

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Wagner Alexandre Silveira da Cruz**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE  
FERTILIZANTES DE UM MECANISMO DOSADOR COM ROSCA  
HELICOIDAL DUPLA**

Santa Maria, RS  
2021

**Wagner Alexandre Silveira da Cruz**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE FERTILIZANTES DE  
UM MECANISMO DOSADOR COM ROSCA HELICOIDAL DUPLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço

Santa Maria, RS  
2021

da Cruz, Wagner Alexandre Silveira  
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE  
FERTILIZANTES DE UM MECANISMO DOSADOR COM ROSCA  
HELICOIDAL DUPLA / Wagner Alexandre Silveira da Cruz.-  
2021.

73 p.; 30 cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Mecanismo Dosador 2. Rosca Helicoidal Dupla 3.  
Precisão 4. Semeadora-adubadora I. dos Santos Alonço,  
Airton II. Título.

sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. dados fornecidos pelo autor(a). sob supervisão da direção da divisão de processos técnicos da biblioteca central. bibliotecária responsável paula schoenfeldt vatta cma 10/1720.

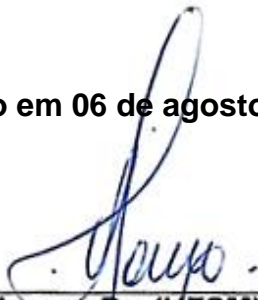
Declaro, WAGNER ALEXANDRE SILVEIRA DA CRUZ, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Wagner Alexandre Silveira da Cruz**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE FERTILIZANTES  
DE UM MECANISMO DOSADOR COM ROSCA HELICOIDAL DUPLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

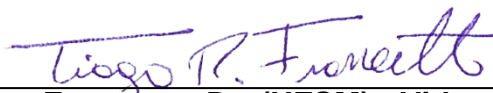
**Aprovado em 06 de agosto de 2021:**



**Airton dos Santos Alonço, Dr. (UFSM) – Videoconferência**  
(Presidente – Orientador)



**Viviane Castro dos Santos, Dra. (UFC) - Videoconferência**



**Tiago Rodrigo Francetto, Dr. (UFSM) - Videoconferência**

Santa Maria,RS  
2021

## DEDICATÓRIA

*À minha família, pelo carinho, apoio e ensinamentos que me fizeram chegar até aqui.*

*Aos meus pais, Brenoaldo e Carmen, que me deram a maior herança de minha vida: meus estudos.*

*À minha noiva, Ticiane, pelo amor, companheirismo e apoio.  
Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais **Brenoaldo Henzel da Cruz** e **Carmen Regina Silveira da Cruz**, pelo amor, carinho, educação e pela fonte de inspiração, que me deram força para sempre seguir em frente.

À minha noiva, **Ticiane Viegas Baneiro**, pelo amor, carinho e companheirismo, que me motivaram a chegar até aqui.

À minha irmã e meu cunhado, **Daiana Silveira da Cruz** e **Vitor Vieira Nunes**, pelo carinho e apoio.

Aos meus sobrinhos, **Maria Laura da Cruz Nunes**, **João Vitor da Cruz Nunes** e **Pedro Murilo da Cruz Nunes**, e minha afilhada, **Helena Nunes Ribeiro**, pelo carinho e amor, fundamentais durante essa caminhada.

Aos meus sogros, **Paulo Francisco Vilar Baneiro** e **Silvia Regina Viegas Baneiro**, e minha cunhada, **Tatiane Viegas Baneiro**, que sempre me apoiaram e incentivaram durante minha jornada.

Ao professor, orientador e principalmente amigo, **Airton dos Santos Alonço**, pelos conselhos, ensinamentos e incentivo, fatores que foram fundamentais para que eu seguisse em frente.

Aos amigos e colegas, **Dauto Carpes**, **Dyeverson Pereira**, **Gessieli Possebom**, **Luana Knierim**, **Mayara Mendonça**, **Rômulo Bock**, **Tiago Lopes** e **Vitor Scherer**, pelo bom convívio diário, amizade e a troca de experiências.

Aos amigos, **Edvaldo Faour**, **Henrique Eguilhor**, **Pablo Alonço** e **Rafael Becker**, pela amizade e companheirismo e pelo auxílio na coleta dos dados deste trabalho.

Aos professores, **Alessandro Dal'col Lúcio**, **Márcia Xavier Peiter**, **Sidinei José Lopes** e **Tiago Rodrigo Francetto**, pela contribuição na elaboração deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigado!

*Construímos muros demais e pontes de menos.*

*(Isaac Newton)*

## RESUMO

### UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE FERTILIZANTES DE UM MECANISMO DOSADOR COM ROSCA HELICOIDAL DUPLA

AUTOR: Wagner Alexandre Silveira da Cruz

ORIENTADOR: Airton dos Santos Alonço

Com os constantes aumentos na demanda por alimentos, é necessário cada vez mais um aumento na produtividade das culturas, para que isso ocorra, é imprescindível o emprego de técnicas e equipamentos mais eficientes. Esta pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho do mecanismo dosador de fertilizante do tipo rosca helicoidal dupla, na distribuição longitudinal de fertilizante, quando submetido a diferentes níveis de inclinação longitudinal e transversal com diferentes tipos de fertilizante. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG) da Universidade Federal de Santa Maria. Foi utilizada uma bancada para testes de dosadores de fertilizante e uma esteira para simular o deslocamento da semeadora-adubadora. Foram utilizados dois mecanismos dosadores: um com rosca helicoidal dupla e outro como comparativo de desempenho do tipo rosca helicoidal com descarga por transbordo transversal. As inclinações avaliadas foram: 0° nivelado, 11° ascendente, 11° descendente, 11° esquerda e 11° direita. Foram utilizados três fertilizantes de granulometrias diferentes: mistura granular, mistura de grânulos e farelado. O experimento foi disposto em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em um arranjo trifatorial (mecanismo dosador, inclinação e granulometria de fertilizante), e foram realizadas 40 repetições de cada tratamento. A variável resposta analisada foi a quantidade de fertilizante dosado a cada 50 mm. É possível observar que a distribuição longitudinal de fertilizantes dos dois mecanismos não apresentou diferença significativa estatisticamente, apresentando coeficientes de variação (CV) de 26,69% para o dosador com duplo helicoide e 33,25% para o dosador com descarga por transbordo transversal. O coeficiente de variação, o dosador com rosca helicoidal dupla apresentou um melhor desempenho para reduzir os efeitos das inclinações longitudinais e transversais. Os dois dosadores apresentaram o melhor desempenho na dosagem de fertilizante do tipo farelado. No geral, os dois dosadores apresentaram desempenho não satisfatório na uniformidade de dosagem de fertilizante na linha.

**Palavras-chave:** Inclinação Longitudinal e Transversal. Precisão. Mecanização Agrícola



## ABSTRACT

### UNIFORMITY OF LONGITUDINAL DISTRIBUTION OF FERTILIZERS FROM A DOUBLE HELICAL THREAD DOSING MECHANISM

AUTHOR: Wagner Alexandre Silveira da Cruz

ADVISOR: Airton dos Santos Alonço

With the constant increases in the demand for food, an increase in crop productivity is increasingly necessary. For this to occur, the use of more efficient techniques and equipment is essential. This research aimed to evaluate the performance of the double helical thread fertilizer dosing mechanism, in the longitudinal distribution of fertilizer, when subjected to different levels of longitudinal and transversal inclination with different types of fertilizer. The research was carried out at the Agricultural Machinery Research and Development Laboratory (LASERG, in Portuguese) of the Federal University of Santa Maria. A bench was used for testing fertilizer dosing and a conveyor system was used to simulate the displacement of the seeder-fertilizer. Two dosing mechanisms were used: one with double helical thread and the other, as a matter of performance comparison, with transversal overflow discharge. The evaluated inclinations were as follows: 0° level, 11° ascending, 11° descending, 11° left and 11° right. Three fertilizers of different granulometry were used: granular mixture, grain mixture and mash. The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD), in a three-factor arrangement (dosing mechanism, slope and type of fertilizer), and 40 repetitions of each treatment were carried out. The response variable analyzed was the amount of fertilizer dosed every 50 mm. It is possible to observe that the longitudinal distribution of fertilizers of the two mechanisms did not show a statistically significant difference, with coefficients of variation (CV) of 26.69% for the double helical feeder and 33.25% for the transversal overflow feeder. According to the CV, the feeder with double helical thread showed a better performance to reduce the effects of longitudinal and transverse inclinations. The two feeders showed the best performance in the dosing of mash-type fertilizer. In general, the two feeders showed unsatisfactory performance in the uniformity of fertilizer dosing on the line.

**Keywords:** Longitudinal and Transverse Inclination. Precision. Agricultural Mechanization

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Semeadora de Cook .....	17
Figura 2 - Semeadora-Adubadora.....	19
Figura 3 - Mecanismo dosadores de fertilizantes utilizados em semeadoras .....	21
Figura 4 - Vista explodida mecanismo dosador com rosca helicoidal .....	22
Figura 5 - Barril de tabuas representeando a lei do mínimo de Liebig .....	26
Figura 6 - Bancada de ensaios de mecanismos dosadores BANFERT II .....	33
Figura 7 - Inclinômetro digital .....	34
Figura 8 - Caixa coletora .....	34
Figura 9 - Simulação deslocamento da caixa coletora .....	35
Figura 10 - Dosador de fertilizante com rosca helicoidal dupla .....	36
Figura 11 - Dosador com descarga de fertilizante por transbordo transversal .....	37
Figura 12 - Fertilizantes utilizados.....	38
Figura 13 - Dispositivo utilizado para determinar o ângulo de repouso.....	39
Figura 14 - Coeficientes de variação médios em função da inclinação.....	48
Figura 15 - Coeficientes de variação médios em função da granulometria do fertilizante .....	51
Figura 16 - Classificação de desempenho dos dosadores em função dos tratamentos .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação do Agronegócio no PIB de 2010 a 2018.....	28
Tabela 2 - Análise granulométrica dos fertilizantes utilizados .....	38
Tabela 3 - Propriedades físicas dos fertilizantes .....	40
Tabela 4 - Descrição dos tratamentos.....	42
Tabela 5 - Coeficientes de variação da distribuição longitudinal de fertilizantes dos tratamentos avaliados .....	45
Tabela 6 - Análise das interações entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste f .....	54
Tabela 7 - Teste de Scott-Knott para os fatores principais que apresentaram efeito significativo.....	55
Tabela 8 - Teste de Scott-Knott para a interação entre os fatores mecanismo e inclinações.....	56
Tabela 9 - Teste de Scott-Knott para interação entre os fatores mecanismo dosador e tipo de fertilizante .....	58
Tabela 10 - Análise de variâncias e teste de Scott-Knott das variáveis Sub Dose, Dose, Sobre Dose e Precisão .....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
ANOVA	Análise de Variância
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CV	Coefficiente de Variação
D	Dosador
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DRef	Dose de Referência
EUA	Estados Unidos da América
F	Fertilizante
I	Inclinação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICI	<i>Imperial Chemical Industries</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IVE	Índice de Velocidade de Emergência
LASERG	Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
NPK	Nitrogênio, Fosforo e Potássio
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
RS	Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	HIPÓTESES .....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	14
1.2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	15
2.1	SEMEADURA .....	15
2.2	SEMEADORA-ADUBADORAS.....	16
2.3	MECANISMO DOSADOR DE FERTILIZANTES .....	20
2.4	FERTILIZANTES .....	24
2.5	MERCADO DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS .....	27
2.6	ENSAIOS.....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
3.1	LOCAL .....	32
3.2	BANCADA DE ENSAIOS DE MECANISMO DOSADORES.....	32
3.3	POSIÇÃO DO MECANISMO DOSADOR.....	33
3.4	CAIXA COLETORA.....	34
3.5	ESTEIRA .....	35
3.6	DOSADOR DE FERTILIZANTE .....	36
3.6.1	<b>Mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla</b> .....	36
3.6.2	<b>Mecanismo dosador com descarga por transbordo transversal</b> .....	37
3.7	FERTILIZANTES .....	37
3.7.1	<b>Análise granulométrica</b> .....	38
3.7.2	<b>Ângulo de repouso</b> .....	39
3.7.3	<b>Densidade aparente</b> .....	39
3.7.4	<b>Teor de água</b> .....	40
3.8	METODOLOGIA .....	41
3.8.1	<b>Calibragem</b> .....	41
3.8.2	<b>Delineamentos</b> .....	41
3.8.3	<b>Análise complementar</b> .....	43
3.8.4	<b>Análise estatística</b> .....	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	45
4.1	DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE FERTILIZANTE.....	45
5.1.1	<b>Distribuição longitudinal de fertilizante em função da inclinação</b> .....	47
5.1.2	<b>Distribuição longitudinal de fertilizante em função do fertilizante</b> .....	50
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL.....	53
4.3	DESEMPENHO DOS DOSADORES EM FUNÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DA DOSAGEM E DA PRECISÃO .....	59
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	64
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

O constante aumento na demanda por alimentos gerada pelas frequentes evoluções da população, aliado às necessidades de conservação dos recursos naturais, constitui um grande desafio para a produção de alimentos atualmente. De acordo com dados da *Organização das Nações Unidas* (ONU) (2017), a população mundial em 2050 será de 9,8 bilhões de pessoas.

Para alimentar toda essa população, será necessário aumentar em 70% a produção de alimentos e, para que isso ocorra, é necessário cada vez mais o emprego de técnicas e equipamentos que propiciem um aumento na produtividade em áreas cada vez mais disputadas. O papel da inovação na produção de alimentos será essencial para atingir essa meta de crescimento.

A produtividade das culturas é ligada diretamente à disponibilidade de nutrientes, que é um dos fatores primordiais no crescimento e desenvolvimento das plantas. Muitas vezes, é necessário fazer a recomposição ou manutenção dos níveis adequados de nutrientes no solo, para que, assim, se possa obter um melhor desenvolvimento das culturas.

A operação de aplicação de fertilizante sólidos é responsável pela recomposição dos nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas. O planejamento da aplicação de fertilizantes e corretivos é baseado, normalmente, em teores médios dos nutrientes presentes no solo, onde esses valores são obtidos através da coleta de amostras de solo, que geram mapas de fertilidade.

As semeadoras-adubadoras são responsáveis pela dosagem de sementes e fertilizantes sólidos simultaneamente. Para a dosagem de fertilizante, utilizam-se de um mecanismo denominado mecanismo dosador de fertilizante, que é responsável pela dosagem de fertilizante, de acordo com a taxa de aplicação programada.

Existe no mercado uma variedade enorme de modelos de mecanismos dosadores, no entanto, segundo Francetto *et al.* (2012), o dosador do tipo rosca helicoidal é o mais utilizado, sendo responsável por aproximadamente 94,44% do mercado.

É importante realizar a correta seleção do fertilizante e da taxa de aplicação a serem utilizados, no entanto, de nada adianta fazer isso se a distribuição do produto na área não for uniforme, já que assim haverá, conseqüentemente, um comprometimento no rendimento da colheita e desperdício de fertilizantes. O mal

desempenho dos mecanismos dosadores de fertilizante é dependente de uma série de fatores, tais como: as características construtivas do equipamento, do fertilizante, passo da helicoides, do nivelamento da semeadora-adubadora, entre outros.

Na busca para melhorar a eficiência na operação de aplicação de fertilizantes, é importante que sejam desenvolvidos mecanismo dosadores que tenham um melhor desempenho que os atualmente disponíveis no mercado, e que possibilitem um aumento na produtividade.

Recentemente, houve a introdução de um novo mecanismo dosador de fertilizante no mercado, sendo do tipo rosca helicoidal com descarga de fertilizante por gravidade. A inovação presente nesse dosador está na utilização de duas roscas helicoidais para fazer a dosagem do fertilizante, para isso, elas trabalham paralelamente e possuem sentidos opostos de rotação.

