



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**LIAH DONATO FREDERICO**

**AVALIAÇÃO DA TRACÇÃO EM DIFERENTES MECANISMOS SULCADORES**

**Fortaleza, Ceará**

**2021**

LIAH DONATO FREDERICO

AVALIAÇÃO DA TRAÇÃO EM DIFERENTES MECANISMOS SULCADORES

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro

Fortaleza

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F929a Frederico, Liah Donato.

Avaliação da tração em diferentes mecanismos sulcadores / Liah Donato Frederico. – 2021.  
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

1. Semeadura. 2. Órgão ativo. 3. Haste. 4. Disco-duplo. 5. Sensores. I. Título.

CDD 630

---

LIAH DONATO FREDERICO

AVALIAÇÃO DA TRAÇÃO EM DIFERENTES MECANISMOS SULCADORES

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 23/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng<sup>o</sup>. Agrônomo Me. Walisson Marques Silveira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng<sup>a</sup>. Agrônoma Mayara Rodrigues Uchôa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho ao meu pai Roberto e ao meu avô Manoel (*in memoriam*). Estes são responsáveis por tudo que hoje tenho e sou.

## AGRADECIMENTOS

Salmos 103:2-5.

À Universidade Federal do Ceará, pelo acesso tão estreito à ciência, pelo ensino gratuito e de incontestável qualidade, pelo orgulho comum de fazer parte de uma das melhores instituições de ensino do país.

Ao Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, que ao longo do período tornou-se mais que um orientador, sendo um espelho profissional e um impulsionador de ideias. Agradeço por sua orientação, confiança e empenho.

À Eng<sup>a</sup>. Agrônoma Mayara Rodrigues Uchôa, exímia profissional, pela disponibilidade em participar da banca de defesa, com riquíssimas colaborações .

Ao Eng<sup>o</sup>. Me. Walisson Marques Silveira, pela participação na banca de defesa deste trabalho, trazendo importantes ponderações e por todo o suporte fornecido para a condução dessa pesquisa e ao longo da minha trajetória acadêmica, minha eterna gratidão.

Expando minha imensa gratidão ao Eng<sup>o</sup>. Agrônomo João Guilherme Leal Diniz, por ter concedido “um braço” de seus dados experimentais e sua ajuda e apoio integrais para a realização deste trabalho.

Aos professores do corpo docente de Agronomia, cujos quais tiveram sua parcela singular na construção do meu perfil profissional, seja com a transposição de conhecimentos acadêmicos ou em exemplo pessoal, através de ações compreensivas e disponíveis.

Aos colegas que fiz nos setores que passei, ao longo da graduação, assim como aos respectivos programas aos que estes fizeram parte junto comigo; Programa de Aprendizagem Cooperativa (PACCE), Centro de Empreendedorismo da Universidade Federal do Ceará (CEMP), Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), Parque Tecnológico da Universidade Federal do Ceará (PARTEC), por todas as histórias que foram construídas nos momentos compartilhados. Estendo este agradecimento a um Departamento especial, o de Investigação da Vida Alheia (DIVA) onde as amizades feitas tornaram o cotidiano acadêmico mais leve e os intervalos entre aulas mais engraçados, um grupo composto por personalidades únicas e figuras icônicas, o qual todos conhecem e tive a alegria de fazer parte.

Aos meus pais, que me educaram sempre priorizando os pilares da humildade, ética e generosidade. Agradeço a minha mãe por sempre ter incentivado meu hábito de leitura, por sempre me encorajar a alçar novos voos e por sempre acreditar em mim, com uma torcida fervorosa pelo meu sucesso, pela relação amorosa que construímos juntas ao longo dos anos.

Ao meu pai, especialmente, agradeço por todo o estímulo para buscar conhecimento, pelo incentivo incansável em me tornar uma pessoa firme, com constância nas decisões e credibilidade, tendo sido meu melhor amigo e fortaleza, nos mais importantes momentos da minha vida, mas também nos mais simples e corriqueiros. Desejo que este seja o primeiro grande passo de muitos que dou para oferecer, uma parcela que seja, para eles, de tudo o que me foi proporcionado.

Ao meu companheiro, que divide a vida, os sonhos, as adversidades e a lavagem das louças comigo. Que me impulsiona a ser cada vez melhor e acreditar cada vez mais em mim. Que à sua maneira, torna os fardos mais leves de serem carregados, pois sei que sempre terei seu suporte e presença.

Agradeço aos meus irmãos, que são a realização do meu grande sonho, que era tê-los, os quais são donos de todo o meu carinho e cuidados. Também aos meus poucos e valiosos primos, que são figuras de exemplo para mim. Minhas tias, que são como mães e amigas, que sempre estiveram presentes na minha vida de forma muito ativa. Aos demais familiares e agregados queridos, que participaram dessa ainda curta, e ao mesmo tempo longa jornada que é a vida.

Por ultimo, não menos importante, ao meu pacotinho preto de amor, que é minha companhia diária e que foi a minha fonte energética durante a elaboração deste trabalho, com suas patinhas encostadas nos meus pés em todos os longos dias de pesquisa, na mesa de estudos.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

**(Albert Einstein)**



## RESUMO

Os tratores e implementos agrícolas estão presentes na maior parte das áreas produtivas do Brasil. Dentro do processo de cultivo, a etapa de plantio se apresenta como decisiva no processo de desenvolvimento das culturas. O uso de máquinas semeadoras-adubadoras para realização desse procedimento, tem os mecanismos de abertura de sulco como peça intrínseca. Dito isto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a força de tração demandada por diferentes mecanismos sulcadores, em função da velocidade de trabalho. O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), na Universidade Federal do Ceará (UFC), onde foi realizado preparo primário, com o uso de gradagem e enxada rotativa, para auxiliar na homogeneidade do solo, sendo este classificado como Argissolo Vermelho-amarelo. A avaliação dos parâmetros de força de tração e potência, foi possível através da construção de um suporte de acoplamento, constituído por rodados e sensores eletrônicos capazes de coletar diferentes dados e avaliar as variáveis atuantes apenas nos órgãos ativos, descartando as interferências de outros fatores da máquina. O suporte conectado ao trator operou em três velocidades ( $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ ;  $1,1 \text{ m.s}^{-1}$ ;  $1,7 \text{ m.s}^{-1}$ ) para avaliar os mecanismos sulcadores do tipo haste e disco-duplo. Após a coleta dos dados em campo, foi realizada a tabulação dos dados e feita a análise estatística, através do *software* Sisvar<sup>®</sup>. Dentro dos parâmetros analisados, foi observada a interação entre os fatores para avaliar possíveis influências que pudessem ser significativas ao uso dos mecanismos. Foi constatado que as diferentes velocidades não interferiram no trabalho da haste e nem do disco-duplo, somente na potência. Entretanto os mecanismos sulcadores apresentaram ação sobre a variável potência e a força de tração requerida. A haste sulcadora expressou maior demanda de força de tração, assim como maior potência na barra de tração para o desempenho da operação.

**Palavras-chave:** Semeadura; Órgão ativo; Haste; Disco-duplo; Sensores.

## ABSTRACT

Tractors and agricultural implements are present in most productive areas in Brazil. Within the cultivation process, the planting stage is presented as decisive in the crop development process. The use of seeder-fertilizer machines to perform this procedure has the furrow opening mechanisms as an intrinsic part. That said, this study aimed to evaluate the traction force demanded by different furrowing mechanisms, as a function of work speed. The experiment was conducted in the experimental area of the Laboratory for Investigation of Accidents with Agricultural Machines (LIMA), at the Federal University of Ceará (UFC), where primary preparation was carried out, with the use of harrowing and rotary hoe, to assist in soil homogeneity. , which is classified as Red-Yellow Argisol. The evaluation of traction force and power parameters was possible through the construction of a coupling support, consisting of wheels and electronic sensors capable of collecting different data and evaluating the variables acting only on active organs, discarding interference from others machine factors. The support connected to the tractor operated at three speeds ( $0.6 \text{ m.s}^{-1}$ ;  $1.1 \text{ m.s}^{-1}$ ;  $1.7 \text{ m.s}^{-1}$ ) to evaluate the shank and double-disc furrower mechanisms. After collecting data in the field, data were tabulated and statistical analysis performed using Sisvar<sup>®</sup> software. Within the analyzed parameters, the interaction between the factors was observed to assess possible influences that could be significant to the use of the mechanisms. It was found that the different speeds did not interfere with the work of the rod or the double disk, only in terms of power. However, the furrower mechanisms acted on the power variable and the required traction force. The furrower shank expressed greater draw force demand as well as greater drawbar power for the performance of the operation.

