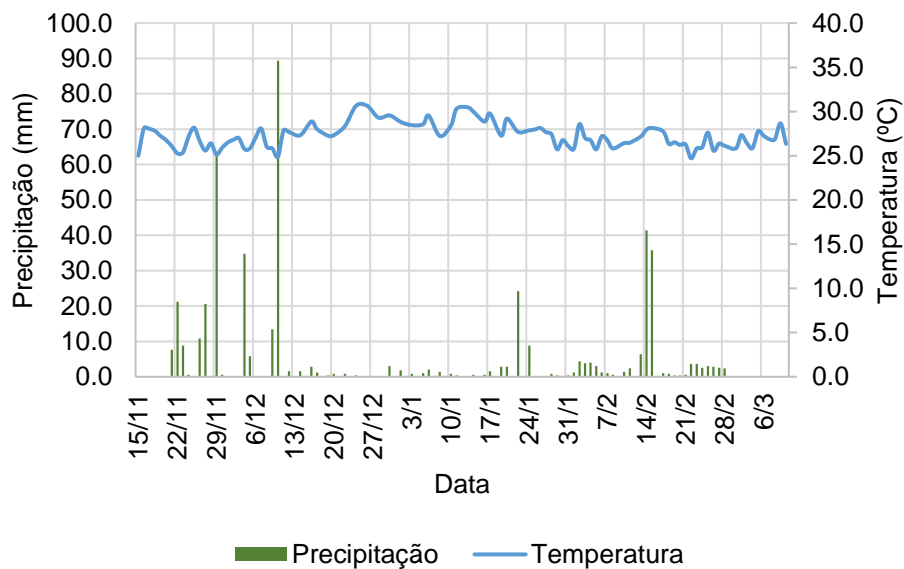
Local	Itapeva – SP	(Rondonópolis – MT)
Coordenadas	23°57'27"S, 48°36'20"O	16°59'20"S, 54°43'13"O
Data de semeadura	07/11/2019	21/11/2019
Variedade	Monsoy 5917	Brasmax Desafio RR (8473 RSF)
Data de colheita	17/03/2020	05/03/2020
Textura do solo	Argilosa (42% argila, 19% silte, 39% areia)	Argilosa (60% argila, 20% silte, 20% areia)
Condição de semeadura	Soja sob palhada de brachiaria brizantha (3,65 Mg ha <sup>-1</sup> )	Soja sob palhada de milho (3,60 Mg ha <sup>-1</sup> )

Velocidade de deslocamento	1,9 m s	1,8 m s
Profundidade de sementeira	3,5 cm	3,5 cm

Para a região de Itapeva – SP, houve incidência de chuvas durante quase todo o ciclo da cultura, com precipitações de até 93 mm. Em Rondonópolis – MT, as chuvas foram uniformes apenas durante os primeiros 20 dias após a sementeira, sendo a máxima precipitação diária de 90 mm.



(a)



(b)

Figura 1. Dados meteorológicos do período de realização dos experimentos em Itapeva – SP (a) e Rondonópolis – MT (b).

Ambos os experimentos foram semeados utilizando um conjunto motomecanizado constituído de um trator Massey Ferguson 7722 4x2 TDA, equipado com motor AGCO POWER 7.4L - diesel, com potência de 149,1 kW e semeadora-adubadora MF 713 HF, com 12 unidades de semeadura, espaçadas em 50 cm (sistema de dosagem com auxílio pneumático). O conjunto foi guiado por um sistema de piloto automático utilizando sinal de correção RTK e conectado por meio do Monitor 20|20 3º geração.

Foram instaladas células de carga Precision Planting Load Pin® (Precision Planting, IL, USA) no mecanismo de controle de profundidade, para a averiguação da força descendente oriunda do sistema, aplicada nas rodas calibradoras de profundidade durante a operação. Os mecanismos dosadores de sementes, bem como os tubos condutores, utilizados foram Precision Planting VDrive® e BullsEye, respectivamente (Precision Planting, IL, USA). As forças descendentes foram determinadas no computador de bordo para o sistema hidráulico. Para o sistema mecânico, utilizou-se um dinamômetro com precisão de 0,5 kg para mensurar a tensão necessária das molas até atingir as forças requeridas (222 N e 444 N), como pode ser observado na Figura 2.