Esse mecanismo foi desenvolvido com o intuito de reduzir o efeito do pulso da onda, que gerado pelo movimento de transferência de energia cinética da rosca helicoidal. A utilização de dois helicoides que giram em sentidos opostos tem também por objetivo reduzir os efeitos da gravidade, que ocorrem quando a semeadora-adubadora está submetidas a inclinações longitudinais e transversais.

Dessa maneira, este trabalho tem por objetivo avaliar a uniformidade de distribuição longitudinal de fertilizantes do dosador com duplo helicoides. Como forma de comparação do desempenho, será utilizado o mecanismo dosador de fertilizante do tipo rosca helicoidal com descarga por transbordo transversal.

O desempenho será analisado em laboratório, avaliando a influência de diferentes níveis de inclinação longitudinal e transversal, e de diferentes tipos de fertilizantes na quantidade de fertilizante dosado ao longo da linha de semeadura, permitindo, assim, avaliar a uniformidade de distribuição deste mecanismo.

## 1.1 HIPÓTESES

- a) se a utilização de um mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla reduz os efeitos causados pela dosagem em diferentes níveis de inclinação na distribuição longitudinal de fertilizante, então, nessas condições a distribuição longitudinal, não apresentará diferença significativa para cada nível de inclinação;

- b) se as características granulométricas dos fertilizantes não influenciam no desempenho do mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla, então, o dosador não apresentará um desempenho diferenciado para cada fertilizante;
- c) se a utilização de duas roscas helicoidais que giram em sentidos opostos, é capaz de reduzir o pulso na dosagem de fertilizante gerado pela transferência de energia cinética do helicóide, então, o dosador apresentará uniformidade na deposição de fertilizantes ao longo da linha de semeadura.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a uniformidade de distribuição longitudinal de fertilizantes do mecanismo dosador de fertilizante com rosca helicoidal dupla e do dosador com descarga por transbordo transversal, em diferentes níveis de inclinação longitudinal, transversal e característica física dos fertilizantes.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) avaliar o desempenho do mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla e do mecanismo dosador com descarga por transbordo transversal segundo a classificação proposta;
- b) avaliar a precisão de dosagem do mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla e do mecanismo dosador com descarga por transbordo transversal.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 SEMEADURA

Mialhe (2012) descreve o plantio como a operação de colocar no solo sementes, órgãos de propagação ou mudas, com o objetivo de instalar uma cultura. O autor define que, quando a propagação do órgão é feita através de sementes, o termo específico de denominação deve ser semeadura.

Ademais, Mialhe (2012) relata a importância das máquinas agrícolas para a constituição do leito de semeadora, possibilitando a formação de um leito que contribua para a migração de água junto à interface solo-semente, e para a transferência de calor do solo para a semente. As máquinas também contribuem para o desenvolvimento radicular, dado que reduzem a compactação do solo, deixando-o com uma estrutura de tal forma que não ofereça resistência ao desenvolvimento radicular.

Em consonância, Bonotto *et al.* (2020) salientam que a semeadora-adubadora deve distribuir de forma regular e contínua ou intermitentemente as sementes no solo, com espaçamentos pré-determinados, e depositar uniformemente o fertilizante ao longo do sulco de semeadura.

Durante a semeadura, a semente é dosada, transportada e depositada no sulco de semeadora, sendo necessário um bom funcionamento da máquina para que não haja comprometimento do *stand* de plantas e na distribuição longitudinal de sementes (REIS, 2001). Reis (2001) relata os principais erros que afetam uma boa semeadura, que são: erros de dosagem, deposição, profundidade e acondicionamento.

Conforme Sharaby *et al.* (2019), a definição de semeadura de precisão é a operação de dosar sementes ou grupos de sementes, em conjunto ou não com fertilizante, ao longo do sulco de semeadura com equidistâncias precisamente definidas.

Outros fatores, além do solo e da semente, podem contribuir para o correto desenvolvimento da cultura. Reetz Jr. (2017) considera os fertilizantes um recurso básico para a produção das culturas, visto que fornecem nutrientes de forma adequada para a sobrevivência e desenvolvimento das plantas. O autor relata que os fertilizantes começaram a ser utilizados na parte final do século XIX, e que essa prática

foi marcante para o aumento da produção e da qualidade dos alimentos e forragens (REETZ JR., 2017).

## 2.2 SEMEADORA-ADUBADORAS

O emprego de dispositivos mecânicos na agricultura teve início pela semeadura, com a invenção e o desenvolvimento de numerosos equipamentos manuais. A utilização de máquinas para fazer a semeadura data de muitos séculos a.C. (MIALHE, 2012),

Os primeiros registros citam a utilização de equipamentos por assírios e chineses. Mialhe (2012) relata, ainda, que os hindus e persas possuíam semeadoras próprias, no entanto, elas nunca foram adotadas pelos europeus, que continuaram a utilizar a semeadura manual, até o final do Século XVII.

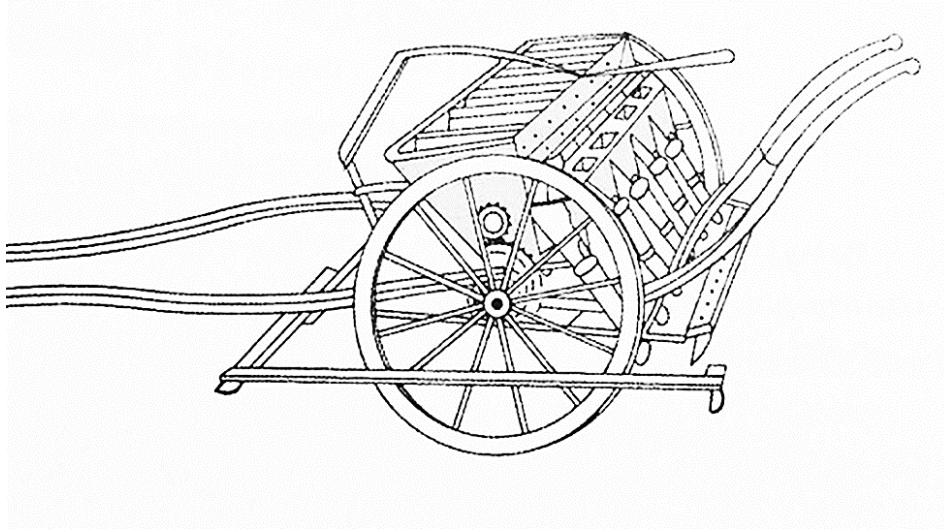
A primeira semeadora desenvolvida na Europa que se tem conhecimento foi projetada por Joseph Locatelli de Corinto em 1636, que a denominou de “semeadore”. Tal semeadora era um equipamento simples, constituído de um depósito cilíndrico de madeira, que continha um eixo rotativo dotado de conchas, as quais lançavam as sementes através de um tubo condutor na superfície do solo na forma de um filete contínuo (BERNACKI; HAMAN; KANFOJKI, 1972).

Jehtro Tull aprimorou o equipamento desenvolvido por Locatelli, agregando elementos para a introdução de sementes no solo. Aproximadamente um século mais tarde, em 1785, o inglês James Cook desenvolveu e projetou uma semeadora com linhas conjugadas (Figura 1), cujos princípios de funcionamento perduram até hoje (BERNACKI; HAMAN; KANFOJKI, 1972).

Os Estados Unidos da América (EUA) assumiram o papel principal nos avanços e no desenvolvimento das semeadoras; a primeira patente para uma semeadora de milho foi concedida em 1839 para D. S. Rockwell e, em 1854, foi patenteada a primeira semeadora-adubadora de linhas conjugadas (MIALHE, 2012).

Inúmeras semeadoras surgiram no mercado a partir dessas primeiras patentes e inovações e, em 1879, 53% da semeadura de trigo nos EUA era realizada com semeadoras (BALASTREIRE, 2005).

Figura 1 - Semeadora de Cook



Fonte: Adaptado de Bernacki, Haman e Kanfojki (1972).

No Brasil, segundo Amato Neto (1985), a mecanização agrícola teve início com o Plano Nacional da Indústria de Tratores de Rodas no ano de 1959. O primeiro trator produzido foi o modelo Ford 8-BR em 1960, produzido pela fabricante Ford do Brasil.

Amato Neto (1985) salienta que anteriormente haviam indústrias no Brasil que produziam ferramentas e instrumentos agrícolas, todavia, em termos de geração de renda, os valores eram insignificantes. Diante disso, pode-se afirmar que a mecanização agrícola teve início no Brasil com a instalação dessas fabricas de tratores.

A indústria de implementos agrícolas teve início na região Sul do Brasil na década de 60, com a produção, inicialmente, de semeadoras de tração animal, que rapidamente evoluíram para tração mecânica (VENCE TUDO, 2020).

A primeira semeadora-adubadora para plantio direto produzida no Brasil foi a Semeato TD, produzida no início dos anos 80, que foi projetada em parceria com a *Imperial Chemical Industries* (ICI), Embrapa e Semeato. Tal máquina possuía dosador de fluxo contínuo e dosadores do tipo disco estrela, inspirado na semeadora inglesa Bettinson (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012).

O Projeto de norma 04:015.06-010, da ABNT (1996), define a semeadora como sendo a máquina agrícola que é responsável pela semeadura de sementes com predeterminada distribuição. Semeadoras-adubadoras realizam operações de

semeadura e adubação associadas e possuem distribuição independente e preestabelecidas.

As semeadoras são classificadas com objetivo de sistematizar e ordenar enfoques específicos. Uma forma de classificação das máquinas para semeadura é pela origem da fonte de potência utilizada, por exemplo: semeadoras manuais, semeadoras de tração animal, semeadoras tratorizadas, etc.

Outro critério muito utilizado na classificação é em relação a forma de lançamento das sementes (semeadoras a lanço, semeadoras em linha, etc.). Existem, ainda, outros critérios de classificação das semeadoras, em relação ao engate à fonte de potência, tamanho das sementes, etc. (MIALHE, 2012).

Semeadoras-adubadoras, assim classificadas, são equipamentos que realizam, de forma conjunta, a semeadura e a deposição do fertilizante em uma única operação. São equipamentos compostos basicamente por um chassi ou barra-ferramenta, sistema de engate e acoplamento ao trator, sistema de transporte, reservatório para sementes e fertilizantes, mecanismo de semeadura, mecanismo dosador de fertilizante, marcadores de linhas e estribos (SIQUEIRA, 2008).

Sharaby *et al.* (2019) definem que uma semeadora-adubadora de precisão (Figura 2) deve ser constituída de um sistema de corte de palha ou resíduos, de abertura do sulco de semeadura com pequena remoção de solo, de uma unidade de controle da profundidade, de um depósito e um sistema de dosagem de sementes e fertilizantes de forma adequada, e de um dispositivo de recobrimento das sementes com solo e palha e compactação do solo próximo da semente.

O corte da palha prévio à deposição da semente é realizado por discos de corte, onde são utilizados, normalmente, disco lisos com diâmetro variando de 18" a 20". Casão Junior e Siqueira (2006) destacam que, quanto maiores os diâmetros dos discos, maior será a força necessária para que ele penetre o solo, no entanto, menores serão os problemas em relação à embuchamento.

Para a abertura dos sulcos para a deposição do fertilizante, são utilizadas hastes sulcadoras (também conhecidas como "facão"), disco turbo, disco duplo e etc. Para a deposição das sementes, os sistemas de abertura mais utilizados são o disco duplo e haste sulcadora (SIQUEIRA, 2008).

A abertura do sulco do fertilizante deve ser feita logo abaixo e ao lado aproximadamente há 5 cm. Camilo *et al.* (2004) observaram em seus estudos que a utilização de um mecanismo rompedor do tipo haste sulcadora apresentou um melhor

desempenho em comparação à utilização de discos duplos em um Argissolo Vermelho-Amarelo com 44.51% de umidade.

Figura 2 - Semeadora-Adubadora



Fonte: Adaptado de Imasa (2020).

Legenda: 1) Depósito de sementes; 2) Depósito de fertilizantes; 3) Mecanismo dosador de sementes; 4) Mecanismo dosador de fertilizante; 5) Mecanismo de recobrimento e compactação; 6) Mecanismo de corte da palha; 7) Sistema de abertura de sulco do fertilizante; 8) Sistema de abertura de sulco da semente.

A cobertura do sulco de semeadura é essencial para dar condições de germinação às sementes. O sistema de cobertura normalmente utilizado é composto por dois discos côncavos, posicionados com a parte traseira convergente. Após coberto, é necessário realizar a compactação do solo para evitar a formação de bolsões de ar ao redor da semente (SIQUEIRA, 2008).

O sistema mais utilizado para fazer a compactação do solo são as rodas compactadoras, que se localizam na parte posterior da semeadora-adubadora, onde pode ser de metal ou borracha, lisa ou ranhurada (SIQUEIRA, 2008).

Modolo *et al.* (2007) avaliaram os efeitos das cargas aplicadas pela roda compactadora associados com os teores de água no solo e concluíram que o índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de soja apresentaram menores

índices de emergência para as cargas entre 0 e 50 N e entre 90 e 140 N. A justificativa para essa ocorrência, segundo os autores, no primeiro caso, para as cargas 0 e 50 N, a formação de bolsões de ar sobre a semente, o que propiciou um menor contato entre a semente e o solo (MODOLO *et al.*, 2007).

A redução no IVE nos tratamentos compostos pela carga de 140 N pode ter ocorrido devido à dificuldade de oxigenação gerada pelo encrustamento superficial ao redor da semente (MODOLO *et al.*, 2007).

As semeadoras vêm evoluindo ao longo do tempo, ganhando tecnologias e aumentando sua complexidade. Atualmente, encontram-se no mercado as semeadoras-adubadoras a taxa variável. Conhecer bem as máquinas envolvidas no processo de semeadura pode fazer diferença nos resultados de uma lavoura, devendo, os produtores, escolherem o equipamento ideal para atender as necessidades da cultura (UHRY, 2013).

### 2.3 MECANISMO DOSADOR DE FERTILIZANTES

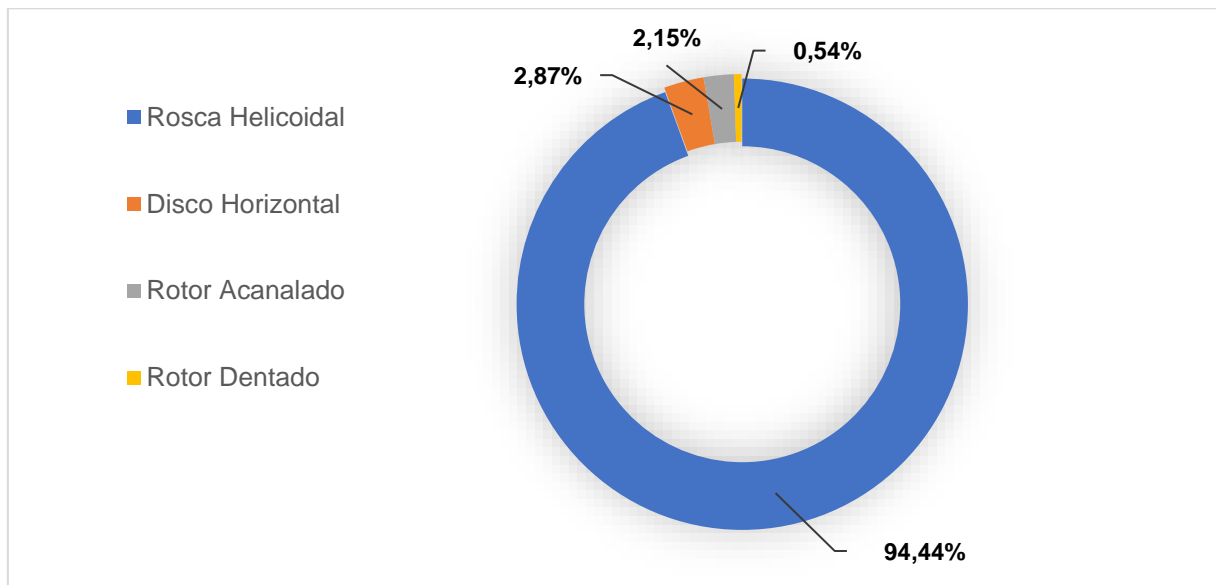
O mecanismo dosador de fertilizante, é responsável pela transferência do fertilizante a uma razão de distribuição preestabelecida para o componente de deposição. Balastreire (2005) relata que os dosadores de fertilizante diferem em sua construção em função da semeadora, do fabricante e do projeto.