**Keywords:** Seeding; Active organ; Sensors; Shank; Double-disc.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	_ Imagem aérea da área experimental.....	27
Figura 2	_ Trator Valtra® 4x2 TDA A950 utilizado no experimento.....	31
Figura 3	_ Mecanismo sulcador do tipo haste.....	32
Figura 4	_ Mecanismo sulcador do tipo disco-duplo.....	32
Figura 5	_ Célula de carga S9M HBM® de 10 kN acoplada no suporte.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	_	Combinação de marchas por velocidades de operação.....	31
Tabela 2	_	Descrição dos fatores de interação avaliados.....	35
Tabela 3	_	Estrutura de delineamento fatorial 2x3 com 5 blocos.....	36
Tabela 4	_	Resumo da análise de variância com valor do teste F, os Coeficientes de Variação (CV) e os valores de normalidade para a combinação de três velocidades de deslocamento e dois mecanismos sulcadores, haste e disco-duplo (h+d), para o teste de força de tração e potência.....	37
Tabela 5	_	Valores médios da Força de Tração (kN) demandada nas três diferentes velocidades usadas em campo.....	38
Tabela 6	_	Valores médios da Força de Tração (kN) demandada nos dois tipos de mecanismo sulcador.....	39
Tabela 7	_	Valores médios da Potência (kW) demandada nas três diferentes velocidades usadas em campo.....	40
Tabela 8	_	Valores médios da Potência (kW) demandada nos dois tipos de mecanismo sulcador.....	41

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	_	Velocidade média de deslocamento.....	33
Equação 2	_	Determinação da força total.....	34
Equação 3	_	Cálculo de conversão de unidade de medida de força.....	34
Equação 4	_	Cálculo da potência na barra de tração.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAE	American Society of Agricultural Engineers
CCA	Centro de Ciências Agrárias
CPU	Central Processing Unit
CV	Coeficiente de Variação
DENA	Departamento de Engenharia Agrícola
IDE	Integrated Development Environment
LIMA	Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas
MDF	Medium Density Fiberboard
TDA	Tração Dianteira Auxiliar
UFC	Universidade Federal do Ceará

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Máquinas agrícolas</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Mecanismos de abertura de sulcos</b> .....	18
<b>2.2.1</b>	<i>Haste e Disco-duplo</i> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Força de tração em maquinários</b> .....	21
<b>2.4</b>	<b>Utilização de sensores na agricultura</b> .....	23
<b>2.4.1</b>	<i>Microcontroladores</i> .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
<b>3.1</b>	<b>Local</b> .....	27
<b>3.2</b>	<b>Construção do suporte de acoplamento</b> .....	28
<b>3.3</b>	<b>Instrumentação</b> .....	28
<b>3.3.1</b>	<i>Desenvolvimento de hardware</i> .....	28
<b>3.3.2</b>	<i>Desenvolvimento do software</i> .....	29
<b>3.4</b>	<b>Calibração</b> .....	29
<b>3.5</b>	<b>Avaliação em campo</b> .....	30
<b>3.5.1</b>	<i>Aquisição de dados das variáveis</i> .....	33
<b>3.5.1.1</b>	<i>Velocidade</i> .....	33
<b>3.5.1.2</b>	<i>Força de tração</i> .....	33
<b>3.5.1.3</b>	<i>Potência</i> .....	34
<b>3.5.2</b>	<i>Delineamento experimental</i> .....	35
<b>3.5.2.1</b>	<i>Análise das variáveis</i> .....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>4.1</b>	<b>Coeficiente de força de tração</b> .....	38
<b>4.2</b>	<b>Potência na barra de tração</b> .....	40
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de semeadura é uma etapa decisiva no desenvolvimento das culturas. Essa operação atualmente é predominantemente realizada por máquinas agrícolas, que oferecem mais rapidez e maior precisão da deposição de sementes e fertilizantes.

A utilização de máquinas semeadoras-adubadoras acopladas ao trator se utilizam de mecanismos de abertura de sulcos para promover a interação ferramenta-solo e realizar a operação, sendo os mecanismos mais utilizados nesse processo as hastes sulcadoras e os discos-duplos.

As características do solo afetam de forma direta o desempenho da máquina. O teor de umidade, sua composição granulométrica, possíveis graus de compactação, a existência de fragmentos de rocha no perfil, profundidade total do solo e presença de resíduos na superfície, são elementos que atuam como obstáculos no trabalho das ferramentas.

Esses obstáculos podem ser descritos como fatores limitantes, isto porque dependendo do comportamento desses elementos, os mecanismos sulcadores necessitam de maior esforço de tração para ter o desempenho operacional necessário, resultando em maiores gastos de energia, por conta da maior demanda de potência no sistema.

Temos então que o estudo da mecanização agrícola tem como um de seus objetivos principais otimizar o trabalho das máquinas, assim como a determinação da adequação dos equipamentos e seu uso correto, buscando soluções para aumentar a produtividade e reduzir gastos e perdas no campo.

A utilização de tecnologias no campo é uma prática cada vez mais difundida, trazendo melhorias para o trabalho e evolução das máquinas. Essas técnicas permitem a realização de avaliações mais precisas e minuciosas em todas as etapas da produção, assim como dos componentes envolvidos na mesma.

O uso de sensores está cada vez mais comum, tendo em vista a expansão da agricultura de precisão. Estes podem ser usuais não somente para grandes áreas, mas também para avaliações em pequenas propriedades, buscando sempre soluções mais inovadoras e eficientes. Sendo um recurso que pode se tornar decisivo para a tomada de decisões.

Avaliando a importância do processo de plantio, a utilização em maior escala de máquinas de semeadura e elencando essa realidade ao uso de ferramentas tecnológicas, o emprego sensores para captação de dados se apresenta como uma alternativa viável para a obtenção de informações que permitam facilitar as operações em campo.

Dito isto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a força trativa somente



nos órgãos ativos, haste e disco-duplo, através do desenvolvimento de um suporte de acoplamento, em função de diferentes velocidades.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Máquinas agrícolas

Segundo Vian *et al.* (2013) a evolução das técnicas usadas para agricultura, foram decisivas para aumentar e otimizar a produtividade. No século XIX, período em que surgiram as máquinas e os implementos, foram observados resultados exponenciais no que se refere a produção, assim como na dinâmica de trabalho, diminuindo a necessidade de mão de obra.

Com isso, Silva (2015) ressalta que com o aumento das unidades industriais, voltadas para o desenvolvimento de máquinas agrícolas em escalas multinacionais, tem-se hoje um amplo mercado do segmento, que realiza a comercialização dos elementos constituintes, como peças e demais componentes dos tratores e implementos. Onde estes últimos, por sua vez, apresentam um amplo catálogo de exemplares, com funções distintas e modelos diferenciados.

O aprimoramento mantém-se contínuo, onde as tecnologias aplicadas à estas ferramentas são cada vez mais modernas e prósperas. A medida que a produtividade no campo segue em curva crescente devido aos altos investimentos aplicados à estes equipamentos (VIAN *et al.*, 2013).

O trator pode ser descrito como uma máquina autopropelida, que possui capacidade de transporte, de tração e disponibilidade de potência mecânica para os implementos e órgãos ativos (MIALHE, 1980).

Schlosser e Debiasi (2001) têm o trator como uma unidade móvel dotada de potência, composta por sistemas de direção, transmissão e capacidade de suporte de elementos secundários, possibilitando o acoplamento de implementos agrícolas.

Para Monteiro e Albiero (2013) o trator é um recurso que atua diretamente no progresso das tecnologias aplicadas à agricultura, modernizando as áreas e sistemas de produção e sendo responsável direto pelo crescimento e ascensão da produtividade rural no Brasil.

Folle e Franz (1990) também o caracterizam como uma fonte móvel de potência. Acrescentando que este veículo é econômico e extremamente funcional para a agricultura. Com a ressalva da essencialidade do conhecimento sobre a máquina, para otimização do desempenho, funcionamento correto e uso seguro.

Dentro da ampla gama de atividades agrícolas que pode-se realizar com o auxílio desta máquina, como o preparo do solo, a semeadura, adubação, aplicação de defensivos,

colheita, entre outros, pode-se afirmar que o trator é precursor da ampliação das áreas de cultivo e que este possui aplicabilidade em todas as etapas de produção (SILVEIRA, 2018).

Albiero (2006) refere-se à agricultura como uma potência econômica no nosso país. E sabe-se que a maior parte desse fluxo provém da agricultura familiar. Entretanto, as áreas de produção desse setor são caracterizadas pela utilização de tração animal e mão de obra humana para os seus cultivos, sendo este o reflexo da ausência de equipamentos, máquinas e implementos adequados.

Parte disso se deve ao fato de que os agricultores familiares não possuem recursos financeiros que possibilitem o investimento em mecanização agrícola, e detém do pensamento que não seria de grande vantagem a utilização desses recursos para as áreas, que geralmente não possuem grandes extensões (PORTELLA, 2001).

Ainda que Clarke (1997) apresente que existem três diferentes formas de fazer a promoção de energia em campo, e que dentro dessas está a então potência manual, que se refere a mão de obra humana e a potência animal, a potência motorizada que diz respeito a aplicação de ferramentas, implementos e máquinas, é a mais potente.

Arend e Forcellini (2005) destacam que são constantes as modificações que são feitas nos implementos agrícolas afim de atender o mercado consumidor, que demanda por máquinas que se adaptem às suas exigências, com tecnologias que ofereçam rapidez, baixo custo e que estejam de acordo com as reais necessidades das atividades em campo.

Molin *et al.* (2006) salientam que é de extrema relevância ter conhecimentos sobre a capacidade de trabalho de todas as máquinas e seus respectivos desempenhos, pois isso é um dos fatores determinantes na tomada de decisões no gerenciamento de sistemas agrícolas.

Sabe-se que para que haja o melhor desempenho das máquinas em campo, assim como dos implementos, é necessário um estudo criterioso, para que seja realizada uma avaliação capaz de determinar o que deve ser feito e quando deve ser feito na lavoura. De forma que as máquinas a serem usadas, sejam as mais adequadas para a operação, executando em menor quantidade de tempo e com menor intensidade de trabalho (MIALHE, 1974).

Mantovani (1987) pontua que a realização de operações agrícolas com maquinários exigem prudência, para que haja otimização do trabalho e baixo custo operacional. Além da escolha do equipamento adequado para se utilizar, estimando sua viabilidade.