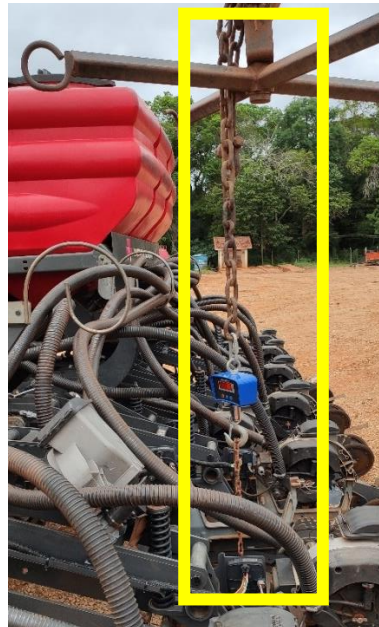


Figura 2. Aferimento da força vertical aplicada pelo sistema mecânico.

A semeadura foi desenvolvida intercalando-se diferentes forças descendentes e ferramentas sulcadoras no distribuidor de fertilizante da semeadora e, para melhor controle, a adubação foi efetuada diretamente pelo dosador, descartando-se o tudo condutor de fertilizantes.

O delineamento experimental seguiu esquema de blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 5, com três repetições, sendo os tratamentos principais três tipos de ferramentas sulcadoras, localizadas no distribuidor de fertilizantes da semeadora (Haste, Disco Duplo e Sem ferramenta) e, como tratamentos secundários, cinco níveis de forças descentes nos dois sistemas (Hidráulico e Mecânico). Comparando-se a força vertical efetuada pelos sistemas mecânico e hidráulico, verificou-se que a maior força exercida pelas molas utilizados no experimento constitui-se de aproximadamente 444 Newtons (N), porém, a maior força apresentada pelos cilindros hidráulicos é de 1670 N, tornou-se necessário então, sabendo que há variabilidade na aplicação das forças (Badua et al. 2021), elaborar 5 níveis forças descendentes apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Sistema	Tratamento	Força (N)
Hidráulico (DH)	Muito Baixo (MB) – Auto (A)	222,0
	Baixo (BX) – Auto (A)	444,0
	Baixo (BX) – Manual (M)	444,0
Mecânico (ML)	Muito Baixo (MB)	222,0
	Baixo (BX)	444,0

Cada parcela experimental foi constituída por 3 metros de comprimento em 3 linhas do lado direito e 3 linhas do lado esquerdo da máquina, resultando em áreas amostrais de 4.5 m<sup>2</sup> para a utilização de sistema mecânico e hidráulico. A distribuição das áreas amostrais seguiu metodologia proposta por Krall et al (1977) que utilizaram sub parcelas de 3 metros em diferentes linhas de semeadura.

A determinação do teor de água (TAS) do solo foi realizada com a utilização da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), na camada de 0 a 8 cm (Tabela 3), após a semeadura e durante a contagem da emergência de plântulas. utilizando-se uma sonda TDR FieldScout 300 Meter, da empresa Spectrum Technologies, devidamente calibrada de acordo com o manual do fabricante.

Tabela 3. Teor de água no solo para os tratamentos nas duas localidades.

	Tratamento	TAS (%)	
		Rondonópolis – MT	Itapeva – SP
Haste (HA)	Hidráulico (DH) Auto (A) Muito Baixo (MB)	23,1	24,5
	DH Auto (A) Baixo (BX)	24,1	26,1
	DH Manual (M) BX	27,3	25,2
	Mola (ML) Muito Baixo	24,5	26,9
	ML Baixo	27,0	24,9
Disco Duplo (DD)	DH Auto (A) Muito Baixo (MB)	26,2	27,0
	DH Auto (A) Baixo	28,2	24,7
	DH Manual (M) Baixo	25,3	25,8
	Mola (ML) Muito Baixo	24,7	26,1
	ML Baixo	25,4	27,7
Sem Ferramenta (SF)	DH Auto (A) MB	29,6	22,3
	DH Auto (A) BX	26,6	23,5
	DH Manual (M) BX	28,7	26,2
	Mola (ML) MB	26,0	22,1
	ML BX	26,6	23,4

A profundidade de semeadura (PS) foi avaliada por meio da abertura de um metro de sulco em cada parcela e em suas respectivas repetições, mensurando-se a distância entre o perfil do solo e a semente, utilizando-se régua graduada. Foi verificada a profundidade de aproximadamente 27 sementes por tratamento, totalizando 405 medições.