Balastreire (2005) classifica os dosadores em: dosadores helicoidais, rotores dentados, discos horizontais rotativos, rotor vertical impulsor, correias e cilindros acanalados.

Brandt (2010) define o mecanismo dosador como um componente que é acoplado à máquina semeadora que afeta consideravelmente seu desempenho e que, frequentemente, é comprado de terceiros e acoplado à semeadora.

Silva (2003) avaliou 278 modelos de semeadoras e concluiu que 65,1% modelos apresentavam o mecanismo dosador do tipo rosca helicoidal. Francetto *et al.* (2012) avaliou 558 modelos de semeadoras-adubadoras e concluiu que 527 modelos utilizavam como mecanismo dosador de fertilizante o sistema com rosca helicoidal, o que representa 94,44% do total (Figura 3).

Figura 3 - Mecanismos dosadores de fertilizantes utilizados em semeadoras



Fonte: Adaptado de Francetto *et al.* (2012).

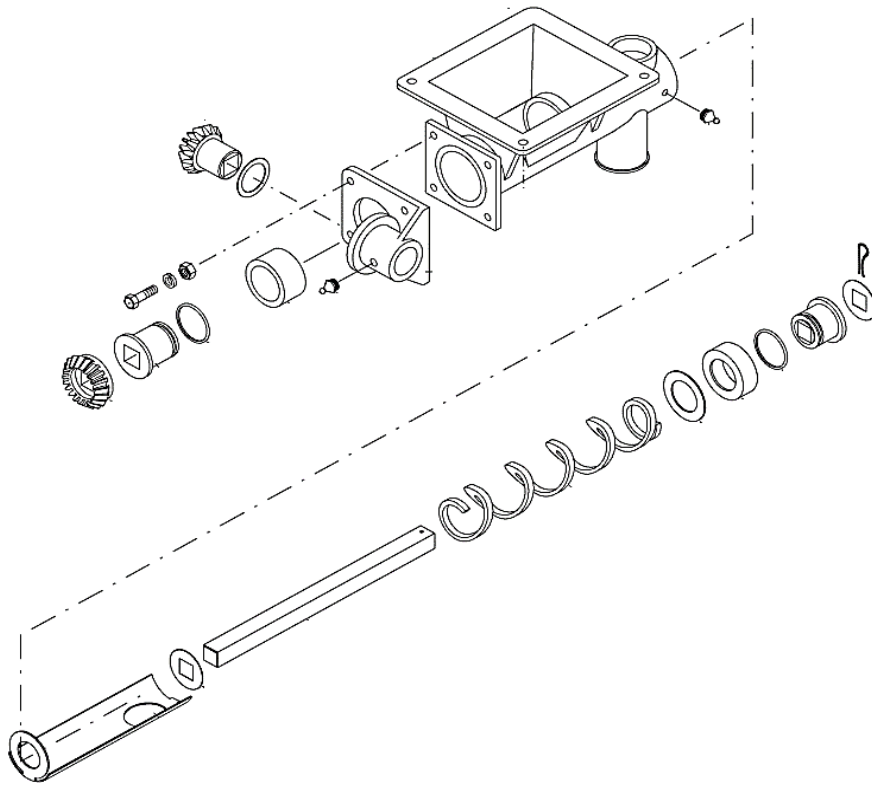
Francetto *et al.* (2012) atribui essa evolução à eficiência e praticidade desse mecanismo. Esses estudos demonstram a evolução e a importância do mecanismo dosador com rosca helicoidal. Em virtude da dominância e importância de mercado do modelo de dosador com rosca helicoidal, este será o tema principal deste capítulo.

O mecanismo dosador de fertilizantes do tipo rosca helicoidal (Figura 4), também conhecido como rosca sem fim, é formado normalmente por uma carcaça plástica, com uma ou duas arvores com a forma de uma rosca helicoidal, que é fixado na parte inferior do depósito de fertilizantes.

A dosagem de fertilizante é realizada através do preenchimento dos espaços entre as cristas da rosca e o transporte do material dosado é realizado pelo movimento de giro do helicóide que transporta o material dosado até o sistema de descarga de fertilizante (BONOTTO, 2012).

É possível alterar a quantidade de fertilizante dosado, alterando o passo da rosca. Portella (2001) salienta que também é possível variar a quantidade de fertilizante dosado através de um sistema de transmissão por engrenagens, que alteram a RPM do dosador.

Figura 4 - Vista explodida mecanismo dosador com rosca helicoidal



Fonte: Adaptado de Brandt (2010).

Uma classificação muito utilizada atualmente para os mecanismos dosadores é em relação à forma de liberação do material dosado. Os dosadores são classificados em: descarga por gravidade, quando não há impedimento para passagem fertilizante do mecanismo dosador para o tubo condutor; por transbordo transversal, nesse sistema existe uma barreira perpendicular ao sentido de movimento do fertilizante, sendo necessário que o fertilizante supere essa barreira para que chegue ao tubo condutor; por transbordo e descarga lateral, nesse sistema a barreira está posicionada paralelamente ao sentido de movimento do fertilizante (BONOTTO, 2012).

Estudos realizados por Mahl (2002) e Oliveira *et al.* (2000) utilizaram a distribuição de fertilizante como o parâmetro mais importante na avaliação de semeadoras-adubadoras. Ao avaliar o funcionamento de um dosador helicoidal com descarga por gravidade, Martins (1999) observou um comportamento pulsante na dosagem do fertilizante, principalmente em baixas rotações, atribuindo isso às características construtivas do dosador.



Siqueira (2008) enfatiza a eficiência do mecanismo dosador com rosca helicoidal para desestruturar os empedramentos dos fertilizantes, no entanto, o autor ressalta que há desuniformidade ao longo da linha de deposição de fertilizante em função da liberação em pulsos do fertilizante.

Já Portella *et al.* (1998), avaliaram a uniformidade de distribuição transversal de fertilizantes de seis semeadoras-adubadoras e concluíram que as semeadoras que utilizavam dosador do tipo rosca helicoidal e rotor acanalado obtiveram os menores coeficientes de variação de 9 e 13% respectivamente.

E Uliana *et al.* (2005) avaliaram a distribuição longitudinal de fertilizantes de dois dosadores do tipo rosca helicoidal, um com descarga de fertilizante por transbordo transversal e o outro com descarga por gravidade. Os autores concluíram que o mecanismo dosador com descarga por transbordo transversal apresentou o menor coeficiente de variação, de 25%, em comparação ao com descarga por gravidade, que apresentou um CV de 50% aproximadamente.

O relevo brasileiro apresenta diferenças de níveis de um local para outro, sendo formado, principalmente, por planaltos, planícies e depressões (IBGE, 2020). Muitas dessas áreas que apresentam diferenças de nível são utilizadas para a agricultura.

Ferreira *et al.* (2010) avaliaram a uniformidade de vazão dos mecanismos dosadores de fertilizantes do tipo rosca helicoidal com descarga por gravidade e com descarga por transbordo transversal, quando submetidos a inclinações longitudinais de  $-10^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+5^\circ$  e  $10^\circ$ . Os resultados apresentados pelos autores demonstraram que todos os mecanismos apresentaram variações significativas na dosagem em função da inclinação longitudinal.

Bonotto *et al.* (2020), ao avaliarem o desempenho de três mecanismos dosadores do tipo rosca helicoidal, na distribuição longitudinal de fertilizantes, concluíram que o dosador do tipo rosca helicoidal com descarga por transbordo transversal apresentou o melhor desempenho em relação ao coeficiente de variação. Ademais, classificaram o dosador, segundo a metodologia proposta, em desempenho regular e avaliação aceitável.

Também, Reynaldo (2013) apresentou resultados semelhantes aos encontrados por Ferreira *et al.* (2010). O autor relata que todos os 23 modelos de mecanismo dosadores de rosca helicoidal estudados apresentaram erros de dosagens de fertilizantes quando simuladas inclinações longitudinais, onde os

maiores erros foram obtidos nas inclinações positivas de +5° e +15° (REYNALDO, 2013)

Bonotto (2012) avaliou a distribuição longitudinal de fertilizantes de 5 mecanismos dosadores de fertilizante e verificou que todos os dosadores apresentaram variação na quantidade de fertilizante ao longo da linha de semeadura, sendo que todos os dosadores avaliados apresentaram CV superior a 30%. O autor observou, também, que os dosadores avaliados sofrem influência significativa de inclinações longitudinais.

Os estudos realizados por Ferreira *et al.* (2010), Bonotto (2012) e Reynaldo (2013) comprovam a afirmação de Altmann *et al.* (2010), que afirma que os principais fatores que influenciam no funcionamento dos mecanismos dosadores de fertilizantes são: inclinação de trabalho, velocidade de acionamento e tipo de fertilizante.

Conhecer o desempenho desses mecanismos em condições de laboratório mostra-se imprescindível para obter os melhores resultados no campo. O mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla, em virtude da sua recém-chegada ao mercado, apresenta poucos estudos que avaliam o seu funcionamento em condições semelhantes as apresentadas anteriormente, o que demonstra a importância da realização deste estudo.

## 2.4 FERTILIZANTES

Conhecer as propriedades físicas e químicas dos fertilizantes é de fundamental importância ao se avaliar o desempenho de um mecanismo dosador de fertilizante, visto que elas influenciam diretamente no funcionamento do mecanismo dosador.

Para Silva (1995), a qualidade dos fertilizantes é influenciada por características físicas, tais como: densidade, ângulo de repouso, fluidez das partículas, coesão, tamanho, forma. As características químicas também influenciam na qualidade do fertilizante, principalmente em relação à forma química e teor de nutrientes.

Os fertilizantes se constituem em um recurso importante na produção de alimentos, já que os nutrientes fornecidos pelos fertilizantes são essenciais para o correto desenvolvimento das culturas, sendo, o manejo adequado dos nutrientes, um ponto-chave para o uso eficiente desse recurso. Os fertilizantes devem ser aplicados nos sistemas de produção das culturas com o objetivo de se obterem níveis

adequados de produtividade, contribuindo, assim, para o aumento da produção agrícola e da qualidade dos alimentos e forragens (REETZ JR., 2017).

A fertilidade natural dos solos, segundo Martins (1999), depende da composição química da rocha que originou o solo. Solos de rochas basálticas, por exemplo, são normalmente ricos em nutrientes, enquanto solos derivados de arenitos apresentam quantidades menores de nutrientes. Inúmeros processos físicos, químicos e biológicos podem causar a perda dos nutrientes do solo, sendo os principais: erosão, lixiviação, remoção pelas plantas e queimadas.

Os solos que apresentam uma alta fertilidade natural, podem alcançar produtividades elevadas mesmo sem a utilização de fertilizantes, no entanto, segundo Reetz Jr. (2017), esses solos podem alcançar produtividades ainda maiores com o suprimento adicional de nutrientes limitantes.

Apesar da grande quantidade de elementos químicos presentes nos tecidos vegetais, apenas 17 elementos químicos têm sido considerados como nutrientes essenciais, esses elementos são considerados essenciais por sua ausência poder limitar o ciclo de vida de uma planta (REETZ JR., 2017).

Três desses, carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), são fornecidos pelo ar e pela água. Outros três, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), são classificados como macronutrientes primários e são requeridos em grandes quantidades relativas pelas plantas.

Enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são classificados como macronutrientes secundários e são exigidos em menores quantidades que os macronutrientes primários. Os outros oito nutrientes essenciais são requeridos em pequenas quantidades pelas plantas. São chamados de micronutrientes e são eles: ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cloro (Cl), boro (B) e níquel (Ni).

De acordo com Milan e Gadanha Júnior (1996), a utilização de fertilizantes é importante para retornar ao solo os nutrientes extraídos pelas culturas, bem como a correção de características químicas indesejáveis. A aplicação das quantidades corretas de fertilizantes, a fim de suprir as necessidades de nutrientes das plantas e da correção das características do solo, tem influência direta sobre a produtividade da cultura. A utilização em excesso de fertilizantes pode prejudicar a lavoura, além de gerar um gasto desnecessário.

A aplicação deficitária de fertilizantes, certamente, resultará em uma menor produtividade, devido à falta de nutrientes. Os autores relatam ainda que a dosagem correta de aplicação depende da interpretação acertada das análises químicas do solo, das características originais do projeto da máquina de aplicação e do correto manejo no campo (MILAN; GADANHA, 1996).

A lei do mínimo afirma que a produtividade da planta é proporcional à quantidade disponível do nutriente mais limitante; sendo esta deficiência corrigida, a produtividade irá aumentar até o ponto de produtividade do próximo nutriente mais limitante no solo.

Essa teoria foi publicada primeiramente pelo agrônomo alemão Carl Sprengel, no entanto, ficou mundialmente conhecida através da promoção desse conceito pelo químico alemão Justus Von Liebig. A lei do mínimo é comumente ilustrada pelas tábuas de um barril (Figura 5), em que cada tábua representa um insumo essencial para o crescimento da cultura, demonstrando que o barril somente poderá ser preenchido até o ponto da tábua mais curta.

Figura 5 - Barril de tabuas representando a lei do mínimo de Liebig



Fonte: Reetz Jr. (2017).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994a) traz a definição de fertilizantes como um produto que possui um ou mais nutrientes, e classifica os fertilizantes de acordo com a granulometria em: fertilizantes mistura granular, mistura de grânulos e farelados. A análise da granulometria dos fertilizantes é realizada ao

passar uma massa conhecida do produto, por uma série de peneiras com tamanhos de malha decrescentes. Por fim, é pesada a massa retida em cada peneira, e expressa os valores de cada fração em termos percentuais.

Em consequência da composição granulométrica, os fertilizantes sólidos podem apresentar um fenômeno denominado de segregação, que consiste na separação das partículas componentes de uma mistura de fertilizantes por ordem de tamanho (RODELLA; ALCARDE, 2000). Esse fenômeno pode afetar a quantidade dosada de fertilizante, visto que as partículas mais finas e mais densas vão para o fundo do reservatório de fertilizantes, sendo distribuídas primeiro pelo dosador.

A densidade específica é uma característica importante na determinação na capacidade de vazão dos dosadores, no dimensionamento dos reservatórios, e área de armazenagem do fertilizante. A densidade específica é definida como a relação entre a massa e o volume de um fertilizante colocado em um recipiente de volume conhecido em acomodação livre (MILAN; GADANHA JÚNIOR, 1996).

Segundo Silva e Lopes (2012), a densidade é uma característica muito importante, dado que está relacionada com a fluidez e a viscosidade e, conseqüentemente, com a dosagem de fertilizantes. A fluidez pode ser avaliada pelo parâmetro ângulo de repouso, os fertilizantes que apresentam menor ângulo de repouso possuem melhor capacidade de escoamento superficial (RODELLA; ALCARDE, 2000).

Conforme Alcarde *et al.* (1992), os fertilizantes apresentam uma grande higroscopicidade, fazendo que com eles absorvam água facilmente do ar. O armazenamento de fertilizantes por um longo período, em condições de alta umidade, pode resultar na formação de pelotas sólidas, que aumentam a resistência do fluxo e podem obstruir os mecanismos dosadores, sendo necessária a utilização de mecanismos dosadores robustos que sejam capazes de desestruturar essas formações (SIQUEIRA, 2008).