De acordo com a definição de Magro e Cavichioli (2018), os implementos são máquinas agrícolas não motoras, que transmitem o efeito da força que é fornecida pelo trator,

ainda que não sejam capazes de transformá-la. Citando como exemplos desses equipamentos o arado, o subsolador, a grade, dentre diversos tipos disponíveis.

Estes podem ser classificados de acordo com o seu uso. Sendo divididos em: máquinas para preparo do solo, máquinas de semeadura, plantio e transplante, máquinas para cultivo, desbaste e poda, aplicadoras de defensivos e de colheita. As demais máquinas presentes no campo, além dos tratores (que são máquinas motorizadas), pertencem às etapas de processamento, irrigação e reflorestamento (SANTOS FILHO; SANTOS, 2001).

A mecanização aplicada ao processo de plantio se tornou possível através do uso das máquinas semeadoras, sendo estas acopladas ao trator, usando-o como fonte de potência e tração. Com isso, é essencial que ocorram constantes aperfeiçoamentos no conjunto trator-semeadora, afim de otimizar os resultados nesta etapa do cultivo (TOLEDO *et al.*, 2009).

É necessário então, que haja a seleção adequada dos componentes das máquinas semeadoras, para que seja mantida a eficiência e os bons resultados na lavoura. Dentre os pontos a serem avaliados para a eficácia dessas máquinas, os mecanismos de corte e abertura de sulco são essenciais, pois estes apresentam influencia direta no rendimento da operação (SILVA, 2007).

## **2.2 Mecanismos de abertura de sulcos**

A técnica de semeadura é uma prática milenar. Esse procedimento é responsável pela qualidade e sucesso das culturas agrícolas. Os aspectos de destaque desta prática estão relacionados ao desempenho da máquina operante e a abertura dos sulcos através dos mecanismos sulcadores (FRANCETTO *et al.*, 2015).

Coelho (1996) afirma que os mecanismos sulcadores de sementes ou de deposição de fertilizantes, são partes constituintes das máquinas semeadoras-adubadoras, junto aos mecanismos dosadores, depósitos, rodas de controle e sustentação, chassi e marcadores de linhas.

Para Balastreire (1990) os mecanismos sulcadores são ainda componentes que estabelecem a relação entre o solo e a máquina de semeadura. Tendo a abertura de sulcos para deposição de sementes e/ou fertilizantes como sua principal função, estes também determinam a profundidade das covas.

Os mesmo autor menciona que os mecanismos de abertura de sulcos possuem três principais tipos, sendo eles: facões ou hastes, discos simples e discos duplos. Estes se

diferenciam pelo uso, que será determinado de acordo com a técnica de semeadura, preparo do solo e declividade do terreno (BALASTREIRE, 1990).

O sistema de plantio direto, como técnica de semeadura, visa a redução do tráfego de máquinas e menor revolvimento do solo. As deposições de semente e fertilizante ocorrem sem preparo prévio do solo e mantendo a maior quantidade de material vegetal na superfície do solo (FURLANI *et al.*, 2007).

Mahl *et al.* (2008) afirmam que no sistema de plantio direto as máquinas semeadoras realizam o preparo do solo de forma localizada, somente no sulco, através dos mecanismos sulcadores que transpõem a palha, dispõem o adubo, a semente e realizam a cobertura, tendo efeitos benéficos no poder de germinação das sementes.

Já Reis *et al.* (2006) apontam que no sistema de plantio direto, o revolvimento do solo ocorre apenas na linha de deposição da semente. E o desenvolvimento esperado da cultura, ocorre em função do ambiente do solo no entorno, ou seja, das suas características físicas, como umidade, temperatura e aeração, sendo estas influenciadas diretamente pelo tipo de mecanismo de abertura de sulco utilizado.

Schlosser *et al.* (1999) trazem que o tipo de sulcador utilizado nas máquinas de semeadura de precisão, afetam o grau de mobilização do solo, assim como a força de tração necessária, o índice de patinação e a presença de plantas daninhas nas linhas de plantio. Trogello *et al.* (2013) complementam, demonstrando que os mecanismos sulcadores também causam efeitos na quantidade de plântulas germinadas e no desenvolvimento de suas raízes.

Dito isto, Milagres *et al.* (2015) concluem que as semeadoras-adubadoras tem os mecanismos sulcadores como agentes de aberturas de sulcos para deposição de sementes e adubo, em profundidades adequadas e sendo responsável ativo pelo desenvolvimento inicial desejado das plantas.

Siqueira e Casão Júnior (2004) pontuam que na operação de semeadura, deve ter-se a deposição de sementes e adubos de forma adequada, porém os sulcos devem ser abertos com larguras e profundidades mínimas, para que haja economia de potência. Tendo em vista que o que influencia no desempenho dos sulcadores são as características e propriedades do solo.

Germino e Benez (2006) afirmam que os mecanismos de abertura de sulcos mais utilizados atualmente são os do tipo disco-duplo e haste sulcadora. Onde o desempenho destes dois é influenciado pelas características do solo, mas também pela pressão da máquina semeadora, a quantidade de palha, a profundidade de atuação e a velocidade de operação.

Reis *et al.* (2007) trazem que a velocidade de deslocamento na etapa de semeadura tem ação sobre possíveis danos provocados às sementes e sua distribuição regular. A velocidade de semeadura ideal é a que permite a realização dos processos de abertura e fechamento do sulco sem excessivas remoções de solo. Comumente, as velocidades utilizadas estão entre 4 km.h<sup>-1</sup> e 6 km.h<sup>-1</sup> (1,11 m.s<sup>-1</sup> e 1,66 m.s<sup>-1</sup>) podendo variar de acordo com o mecanismo de abertura.

Vale ressaltar que, segundo Garcia *et al.* (2006) a velocidade de operação é um fator de suma importância na operação de semeadura. Isto porque esta variável atua na qualidade de abertura e fechamento dos sulcos, assim como influencia a profundidade e uniformidade de distribuição das sementes. Sendo assim, um agente que pode vir a afetar a produtividade.

### ***2.2.1 Hastes e discos duplos***

Portella (2001) caracteriza a haste sulcadora como um mecanismo de deposição de sementes e adubo, que realiza a deposição destes em uma profundidade entre 10 e 15 cm aproximadamente, tendo 2 cm de espessura em média. Estas possuem diversos formatos e seu ângulo de ataque favorece o rompimento do solo e penetração.

O mesmo autor identifica que o disco-duplo é composto por dois discos planos, cujo estes possuem diferentes diâmetros, podendo ser idênticos ou não. Este mecanismo atua cortando palha e também abrindo sulcos no solo para a deposição de sementes e fertilizantes (PORTELLA, 2001).

Já Silveira (1989) descreve a haste como uma peça fixa, cujo o formato é similar a um facão, possuindo uma lâmina de corte e rompimento de solo. Com sua extremidade pontiaguda, permite a penetração no mesmo, realizando assim a abertura dos sulcos. Sendo apropriada para o uso em solos mais densos e de menor quantidade de restos vegetais.

Já os discos duplos, para este autor, são elementos que adquirem rotatividade a medida que são tracionados. Estes podem ser simples ou defasados, possui limpadores, tem boa atuação em áreas com restos vegetais, palha, etc., tendo deslocamento no solo com menor exigência de tração (SILVEIRA, 1989).

Para Bordignon (2005), as hastes apresentam maior eficiência em relação ao disco-duplo no rompimento das camadas compactadas da superfície, já que estas apresentam mais capacidade de rompimento e mobilização do solo em profundidades maiores, o que melhora também o desenvolvimento das raízes e poder germinativo.

Já Iqbal *et al.* (1998) acrescentam que as hastes possuem maior mobilização do solo nos sulcos, em relação a ação dos discos duplos. Porém, este revolvimento aumenta a possibilidade de incidência de plantas invasoras e processos erosivos. Entretanto as hastes também possuem como vantagem o preço e a menor demanda energética.

Estes também afirmam que os discos duplos aplicam forças laterais ao solo e que isso gera a tendência de formação de sulcos em formato de “V”, oferecendo um bom contato entre a semente e o solo e a uniformidade no processo de semeadura (IQBAL *et al.*, 1998).

Santos *et al.* (2008) analisou os efeitos dos mecanismos sulcadores sob o índice de patinamento, concluindo que a haste necessita de maior esforço do trator, aumenta o consumo de combustível e possui maior ocorrência de patinamento que os discos duplos.

Ainda sobre efeitos deletérios, Righes *et al.* (1984) complementam que, ainda que o disco-duplo demande menor energia do sistema, assim como mobilizem o menor volume de solo, este mecanismo de abertura de sulco aumenta os níveis de compactação no fundo do sulco.

Pode-se dizer que a diferença mais contrastante entre os discos duplos e as hastes é a energia demandada. Temos que os discos duplos carecem de mais força vertical para a penetração no solo, e menor esforço de tração. As hastes por sua vez, necessitam de menos força vertical, porém, demandam maior força de tração (PORTELLA, 2001).

### **2.3 Força de tração em maquinários**

Tem-se por definição de tração uma força, produzida por um trator através da sua barra de tração, que ocorre na direção do deslocamento (ASAE, 1999). Segundo a norma D497.7 da ASAE (1999) o desempenho desta barra de tração depende da potência do motor, distribuição do peso no rodados, da altura e posição dos engates da barra e da superfície do solo.

Francetto *et al.* (2016) dizem que a força de tração, ou como também chamada de força horizontal, pode ser definida pela quantidade de força que é necessária para gerar o movimento de arrasto em determinado equipamento, seja para empurra-lo ou puxa-lo.