Foi contabilizado diariamente em cada área amostral, o número total de plantas emergidas, sendo que o final da contagem foi definido quando o total de plântulas emergidas, foi menor que 1% do número total obtido no dia anterior de acordo com metodologia proposta por Hanna et al. (2010). Posteriormente foi calculado o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) que indica a velocidade as quais as plantas emergiram após a semeadura. O IVE foi calculado de acordo com metodologia proposta por Maguire (1962), calculado de acordo com a equação (1):

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

Em que,

**IVE:** Índice de Velocidade de Emergência;

**E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>n</sub>:** Número de plântulas normais contadas na primeira, segunda e última avaliações, respectivamente;

**N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>n</sub>:** Número de dias após a semeadura para a primeira, segunda e última avaliações, respectivamente.

Para o cálculo da produtividade foram retiradas todas as plantas presentes na área amostral. Posteriormente, a umidade dos grãos foi contabilizada por meio da avaliação da massa de 1000 grãos de cada tratamento, sendo corrigida para 13%.

Os dados foram analisados por meio dos softwares Minitab® e AgroStat®, sendo efetuadas a estatística descritiva e a análise de variância para os experimentos, aplicando-se o teste F a 1% de probabilidade. Quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando não-normais, os dados foram transformados por meio da equação ( $x^k$ ) para a análise de variância e comparação das médias.

### **5.3. Resultados e discussão**

#### **Resultados relacionados à semeadura efetuada em Itapeva – SP**

Observando-se a Tabela 4 tem-se, de maneira geral, que ao utilizar a haste como ferramenta sulcadora, pôde-se alcançar valores próximos à profundidade configurada. Os menores valores de profundidade de semeadura foram verificados ao utilizar a mola como mecanismo de força descendente. Ao utilizar a haste sulcadora, bem como quando não utilizou-se ferramentas, houve ocorrência de coeficientes de variação altos e muito altos, possivelmente devido à maior e menor área do sulco mobilizada. A utilização do disco duplo como ferramenta sulcadora tornou a profundidade de semeadura mais uniforme quando comparando-se às outras situações. Francetto et al. (2016) verificaram que tanto a profundidade de semeadura,

quanto à área mobilizada do solo foram maiores quando utilizou-se haste sulcadora em relação à disco duplo.

Tabela 4. Estatística descritiva para a profundidade de sementes, índice de velocidade de emergência e produtividade dentro dos tratamentos (Itapeva – SP).

Tratamento	Profundidade de semeadura (cm)		IVE		Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	$\bar{X}$	CV (%)	$\bar{X}$	CV (%)	$\bar{X}$	CV (%)	
Haste (HA)	Auto - MB	3,50	30,90	34,50	19,90	4,9	25,10
	Auto - BX	3,20	27,20	36,90	13,70	4,7	25,00
	Manual - BX	3,00	32,50	34,70	12,30	4,7	32,20
	Mola - MB	2,80	25,20	32,90	17,80	4,8	25,30
	Mola - BX	3,50	28,10	35,10	13,00	4,8	11,30
Disco Duplo (DD)	Auto - MB	3,30	21,10	26,10	29,60	6,0	18,30
	Auto - BX	3,00	27,00	35,00	26,00	5,0	6,60
	Manual - BX	3,40	20,10	34,80	17,00	5,4	15,00
	Mola - MB	3,10	23,40	34,90	21,60	4,0	11,10
	Mola - BX	2,90	27,20	36,00	7,70	5,6	28,90
Sem Ferramenta (SF)	Auto - MB	3,00	18,20	25,30	35,90	6,1	28,30
	Auto - BX	2,90	23,30	20,00	50,70	6,5	14,00
	Manual - BX	2,90	48,6	23,30	25,50	5,0	8,30
	Mola - MB	3,00	40,80	32,50	8,30	4,1	8,70
	Mola - BX	2,30	39,80	21,80	35,20	5,1	7,60

IVE: Índice de Velocidade de Emergência;  $\bar{X}$ : Média; CV (%): Coeficiente de Variação. Auto – MB: Força descendente muito baixa, utilizando-se sistema de força descendente hidráulico em modo automático; Auto – BX: Força descendente baixa, utilizando-se sistema de força descendente hidráulico em modo automático; Manual – BX: Força descendente baixa, utilizando-se sistema de força descendente hidráulico em modo manual; Mola – MB: Força descendente muito baixa utilizando-se sistema de força descendente mecânico; Mola – BX: Força descendente baixa utilizando-se sistema de força descendente mecânico.

Houve incidência de apenas um coeficiente de variação (C.V) considerado médio no tratamento (DH) Auto – MB na condição Sem Ferramenta (SF) de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009).