## 2.5 MERCADO DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

O agronegócio é fundamental para a economia brasileira, de acordo com o relatório apresentado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o setor foi responsável por aproximadamente 21,1% do Produto Interno Bruto (PIB)

no ano de 2018, esse valor se mantém constante entre os anos de 2010 e 2018 conforme demonstra a Tabela 1.

No setor de máquinas agrícolas, houve um crescimento no faturamento de 3,79% e de 4,60% na produção; a Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamento (ABIMAQ, 2017) ressalta que as exportações foram importantes para esse aumento no faturamento e na produção.

Tabela 1 - Participação do Agronegócio no PIB de 2010 a 2018

<b>Ano</b>	<b>Participação no PIB (em %)</b>
2010	21,6
2011	21,0
2012	19,4
2013	19,2
2014	19,1
2015	20,5
2016	22,8
2017	21,4
2018	21,1

Fonte: Adaptado de CEPEA/CNA (2018).

O agronegócio é responsável por quase 25% do PIB nacional e é um setor dinâmico e inovador, responsável por uma grande parte do desenvolvimento econômico brasileiro nos últimos anos. As indústrias de máquinas e implementos agrícolas contribuem para esse bom desempenho.

A competição gerada no setor faz com que as indústrias sejam mais eficientes e busquem constantemente o desenvolvimento e a inovação de produtos, o que permite manter as vendas no mercado interno e as exportações aquecidas.

Tessarín, Suzigan e Guilhoto (2019) salientam a importância das inovações tecnológicas para a competição e desenvolvimento socioeconômico. O Conselho Estadual de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (2018) destaca a importância da inovação para a melhoria do PIB do estado e aponta que as inovações e o empreendedorismo podem fazer o PIB do RS dobrar de 2018 a 2028.

A cada dia, vê-se o setor de máquinas agrícolas desenvolver máquinas mais potentes, com novas funções e maior eficiência, no entanto, Kline e Rosenberg (1986) relatam que a inovação não é somente o desenvolvimento de uma tecnologia

inexistente, mas que produtos podem ser reconfigurados e recombinados para dar origem a produtos e tecnologias novas.

## 2.6 ENSAIOS

Com a constante evolução no setor de máquinas agrícolas, é fundamental obter informações sobre características de desempenho em laboratório destes novos equipamentos. Mialhe (1996) destaca a importância da obtenção de informações sobre novos modelos de equipamentos, como uma ferramenta importante na tomada de decisões.

O ensaio de máquinas agrícolas, para Alonço (1999), visa o levantamento de informações quantitativas que possibilitem avaliar as características de desempenho de uma máquina ou equipamento. O ensaio deve ser executado segundo uma metodologia preestabelecida e padronizada, que o autor denomina norma do ensaio, e os resultados devem ser apresentados na forma de um relatório de ensaio padronizado (ALONÇO, 1999).

Mialhe (1996) relata que as medidas obtidas durante um ensaio devem possibilitar avaliações comparativas consistentes, devendo serem necessariamente obtidas de forma padronizada por procedimentos normatizados, para não comprometer a confiabilidade da informação obtida.

Ademais, Mialhe (1996) classifica os ensaios em três ambientes principais: em laboratório, quando os ensaios são conduzidos sobre pequenas amostras de componentes da máquina ou em amostra única; em dispositivos de simulação, quando os ensaios são executados em bancadas ou instalações especiais que reproduzem, de maneira controlada, os efeitos que ocorrem sob condições reais de utilização; e em campo, onde a máquina completa é submetida a condições reais de operação.

Coelho (1996) classifica o processo de amostragem do espécime para os ensaios, um importante aspecto a ser considerado no ensaio de máquinas agrícolas e de máquinas para semeadura em particular. O autor relata a importância da aleatoriedade na escolha do mecanismo dosador a ser ensaiado, contudo, adverte a dificuldade de obter-se um mecanismo de forma aleatória ideal, devido ao universo bastante significativo de mecanismos disponíveis.

O autor relata que os ensaios de semeadoras podem ser realizados por duas modalidades, ensaios em laboratórios e de campo. Os ensaios de semeadoras em laboratório são realizados com o auxílio de uma bancada que simula as condições de operação sob a qual a máquina é submetida durante a semeadura no campo (COELHO, 1996).

Segundo Coelho (1996), as bancadas de ensaio são normalmente construídas com uma estrutura metálica, com suportes que permitem a fixação da máquina completa ou de unidades específicas. As bancadas possuem motores elétricos e controladores de frequência que permitem a simulação das velocidades operacionais preestabelecidas.

Já Colombino e Pallacino (1996) descrevem que as bancadas devem ser capazes de permitir a regulação do dosador para diferentes culturas, modificar a velocidade dos mecanismos linearmente com a velocidade de semeadura e possibilitar ensaios em níveis de inclinação, entre outros.

Para a realização de ensaios do mecanismo dosadores de fertilizantes, a grande maioria dos autores tem utilizado como referência a ISO 5690-2:1984, que estabelece padrões para avaliar distribuição de fertilizantes em linha. A norma descreve dois métodos de realização dos ensaios: estáticos, que tem por objetivo a avaliar a precisão de dosagem, é realizado com máquina estática e a vazão de fertilizante dosado é coletada com o auxílio de uma caixa coletora

Já o ensaio dinâmico, que tem por objetivo verificar a precisão de dosagem da semeadora e é realizado com o deslocamento da máquina sobre coletores padronizados, de 500 x 500 x 150 mm, com divisões internas que permitem avaliar o coeficiente de variação do fertilizante que foi depositado, a norma recomenda que os ensaios devem ser realizados com não menos que dois tipos de fertilizantes de características físicas diferentes, sendo o ideal três tipos de fertilizantes (ISO, 1984).

O projeto de norma de ensaio de semeadoras, da ABNT (1994b), também é utilizado como referência por diversos autores que realizam ensaios em semeadoras. O Projeto de norma 04:015.06-004 preconiza ensaios do mecanismo de sementes, sendo que os autores têm utilizados analogamente as mesmas recomendações para o ensaio de mecanismos dosadores de fertilizante.

Os ensaios previstos no projeto de norma são divididos em: obrigatórios, que compreendem ensaios de calibração do mecanismo dosador, de regularidade de distribuição longitudinal e transversal de sementes e de danificação mecânica;



facultativos, que consistem de ensaios de regularidade de distribuição transversal e longitudinal de sementes sob efeito de inclinação longitudinal e transversal da semeadora, ensaio do efeito da segregação em sementes tratadas com produtos fitossanitários, inoculantes e lubrificantes e ensaios de efeito de vibração induzida.

O projeto de norma recomenda ainda que sejam simuladas diferentes velocidades de deslocamento, diferentes níveis de sementes no reservatório e inclinações da semeadora-adubadora (ABNT, 1994b).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado pelas coordenadas 29° 43 '37" latitude Sul e 53° 42' 44" longitude Oeste, altitude média 99,0 m, no município de Santa Maria/RS.

#### 3.2 BANCADA DE ENSAIOS DE MECANISMOS DOSADORES

Para a realização dos experimentos, foi utilizada a bancada para ensaios de mecanismos dosadores de fertilizantes denominada BANFERTI II, descrita e desenvolvida por Moreira *et al.* (2011). Esta é projetada para que seja possível simular ensaios com inclinações transversais e longitudinais do mecanismo dosador de fertilizantes conforme previstos na norma ISO 5690-2:1984 (ISO, 1984).

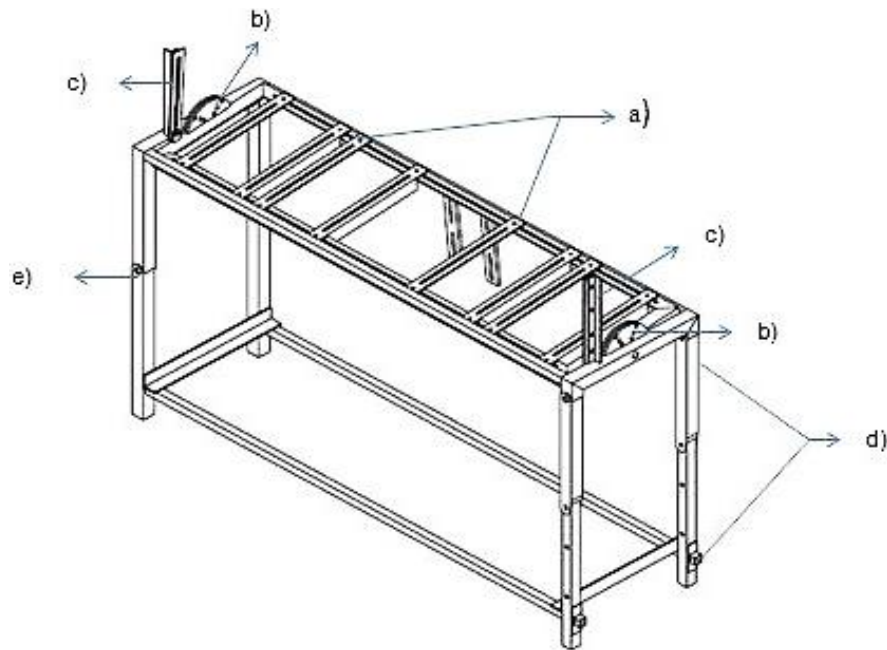
A BANFERT II (Figura 6) é formada por um sistema de acionamento, composto por um motor elétrico de 735 W de potência, que faz o acionamento do eixo do dosador. Para reduzir a rotação que sai do motor, é utilizado um redutor mecânico de engrenagens, com relação de transmissão de 10:1.

A velocidade de rotação do motor é controlada por um inversor de frequência Weg ® CFW 8, que permite controlar a frequência e a tensão fornecida ao motor, possibilitando, assim, controlar a velocidade de rotação do motor de 4 a 174 rotações por minuto, o que possibilita alcançar diferentes taxas de aplicação,  $g\ s^{-1}$ .

A fixação do mecanismo dosador na bancada é feita através da ligação de parafusos entre a carcaça do mecanismo e travessas vazadas da mesa de inclinações. As inclinações longitudinais são propiciadas através do movimento de um conjunto de semicírculos (Figura 6, item b) fixados nas extremidades da mesa de inclinações, que possuem furos com determinadas inclinações pré-definidas (0°, 5° e 11°), para frente e para trás.

As inclinações transversais são obtidas substituindo-se os "pés" do lado esquerdo da estrutura externa da bancada (Figura 6, item d); ao reduzir as hastes laterais, o mecanismo dosador fica inclinado à esquerda e, ao aumentar a haste lateral, o dosador fica inclinado à direita.

Figura 6 - Bancada de ensaios de mecanismos dosadores BANFERT II



Fonte: Bonotto (2012).

Legenda: a) Mesa de inclinações; b) Sistema para inclinações de 0°, 5° e 11° no sentido longitudinal; c) Sistema para inclinações de 0° a 45° no sentido longitudinal; d) Sistema para variação das inclinações transversais; e) Articulação para posicionamento inclinado transversalmente.

### 3.3 POSIÇÃO DO MECANISMO DOSADOR

As inclinações longitudinais simulam o deslocamento da semeadora-adubadora em aclives (inclinação positiva) e declives (inclinação negativa). Já as inclinações transversais simulam inclinações para a esquerda (inclinação negativa) e para a direita (inclinação positiva), estando o observador localizado na parte posterior ao dosador.

A ISO 5690-2:1984 define que os ensaios de inclinações longitudinais simulem o acionamento em nível 0°, inclinada 11° no sentido ascendente e 11° no sentido descendente. Para os ensaios com inclinações transversais, a norma orienta para que seja simulado em nível 0°, na posição inclinada de 11° para a direita e 11° para a esquerda.

As inclinações longitudinais e transversais foram verificadas com a utilização de um inclinômetro digital Pittsburgh, modelo 98998, que possui precisão decimal (Figura 7).

Figura 7 - Inclínômetro digital



Fonte: Do autor (2021).

### 3.4 CAIXA COLETORA

Os coletores utilizados para avaliar a uniformidade da distribuição longitudinal de fertilizantes foram coletores adaptados da norma ISO 5690-2:1984, que consistem de coletores, com dimensão de 500x250 mm e profundidade mínima de 150 mm (Figura 8). A caixa coletora possui 10 divisões internas com 50 mm cada que permite avaliar a dosagem de fertilizante a cada 50 mm conforme recomenda a NBR 9743 para o ensaio de semeadoras-adubadoras (ABNT, 1987).

Figura 8 - Caixa coletora



Fonte: Do autor (2021).

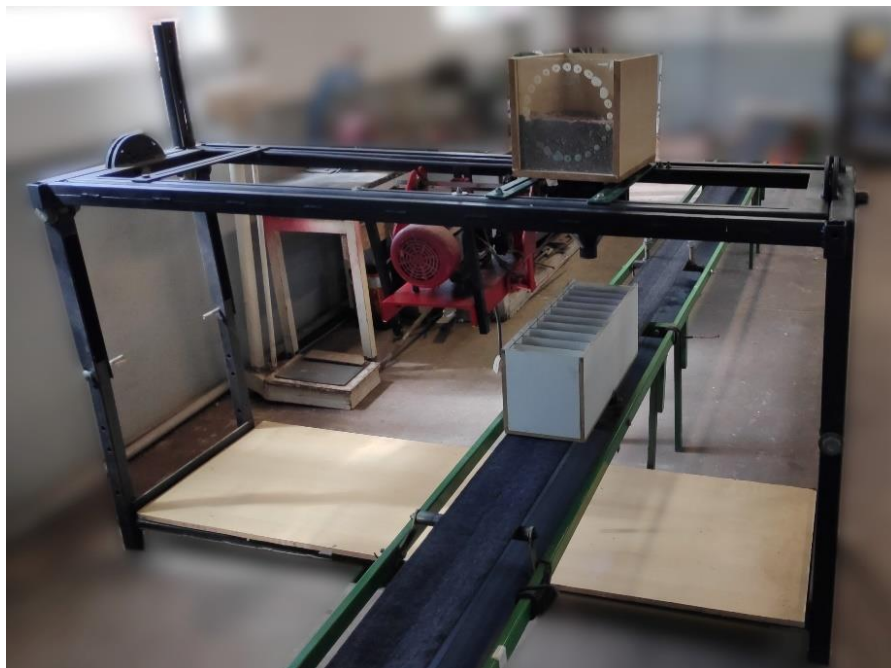
### 3.5 ESTEIRA

Foi utilizada uma esteira de borracha revestida com feltro, que simula a velocidade de deslocamento da semeadora-adubadora. A esteira é acionada por um motor elétrico trifásico com 2208W de potência, controlado por inversor de frequência CFW10, que permite ajustar a velocidade de deslocamento da esteira.

A velocidade de deslocamento utilizada nos ensaios na esteira foi de  $1,38 \text{ m s}^{-1}$ , conforme define a NBR 9743, para ensaio de semeadoras de fluxo contínuo em linha. Antes de cada coleta de dados, o mecanismo dosador funcionou por um tempo de 10 segundos, visando a uniformização das condições de fluxo de fertilizantes (ABNT, 1987).

Para que fosse simulado o deslocamento da semeadora, a bancada de ensaio de dosadores BANFERTI II (Figura 9) foi posicionada sobre a esteira de feltro e as caixas coletoras abaixo do tubo condutor. A taxa e dosagem de fertilizante utilizada foi de  $20,83 \text{ g s}^{-1}$ , o que equivale a uma dose de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$ . Essa dosagem foi definida tendo em vista os trabalhos realizados por Bonotto (2012), Franck *et al.* (2013) e Nava *et al.* (2011), que utilizaram dosagens semelhantes em seus estudos.

Figura 9 - Simulação deslocamento da caixa coletora



Fonte: Do autor (2021).