Yong (1984), entretanto, define tração como a habilidade que os elementos tratativos possuem de gerar forças que são capazes de vencer as resistências ao movimento e manter a máquina em deslocamento constante. Os elementos tratativos, ou seja, os rodados ou esteiras, determinarão o valor da tração, assim como o tipo de solo presente.

Para Gill e Vanden Berg (1968) a tração pode ser definida como uma força que é derivada da relação do sistema e do meio, onde a tração é o que torna a ocorrência de movimento neste dado meio mais fácil e prática.

Yanai *et al.* (1999) afirmam que diversas são as variáveis que podem ter influencia sobre a tração, sendo a principal delas o solo, por conta de suas características e superfície. As propriedades que afetam a eficiência da tração o teor de água, textura e o tipo de cobertura sobre o mesmo.

Diante disso, têm-se que levar em consideração as condições do solo ao avaliar o desempenho dos tratores agrícolas é primordial para se ter a identificação da capacidade máxima de tração e com isso identificar o consumo de combustível de acordo com os esforços requeridos (FIORESE *et al.*, 2015).

Do ponto de vista do trator, o sistema rodados-solo, considerando as características dos pneus e da superfície, são os fatores de ação na tração. É função do torque, da resistência do solo ao cisalhamento e da resistência ao rolamento (MIALHE, 1980).

Sendo a barra de tração o ponto utilizado para tracionar implementos e equipamentos de arraste, Liljedahl *et al.* (1996) afirmam que o rendimento nesta é frequentemente utilizado para comparar e avaliar os tratores agrícolas. As condições da superfície do solo no entanto influenciam no rendimento da barra, assim como a relação de transmissão e peso-potência.

Mialhe (1996) traz que a barra de tração também se utiliza da potência do trator como recurso para desenvolver força, a qual é destinada para tracionar as máquinas e os implementos nas áreas de cultivo. Através do ensaio na barra de tração, podem ser observados parâmetros quantitativos com relação a força de tração.

De acordo com a norma D497.4 da ASAE (1999), ocorrem perdas consideráveis no processo de transmissão da potência do motor para a barra de tração. Com isso, é essencial ter conhecimento sobre a força e conseqüentemente, a potência disponível na barra de tração dos tratores, para que tenha-se a utilização adequada das máquinas (MASIERO, 2010).

Ter conhecimento sobre a força de tração torna possível a obtenção de uma estimativa real da potência necessária para a tração de uma máquina semeadora, fazendo com que haja assim economia de energia e dispensando usos excessivos das fontes de potência (MACHADO *et al.*, 2007).

Mattos *et al.* (1981) afirmam que aproximadamente 30% dos gastos que se tem com um trator agrícola são destinados para o combustível, sendo responsável pelos maiores custos que se tem na hora trabalhada com a máquina. Os gastos com combustíveis tem sido



um grande desafio para a agricultura moderna, estimulando o desenvolvimento de sistemas de plantio que reduzam este uso.

É possível, através da análise do consumo de combustível, afirmar que, para que haja menor consumo é necessário que se tenha a otimização do desempenho do motor, assim como a adequação do equipamento acoplado com a fonte de potência e a eficiência de tração (SALVADOR *et al.*, 2009).

Masiero (2010) conclui que qualquer melhoria que possa ser feita ao que diz respeito a transformação da potência do motor do trator em potência de tração na barra, da forma mais eficaz e produtiva possível, refletirá de forma direta na produtividade agrícola, assim como para conservação e uso racional de energia.

É de grande valia ressaltar que nas últimas décadas vem tido uma evolução nos estudos de tração, como evidencia Zoz (1997), que mostra os progressos obtidos na avaliação de tratores em pistas de concreto, porém, ressalta que é necessário que haja maior investimento em avaliações de desempenho de tração em campo, principalmente quando acoplados a implementos e máquinas de arrasto.

## **2.4 Utilização de sensores na agricultura**

Reid (2011) relata que a primeira utilização de sensores na agricultura foi no ano de 1966, pela empresa americana Dickey-John Inc.. A companhia desenvolveu um conjunto de sensores eletrônicos para monitoramento, que foram inseridos nas máquinas agrícolas e permitiram o melhoramento de seu desempenho.

Já na década de 80, vinte anos mais tarde, foi iniciado o estudo dos microcomputadores e dos *softwares*, o que seria de grande benefício, como se comprovou anos depois. Porém, neste período em específico, por conta da alta inflação e problemas de cunho econômico global, houve uma queda nas vendas dos maquinários agrícolas (FERO, 2014).

Costa *et al.* (2015) afirmam que meados dos anos 90 foi quando a utilização de tecnologias em implementos agrícolas, com a utilização de eletrônica, deslanchou. Com o desenvolvimento de microcontroladores, o uso de redes sem fio e processamento dos sinais de forma digital e outros diversos tipos, que auxiliam de forma direta pra operação com os maquinários.

Na atualidade, como afirmam Bassoi *et al.* (2020) a automação no campo já é uma realidade. A utilização dessas tecnologias se aplica à todas as etapas de cultivo e aumenta

consideravelmente a produção, a medida que também otimiza o tempo, os insumos e o uso de capital.

Silva (2009) diz que inserção de tecnologia eletrônica tem contribuído com o aumento da produtividade no meio rural e esses dados estão dentro de um contexto conhecido como “agricultura de precisão”. A agricultura de precisão se utiliza de mecanismos com tecnologia de ponta para poder avaliar cada porção da lavoura, auxiliando nas tomadas de decisão de acordo com as necessidades e características específicas.

Os sensores podem avaliar infinitos fatores, realizando o monitoramento de culturas nos aspectos de solo, disponibilidade hídrica, estimativa de produtividade e muito mais. Os mais utilizados na agricultura de precisão são: ópticos, térmicos, elétricos, monitor operacional, medidores de fluxo, umidade e de velocidade. Podendo ser classificados em diretos ou remotos de acordo com o contato, ou não, com a variável analisada (SCHIESSL, 2018).

A aplicação de sensores no campo permite então a aquisição e transmissão de dados de forma contínua nas áreas agrícolas, e infinitos são os dados que podem ser coletados através destes. Sendo uma alternativa prática, econômica e eficiente (SILVA, 2009).

Para Swinton e Lowenberg-deboer (1998) a agricultura de precisão pode ser definida como uma ferramenta de auxílio na gestão e gerenciamento de produção. As tecnologias utilizadas permitem a otimização das práticas nas áreas de cultivo e a precisão espacial permite decisões mais assertivas.

Molin (2004) traz que a agricultura de precisão está amparada por um conjunto de recursos que possibilita análises em áreas de grande extensão com a mesma riqueza de detalhes que em pequenas propriedades, além disso, diferencia pontos dentro de uma parcela e concentra os conhecimentos acumulados dos estudos agrícolas até hoje.

É notório então que a agricultura de precisão se utiliza de novas tecnologias para o monitoramento das áreas de forma intensiva. Os sensores adotados para esse processo são de diversas naturezas, afim de captar as diversas informações desejadas, estes permitem a quantificação dos fatores de produção com alta precisão (WHELAN, 1998).

Coelho (2005) conclui que a realização de uma agricultura de precisão, carece da aquisição, do processamento e da análise de diversos dados, sendo essencial a utilização de computadores móveis, além de microprocessadores, que possuem capacidade de armazenamento de dados em massa, através de uma memória expansiva e microcontroladores, que atuam de forma rápida e específica.

### 2.4.1 Microcontroladores

Zancan (2010) mostra que os sistemas de controle estão em basicamente todas as atividades. Com isso, os controladores podem ser empregados de infinitas formas, sendo usados para gerenciamento de variáveis. Os microcontroladores, realizam esse gerenciamento através de um programa, que define as operações do processo. Esses equipamentos podem ser caracterizados como simples, completo, barato e de baixo consumo energético.

Gimenez (2010) caracteriza os microcontroladores como um objeto constituído por uma CPU (*Central Processing Unit*), entradas, saídas, uma fonte de alimentação e uma base. A CPU é peça responsável pela interação com o sistema de memória, pela interpretação e execução das funções programadas pelo usuário.

Para Targa *et al.* (2019) os microcontroladores são como pequenos computadores de circuito integrado unico, com alto poder de processamento de dados e ampla memória. Geralmente esses equipamentos fazem uso da plataforma Arduino<sup>®</sup> para obtenção de forma mais rápida os dados de coleta em campo. Esta plataforma de computação física é composta por um conjunto de microcontroladores em uma placa.

O Arduino<sup>®</sup> é definido por McRoberts (2011) como uma plataforma eletrônica constituída por *hardware* e *software*, com a ressalva que onde ambos possuem fonte aberta, permitindo a criação de diversos projetos de controle independentes, como para uso de monitoramento, interatividade, apenas conectando a um computador.

Para Cavalcante *et al.* (2011) no entanto, o Arduino<sup>®</sup> se resume a uma ferramenta construída para propiciar a interação física entre o computador e o ambiente, através da utilização de dispositivos eletrônicos, baseados em *softwares* e *hardwares* livres.

A criação do projeto Arduino<sup>®</sup> aconteceu na Itália, no ano de 2005, este é composto por uma plataforma de *software* e *hardware* que possibilita o desenvolvimento de aplicações e ambientes interativos por programadores, necessitando apenas do conhecimento em eletrônica e informática (ALVES *et al.*, 2013).

A plataforma Arduino<sup>®</sup> admite correspondência com as linguagens de programação Java, C e C++, permitindo que o desenvolvedor crie blocos de códigos que definem as funções que o Arduino<sup>®</sup> deverá realizar (MCROBERTS, 2011).