O índice de velocidade de emergência foi menor ao não utilizar ferramenta sulcadora, porém, não demonstrou grande variação entre o fator força descendente. As maiores incidências de C.V's muito altos ocorreram ao não utilizar ferramenta sulcadora.

As produtividades em  $\text{Mg ha}^{-1}$  também expressas pela Tabela 4, demonstraram não haver diferenças entre os valores para com os fatores, porém, verificou-se maiores incidências de C.V's altos quando utilizou-se a ferramenta haste sulcadora durante a semeadura.

Houve diferença para o IVE (Tabela 5) entre os tratamentos principais (Ferramentas), bem como interação entre os fatores de acordo com a análise de variância. Outros autores como Reis et al. (2006), Reis et al. (2004) para a cultura do milho e Koakoski et al. (2007) para a cultura da soja, não encontraram diferenças estatísticas para o índice de velocidade de emergência entre ferramentas sulcadoras, porém, os mesmos compararam apenas diferenças entre ferramentas e não a ausência de uma.

Tabela 5. Análise de Variância para as variáveis analisadas em Itapeva – SP.

Fator	Profundidade de Semeadura		Índice de Velocidade de Emergência		Produtividade	
	p-Valor	F	p-Valor	F	p-Valor	F
Ferramenta (F)	0,15	2,07 <sup>ns</sup>	<0,01	23,90 <sup>**</sup>	0,30	1,26 <sup>ns</sup>
Força Descendente (D)	0,85	0,34 <sup>ns</sup>	0,30	1,35 <sup>ns</sup>	0,10	2,16 <sup>ns</sup>
D x F	0,70	0,68 <sup>ns</sup>	0,03	2,56 <sup>*</sup>	0,50	0,98 <sup>ns</sup>

\*: Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>: Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Não houve diferença para a profundidade de semeadura, bem como para a produtividade da cultura da soja no cenário avaliado (Tabela 5). Os resultados para profundidade de semeadura diferem dos de Jing et al. (2020), os quais avaliando o impacto de forças verticais na semeadura do milho por meio de sistemas mecânico e hidráulico, em sistema de plantio convencional e direto, verificaram que a profundidade de em plantio direto é menor, em decorrência do acúmulo de matéria seca, porém, existe incremento da profundidade ao aumentar a quantidade de força vertical. A palhada neste caso, pode ser um fator limitante para atingir a profundidade de semeadura, tendo em vista que a matéria seca de plantas cria uma camada espessa acima do solo.

Ao comparar as médias (Tabela 6), verificou-se que a velocidade de emergência foi maior quando utilizou-se das ferramentas sulcadoras Haste e Disco Duplo juntamente ao mecanismo de distribuição de fertilizante, aferindo melhor qualidade na emergência comparando-se com ao tratamento sem ferramenta (SF). A área mobilizada do solo pelas ferramentas sulcadoras pode ter sido um agente causador de melhor contato da semente com o solo, conseqüentemente acarretando em emergência mais acelerada.

Por outro lado, Altikat & Celik (2012), os quais comparando dois tipos de haste sulcadora a um disco simples para abertura de sulco em plantio direto, verificaram que o uso haste proporcionou melhores condições físicas ao solo, bem como melhor porcentagem de emergência.

Tabela 6. Teste de comparação de médias para a variável Índice de Velocidade de Emergência em Itapeva – SP.

Índice de Velocidade de Emergência (IVE)		
Ferramenta	Haste (HA)	34,80 a
	Disco Duplo (DD)	33,40 a
	Sem Ferramenta (SF)	24,60 b
Força Descendente	Auto – Muito Baixo	28,70 a
	Auto – Baixo	30,70 a
	Manual – Baixo	31,00 a
	Mola – Muito Baixo	33,40 a
	Mola - Baixo	31,00 a

Para cada tratamento, médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados também corroboram com os de Ward et al. (1991), que reportaram a importância do preparo do leito de semeadura, tendo em vista que a emergência de plântulas e vigor aumentaram quando utilizou-se haste sulcadora em solo argiloso na maioria das situações analisadas. Os autores também destacaram a importância de estudos relacionados a ferramentas sulcadoras juntamente a diferentes rodas compactadoras e forças aplicada.

Desdobrando-se as interações (Tabela 7) foi possível verificar que ao utilizar-se de forças descendentes equivalentes à 444 N tanto na condição de molas, quanto na condição de sistema hidráulico em modo automático acarretou nas menores observações de velocidade de emergência quando não utilizou-se de ferramentas.