### 3.6 DOSADOR DE FERTILIZANTE

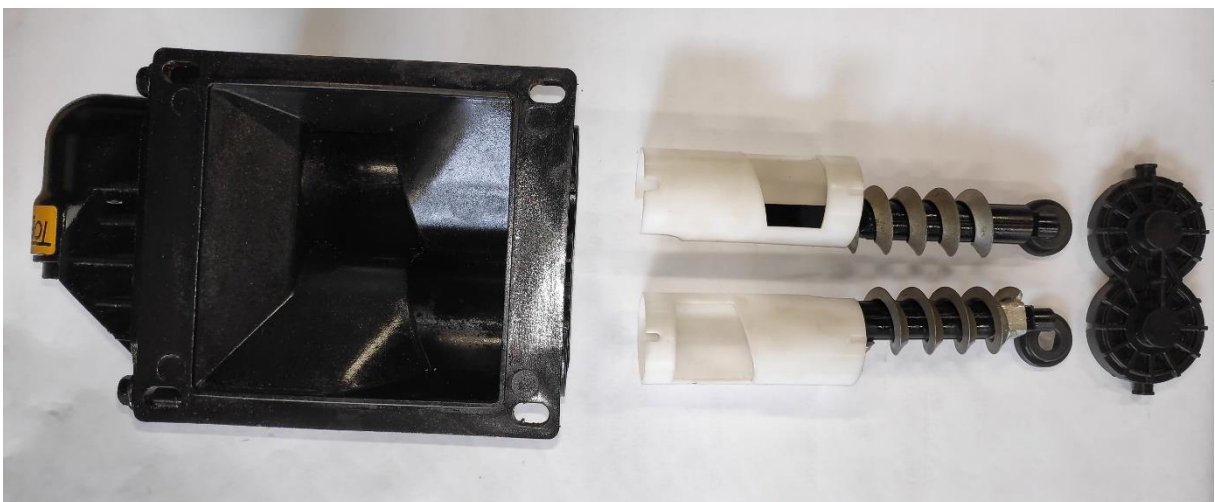
Para a realização dos experimentos, foram utilizados dois mecanismos dosadores de fertilizante: o mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla e o dosador com descarga por transbordo transversal. O mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla possui desempenho de funcionamento cujo é necessário se conhecer, dado que a utilização desse mecanismo é relativamente recente no mercado, sendo empregado de forma inédita nesta configuração com duas roscas helicoidais associadas.

Como comparativo, foi utilizado o dosador com descarga por transbordo transversal, onde esse modelo foi escolhido devido à sua representatividade no mercado, conforme apresentado por Francetto *et al.* (2012).

#### 3.6.1 Mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla

O mecanismo dosador de fertilizante com rosca helicoidal dupla possui como elemento transportador do fertilizante duas roscas helicoidais que giram em sentidos opostos (Figura 10), que conduzem o fertilizante até a descarga, que é realizada sem restrições, ou seja, apenas com ação da força da gravidade; o passo utilizado foi de 22 mm.

Figura 10 - Dosador de fertilizante com rosca helicoidal dupla



Fonte: Do autor (2021).

### 3.6.2 Mecanismo dosador com descarga por transbordo transversal

O mecanismo dosador com descarga por transbordo transversal (Figura 11) fica posicionado sob o depósito de fertilizantes, o transporte e a dosagem do fertilizante são realizados por uma rosca helicoidal, que está fixada na parte interna da estrutura do mecanismo, o passo utilizado foi de 1" polegada.

Esse sistema possui uma barreira transversal próxima ao tubo de descarga de fertilizantes, que é utilizada como um equalizador de fluxo, pois o fertilizante somente chega ao tubo dosador após transpor essa barreira.

Figura 11 - Dosador com descarga de fertilizante por transbordo transversal



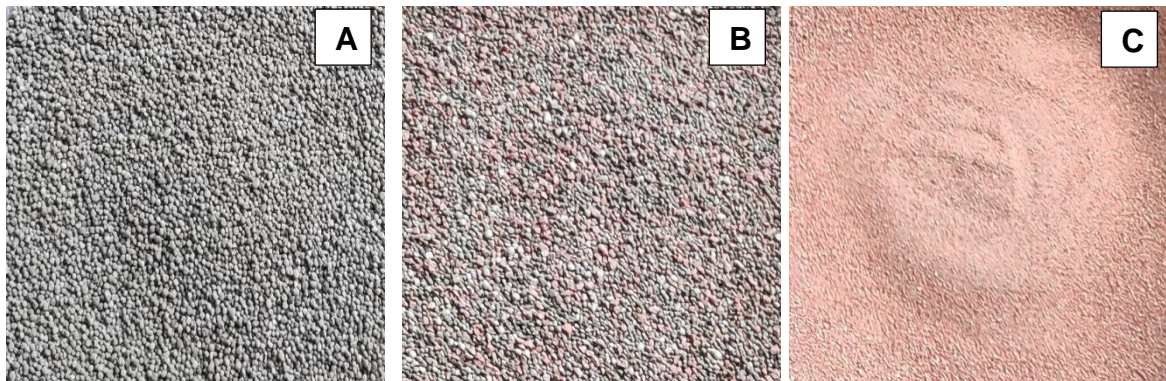
Fonte: Do autor (2021).

## 3.7 FERTILIZANTES

Foram utilizados fertilizantes sólidos minerais de três naturezas físicas distintas nos ensaios (Figura 12): mistura granular, na formulação 05-20-20; mistura de grânulos na formulação, 05-20-20, e farelado na formulação, 00-30-15. Os fertilizantes utilizados neste trabalho são três misturas de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) respectivamente.

A norma ISO 5690-2:1984 recomenda que sejam utilizados pelo menos dois fertilizantes de características físicas diferentes, cabendo ao pesquisador decidir pela utilização de um terceiro fertilizante de características físicas distintas e relevantes ao estudo.

Figura 12 - Fertilizantes utilizados



Fonte: Do autor (2021).

Legenda: A) Mistura granular; B) Mistura de grânulos; C) Farelado.

### 3.7.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada segundo a Instrução Normativa nº 46 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2016). A análise dos fertilizantes utilizados nesse experimento foi realizada por Becker (2020), visto que os fertilizantes utilizados foram uma porção do mesmo lote utilizado pelo autor.

Para realizar as análises, retirou-se previamente aos ensaios uma porção de fertilizante de massa conhecida do lote de fertilizante utilizados. A porção de fertilizante conhecida foi passada por uma sequência de peneiras com malhas padronizadas. Posteriormente, foi realizada a mensuração das massas que ficaram retidas em cada peneira (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise granulométrica dos fertilizantes utilizados

Peneira (mm)	Fertilizantes		
	Mistura Granular	Mistura de Grânulos	Farelado
Porcentagem Retida na Peneira (%)			
4,00	21,69	4,05	0
2,00	72,92	76,54	0,27
1,19	3,01	11,27	1,25
1,00	0,68	1,73	3,11
0,84	0,41	0,91	2,47
0,50	0,72	2,6	25,08
Fundo	0,57	2,9	67,83
TOTAL	100	100	100

Fonte: Adaptado de Becker (2020).



### 3.7.2 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso (Figura 13) foi determinado com a utilização de um dispositivo construído a partir do modelo apresentado por Chavez et al (2005) e desenvolvido por Altmann *et al.* (2010), que possui um reservatório em formato de funil, um mecanismo de controle da descarga de fertilizante com uma comporta e uma base plana na qual o fertilizante é depositado.

Com a retirada da comporta que faz o controle do fluxo, forma-se um cone de fertilizante, que foi fotografado, e a determinação do ângulo de repouso foi realizada através de análise das imagens no programa computacional AutoCAD® (*Computer Aided Design*).

Figura 13 - Dispositivo utilizado para determinar o ângulo de repouso



Fonte: Do autor (2021).

### 3.7.3 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada pela relação entre a massa de fertilizante e um recipiente de volume conhecido (MIALHE, 1996). Ademais, foi utilizada uma proveta volumétrica e uma balança de precisão. A proveta foi preenchida com um volume conhecido de fertilizante, sem que houvesse a compactação do mesmo, posteriormente essa massa foi pesada e o valor de densidade aparente foi determinado segundo a Equação 1.

$$Da = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Em que:

$Da$  – Densidade aparente, g cm<sup>-3</sup>;

$m$  – Massa de fertilizante. g;

$v$  – Volume, cm<sup>3</sup>.

### 3.7.4 Teor de água

Para a determinação do percentual de água contido nos fertilizantes, foram coletadas amostras de massa conhecida, que foram mantidas em uma estufa a uma temperatura de 105°C por 24 horas (ABNT, 2011). O teor de água presente na amostra foi determinado pela Equação 2.

$$U = \frac{(Mfu - Mfs)}{Mfs} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

$U$  - Teor de água, %;

$Mfu$  - Massa de fertilizante úmido, g;

$Mfs$  - Massa de fertilizante seco, g.

O ângulo de repouso, densidade aparente e teor de água dos fertilizantes determinados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades físicas dos fertilizantes

Propriedade Física	Fertilizantes		
	Mistura Granular 5-20-20	Mistura de Grânulos 5-20-20	Farelado 0-30-15
Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	0,98	0,99	1,10
Ângulo de Repouso (°)	30,97	30,51	32,10
Teor de água (%)	2,54	0,57	1,84

Fonte: Do autor (2021).

## 3.8 METODOLOGIA

### 3.8.1 Calibragem

A calibração inicial dos equipamentos consistiu, primeiramente, na definição da dose de aplicação de fertilizante, onde a dosagem definida foi de 300 kg ha<sup>-1</sup>, uma dose comumente utilizada desses fertilizantes.

A partir da dosagem, foi definida a taxa de aplicação de fertilizante de 20,83 g s<sup>-1</sup>, com base na velocidade de deslocamento da semeadora-adubadora de 1,38 m.s<sup>-1</sup> e um espaçamento entrelinha de 50 cm.

A calibragem dos mecanismos dosadores foi realizada coletando a massa de fertilizante dosada em um intervalo de 30 segundos após a estabilização do sistema; além disso foi realizada com os dosadores posição nivelada e foram coletadas quatro repetições de cada dosador para a dosagem preestabelecida, de modo que a média dos valores coletados não diferenciassem 0,5% do valor desejado. O nível do reservatório de fertilizantes foi mantido com 50% da sua capacidade, conforme recomenda Cardinal *et al.* (2011).

Com base no valor da dosagem para cada metro linear de fertilizante para a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>, pode-se determinar a massa de fertilizante ideal que cada célula da caixa coletora deve receber, que é de 0,75 g.

### 3.8.2 Delineamentos

O experimento foi disposto em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com um arranjo trifatorial (2x5x3) totalizando 30 tratamentos, com 40 repetições. Os tratamentos foram compostos das combinações dos níveis dos seguintes fatores: mecanismo dosador (D), com dois níveis, dosador com rosca helicoidal dupla e dosador com descarga por transbordo transversal; inclinação (I), com cinco níveis, 11° em ascendente, nivelado (0°) e 11° em descendente, 11° para a esquerda e 11° para a direita; fertilizante (F) com três níveis, fertilizante mistura granular, mistura de grânulos e farelado, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos

Tratamentos	Fatores		
	Mecanismo Dosador (D)	Inclinação (I)	Fertilizante (F)
T1	Dosador Duplo Helicoidal (D1)	0° Nivelado (I1)	Mistura Granular (F1)
T2			Mistura de Grânulos (F2)
T3			Farelado (F3)
T4		11° Ascendente (I2)	Mistura Granular (F1)
T5			Mistura de Grânulos (F2)
T6			Farelado (F3)
T7		11° Descendente (I3)	Mistura Granular (F1)
T8			Mistura de Grânulos (F2)
T9			Farelado (F3)
T10		11° Esquerda (I4)	Mistura Granular (F1)
T11			Mistura de Grânulos (F2)
T12			Farelado (F3)
T13		11° Direita (I5)	Mistura Granular (F1)
T14			Mistura de Grânulos (F2)
T15			Farelado (F3)
T16	Transbordo Transversal (D2)	0° Nivelado (I1)	Mistura Granular (F1)
T17			Mistura de Grânulos (F2)
T18			Farelado (F3)
T19		11° Ascendente (I2)	Mistura Granular (F1)
T20			Mistura de Grânulos (F2)
T21			Farelado (F3)
T22		11° Descendente (I3)	Mistura Granular (F1)
T23			Mistura de Grânulos (F2)
T24			Farelado (F3)
T25		11° Esquerda (I4)	Mistura Granular (F1)
T26			Mistura de Grânulos (F2)
T27			Farelado (F3)
T28		11° Direita (I5)	Mistura Granular (F1)
T29			Mistura de Grânulos (F2)
T30			Farelado (F3)

Fonte: Do autor (2021).

Para a determinação da distribuição longitudinal de fertilizantes, é necessário mensurar a variação da dosagem ao longo da linha de semeadura. A norma ISO 5690-2:1984 determina que seja avaliado o CV, onde o mesmo consiste na diferença entre a vazão média regulada e a realmente aplicada a cada 5 centímetros. A variável resposta avaliada foi a quantidade em massa de fertilizante que é dosada em cada umas das 10 divisões internas de 50 mm da caixa coletora.

### 3.8.3 Análise complementar

Como forma de análise complementar para avaliar o desempenho da distribuição longitudinal de fertilizantes dos dois dosadores, foi utilizada uma adaptação realizada por Franck *et al.* (2013) da classificação alternativa da distribuição longitudinal de sementes de Kurachi *et al.* (1989), que consiste em calcular a dose de referência (DRef). A DRef consiste na massa ideal de fertilizante que cada coletor deve receber para a dose calibrada.

A partir da dose de referência, foi determinada a Dose, que consiste em um valor referente a 0,8 a 1,2 da DRef. As dosagens que foram inferiores a 0,8 da DRef foram classificadas como Subdose e os coletores que tiveram a massa dosada superior a 1,2 DRef foram classificados com Sobredose.

Foi utilizado o mesmo delineamento empregado anteriormente um trifatorial (2x5x3), com os mesmo fatores e níveis, no entanto, a variável resposta analisada nessa etapa foi porcentagem de classificação de cada coletor em Subdose, Dose e Sobredose para cada tratamento.

Os dosadores foram classificados com relação ao seu desempenho segundo a metodologia adaptada de Torino e Klingensteiner (1983) para avaliar o desempenho de dosadores de sementes. O desempenho do dosador foi classificado como ótimo quando a quantidade de dosagens classificadas como Dose somou mais de 90%, bom quando a classificação dos coletores qualificados como Dose foi entre 75% e 90%, ruim para valores entre 75% e 50% e insatisfatórios quando os valores foram inferiores a 50%.

Também foi avaliada a precisão dos dosadores através da adaptação utilizada por Kachman e Smith (1995), que consiste no desvio padrão das massas de fertilizantes dosadas pelos coletores classificadas como Dose dividido pela DRef. Sendo a melhor precisão para os valores mais próximos de zero.

### 3.8.4 Análise estatística

O conjunto de dados coletados foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov que é utilizado para avaliar a normalidade dos erros e ao teste de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos testes foram realizados com o auxílio do software *Microsoft Excel*®.

Após os testes iniciais, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificar a significância dos fatores pelo teste *f*. Como os tratamentos são classificados como qualitativos, foi utilizado o teste de Scott e Knott (1974) para avaliar os agrupamentos das médias ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Cabe ressaltar que os dados somente foram avaliados pelo teste de Scott-Knott para os fatores principais que apresentaram significância e para as interações significativas entre os fatores. Para a realização dessas análises, foi utilizado o software *SISVAR® versão 5.7*.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante a realização desta avaliação do mecanismo dosador com duplo helicóide serão apresentados da seguinte forma: primeiramente, será apresentada a avaliação do mecanismo dosador em função dos tratamentos utilizados e, posteriormente, será apresentada a análise estatística referente às avaliações, com as respectivas significâncias e interações.