Além disso, a placa possui circuitos de entrada e saída, além do acoplamento com um microcontrolador e usufrui do *bootloader* presente neste, também tendo seu ambiente de desenvolvimento (CAVALCANTE *et al.*, 2011).

Kamogawa e Miranda (2013) trazem que a plataforma Arduino<sup>®</sup> se utiliza comumente de microcontroladores da empresa Atmel Inc. e outros componentes que facilitam o processo de programação e *plug* com outros circuitos. O Arduino<sup>®</sup> é comercialmente disponível em diversos modelos, se diferenciando de acordo com o propósito do seu uso.

Silveira e Girardi (2017) complementam que, atualmente são diversas as plataformas utilizadas no desenvolvimento dos microcontroladores, mas o Atmega328 vem sendo o mais usual por compor a placa Arduino<sup>®</sup>, sendo o modelo Arduino Uno<sup>®</sup> o mais recente no mercado.

ALVES *et al.* (2013) ressaltam então a facilidade de manusear o equipamento e a infinidade de recursos que são possíveis ser feita a sua aplicabilidade no “mundo” digital e analógico, trazendo diversas funcionalidades em um unico equipamento.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi dividido em quatro etapas, sendo estas descritas em ordem cronológica: construção do suporte de acoplamento para os mecanismos ativos, desenvolvimento e programação do *hardware* e *software* para obtenção dos dados, calibração do conjunto e avaliação em campo.

#### 3.1 Local

O experimento foi conduzido na área experimental (FIGURA 1) do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici – DENA/CCA/UFC. Este está situado a 3° 44' 47.16" latitude Sul e 38° 34' 52.20" longitude Oeste, na cidade de Fortaleza, Ceará.

Figura 1 - Imagem aérea da área experimental



Fonte: Google Maps (2021).

Foi realizado preparo primário na área experimental, com a utilização de gradagem e enxada rotativa, a fim de proporcionar maior homogeneidade no solo. Das características do solo, tem-se que sua classificação, de acordo com o SiBCS (EMBRAPA,

2013), é como um Argissolo Vermelho-amarelo, de textura franco-arenosa, com percentuais de 82,9% de areia, 10,6% de argila e 6,4% de silte (MACEDO *et al.* 2016).

Já o desenvolvimento do suporte de acoplamento, foi realizado no laboratório do Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici – DENA/CCA/UFC. De coordenadas 3° 44' 31.09" latitude Sul e 38° 34' 31.44" longitude Oeste, na cidade de Fortaleza, Ceará.

### **3.2 Construção do suporte de acoplamento**

Para a fabricação do suporte de acoplamento, foi-se utilizado madeira MDF (*Medium Density Fiberboard*) em sua estrutura, assumindo formato retangular. Foram adicionados quatro rodados com perímetros de 81cm, com o objetivo de ter uma sustentação mais equilibrada e possibilidade de movimento do suporte.

O suporte foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar no apoio dos mecanismos sulcadores, assim como suas locomoções, de forma a tornar possível ser feita uma análise mais precisa, com base na avaliação individual dos órgãos ativos, sem a interferência dos demais componentes das máquinas de semeadura.

Neste suporte também foi disposta a célula de carga e o microcontrolador, onde, através de conexões por fios, foram ligados aos órgãos ativos (haste e disco-duplo).

### **3.3 Instrumentação**

O suporte de acoplamento se utilizou de ferramentas tecnológicas, microcontroladores com *hardware* e *software* pré configurados, para a captação e armazenamento de informações. Estas permitiram, através da leitura dos dados, a avaliação das variáveis desejadas, sendo estas, velocidade, força de tração e potência.

#### **3.3.1 Desenvolvimento de Hardware**

No desenvolvimento do *hardware*, que consiste na ferramenta física que faz o dispositivo funcionar, foi-se utilizado uma placa Arduino® Uno R3 para a coleta de dados, registro dos mesmos, processamento e armazenamento. Esta fez uso do microcontrolador ATmega328 e além de suas múltiplas funcionalidades, a placa de Arduino® permite que seja feita a interface pelo usuário.

Para a produção, foi feita a montagem junto a um *Data Logger Shield* para o registro dos dados, com o mecanismo temporizador RTC DS 1307, o amplificador operacional HX711 e transdutores. Os transdutores consistem no sensor de indução da proximidade NPN LJ12A3-4-Z/BX. Já a célula de carga escolhida foi a de modelo S9M HBM® de 10 kN, pois esta além de apresentar melhor custo benefício, teve como fator primordial o tamanho, sendo compatível com o espaço disponível no suporte de acoplamento.

Para as conduções eletrônicas foram utilizados *jumpers*, um fusível, uma bateria de 10V, reguladores de tensão L7805cv com 5V em três terminais, para igualar a tensão de entrada no sensor indutivo, e um interruptor. Esta ferramenta foi desenvolvida para medir a força trativa necessária para os órgãos ativos (haste e disco-duplo) e a velocidade do suporte com o acoplamento destes mecanismos sulcadores.

### **3.3.2 Desenvolvimento do Software**

Através do Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE - *Integrated Development Environment*) foi programado o *software* utilizado no microcontrolador. O IDE pode ser descrito, de forma simplificada, como um fornecedor de um conjunto de ferramentas que auxiliam na programação.

A linguagem de programação usada foi a C++, a qual tem compatibilidade com as *libraries* fornecidas no ambiente, ajudando no desenvolvimento do *software*. Os sensores dispostos no microcontrolador, através de pulsos elétricos dispõem as informações que por meio do código de programação são convertidas em equações pré inseridas.

Foram determinados com isso, de forma instantânea, os parâmetros analisados, sendo estes a força (kgf) e a velocidade ( $m.s^{-1}$ ), armazenados no cartão de memória e com leitura através de um aparelho computador em tempo real.

### **3.4 Calibração**

A etapa de calibração diz respeito a aferição do sistema de captação de dados, assim como os sensores utilizados no mesmo. O monitor de série da placa Arduino® foi o indicador para a leitura da força aplicada nos trabalhos, onde teve um *script* utilizado para a calibração da célula de carga.

Esta fase consistiu na utilização de pesos conhecidos, sendo feitas dez repetições com cada um, afim de ajustar o fator de calibração usado no código de programação, sendo feito uso de uma balança digital já calibrada.

Os objetos em questão foram fixados à célula de carga, individualmente, para que fosse possível a observação de seu peso e realização de possíveis ajustes do fator de calibração quando os valores não estivessem equivalentes. Estes valores foram observados no monitor do IDE, correlacionando o peso real do objeto e o peso medido pela célula de carga.

As informações dos valores de calibração foram observadas no IDE através das leituras dos pulsos feitas pela placa Arduino®, que permitiu o processamento desses dados e espelhamento em tempo real no aparelho computador, permitindo a condução das avaliações.

Para a calibração do sensor indutivo, foi feita a inserção de oito parafusos metálicos, distribuídos de forma cêntrica e paralela no eixo do rodado esquerdo traseiro do suporte de acoplamento.

Esta prática teve como objetivo a contabilização de voltas dadas pelo rodado, feita pelo sensor. A medida que o movimento de giro foi feito, foram enviados pulsos magnéticos, gerados pela presença dos parafusos no campo magnético do sensor, tendo assim, a cada oito pulsos liberados no sistema, uma volta completa realizada pelo rodado.

Com as variáveis tempo, perímetro do rodado e número de voltas, foram aplicadas funções no código de programação, capaz de determinar a rotação por minuto (rpm) e a velocidade ( $m.s^{-1}$ ). Além disso, foi utilizado o tacômetro para a calibração, para aferir a rotação no equipamento e a rotação programada, comparando uma à outra.

### **3.5 Avaliação em campo**

Para avaliação em campo, foi utilizado um trator agrícola Valtra® 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), modelo A950 (FIGURA 2), com potência de 69,8 kW correspondente a 95cv. O trator foi usado para tracionar o suporte de acoplamento já com os órgãos ativos em engate.

Das adequações feitas para operação do trator no experimento, temos que a tração dianteira auxiliar permaneceu acionada. Além disso, o trator se utilizou das seguintes pressões em seus rodados: rodados dianteiros 18 psi (124,10 kPa) e rodados traseiros 20 psi (137,89 kPa), aferidas por um calibrador do tipo manômetro, pois estas são as pressões usuais de trabalho. Ao que se refere ao uso de lastro, foi utilizada a lastragem sólida metálica no trator, com as seguintes massas: eixo dianteiro 375 kg e eixo traseiro 340 kg.



Figura 2 - Trator Valtra® 4x2 TDA A950 utilizado no experimento



Fonte: Própria autora (2021).

No experimento, uma das variáveis analisadas foi a velocidade de operação da máquina. Onde foram realizados ensaios para obtenção das velocidades 2, 4 e 6 km.h<sup>-1</sup>, posteriormente convertidas para m.s<sup>-1</sup>, de acordo com as marchas e rotações utilizadas no trator, sendo descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Combinação de marchas por velocidades de operação.

<b>Rotação (rpm)</b>	<b>Marcha</b>	<b>Velocidade real (m.s<sup>-1</sup>)</b>
1500	L2	0,6
1700	L3	1,1
1600	H1	1,7

Fonte: Própria autora (2021).

Os mecanismos sulcadores utilizados para a condução do experimento foram a haste sulcadora e o disco-duplo. Da caracterização da haste sulcadora (FIGURA 3), temos que foi utilizado um modelo com altura de 0,415 m, com espessura de 0,01 m e ângulo da ponteira de 18°.