A textura do solo neste caso pode vir a ser um fator relevante juntamente à não utilização de equipamento sulcador (SF), tendo em vista que Sharda et al. (2017) relataram que a força de reação do solo para com os discos abertores de sulco torna-se diferente de acordo com a condição textural do solo. Neste caso, para um solo com teor elevado de argila (42 % no caso do presente trabalho) os autores relatam que a reação para com o disco sulcador é de aproximadamente 72% da força aplicada.

O não preparo mínimo do solo por alguma ferramenta (Haste ou Disco Duplo), provavelmente gerou maior resposta do solo, reduzindo a profundidade de semeadura como também o contato das rodas calibradoras de profundidade com o perfil superficial e, conseqüentemente, afetou a criação de um ambiente ideal para as sementes germinarem e emergirem.

Tabela 7. Desdobramento das interações para a variável Índice de Velocidade de Emergência em Itapeva – SP.

Fator	Índice de Velocidade de Emergência				
	A – MB	A – BX	M – BX	ML – MB	ML – BX
Haste	34,50 a A	36,90 a A	34,70 a A	32,90 a A	35,10 a A
Disco Duplo	26,20 ab A	35,00 a A	34,80 a A	34,90 a A	36,00 a A
Sem Ferramenta	25,30 b AB	20,10 b B	23,30 b AB	32,50 a A	21,80 b B

\*Letras diferentes minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao utilizar forças MB juntamente ao sistema hidráulico (Tabela 7), houve diferença comparando-se SF com Haste, no qual a velocidade de emergência foi mais rápida quando utilizou-se a haste sulcadora. Neste caso, o resultado negativo pode estar relacionado à vibração da unidade de semeadura, como relatado por Badua et al. (2018), que verificando diferentes níveis de forças descendentes utilizando um sistema hidráulico, relataram que menores forças aplicadas (620 N) incrementam a vibração do implemento, fazendo com que haja contato da semente com as paredes dos tubos condutores, quando comparadas com forças verticais maiores (980 N). Na situação onde não há ferramenta, pode ser que haja incremento nessa vibração, o que pode acarretar na diminuição do contato das rodas calibradoras de profundidade bem como das rodas compactadoras com o solo.

Modolo et al. 2008, verificando os efeitos da aplicação de pressões nas rodas compactadoras, relataram que é a criação de bolsões de ar dentro do sulco que segundo afetaram a velocidade de emergência da soja.

### **Resultados relacionados à semeadura efetuada em Rondonópolis - MT**

Em Rondonópolis – MT foi possível verificar que de maneira geral, obteve-se maior alcance de profundidade de semeadura quando utilizou-se sistema hidráulico (Tabela 8). Os coeficientes de variação foram baixos ao utilizar modo manual com força baixa no sistema de força descendente hidráulico, bem como houve incidência de C.V's altos apenas ao utilizar o sistema mecânico de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes (2009).

Quanto ao índice de velocidade de emergência (IVE), observou-se que em todos as ferramentas avaliadas, os valores mantiveram-se próximos, Também observou-se melhores resultados na velocidade de emergência utilizando-se do modo manual de operação. Os coeficientes de variação para o IVE foram considerados como baixos, médios, altos e muito altos, sendo as maiores variabilidades encontradas ao utilizar o disco duplo, bem como quando utilizou-se o sistema mecânico juntamente a 444 N, a maior variabilidade foi computada.

Tabela 8. Estatística descritiva para a profundidade de sementes, Índice de Velocidade de Emergência e produtividade dentro dos tratamentos (Rondonópolis-MT).

Tratamento	Profundidade de sementes (cm)		IVE		Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	$\bar{X}$	CV (%)	$\bar{X}$	CV (%)	$\bar{X}$	CV (%)	
Haste (HA)	Auto - MB	3,30	12,10	32,80	12,40	5,0	12,40
	Auto - BX	3,60	19,80	28,00	20,00	4,2	3,60
	Manual - BX	3,80	7,20	32,40	14,20	4,1	16,00
	Mola - MB	3,10	21,00	29,60	18,40	4,2	22,00
	Mola - BX	3,10	16,00	27,30	16,60	4,0	13,40
Disco Duplo	Auto - MB	3,30	13,00	24,30	22,50	5,4	39,20
	Auto - BX	3,20	21,60	30,00	21,10	4,7	9,20
	Manual - BX	3,60	7,20	28,10	23,20	5,3	11,90
	Mola - MB	3,30	15,30	27,60	18,30	4,3	15,50
	Mola - BX	3,30	14,00	27,12	31,60	4,9	13,60
Sem Ferramenta	Auto - MB	3,40	15,00	24,20	22,80	4,6	8,50
	Auto - BX	3,30	12,50	29,60	13,90	5,9	34,40
	Manual - BX	3,60	7,80	33,90	7,40	4,2	9,30
	Mola - MB	2,70	35,70	27,00	15,60	3,6	8,90
	Mola - BX	3,10	18,60	28,80	19,60	3,4	13,50