### 4.1 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE FERTILIZANTE

A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva básica dos resultados observados. A partir da análise desses dos valores encontrados, é possível observar que há variação da quantidade de fertilizante dosado ao longo da linha de semeadura, para os dois dosadores, em função das inclinações e dos tipos de fertilizantes utilizados.

Tabela 5 - Coeficientes de variação da distribuição longitudinal de fertilizantes dos tratamentos avaliados

Mecanismo Dosador	Inclinação	Fertilizante	Média	DP	CV (%)	CV Geral (%)
Duplo Helicóide	Nivelado	M. Granular	0,77	0,24	31,36	26,69
		M. de Grânulos	0,83	0,18	22,06	
		Farelado	0,70	0,13	18,63	
	11° Ascendente	M. Granular	0,79	0,23	29,84	
		M. de Grânulos	0,81	0,20	25,39	
		Farelado	0,8	0,14	18,24	
	11° Descendente	M. Granular	0,8	0,16	20,87	
		M. de Grânulos	0,81	0,23	28,92	
		Farelado	0,71	0,08	11,59	
	11° Esquerda	M. Granular	0,73	0,29	39,34	
		M. de Grânulos	0,72	0,17	24,43	
		Farelado	0,67	0,13	19,5	
	11° Direita	M. Granular	0,73	0,23	31,7	
		M. de Grânulos	0,75	0,18	25,03	
		Farelado	0,68	0,09	13,24	

(Continua)

						(Conclusão)
Mecanismo Dosador	Inclinação	Fertilizante	Média	DP	CV (%)	CV Geral (%)
Transbordo Transversal	Nivelado	M. Granular	0,74	0,25	34,33	33,25
		M. de Grânulos	0,80	0,19	23,74	
		Farelado	0,73	0,10	14,50	
	11° Ascendente	M. Granular	0,98	0,28	29,32	
		M. de Grânulos	1,01	0,35	34,76	
		Farelado	0,82	0,26	31,90	
	11° Descendente	M. Granular	0,59	0,21	35,65	
		M. de Grânulos	0,68	0,21	30,96	
		Farelado	0,62	0,06	10,36	
	11° Esquerda	M. Granular	0,62	0,23	38,07	
		M. de Grânulos	0,82	0,25	31,25	
		Farelado	0,64	0,07	11,65	
	11° Direita	M. Granular	0,71	0,26	37,01	
		M. de Grânulos	0,83	0,19	23,61	
			Farelado	0,69	0,07	

Fonte: Do autor (2021).

Com relação ao desempenho geral dos dois dosadores, é possível observar que não houve variação entre os dois modelos, não apresentando diferença significativa entre eles, como será apresentado na análise estatística posteriormente. O dosador de fertilizante composto por um duplo helicóide apresentou o melhor desempenho com um CV de 26,69% e o dosador com descarga por transbordo transversal apresentou um CV de 33,25%.

Ao avaliar o desempenho dos dois dosadores em relação à distribuição longitudinal, segundo a metodologia proposta por Bonotto *et al.* (2020), pode-se classificar o dosador com rosca helicoidal dupla com desempenho bom e avaliação aceitável. O dosador com descarga por transbordo transversal pode ser classificado como desempenho regular e avaliação aceitável.

Ao comparar os resultados encontrados neste estudo com as avaliações de Bonotto *et al.* (2020), que avaliaram o desempenho de três mecanismos dosadores do tipo rosca helicoidal com relação à distribuição longitudinal, é possível perceber que o dosador com duplo helicóide apresentou um melhor desempenho que os demais dosadores, sendo o único com desempenho classificado como bom.

Os resultados encontrados vão ao encontro da observação de Spagnolo *et al.* (2020), onde, segundo os autores, a variação da vazão de dosagem de fertilizante



utilizando um mecanismo com dois helicoides apresentou gradientes inferiores em relação às medições equipadas com um helicóide.

Rosa *et al.* (2019), ao avaliarem a distribuição longitudinal de fertilizante de um dosador com descarga por transbordo transversal, em função de três inclinações e duas dosagens, encontraram os valores de CV de 10,15% e 17,84% para as dosagens de 250 kg ha<sup>-1</sup> e 440 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, quando avaliaram em laboratório e CV de 25,70% em 40,96% quando as avaliações foram realizadas a campo.

Contudo, possivelmente, os Rosa *et al.* (2019) encontraram valores de CV menores na análise em laboratório que os encontrados nesta pesquisa, devido à diferença entre o tamanho dos coletores utilizados nas duas pesquisas, onde utilizaram coletores maiores com 0,1m de comprimento.

De acordo com Pagnussat *et al.* (2014), o dosador com descarga de fertilizante por transbordo transversal é mais eficiente na redução das variações da distribuição longitudinal que os dosadores que utilizam uma rosca dosadora e descarga por gravidade, que apresentam um coeficiente de variação maior.

Ao avaliar a distribuição longitudinal de fertilizantes de dois dosadores de rosca helicoidal, Uliana *et al.* (2005) concluíram que o dosador com descarga por transbordo transversal apresentou um CV de 25%, enquanto o dosador com descarga por gravidade apresentou um CV consideravelmente maior de 50% aproximadamente.

Já Verardi *et al.* (2019) avaliaram a distribuição longitudinal de fertilizantes mistura granular em diferentes inclinações de trabalho e passos e posições do mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla e encontraram um CV médio de 36%.

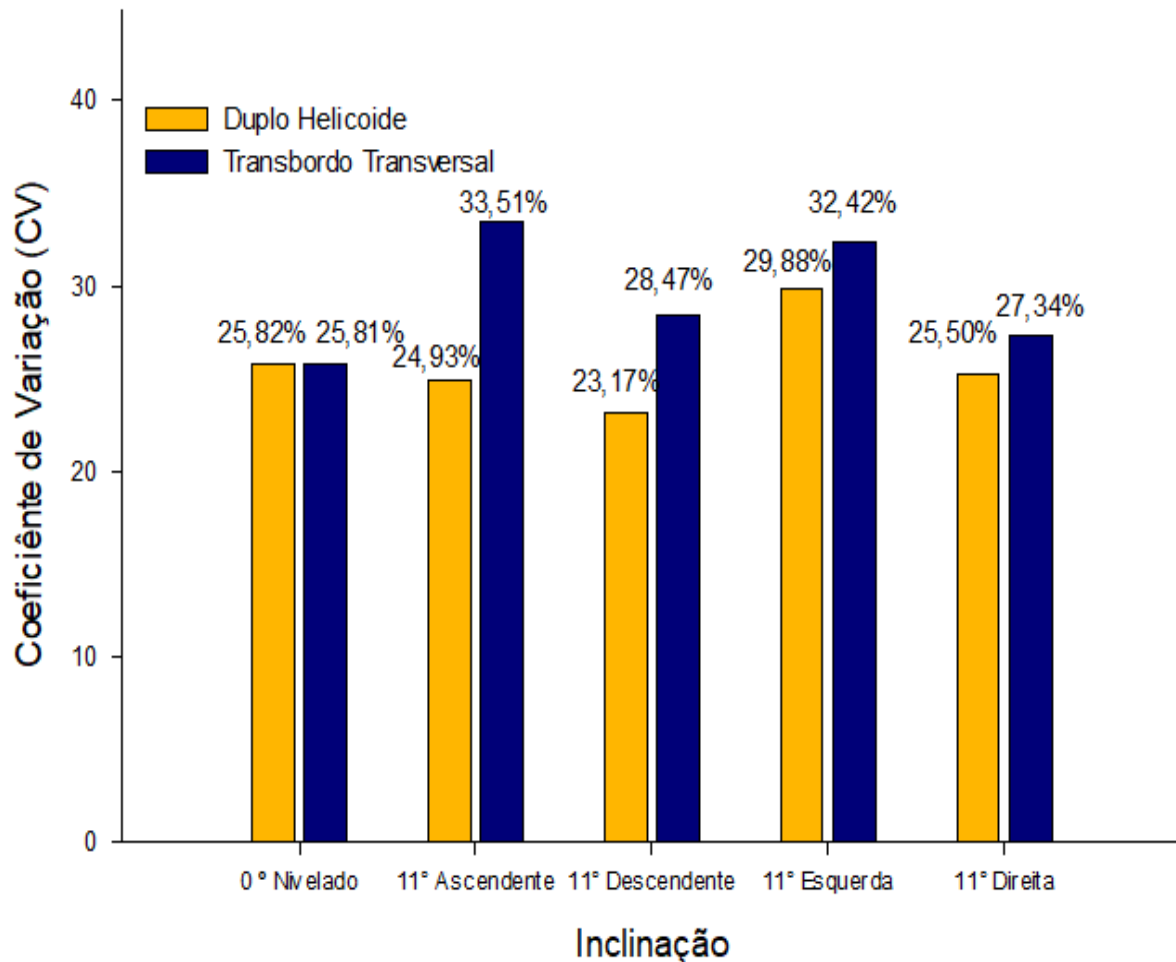
E Schiavon *et al.* (2019), ao avaliarem a dosagem de fertilizante, em diferentes inclinações, passos e velocidades de acionamento do eixo principal do dosador com duplo helicóide, concluíram que houve variação nas dosagens independentemente do fator analisado.

### **5.1.1 Distribuição longitudinal de fertilizante em função da inclinação**

A Figura 14 ilustra o coeficiente de variação médio dos dois mecanismos dosadores quando submetidos às diferentes inclinações analisadas. É possível observar que os dois dosadores tiveram desempenhos diferentes em função de cada inclinação.

Os dados encontrados corroboram com os resultados apresentados por Ferreira *et al.* (2010), Bedin *et al.* (2012), Bonotto (2012) e Garcia *et al.* (2017), que demonstraram que inclinações proporcionam variações significativas na vazão de dosagem do dosador com descarga por transbordo transversal, e diferem dos resultados encontrados por Verardi *et al.* (2019), que não encontraram variação na distribuição longitudinal de fertilizante em função da inclinação de trabalho do dosador com duplo helicoide variando o passo e a posição da rosca.

Figura 14 - Coeficientes de variação médios em função da inclinação



Fonte: Do autor (2021).

Os dois mecanismos dosadores apresentaram o mesmo valor de CV para a posição nivelado, 25,81% e 25,82%, para os mecanismos rosca helicoidal dupla e transbordo transversal, respectivamente. O maior valor de CV encontrado foi para o dosador com descarga por transbordo transversal na inclinação de 11° ascendente,

que simula o deslocamento em aclive da semeadora-adubadora. Nessa posição, o fluxo de fertilizante é favorecido pela gravidade, o que tende a provocar maiores dosagens nesse mecanismo.

Reynaldo (2013) afirma que os mecanismos dosadores do tipo rosca helicoidal apresentam espaços (folgas) entre a rosca e o mecanismo por onde os fertilizantes acabam escorrendo em situações de aclive. A observação de Reynaldo (2013) reforça a análise de Ferreira *et al.* (2010), que relatam que inclinações positivas no sentido de deslocamento da máquina ocasionam as maiores variações da dosagem de fertilizante nos mecanismos que utilizam uma rosca helicoidal para fazer a dosagem.

O mecanismo com duplo helicoide apresentou um CV de 24,92%, um valor menor que o outro dosador, o que pode desmontar que a estratégia de utilização de duas roscas helicoides, que giram em sentidos opostos, compensa os efeitos de inclinações ascendentes.

O dosador do tipo rosca helicoidal dupla apresentou seu maior CV 29,88% para a posição inclinado 11º esquerda. Tal constatação com relação aos efeitos das inclinações transversais também foi observada por Schiavon *et al.* (2020), que concluiu que, quando o dosador é submetido a inclinações transversais, ocorre um aumento no CV.

Um problema observado durante a realização do experimento, que pode identificar a causa dessa variação nesse dosador, é o fato de que, quando o mesmo está submetido a uma inclinação transversal, o helicoide que está na posição mais baixa paralelamente à inclinação transversal é responsável por uma dosagem muito superior ao da rosca que está na posição contrária, o que reduz o efeito de compensação da rosca que está girando no sentido oposto. Isso combinado com o fato de o dosador apresentar um sistema de descarga de fertilizante de forma livre, sem qualquer barreira de fluxo, pode acabar por provocar esse aumento no coeficiente de variação.

Com relação ao desempenho do mecanismo dosador com duplo helicoide em relação a inclinações longitudinais, que simulação deslocamentos da semeadora-adubadora em aclives e declives, o CV foi de 24,93% e 23,17%, respectivamente. É possível notar um melhor desempenho na redução dos efeitos da aplicação de fertilizantes em situações de aclives e declives em comparação ao dosador com descarga por transbordo transversal.

A estratégia de utilização de duas roscas que giram em sentidos opostos para compensar os efeitos dessas inclinações é claramente perceptível durante a aplicação do fertilizante, tanto em aclives, quanto em declives.

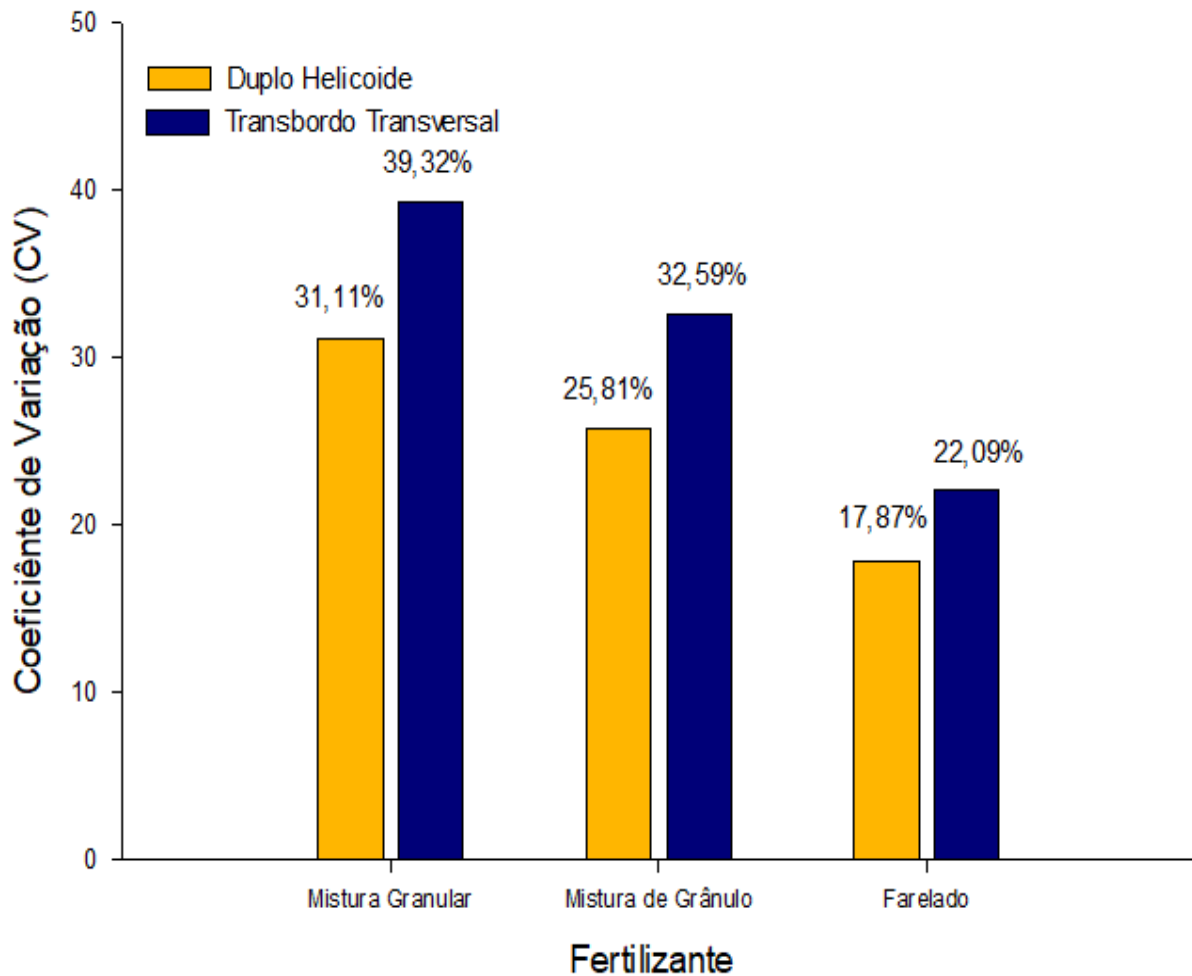
É possível notar visualmente que há uma alternância na quantidade de fertilizante dosado por cada uma das roscas; quando uma das roscas reduz a quantidade dosada, ocorre um aumento em relação à dosagem da outra rosca, o que acaba por equilibrar a dosagem, tornando-a menos suscetível aos efeitos das inclinações longitudinais, o que pode demonstrar que a estratégia de utilização das duas roscas que giram em sentidos opostos atenua os efeitos de aclives e declives, cabe ressaltar que esta observação foi realizada apenas visualmente, não sendo comprovada através da medição dos fluxos.