Figura 3 - Mecanismo sulcador do tipo haste



Fonte: Própria autora (2021)

O disco-duplo (FIGURA 4) utilizado foi do tipo desencontrado, com bordas lisas e diâmetro de 0,390 m.

Figura 4 - Mecanismo sulcador do tipo disco-duplo



Fonte: Própria autora (2021)

### 3.5.1 Aquisição de dados das variáveis

#### 3.5.1.1 Velocidade

Para a escolha das velocidades, foram realizados testes de adequação às combinações entre as marchas e as rotações do motor do trator, com o objetivo de aferir três diferentes velocidades que seriam adequadas para a condução do experimento, de forma a apresentar os valores desejados, dados em  $\text{km.h}^{-1}$ , posteriormente convertidos para  $\text{m.s}^{-1}$ . Sendo a fórmula da velocidade expressa pela Equação 1:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} / 3,6 \quad (1)$$

Onde:

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

$\Delta s$  = espaço de deslocamento;

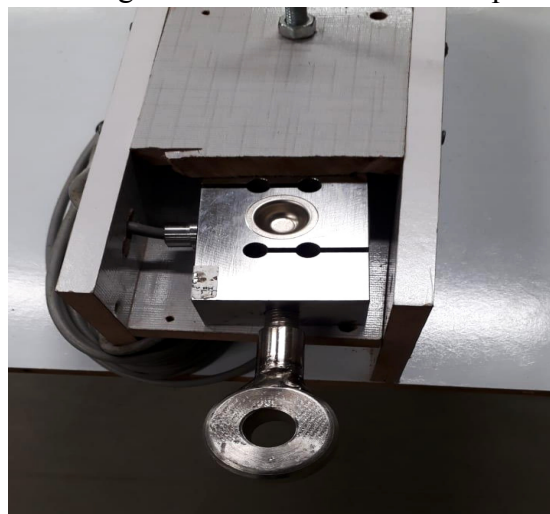
$\Delta t$  = intervalo de tempo;

3,6 = fator de conversão para  $\text{m.s}^{-1}$ .

#### 3.5.1.2 Força de tração

Para determinação da força de tração dos mecanismos de abertura de sulcos, foi utilizada a célula de carga do tipo S (FIGURA 5) acoplada ao suporte desenvolvido para os órgãos ativos.

Figura 5 - Célula de carga S9M HBM® de 10 kN acoplada no suporte



Fonte: Própria autora (2021)

A estrutura de suporte produzida, teve a finalidade de deslocar os mecanismos sulcadores, com o auxílio do trator para geração de movimento. O intuito, é que a avaliação na haste e no disco-duplo pudesse ser feita de forma específica, o que não seria possível na metodologia convencional.

Os estudos de força de tração que foram realizados até agora, seguem uma análise que considera a máquina semeadora completa. Além disso, deve-se ressaltar que ocorre uma resistência ao rolamento, por parte do contato dos rodados do trator com o solo, gerando uma força de oposição ao deslocamento, e a força que é exercida pelo órgão sulcador ativo ao entrar em contato com o solo, é uma força denominada de tração instantânea.

Esta última, considera a força de tração do implemento e a força de resistência ao rolamento, sendo o valor expresso, um somatório desses dois vetores. Com isso, a força de tração necessária para a realização da operação, foi a diferença entre a força necessária para tracionar o suporte com e sem os órgãos ativos, no caso, a haste e o disco-duplo (EQUAÇÃO 2).

$$F_t = F_i - R_r \quad (2)$$

Onde:

$F_t$  = força na barra de tração

$F_i$  = força demandada pelo implemento

$R_r$  = resistência ao rolamento

Esses dados foram adquiridos de forma automática através da célula de carga, dispensando a aplicação da fórmula na coleta dos dados, pois foram previamente programados para já fornecerem o valor final. O valor obtido foi posteriormente convertido de kgf (unidade de medida usada na célula de carga) para kN (unidade de medida padrão utilizada na condução de experimentos), através da seguinte fórmula de conversão (EQUAÇÃO 3):

$$1 \text{ kgf} = 0.00980665 \text{ kN} \quad (3)$$

Onde:

kgf = quilograma-força;

kN = quilonewton.

### 3.5.1.3 Potência

Após a coleta dos dados de força de tração, calculou-se a potência média exigida na barra de tração, em função da força de tração e da velocidade de deslocamento, como mostra a Equação 4:

$$Pb = \frac{Fm \times Vm}{3,6} \quad (4)$$

Onde:

Pb = potência média requerida na barra de tração do trator (kW);

Fm = força de tração média requerida na barra de tração (kN);

Vm = velocidade média de deslocamento (km.h<sup>-1</sup>);

3,6 = fator de conversão para m.s<sup>-1</sup>.

### 3.5.2 Delineamento experimental

Dentro do experimento foi analisada a interação de dois diferentes fatores, que são os mecanismos sulcadores e a velocidade de operação. Sendo distribuídos da seguinte forma: dois mecanismos de abertura de sulco e três níveis de velocidade de operação, como evidencia a Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos fatores de interação avaliados.

Fatores			
Sulcadores	Velocidade de operação (m.s <sup>-1</sup> )		
Haste	0,55	1,11	1,66
Disco-duplo			

Fonte: Própria autora (2021).

O delineamento experimental realizado para análise dos dados estatísticos foi o de Blocos Casualizados (DBC), composto pela avaliação de seis tratamentos, sendo estes resultantes da interação dos dois fatores analisados, em um fatorial 2x3 (dois mecanismos sulcadores x três velocidades). Dentro do delineamento foram feitos cinco bloco (repetições) para as variáveis estudadas, totalizando 30 tratamentos, de acordo com o modelo apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estrutura de delineamento fatorial 2x3 com 5 blocos.

Mecanismo sulcador (Fator 1)	Velocidade de operação (m.s <sup>-1</sup> ) (Fator 2)	Blocos				
		1	2	3	4	5
<b>Haste (H)</b>	0,6	H2	H2	H2	H2	H2
	1,1	H4	H4	H4	H4	H4
	1,7	H6	H6	H6	H6	H6
<b>Disco-duplo (D)</b>	0,6	D2	D2	D2	D2	D2
	1,1	D4	D4	D4	D4	D4
	1,7	D6	D6	D6	D6	D6

Fonte: Própria autora (2021).

### 3.5.2.1 Análise das variáveis

Para análise das variáveis foi utilizada a estatística descritiva básica, afim de aferir os parâmetros: média, desvio padrão e coeficiente de variação. A normalidade dos dados foi assegurada pelo teste de Shapiro-Wilk, onde este considera a distribuição normal para valores de  $p$  maiores que 0,05.

Os dados foram submetidos à análise de variância para verificar a significância dos fatores e das suas interações através do teste F. Para a comparação e observação de diferenças nos tratamentos foi aplicado o teste de análise de Tukey, com nível de 5% de probabilidade de erro ( $p \leq 0,05$ ).

A estatística dos dados foi gerada com o auxílio do *software* estatístico Sisvar<sup>®</sup>, versão 5.8 (FERREIRA, 2000).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 pode ser observado o resumo da análise de variância, realizado pelo *software* Sisvar<sup>®</sup>, apresentando os valores obtidos pela realização do teste F, os coeficientes de variação dos dados (CV) e sua precisão dada em porcentagem, e os valores de normalidade admitidos pelo teste de Shapiro-Wilk para as variáveis resposta Força de Tração e Potência, os fatores de tratamento denominados Mecanismos (haste e disco-duplo), nas Velocidades de deslocamento (0,6; 1,1 e 1,7 m.s<sup>-1</sup>) e a respectiva interação entre os dois últimos.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância com valor do teste F, os Coeficientes de Variação (CV) e os valores de normalidade para a combinação de três velocidades de deslocamento e dois mecanismos sulcadores, haste e disco-duplo (h+d), para o teste de força de tração e potência.

Fontes de variação	Valor F	
	Força de Tração	Potência
Mecanismo (h+d)	24,09**	16,55**
Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	0,27 <sup>NS</sup>	19,71**
Inter. Tratamento x velocidade	0,29 <sup>NS</sup>	0,82 <sup>NS</sup>
CV (%)	23,88	28,52
Shapiro-Wilk (p)	0,25	0,99

\*\* Significativo a 1% de probabilidade ( $P \leq 0,01$ ); \* Significativo a 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ); NS Não Significativo pelo teste F.

Os resultados obtidos pelo teste de Shapiro-Wilk evidenciam p maiores que 0,05 para as duas variáveis resposta, o que confirma a distribuição normal dos valores, podendo então ser conclusiva a hipótese de normalidade dos dados.

Foi evidenciado que o fator mecanismo obteve efeito significativo na força de tração e na potência, constatando que o uso dos diferentes mecanismos sulcadores influem nas variáveis analisadas.

Para a fonte de variação velocidade, não foram observados valores significativos para a força de tração, o que mostra que, ainda que sejam usadas diferentes velocidades, os índices de força de tração não sofrem interferências, ou seus efeitos não podem ser considerados significativos.

Para a potência, os valores foram considerados significativos aos níveis de 5, e também 1% de probabilidade, trazendo que a aplicação de velocidades distintas geram alterações nos valores de potência.

A análise exibiu que a interação entre os fatores mecanismo e velocidade não foi significativa para a força de tração e para a potência, podendo ser afirmado que a interação entre as velocidades aplicadas (0,6; 1,1 e 1,7 m.s<sup>-1</sup>) e os mecanismos utilizados (haste e disco-duplo) não apresenta efeitos significativos.