IVE: Índice de Velocidade de Emergência;  $\bar{X}$ : Média; CV (%): Coeficiente de Variação. Auto - MB: Força descendente muito baixa, utilizando-se sistema de força descendente hidráulico em modo automático; Auto - BX: Força descendente baixa, utilizando-se sistema de força descendente hidráulico em modo automático; Manual - BX: Força descendente baixa, utilizando-se sistema de força descendente hidráulico em modo manual; Mola - MB: Força descendente muito baixa utilizando-se sistema de força descendente mecânico; Mola - BX: Força descendente baixa utilizando-se sistema de força descendente mecânico.

Os resultados mais baixos de produtividade foram verificados na condição sem ferramenta, na qual utilizou-se a mola como mecanismo de força descendente (Tabela 8).

Observando-se o quadro de análise de variância (Tabela 9), verificou-se que não houve diferença estatística para a profundidade de semeadura. Para o índice de velocidade de emergência, houve diferença significativa para o fator força descendente, bem como para a interação entre os dois fatores pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Hanna et al. 2010, Karayel e Sarauskis (2011) também encontraram diferença para a emergência do milho e soja, respectivamente relacionada a diferentes forças verticais na unidade de semeadura.

Tabela 9. Análise de Variância para as variáveis analisadas Rondonópolis - MT.

Tratamentos	Profundidade de Semeadura		Índice de Velocidade de Emergência		Produtividade	
	p-Valor	F	p-Valor	F	p-Valor	F
Ferramenta (F)	0,60	0,57 <sup>ns</sup>	0,07	2,88 <sup>ns</sup>	0,20	1,87 <sup>ns</sup>
Força Descendente (D)	0,06	2,51 <sup>ns</sup>	0,04	2,98*	0,15	1,88 <sup>ns</sup>
D x F	0,87	0,47 <sup>ns</sup>	0,04	2,42*	0,30	1,24 <sup>ns</sup>

\*: Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>: Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste f.

A profundidade de semeadura não demonstrou ser diferente utilizando-se diferentes forças descendentes juntamente à ferramentas sulcadoras (Tabela. Os resultados discordam dos de Jing et al. (2020), que verificaram maior profundidade de semeadura, bem como menor variabilidade em tratamentos utilizando sistema de força vertical hidráulico em relação à utilização das molas. A utilização de diferentes ferramentas sulcadoras pode vir a ser um fator limitante para não haver diferença entre as profundidades de semeadura.

Tabela 10. Teste de comparação de médias para a variável profundidade de semeadura em Rondonópolis – MT.

	Fator	Profundidade de Semeadura (cm)	IVE
Ferramenta	Haste	3,40 a	30,00 a
	Disco Duplo	3,30 a	27,40 a
	Sem Ferramenta	3,20 a	28,70 a
Força Descendente	Auto - MB	3,30 a	27,10 b
	Auto - BX	3,30 a	29,20 ab
	Manual - BX	3,60 a	31,50 a
	Mola - MB	3,00 a	28,10 ab
	Mola - MB	3,20 a	27,80 ab

Para cada tratamento, médias seguidas de mesma letra não diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao IVE (Tabela 11), verificou-se que a velocidade de emergência foi maior também ao utilizar 444 N em modo manual de operação, porém, apenas comparando-se à 222 N utilizando-se sistema hidráulico. Alguns autores verificaram o impacto de forças descendentes na emergência de plântulas de milho e soja. Hanna et al. (2010), avaliando o impacto destas forças na emergência do milho semeado em

diferentes épocas de semeadura verificaram que forças entre 196 e 490 N proporcionaram melhores velocidades de emergência quando comparadas à forças altas em solos com umidade elevada, resultados estes que concordam com os do presente trabalho. Para Karayel & Sarauskis (2011), a uniformidade na profundidade de semeadura influenciou a velocidade de emergência, a qual foi maior ao utilizar forças equivalentes a 1392 N.