### **5.1.2 Distribuição longitudinal de fertilizante em função do fertilizante**

As avaliações sobre a distribuição longitudinal de fertilizante devem ser realizadas segundo a ISO 5690-2:1984, com no mínimo dois fertilizantes, uma mistura granular e outro peletizado. A utilização de um material cujas as características físicas sejam distintas e relevantes à sua aplicação é opcional, cabendo ao pesquisador verificar a pertinência na utilização de tal material.

Em relação à distribuição longitudinal, de acordo com a granulometria do fertilizante dosado, pode-se perceber que os dois mecanismos dosadores apresentaram comportamento diferenciado de acordo com o fertilizante utilizado. O dosador com descarga por transbordo transversal apresentou os valores de CV mais elevados, 39,32%, 32,59% e 22,09% para os fertilizantes mistura granular, mistura de grânulos e farelado, respectivamente (Figura 15).

Figura 15 - Coeficientes de variação médios em função da granulometria do fertilizante



Fonte: Do autor (2021).

O dosador com duas roscas helicoidais apresentou valores de CV menores para todos tipos de fertilizantes com valores de 31,11%, 25,81% e 17,87% para os fertilizantes mistura granular, mistura de grânulos e farelado. Tais fatos demonstram que o dosador com rosca dupla é menos afetado pela granulometria do grão, quando comparado o mecanismo por transbordo transversal. Entretanto, os dois mecanismos não diferem significativamente entre si em relação ao tipo de fertilizante utilizado, como será apresentado na análise estatística.

Ao avaliar o desempenho dos dosadores, pode-se perceber que os dois dosadores tiveram o melhor desempenho quando foi utilizado o fertilizante farelado. Ao analisar o desempenho dos dois mecanismos em função do fertilizante farelado na Tabela 5 apresentada anteriormente, é possível notar um desempenho ainda melhor desses mecanismos em determinadas situações, com valores de CV muito baixos,

principalmente para o dosador com descarga por transbordo transversal que apresentou valores de CV 11,65% e 10,43% para as inclinações à esquerda e à direita, respectivamente.

Todavia, esse dosador apresentou mais variações em relação ao dosador com duplo helicóide, que apresentou uma dosagem mais constante para esse tipo de fertilizante. Cabe ressaltar que o dosador com rosca helicoidal dupla apresenta um problema de contenção do fertilizante farelado, o que proporciona um vazamento do fertilizante mesmo com o mecanismo dosador desligado.

Os dois dosadores apresentaram os piores valores de CV quando se utilizou o fertilizante do tipo mistura granular. Garcia *et al.* (2017), ao avaliarem quatro dosadores de fertilizantes quando submetidos a diferentes inclinações longitudinais e dois tipos fertilizantes, concluíram que houve uma maior variação na dosagem quando foi utilizado o fertilizante do tipo mistura granular, sendo reduzida essa variação quando utilizado o fertilizante farelado.

Garcia *et al.* (2017) relacionam o melhor desempenho do fertilizante em pó em função deste apresentar um menor ângulo de repouso e umidade, o que facilitaria a fluidez, fluindo, assim, mais facilmente através dos mecanismos dosares.

Alves *et al.* (2016) também observaram interferência na distribuição de fertilizante em função da umidade, principalmente nas umidades mais elevadas. Essa inter-relação não pode ser comprovada neste experimento, já que o fertilizante do tipo farelado apresentou o maior ângulo de repouso e uma umidade intermediária entre os outros dois tipos de fertilizante, tal situação leva a acreditar que, além da fluidez, tem outros fatores que influenciam na variação da dosagem desses mecanismos, como, por exemplo, a granulometria dos fertilizantes. Fertilizantes do tipo farelado apresentam grãos muito pequenos, o que facilita para ocupar todos os espaços entre as cristas da rosca.

Camacho-Tamayo *et al.* (2009) observaram que a taxa de dosagem é diretamente afetada pela densidade aparente e inversamente ao ângulo de repouso. Ao correlacionar as observações de Camacho-Tamayo *et al.* (2009), com os resultados encontrados no experimento, que demonstraram que o fertilizante farelado, que possui maior densidade aparente obteve o melhor desempenho, permite inferir que a densidade aparente é um fator que afeta mais fortemente a dosagem de fertilizante que o ângulo de repouso.

Outro fator que afeta a dosagem de fertilizante é a ocorrência do fenômeno conhecido como pulsação, onde tal fenômeno provoca a intermitência na distribuição do fertilizante. Segundo Casão Junior e Siqueira (2006), a ocorrência dessa situação nos mecanismos dosadores que utilizam uma rosca helicoidal para fazer a dosagem do fertilizante é devido às características geométricas da rosca, principalmente em função da distância entre as cristas dos helicoides.

O fator de preenchimento do helicóide, para Garcia, Cappelli e Umezu (2012), também é um fator responsável pela pulsação, já que essa variável afeta diretamente a qualidade da aplicação de fertilizante.

Os resultados encontrados nesta pesquisa demonstram que os dois dosadores apresentaram um bom desempenho, apenas quando comparados a outros modelos, como o dosador com descarga por gravidade, por exemplo. Apesar desses bons resultados relativos, é importante destacar que os valores de CVs dos dois dosadores são considerados altos.

Segundo Barnes e Fortune (2014), um coeficiente de variação superior a 15% influencia na produção do empreendimento agrícola, representando prejuízos econômicos. O coeficiente de variação da distribuição longitudinal de fertilizante está diretamente correlacionado com a produtividade da soja. Diante disso, Pivetta *et al.* (2016) concluíram que, para cada aumento de 1% no CV, ocorre uma redução na produção da soja de 7 kg ha<sup>-1</sup> nas condições estudadas.

Apesar das constantes evoluções no design dos mecanismos dosadores, este equipamento ainda apresenta uma margem muito grande de variação, que pode ser reduzida para valores aceitáveis. Como foi o caso dos mecanismos dosadores de sementes, que inicialmente apresentavam dosagens irregulares de sementes e, atualmente, com o desenvolvimento da tecnologia, possuem dosadores com precisão de dosagem elevada.

#### 4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL

Os resultados da análise estatística dos experimentos são apresentados na Tabela 6, ao analisar os efeitos dos tratamentos principais sobre a variável resposta. Pode ser observado que os mecanismos dosadores não apresentaram efeito significativo na variável resposta, já os outros dois fatores principais, inclinação de

trabalho e tipo de fertilizante, apresentaram significância no resultado da variável resposta.

Tabela 6 - Análise das interações entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste f

<b>Causa de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Dosador (D)	1	0,001220	0,001220	0,028	0,8674 <sup>ns</sup>
Inclinação (I)	4	4,557958	1,139489	26,064	0,0000*
Fertilizante (F)	2	2,067810	1,033905	23,649	0,0000*
D x I	4	2,436494	0,609124	13,933	0,0000*
D x F	2	0,310161	0,155081	3,547	0,0291*
I x F	8	0,150476	0,018809	0,430	0,9034 <sup>ns</sup>
D x I x F	8	0,855158	0,106895	2,445	0,0126*
<b>Coefficiente de Variação e Média Geral</b>					
CV (%)			27,62		
MG** (g)			0,7571583		

Fonte: Do autor (2021).

Legenda: (ns) Não significativo; (\*) Significativo ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ) de probabilidade; (\*\*) Média geral em gramas de fertilizante dosado a cada 50 mm.

A interação entre os fatores mecanismo dosador e as inclinações de trabalho e entre os mecanismos I e o tipo de fertilizante e a combinação da interação entre os três fatores principais apresentaram interação significativa, ou seja, o efeito ou a alteração em um dos níveis desses fatores irá influenciar significativamente o outro.

A interação entre a inclinação e o tipo de fertilizante não apresentou interação significativa. A interação tripla entre os fatores, foi avaliada pela análise da interação dupla entre os fatores que apresentaram interação significativa.

Como análise complementar à ANOVA, foi realizado o teste de agrupamento de média de Scott e Knott (1974), quando houve significância do efeito do fator principal e da interação entre os fatores. A Tabela 7 apresenta os valores encontrados pelo teste de Scott-Knott para os fatores principais.



Tabela 7 - Teste de Scott-Knott para os fatores principais que apresentaram efeito significativo

<b>Fatores</b>	<b>Dosagem (g)*</b>
<b>Inclinação</b>	
11° Ascendente	0,871958 a
0° Nivelado	0,766250 b
11° Direita	0,736083 b
11° Descendente	0,705792 c
11° Esquerda	0,705708 c
<b>Fertilizante</b>	
Farelado	0,709975 c
Mistura Granular	0,750500 b
Mistura de Grânulos	0,811000 a

Fonte: Do autor (2021).

Nota: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si no teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); (\*) Média de fertilizante dosado a cada 50 mm, para cada tratamento

Ao analisar o fator principal inclinação, é possível verificar diferenças estatísticas entre os níveis de inclinação. A inclinação 11° ascendente apresentou diferença significativa dos outros quatro níveis, a média de fertilizante dosado foi 16,26% superior à média preestabelecida de 0,75 g.

As posições 0° nivelado e 11° direita não apresentaram diferença significativa entre si e apresentaram a menor variação com relação à média calibrada, 2,16% e 1,86%, respectivamente. Os níveis de inclinação 11° descendente e 11° esquerda apresentaram valores médios abaixo de dosagem calibrada, indicando uma sub dosagem.

Segundo Bica e Souza (2009), afirma-se que as maiores variações na dosagem de fertilizante são causadas pelas inclinações longitudinais. Tal afirmação comprova os valores encontrados, visto que os piores desempenhos ocorreram para as inclinações longitudinais.

Os três níveis de fertilizantes utilizados apresentaram diferença significativa entre si, sendo que o fertilizante mistura granular apresentou os valores médios mais próximos da dosagem preestabelecida. O fertilizante farelado apresentou, em média, valores 5,34% inferiores à dosagem calibrada, enquanto que o fertilizante mistura de grânulos apresentou valores 8,13% superiores.

Ao analisar os dados do teste de médias em conjunto com a Tabela 5, pode-se inferir que, apesar do fertilizante granular apresentar valores médios muito próximos do valor calibrado, o CV de dosagem é o mais alto entre os tipos de fertilizante. Isso indica que, apesar de, na média geral, o valor estar bem próximo do calibrado, ao longo da linha de distribuição desse fertilizante ocorre variações.

Também é possível inferir que o fertilizante do tipo farelado, apesar de apresentar uma maior uniformidade na distribuição de fertilizante ao longo da linha, está subestimando a dosagem de fertilizante preestabelecida.

Os resultados encontrados corroboram os valores encontrados por Garcia *et al.* (2017) e os encontrados por Bonotto (2012), que encontraram o melhor desempenho para o fertilizante mistura farelada. As análises complementares à ANOVA, das interações entre os fatores principais que apresentaram interação significância, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Teste de Scott-Knott para a interação entre os fatores mecanismo e inclinações

<b>Média de fertilizante dosado a cada 50 mm para cada tratamento (g)</b>		
<b>Inclinação</b>	<b>Mecanismo Dosador</b>	
	<b>Rosca Helicoidal Dupla</b>	<b>Transbordo Transversal</b>
11° Ascendente	0,803 Ab	0,940 Aa
11° Descendente	0,778 Aa	0,633 Db
11° Direita	0,726 Ba	0,745 Ba
11° Esquerda	0,713 Ba	0,698 Ca
0° Nivelado	0,769 Aa	0,763 Ba

Fonte: Do autor (2021).

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem pelo teste de Scott- Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

A presença de interações entre os mecanismos dosadores e diferentes níveis de inclinações é fato conhecido na literatura acadêmica, como pode ser comprovada pelas pesquisas realizadas por Ferreira *et al.* (2010). No entanto, com relação ao desempenho na dosagem longitudinal de fertilizante do mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla, existem poucos estudos.

Os dois dosadores apresentaram as maiores diferenças médias em relação ao valor calibrado na posição 11° ascendente, apresentando valores de sobredosagem de 7,06% e 25,33% para os dosadores rosca helicoidal dupla e transbordo transversal,

respectivamente. Houve diferença significativa entre os dois dosadores nessa posição, e também houve diferença significativa dessa posição em relação aos outros níveis deste fator no dosador com descarga por transbordo transversal.

Na posição 11° descendente, houve diferença significativa entre as médias dosadas pelos dois dosadores, sendo que o dosador com duplo helicóide apresentou valores mais próximos à média calibrada, enquanto o dosador com descarga por transbordo transversal apresentou uma sub dosagem em relação à calibragem inicial, fato esse que já foi observado anteriormente por outros autores, como Reynaldo (2013) e Bonotto (2012).

Os resultados encontrados levam a depreender que o mecanismo dosador com duas roscas apresenta menor suscetibilidade aos efeitos de inclinações que simulam o deslocamento em alices da máquina.

Com relação às inclinações transversais, os dois dosadores não diferiram entre si. Contudo, o dosador com rosca helicoidal dupla apresentou a maior variação nos níveis de inclinação transversal comparada às demais posições, ocorrendo uma sub dosagem de fertilizante de 3,2% e 4,93 % para as posições 11° direita e 11° esquerda, respectivamente.

Os resultados encontrados vão ao encontro das observações realizadas por Schiavon et al (2020), que encontraram as maiores variações nas inclinações transversais para esse mecanismo dosador.

Os dois dosadores obtiveram bom desempenho na posição 0° nivelado, apresentando variações das médias em relação à dosagem preestabelecida de 2,53% e 1,73% para os dosadores com rosca helicoidal dupla e transbordo transversal, respectivamente. Também, não houve diferença significativa entre os dosadores para esse nível de inclinação.

Com relação à capacidade de redução dos efeitos das inclinações pelo mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla, o mecanismo apresentou diferença significativa entre as inclinações longitudinais e transversais. Cabe ressaltar que as diferenças em relação à média calibrada foram menores que o mecanismo com descarga por transbordo transversal.

O mecanismo com duplo helicóide apresentou um melhor desempenho na redução dos efeitos das inclinações longitudinais, apresentando diferença significativa com relação ao dosador com transbordo transversal.

A Tabela 9 apresenta o teste de Scott-Knott em relação às médias dos fatores que apresentaram interação significativa pelo teste f. Ao avaliar os resultados encontrados, é possível observar que não houve diferença significativa entre os dosadores com relação às médias em função do tipo de fertilizante. No entanto, é possível perceber que, ao variar os tipos de fertilizantes, houve diferença entre as médias de dosagem de cada dosador.