O coeficiente de variação (CV), fator que define a variação dos dados, tendo a média destes como parâmetro, apresentaram valores acima de 10%, sendo 23,88% e 28,52% para força de tração e potência, respectivamente. Estes percentuais indicam uma alta dispersão dos dados, o que pode ser justificado pela avaliação ser conduzida em campo e na superfície do solo, ainda que preparado, podem ser encontrados obstáculos, influenciando nas variáveis e apresentando dados mais heterogêneos.

#### 4.1 Coeficiente de força de tração

Através da análise de variância, realizada pelo teste F, foi evidenciado que a interação entre mecanismo e velocidade não foram significativas para a variável analisada força de tração. Com isso, foi realizada uma segunda análise de variância, onde esta avaliou os fatores isoladamente, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios da Força de Tração (kN) demandada nas três diferentes velocidades usadas em campo.

Variável	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )			DMS*
	0,6	1,1	1,7	
<b>Força de Tração (kN)</b>	0,100a	0,104a	0,096a	0,027

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \* Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias da Força de Tração e cada velocidade de deslocamento.

Conforme apresentado na tabela, as forças não apresentaram variação à medida que houve aumento da velocidade através da análise estatística. Ainda que a velocidade varie em percentuais consideráveis, temos que para a aquisição de força, a velocidade não é uma



variável considerada, com isso, pode-se explicar os valores não significativos, não apresentando nenhuma disparidade entre os dados avaliados.

A análise dos fatores de forma isolada, permitiu a constatação de que os mecanismos sulcadores possuem influência significativa sobre a força de tração, sendo apresentadas médias que diferem entre si, confirmando os valores de significância apresentados anteriormente na análise estatística feita com o teste F, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios da Força de Tração (kN) demandada nos dois tipos de mecanismo sulcador.

Variável	Mecanismo		DMS*
	Haste	Disco-duplo	
<b>Força de Tração (kN)</b>	0,121a	0,079b	0,018

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \* Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias da Força de Tração e cada Mecanismo sulcador.

Com relação a avaliação da força sob influência dos tipos de tratamento, ou seja, com o uso dos mecanismos sulcadores objetos deste estudo, foi observada diferença entre os valores apresentados para a haste e para o disco-duplo. Com base nos parâmetros estatísticos apresentados, a haste evidenciou maior demanda de força de tração para a realização de operações que o disco-duplo.

Isto pode ser explicado pelo fato da haste atingir maiores profundidades do solo, conseqüentemente, demandar mais força de tração para ultrapassar as barreiras presentes no solo, na proporção que ocorre o deslocamento. Enquanto o disco-duplo, por ter formato circular e acompanhar o sentido de deslocamento da máquina, e atuar em camadas mais superficiais para a abertura dos sulcos, demanda menor esforço na barra de tração.

Como apresenta a ASAE (1999), que diz que a medida que tem-se o trabalho realizado em maiores profundidades no perfil do solo, como ocorre com as hastes sulcadoras, é necessário maior esforço de tração.

Ou seja, as forças verticais exercidas pela ação mais profunda desse mecanismo no solo, se opõem as forças exercidas pela barra de tração do trator, demandando mais esforço. Devendo ressaltar que o aumento da profundidade também gera aumento nas forças horizontais, o que faz com que, ainda que ambas estejam em mesma direção, o perfil do solo

atua como uma barreira, gerando um atrito e conseqüentemente maior demanda de força para o arraste.

As forças atuantes nos discos-duplos são mais laterais, como mostra Silva *et al.* (2012), fazendo com que a demanda de maiores forças de tração nestes mecanismos ocorra com maior intensidade em áreas de declive acentuado.

Ainda que quando comparados aos demais tipos de disco, o tipo liso apresente maiores profundidades de operação, em relação às hastes sulcadoras, seus resultados se apresentam inferiores.

#### 4.2 Potência na barra de tração

Diferentemente da força de tração, os valores da interação entre mecanismo e velocidade foram significativos para a variável potência. Através da realização da análise dos fatores isolados, as médias diferiram entre si, apresentando influencia significativa de uma variável sobre a outra, conforme exibido na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores médios da Potência (kW) demandada nas três diferentes velocidades usadas em campo.

Variável	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )			DMS*
	0,6	1,1	1,7	
<b>Potência (kW)</b>	0,068a	0,120b	0,160c	0,037

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \* Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias da Potência e cada velocidade de deslocamento.

Como esperado, os resultados apresentados na Tabela 7 comprovaram que a velocidade tem ação direta sobre a potência, tendo em vista que a potência é o produto da velocidade pela força. Dito isto, pôde-se observar que a medida que houve aumento na velocidade, houve também aumento no requerimento de potência para a realização do trabalho.

Conforme anteriormente comprovado pelo teste F realizado na análise estatística dos dados, foi certificada pela avaliação dos fatores isolados a intervenção significativa nos valores médios de potência quando estes relacionados ao uso de diferentes mecanismos, podendo ser esses dados verificados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios da Potência (kW) demandada nos dois tipos de mecanismo sulcador.

Variável	Mecanismo		DMS*
	Haste	Disco-duplo	
<b>Potência (kW)</b>	0,140a	0,091b	0,025

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. \* Diferença mínima significativa (DMS) entre as médias da Potência e cada Mecanismo sulcador.

Os dados evidenciados acima reforçam a teoria anteriormente explicada, de que a potência, por ser o resultado da interação da velocidade com a força, sofre influência destes dois fatores. Tendo que os mecanismos sulcadores apresentaram diferentes demandas de força de tração na barra, conseqüentemente, causaram alterações no resultado final da necessidade de potência para a realização das operações mecanizadas em campo.

A haste apresentou valores médios de requerimento de potência maiores que o disco-duplo. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato da haste demandar maior força de tração na barra para a realização das operações de semeadura, com isso, independente da velocidade utilizada para trabalho, haverá maior demanda de potência para que ocorra o deslocamento.

Além da promoção da abertura dos sulcos, o mecanismo tipo haste, como evidencia Boeni (2000), acaba gerando a mobilização das partículas do solo, que realmente possuem seu arranjo de forma agrupada. Com isso, a força exercida por esse mecanismo, gera o rompimento de pequenos teores de compactação, ocasionados pelos mais diversos fatores dentro das áreas de cultivo.

Ao realizar essas ações, diretas e indiretas, a interação ferramenta sulcadora-solo demanda de maior energia da máquina motora, para que seja possível a realização de uma operação adequada, dentro da velocidade utilizada, ainda que demande, por consequência, de mais força e vice-versa.

Entretanto, é importante salientar que, ainda que as demandas de potência por parte do mecanismo sulcador do tipo haste, sejam maiores, não se pode afirmar que a utilização desta ferramenta é negativa, tendo em vista que outros parâmetros devem ser avaliados para poder declarar essa sentença.

Dentro destes parâmetros, pode ser citado o consumo de combustível, o desgaste da máquina, alterações nos valores de produtividade, dentre outros. Até porque, temos que, como Canova (2010) aponta, até mesmo o ângulo de ataque, que varia de acordo com espessura das hastes e a conformação de suas ponteiros, pode provocar diferenças consideráveis nos parâmetros.

## 5 CONCLUSÃO

A velocidade não apresentou valores significativos que evidenciassem quaisquer interferências sobre a força de tração, já os mecanismos sulcadores apresentaram efeitos na força de tração. A haste sulcadora apresentou maiores valores demandados que o disco-duplo.

A maior potência requerida foi observada no uso da velocidade de  $1,7 \text{ m.s}^{-1}$ . A haste sulcadora apresentou os maiores valores de potência demandada.

## REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D. **Avaliação do Preparo de Solo empregando o sistema de Cultivo Conservacionista em Faixas com “Paraplow” Rotativo usando Análise Dimensional**. 321 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.
- ALVES, R. M.; PINTO, M. C.; SAMPAIO, F. F.; ELIA, M. F. **Uso do hardware livre Arduino em ambientes de ensino-aprendizagem**. Jornada de Atualização em Informática na Educação, [S.l.], p. 162-187, fev. 2013. ISSN 23167734. Disponível em: <<http://br-ie.org/pub/index.php/pie/article/view/2346>>. Acesso em: 13 ago. 2021.
- AREND, L.; FORCELLINI, F. A.; WEISS, A. **Desenvolvimento e testes de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais**. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 801-808, 2005.
- ASAE D 497.4. **Agricultural Machinery Management Data**. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 359- 366, 1999.
- ASAE S296.4 DEC95 **Uniform terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport devices**. In: ASAE Standards: standards engineering practices data. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 119- 121, 1999.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990, 307 p.
- BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; CRUVINEL, P. E. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. TECCOGS - Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, [S.L.], n. 20, p. 17-36, 26 maio 2020.
- BOENI, M. **Comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus do trator**. 2000. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- BORDIGNON, J. **Projeto, construção e desenvolvimento de transdutores para medição de esforços em semeadoras-adubadoras**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2005.
- CANOVA, R. **Desempenho de semeadora-adubadora com cinco modelos de hastes sulcadoras na cultura do milho (Zea mays L.)**. 2010. vi, 57 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. **Física com Arduino para iniciantes: physics with arduino for beginners**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 33, n. 4, p. 4503, dez. 2011.

CLARKE, L. J. **Agricultural mechanization strategy formulation**. 1o Ed. Rome: FAO, 1997.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.

COELHO, J. L. D. **Ensaio e certificação das máquinas para semeadura**. In: MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios e certificação. Piracicaba, FEALQ, Cap. 11, p. 551-570, 1996.