O desdobramento das interações (Tabela 11) demonstrou que o menor índice de velocidade de emergência foi verificado para DH (A) - MB em modo automático na condição sem ferramenta sulcadora quando comparado à forças baixas em modo manual. A combinação dos fatores DH (A) - MB com a condição de semeadura sem ferramenta pode estar atrelada ao resultado negativo. Fato este que pode estar associado ao preparo mínimo do sulco pelas ferramentas utilizadas, ou seja, o ambiente criado para a semente foi melhor nos tratamentos com forças verticais maiores, como verificado anteriormente que ao utilizar ferramenta sulcadora ou forças descendentes elevadas obtêve-se melhor êxito na emergência de plântulas de soja (Karayel e Sarauskis, 2011; Altikat & Celik, 2012).

Tabela 11. Desdobramento das interações para a variável Índice de Velocidade de Emergência em Rondonópolis – MT.

Tratamento	Índice de Velocidade de Emergência				
	A – MB	A – BX	M – BX	ML – MB	ML – BX
Haste	32,80 a A	28,00 a A	32,40 a A	29,60 a A	27,10 a A
Disco Duplo	24,30 b A	30,00 a A	28,10 a A	27,60 a A	27,30 a A
Sem Ferramenta	24,20 b B	29,60 a AB	33,90 a A	27,00 a AB	28,80 a AB

\*Letras minúsculas em colunas e letras maiúsculas em linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 5.4. Conclusões

A combinação entre ferramentas sulcadoras e forças verticais na linha de semadura afeta a emergência da soja efetuada sob palhada de brachiaria e milho.

A haste sulcadora e o disco duplo proporcionam melhor ambiente para a semente de soja emergir em situação de semeadura direta em palhada de brachiaria brizantha.

A utilização de sistema de força descendente hidráulico ou mecânico, utilizando-se de forças verticais baixas durante a semeadura direta sob palhada de brachiaria reduz a velocidade de emergência quando não utiliza-se ferramenta sulcadora.

A velocidade de emergência sob palhada de milho é incrementada com a utilização de força baixa em sistema hidráulico juntamente a forças padrões no solo avaliado.

A produtividade da cultura da soja não é afetada pela utilização de ferramentas sulcadoras no mecanismo distribuidor de adubo, bem como aplicação de forças verticais na linha de semeadura.

De maneira geral, o sistema hidráulico proporciona melhorias para a semeadura da soja como por exemplo melhor uniformidade de deposição de sementes em determinadas situações.

## **5.6. Agradecimentos**

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

## **5.7. Referências bibliográficas**

Altikat S, Celik A (2012) Effects of different no-till seeders and tractor forward speeds on the soil physical properties and seed emergence of summer vetch and winter wheat. *Journal of Agricultural Sciences*, 8:21-30.

Badua S, Sharda A, Strasser R, Ciampitti I, Griffin TW (2018) Influence of Planter Downforce Setting and Ground Speed on Seeding Depth and Plant Spacing Uniformity of Corn. In: *Proceedings of 14th International Conference on Precision Agriculture*. Montreal, Quebec, Canada.

Badua SA, Sharda A, Strasser R, Ciampittu I (2021) Ground speed and planter downforce influence on corn seed spacing and depth. *Precision Agric.*

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2021) Acompanhamento da safra brasileira (Grãos) quarto levantamento. 8(2):84p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 31 Jan 2021.

FAO – Food and Agriculture Organization (2021) FAOSTAT. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>. Acesso em: 02 Fev 2021.

Francetto TR, Alonço AS, Brandelero C, Machado ODC, Veit AA, Carpes DP (2016) Disturbance of ultisol based on interactions between furrow openers and coulters for the no-tillage system. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 14(3):02-08.

Francetto TR (2017) Comportamento operacional de elementos sulcadores de fertilizantes em função da distância dos mesmos para o mecanismo de corte. 152f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFSM, Santa Maria.

Hanna HM, Steward BL, Aldinger L (2010) Soil loading effects of planter depth-gauge wheels on early corn growth. *Applied Engineering in Agriculture*. 26(4):551- 556.

Jing H, Dongxing Z, Yunxia W, Li Y, Chenlong F, Huihui Z, Hailiang W, Yaohui Z, Jingchun P, Tao C (2020) Development and performance evaluation of an electro-hydraulic downforce controls system for planter row unit. *Computers and Elec. In Agriculture* 172(5):105380.