COSTA, F. T.; SCHIEBELBEIN, L. M.; SANTOS, M. M. D.; STEVAN JÚNIOR, S. L. **Uma visão geral da aplicação de sensores em máquinas agrícolas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2015, Ponta Grossa. Anais [...] . Ponta Grossa: Congresso Brasileiro de Agroinformática, X., 2015, Florianópolis. Anais ... Ponta Grossa: Sbiagro, 2015, 14V., 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

FERO, A. O setor de máquinas agrícolas no Brasil: evolução nos últimos anos e perspectivas. Ano 2014. Disponível em: <<http://www.celeres.com.br/o-setor-demaquinas-agricolas-no-brasil-evolucao-nos-ultimos-anos-e-perspectivas/>> Acesso em: 12 de Agosto de 2021.

FERREIRA, D.F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0**. In...45a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, p.255-258, Julho de 2000.

FIGLIARESE, D. A.; MARASCA, I.; FERNANDES, B.B.; SANDI, J.; MORELLI-FERREIRA, F.; LANÇAS, K. P. **Desempenho de três tratores agrícolas em ensaios de tração**. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 2, n. 2, p. 68-76, abr./jun. 2015

FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B. **Trator agrícola: características e fundamentos para sua seleção**. Planaltina, Df. Planaltina: Embrapa-Cpac, 1990. 24 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 31), 1990.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; BELLÉ, M. P.; FRANCK, C. J.; CARPES, D. P. **Comportamento operacional de associações entre sulcadores e discos de corte para sistema de semeadura direta**. Engenharia Agrícola, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 542-554, jun. 2015.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; BELLÉ, M. P.; VEIT, A. A.; SILVA, W.P. **Força de tração e potência demandada por mecanismos de corte e sulcadores de semeadora-adubadora**. Energia na Agricultura, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 17, 20 abr. 2016.

FURLANI, C.E.A.; CORTEZ, J.W.; SILVA, R.P.; GROTTA, D.C.C. **Cultura do milho em diferentes manejos de plantas de cobertura do solo em plantio direto**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.7, p.161-167, 2007.

GARCIA, L.C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A.J.; BLUM, J. **Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho**. Engenharia Agrícola, v.26, p.520-527, 2006.

GERMINO, R.; BENEZ, H.S. **Ensaio comparativo em dois modelos de hastes sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto**. Engenharia Agrícola, v.21, p.85-92, 2006.

GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Soil Dynamics in Tillage and Traction**. Washington: U. S. Govt. Printing Office, 1968, 590 p.

GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051 Teoria e Prática**. 1ª ed. Editora Érica, 2010.

IQBAL, M.; MARLEY, S.J.; ERBACH, D.C.; KASPAR, T.C. **An evaluation of seed furrow smearing**. Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 41:1243-1248, 1998.

KAMOGAWA, M. Y.; MIRANDA, J. C. **Uso de hardware de código fonte aberto “Arduino” para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análise de fluxo**. Química Nova, São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1232-1235, jul. 2013.

LILJEDAHN, J. B.; CARLETON W. M.; TURNQUIST P. K.; SMITH, D.W. **Tractors and their power units**. 4th. ed. St. Joseph: ASAE Textbook, 1996, 463 p.

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

MACHADO, R. L. T.; FERREIRA, M. F.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; BUTZKE, H. P. **Força de tração de semeadoras para plantio direto: informações de campo x informações de catálogo**. Tecno-Lógica, Santa Cruz do Sul, v. 11, n. 12, p. 15-17, 2007. Disponível em: <<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

MAGRO, T.; CAVICHIOLI, F. A. **Uso de implementos agrícolas**. SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga, v. 4, n. 1, p. 13, 14 maio 2018.

MAHL, D.; FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A. **Efficiency of pneumatic and horizontal perforated disk meter mechanism in corn no-tillage seeders in soil with different mobilization reports**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.3, p.535-542, 2008.

MANTOVANI, E. C. **Máquinas e implementos agrícolas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 56-63, mar. 1987.

MASIERO, F. C. **Determinação do rendimento na barra de tração de tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 Tda)**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.



MATTOS, P. C.; HERMANN, P. R.; CAPELLI, N. L. **Estudo comparativo de desempenho do trator agrícola empregando óleo diesel e mistura de etanol/óleo de mamona como combustíveis**. In: CONBEA, 11., 1981, Brasília, DF. Anais.. Brasília, DF. p. 1083-1085, 1981

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas Motoras na Agricultura**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 2, 1980, 366 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz., 1996, 722 p

MILAGRES, R. S.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; SILVA, A. C.; FONTES, J. M. **Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função do mecanismo sulcador e velocidade de deslocamento**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 143-153, 23 fev. 2015.

MOLIN, J. P. **Tendências da agricultura de precisão no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ/ USP, p. 1-10, 2004.

MOLIN, J. P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N. D.; GIMENEZ, L. M. **Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 26, n 3, p. 759-767, set/dez, 2006.

MONTEIRO, L. A.; ALBIERO, D. **Segurança na operação com máquinas agrícolas**. Fortaleza: Imprensa Universitária da UFC, 2013, 124 p.

PORTELLA, J. A. **Semeadoras para plantio direto**. Viçosa: Aprenda fácil, 2001, 252 p.

REID, J. F. **The Impact of Mechanization on Agriculture**. Journal The Bridge, Volume 41, Number 3. 2011.

REIS E. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. M.; ARAÚJO, E. F. **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, 2006.

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

RIGHES, A. A.; DALLMEYER, A. U.; SILVEIRA, D. R.; FARRET, I. S.; POZZERA, J.; FERREIRA, O. O.; SILVEIRA, T. C. **Inovação tecnológica de mecanismos para semeadura direta**. Santa Maria, FATEC, 1984. 100p.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H. **Consumo de combustível em diferentes sistemas de preparo periódico realizados antes e depois da operação de subsolagem.** Ciência Agrotécnica, v. 33, n. 03, p. 870-874, 2009.

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

SANTOS FILHO, A. G.; SANTOS, J. E. G. G. **Apostila de máquinas agrícolas.** Universidade Estadual Paulista, Campus Universitário de Bauru, 2001. Disponível em: <[http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/Literatura/maqagri\\_unesp.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/maqagri_unesp.pdf)>. Acesso em: 30 jul. 2021.

SCHIESSL, M. **Sensores na agricultura: 8 maneiras de deixar sua lavoura mais inteligente utilizando sensores no campo.** 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/sensores-na-agricultura>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

SCHLOSSER, J. F.; BERTOL, O. J.; BERTOL, I.; LAVORANTI, O. J. **Desempenho de três mecanismos sulcadores de semeadura na presença de diferentes culturas destinadas a cobertura de inverno.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.19, n.1, p.64-70, 1999.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H. **Acidentes com tratores agrícolas: caracterização e prevenção.** Santa Maria: UFSM, 2001.

SILVA, M. A. M. **Rede de sensores para aplicação em agricultura: um estudo de caso.** 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, P. R. A. **Semeadora-adubadora: mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas.** Botucatu. 2007. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas Botucatu, 2007.

SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H.; JASPER, S. P.; SEKI, A. S.; MASIERO, F. C.; RIQUETTI, N. B. **Semeadora-adubadora: mecanismos de corte de palha e cargas verticais aplicadas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S.L.], v. 16, n. 12, p. 1367-1373, dez. 2012.

SILVA, R. P. **A indústria de máquinas agrícolas: formação de um oligopólio, internacionalização e poder de mercado.** 2015. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

SILVEIRA, G. M. **As máquinas de plantar: aplicadores, distribuidores, semeadoras, plantadoras, cultivadores.** Rio de Janeiro, RJ. Globo, 1989, 257p.

SILVEIRA, S.; GIRARDI, M. **Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio.** Revista Brasileira de Ensino de Física, [S.L.], v. 39, n. 4, maio de 2017.

SILVEIRA, W. M. **Eficiência energética de um trator agrícola 4x2 TDA em pista de concreto em função do desgaste dos pneus e da velocidade de deslocamento.** 71 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JÚNIOR, R. **Trabalho no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema plantio direto.** Curitiba: SENAR-PR, 2004. 88 p.

SWINTON, S. M; LOWENBERG-DEBOER, J. **Evaluating the profitability of site-specific farming.** Journal of Production, Madison, v. 11, n. 4, p. 439-446, 1998.

TARGA, M. S.; SILVA, M. C.; CEZAR, V. R. S. **Uso de microcontrolador arduino para a determinação da permeabilidade do solo.** Revista Técnica Ciências Ambientais, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 1-14, dec. 2019.

TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. **Desempenho de trator agrícola atuando com 5% de biodiesel em operação de semeadura.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 205-2014. 2009.

TROGELLO E; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; DALLACORT, R. **Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho.** Bragantia 72: 101-109, 2013.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M.; BARICELO, L. G.; SILVA, R. P. **Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas.** Revista de Economia e Sociologia Rural, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 719-744, dez. 2013.

WHELAN, B. M. **Reconciling continuous soil information and crop yield.** 1998. 327 f. Tese (Doutorado)-The University of Sydney, Sydney, 1998.

YANAI, K.; SILVEIRA, G. M.; LANÇAS, K. P.; CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G. **Desempenho operacional de trator com e sem acionamento da tração dianteira auxiliar.** Pesquisa Agropecuária. Brasileira, Brasília, v.34, n.8, p.1427-34, 1999.

YONG, R. N. **Track-soil interaction.** J. Terramech., v. 21, p. 133-52, 1984.

ZANCAN, M. D. **Controladores Programáveis.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria : Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.

ZOZ, F. **Belt and tire tractive performance.** Milwaukee: Society of Automotive Engineers, 1997. 8 p.