Karayel D, Šarauskis E (2011) Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils. *Agricultural Engineering Research Papers*, 43(3): 16–24.

Koakoski A, Souza CMA, Rafull LZL, Souza LCF, Reis EF (2007) Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se de dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. *Brasília, Pesq. Agropec. Brasileira* 42(5):725-731.

Kondo MK, Dias Júnior MS (1999) Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 23:211-218.

Krall JM, Esechie HA, Raney RJ, Clark S, TenEyck G, Lundquist M, Humburg NE, Axthelm LS, Dayton AD, Vanderlip RL (1977) Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield. *Agronomy Journal*. 69(5): 797–799.

Maguire JD (1962) Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.

Modolo AJ, Fernandes HC, Schaefer CEGR, Silveira JCM (2008) Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema de plantio direto. *Lavras, Ciência e Agrotec.* 32(4): 1259-1265.

Pimentel-gomes F (2009) Curso de estatística experimental. 15. Ed, Piracicaba: Fealq, 451 p.

Reis EF, Fernandes HC, Schaefer CEGR, Araújo EC (2004) Avaliação dos mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. *Eng. Na Agricultura*, 12: 212-221. *R. Bras. Ciência do Solo*, 30:777-786.

Reis EF, Schaefer CEG, Fernandes C, Naume JM, Araujo EF (2006) Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 30: 777-786.

Sharda A, Fulton J, Badua S, Terry G, Ciampitti I, Haag L (2017) Planter Downforce Technology for Uniform Seeding Depth. Disponível em: <https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf3331.pdf> Acesso em: 30 Jan 2021.

Ward LD, Norris CP, Thomas EC (1991) Component interactions in zero-till planters for heavy clay soils of southern Queensland. *Soil Tillage Research*. 20: 19-3.

## **CAPÍTULO 6 - Considerações finais**

Dentre os diversos os fatores que podem influenciar o processo de semeadura mecanizada das culturas do milho, algodão e soja, a força descendente na linha de semeadura é um dos que requerem ser considerados. Baseando-se nos resultados obtidos, pode-se considerar que:

- O controle estatístico de processos demonstrou ser uma alternativa para avaliar a qualidade da distribuição de forças descendentes em linha, bem como o impacto na qualidade do processo de distribuição de sementes.
- O modo automático do sistema hidráulico de força descendente apresenta distribuição uniforme das forças, quando comparado ao modo manual, em solos com texturas franco-argilosas e franco-arenosas. Nestes tipos de solo o modo de operação manual frequentemente excede a força-alvo pré-configurada no computador de bordo. Porém, independente do modo de operação, a densidade e resistência mecânica à penetração do solo não são afetadas pela distribuição de forças verticais na semeadura do milho e do algodão.
- Forças descendentes muito baixas, baixas ou médias diminuem a profundidade de semeadura, de forma a não alcançar o alvo estipulado. A qualidade da semeadura é incrementada com o aumento de forças descendentes, independente do modo de operação, porém, a utilização de forças elevadas proporciona profundidades além da desejada, o que diminui a qualidade da distribuição dos espaçamentos entre as plantas para a cultura do algodão.
- A qualidade da emergência de plântulas de milho é aumentada quando efetua-se a aplicação de forças descendentes consideradas altas e muito altas em solo franco-argiloso.
- A não utilização de ferramenta sulcadora afeta negativamente a emergência da cultura da soja, comparando-se à utilização de haste sulcadora e disco duplo. A combinação entre forças verticais e ferramenta sulcadora na semeadura da soja influencia a emergência de plântulas.

- Quando da comparação entre sistemas de força descendente mecânico e hidráulico, a profundidade de semeadura é melhor efetuada utilizando-se do cilindro hidráulico.
- A utilização de um sistema hidráulico de força descendente em linha de semeadura, proporciona melhor distribuição de sementes, quando da utilização de força vertical correta melhora a emergência de plântulas e altura de plantas comparando-se ou não com a ausência de algum sistema.

De maneira geral, o presente trabalho proporcionou o entendimento de resultados relacionados à caracterização da força aplicada, profundidade de semeadura, emergência de plântulas, altura de plantas e produtividade, bem como atributos do solo. Porém, futuras pesquisas neste sentido ainda devem ser desenvolvidas para suprir a necessidade de resultados relacionados à diferentes classificações texturais e de teor de água no solo, bem como diferentes sistemas de força descendente, como por exemplo o sistema pneumático.