Tabela 9 - Teste de Scott-Knott para interação entre os fatores mecanismo dosador e tipo de fertilizante

<b>Média de fertilizante dosado a cada 50 mm para cada tratamento (g)</b>		
<b>Tipo de Fertilizante</b>	<b>Mecanismo Dosador</b>	
	<b>Rosca Helicoidal Dupla</b>	<b>Transbordo Transversal</b>
Mistura Granular	0,768 Aa	0,732 Ba
Mistura de Grânulos	0,790 Aa	0,831 Aa
Farelado	0,716 Ba	0,703 Ba

Fonte: Do autor (2021).

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem pelo teste de Scott- Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Os dois dosadores apresentaram o melhor desempenho para o fertilizante mistura granular, com valores de variação das médias em relação à dosagem de calibração de 2,4% ambos dosadores, sendo que o dosador com rosca helicoidal dupla apresentou uma sobredosagem, enquanto o dosador por transbordo transversal apresentou uma sub dosagem.

O dosador com descarga por transbordo transversal apresentou o pior desempenho para a dosagem do fertilizante tipo mistura de grânulos com uma variação de 10,8% em relação à média preestabelecida. O dosador com rosca helicoidal dupla apresentou um desempenho um pouco melhor em relação ao mesmo fertilizante, com uma variação de 5,33%, todavia, não houve diferença significativa entre os dois dosadores para a dosagem desse fertilizante.

Para o fertilizante farelado, os dois mecanismos dosadores apresentaram uma sub dosagem em relação ao valor de calibração, com valores de 4,53% e 6,26% para os dosadores com duplo helicoide e transbordo transversal, respectivamente.

Ao avaliar o desempenho de cinco mecanismos dosadores, Bonotto (2012) encontrou valores semelhantes aos encontrados nesta pesquisa. Ainda segundo o autor, o dosador com descarga por transbordo transversal apresentou o melhor desempenho na dosagem quando o fertilizante utilizado foi o farelado (BONOTTO, 2012). Os dados encontrados nesses experimentos e nas avaliações de Bonotto (2012) em relação ao desempenho dos mecanismos dosadores do tipo rosca helicoidal são corroborados por Garcia *et al.* (2017).

Com base nos resultados apresentados até aqui, é possível observar que houve influência do tipo de fertilizante na distribuição longitudinal de fertilizante, visto que há diferença significativa entre as médias dos fertilizantes utilizados.

#### 4.3 DESEMPENHO DOS DOSADORES EM FUNÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DA DOSAGEM E DA PRECISÃO

Como forma de ampliar as análises de avaliação do desempenho dos mecanismos dosadores, as dosagens de fertilizante foram classificadas segundo a metodologia apresentada no capítulo Materiais e Método em: Subdose, quando os valores da dosagem em cada célula de coleta de fertilizante foram menores que 0,8 a dose de referência; Dose, quando os valores representaram o intervalo de 0,8 a 1,2 da dosagem de referência; Sobredose, quando os valores dosados foram maiores que 1,2 da dosagem de referência. Também foi avaliada a precisão de dosagem, que se refere ao desvio padrão da massa de fertilizante dosada nos coletores que foram classificados como Dose.

Ao avaliar-se o desempenho dos dosadores através da classificação em Subdose, Dose e Sobredose (Tabela 10), pode-se observar que os dois mecanismos tiveram comportamentos semelhantes para a classificação Dose, apresentando valores classificados como Dose em 52,73% e 55 % dos coletores para os dosadores com duplo helicoide e com transbordo transversal respectivamente.

Não houve diferença significativa entre os dois dosadores pelo teste de Scott-Knott e os efeitos dos dosadores não foram significativos nas variáveis resposta pelo teste f. O dosador com descarga por transbordo transversal apresentou uma precisão maior que o dosador com duas roscas helicoidais com valores de 9,96% e 10,52%, respectivamente. Cabe lembrar que, quanto mais próximos de zero os valores, então, melhor é a precisão.

Tabela 10 - Análise de variâncias e teste de Scott-Knott das variáveis Subdose, Dose, Sobredose e Precisão

<b>Fatores</b>	<b>Subdose (%)</b>	<b>Dose (%)</b>	<b>Sobredose (%)</b>	<b>Precisão (%)</b>
<b>Mecanismo Dosador</b>				
Duplo Helicoide	18,86 a	52,73 a	28,41 a	10,52 a
Transbordo Transversal	23,03 a	55,00 a	21,97 a	9,96 a
<b>Inclinação</b>				
0° Nivelado	15,83 b	57,91 a	26,25 b	10,46 a
11° Ascendente	16,25 b	38,75 a	45,00 a	11,53 a
11° Descendente	30,42 a	55,00 a	14,58 b	9,40 a
11° Esquerda	27,92 a	55,83 a	16,25 b	9,64 a
11° Direita	17,08 b	63,33 a	19,58 b	9,78 a
<b>Fertilizantes</b>				
Mistura Granular	30,50 a	39,75 b	29,75 a	11,24 a
Mistura de Grânulos	18,25 b	49,00 b	32,75 a	10,62 a
Farelado	15,75 b	73,75 a	10,50 b	8,63 b
CV (%)	31,04	14,78	26,94	9,72
Média Geral	21,50	54,17	24,33	10,16
<b>Teste F</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Dosador (D)	0,1750 <sup>ns</sup>	0,4952 <sup>ns</sup>	0,0606 <sup>ns</sup>	0,2084 <sup>ns</sup>
Inclinação (I)	0,0459*	0,0347*	0,0058*	0,0862 <sup>ns</sup>
Fertilizante (F)	0,0156*	0,0016*	0,0031*	0,0090 <sup>ns</sup>
D x I	0,2372 <sup>ns</sup>	0,2171 <sup>ns</sup>	0,2268 <sup>ns</sup>	0,0661 <sup>ns</sup>
D x F	0,4626 <sup>ns</sup>	1,0000 <sup>ns</sup>	1,0000 <sup>ns</sup>	0,3240 <sup>ns</sup>
I x F	0,3793 <sup>ns</sup>	0,4396 <sup>ns</sup>	0,7049 <sup>ns</sup>	0,2116 <sup>ns</sup>
D x I x F	0,1413 <sup>ns</sup>	0,4188 <sup>ns</sup>	0,1645 <sup>ns</sup>	0,8316 <sup>ns</sup>

Fonte: Do autor (2021).

Nota: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Legenda: (ns) Não significativo; (\*) significativo ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ) de probabilidade.

Franck *et al.* (2013), ao avaliarem o desempenho da distribuição longitudinal de fertilizante de um dosador com descarga por transbordo transversal em função do passo do helicoide e da dosagem, encontraram valores semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

Franck *et al.* (2013) classificaram 52,78% dos coletores como Dose para o mesmo passo aqui utilizado e observaram um desempenho melhor do mecanismo dosador quando foi utilizado um passo de 50,80 mm, que apresentou valores de 82,78% para a classificação Dose. Com relação à precisão, o valor foi de 11,46%, o que demonstra um desempenho semelhante aos encontrados nesta pesquisa.

Os efeitos dos níveis de inclinação apresentaram significância nas variáveis respostas analisadas. Para a inclinação 11° ascendente, que simula o deslocamento em auge da semeadora, ocorreu sobredosagem de fertilizante em 45,0% dos coletores. Os efeitos do deslocamento em declive são representados pela inclinação 11° descendente; nessa posição, ocorreu sub dosagem de fertilizante em 30,42%.

Os valores encontrados vão ao encontro das observações de Rosa *et al.* (2019), que encontraram os piores desempenhos do mecanismo dosador para as posições inclinadas ascendentes e descendentes. Reynaldo (2013) relata que, em inclinações ascendentes, a dosagem é aumentada pela ação da gravidade, formato dos grânulos e folgas no dosador.

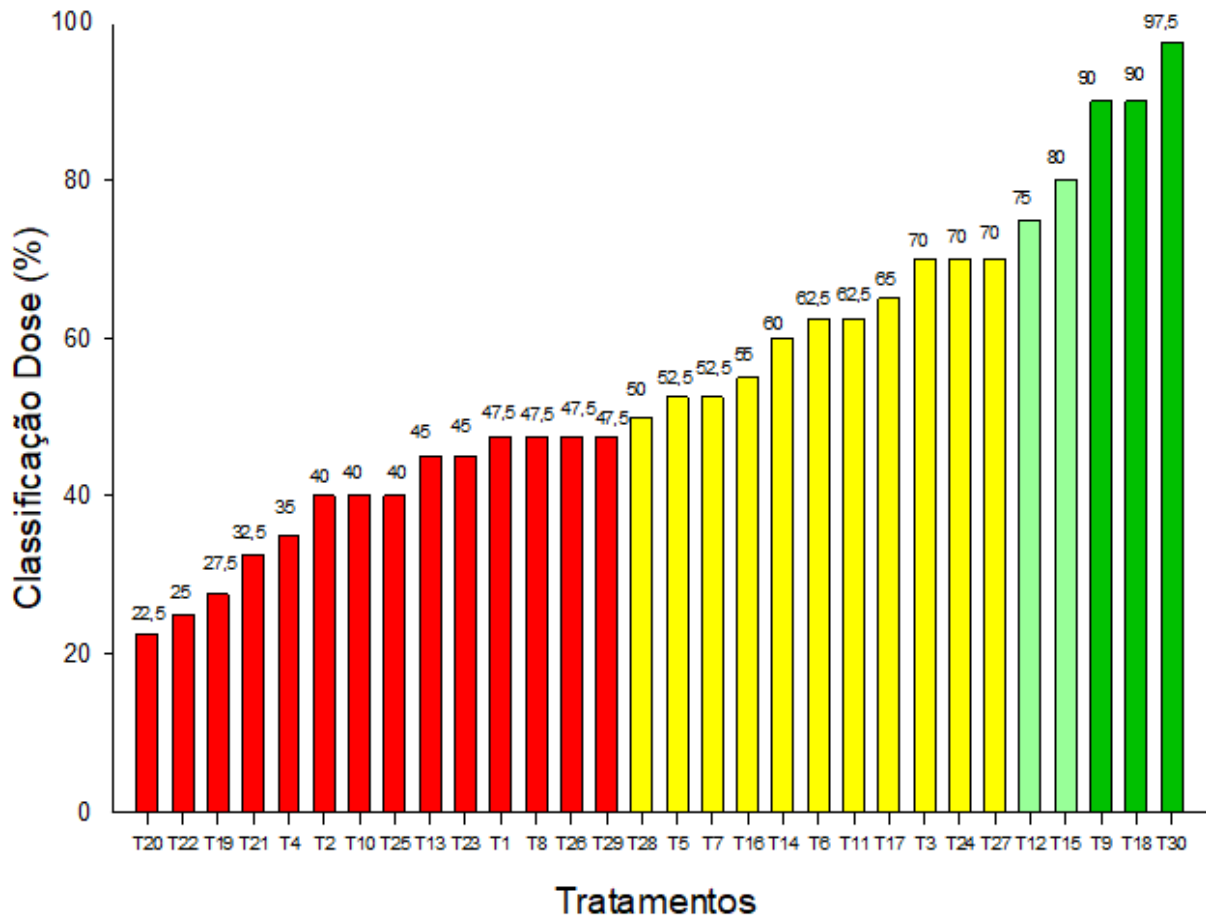
Com relação aos diferentes tipos de fertilizantes utilizados, foi possível observar significância com as variáveis resposta. O melhor desempenho dos dosadores ocorreu no fertilizante classificado como farelado, com 73,75% das dosagens classificadas como Dose e precisão de 8,63%. Para o fertilizante mistura de grânulos, ocorreu uma sobredosagem em 32,75% dos coletores e 49% foram classificados como Dose e obteve uma precisão de 10,62%.

O fertilizante mistura granular apresentou o pior desempenho para a classificação Dose, 39,75%, e valores elevados de dosagens classificadas como Subdose e Sobredose, o que demonstra a grande variação na dosagem desse fertilizante. A precisão foi de 11,24%, a menor em relação aos demais tipos de fertilizantes.

Ao avaliar a análise das variâncias das interações entre as combinações dos fatores principais, observa-se que não apresentaram interação significativa pelo teste *f*. Os dosadores foram classificados com relação ao seu desempenho segundo a metodologia adaptada de Torino e Klingensteiner (1983), os valores encontrados são apresentados na Figura 16.

Apenas três tratamentos apresentaram desempenho classificado como ótimo, o melhor desempenho ocorreu para o tratamento T30, que consiste no dosador com descarga por transbordo transversal na posição inclinada 11° direita com o fertilizante farelado.

Figura 16 - Classificação de desempenho dos dosadores em função dos tratamentos



Fonte: Do autor (2021).

Todos os tratamentos que tiveram classificação ótima utilizaram o fertilizante tipo farelado. Isso demonstra o melhor desempenho dos mecanismos dosadores quando estão utilizando esse tipo de fertilizante, indo ao encontro das avaliações de Garcia *et al.* (2017) e Bonotto (2012), que encontraram melhores desempenhos dos dosadores quando utilizado o fertilizante farelado.

Dois tratamentos foram classificados como bom, sendo os tratamentos referentes ao dosador com rosca helicoidal dupla, com o fertilizante farelado nas inclinações 11° direita e 11° esquerda.

Os dosadores foram classificados com desempenho ruim em 11 tratamentos, e insatisfatório em 14 tratamentos. Três tratamentos apresentaram valores inferiores a 30% de classificação Dose, todos os tratamentos utilizavam o dosador com descarga por transbordo transversal, na posição 11° ascendente e 11° descendente, para os fertilizantes mistura granular e mistura de grânulos.



Em uma análise geral do desempenho dos dois dosadores, pode-se classificar, segundo a metodologia utilizada, como ruim o desempenho dos dosadores para distribuição uniforme de fertilizante, visto que, em 83,33% dos 30 tratamentos, o resultado encontrado foi ruim ou insatisfatório.

Ao analisar o conjunto total de dados, levando em conta os coeficientes de variação, os desempenhos e as análises estatísticas, os dados demonstraram que, estatisticamente, apesar de um coeficiente de variação menor e um desempenho melhor na distribuição longitudinal de fertilizante, não houve diferença significativa entre o dosador com rosca helicoidal dupla e o dosador com descarga por transbordo transversal.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nas condições em que este estudo foi realizado, é possível concluir que o dosador com rosca helicoidal dupla apresenta um melhor desempenho geral e na maioria dos tratamentos propostos. Entretanto, esse melhor desempenho não reflete em uma diferença estatística significativa no desempenho geral entre os dois dosadores.

Com relação à capacidade de redução dos efeitos das inclinações pelo mecanismo dosador com rosca helicoidal dupla, a hipótese (a) é rejeitada, pois o dosador apresentou diferenças significativas entre os diferentes níveis de inclinação, o que demonstra que o dosador sofre influência dos efeitos das inclinações. Cabe ressaltar que apesar de sofrer com os efeitos das inclinações, esse mecanismo apresenta uma maior estabilidade na dosagem em inclinações longitudinais.

Ao avaliar a influência das características granulométricas dos fertilizantes no desempenho do mecanismo dosador, a hipótese (b) é rejeitada, tendo em vista que os dois dosadores sofreram influência na dosagem longitudinal de fertilizante causadas pela alteração desse fator.

Ao analisar a capacidade de redução dos efeitos da liberação em pulso na dosagem do fertilizante, a hipótese (c) é também rejeitada, uma vez que o dosador com duplo helicoide apresentou um coeficiente de variação elevado na dosagem de fertilizante ao longo da linha. O que demonstra que ocorrem variações na quantidade de fertilizante que é dosada ao longo da linha de semeadura.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. *et al.* Avaliação da higroscopicidade de fertilizantes e corretivos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 49, n. 1, p. 137-144, 1992.
- ALONÇO, A. S. Ensaio, pesquisa e experimentação de máquinas agrícolas. *In*: ALONÇO, A. S. **Máquinas Agrícolas**. Santa Maria: UFSM, 1999. Caderno didático.
- ALTMANN, A. S. *et al.* Metodologia para avaliação dos mecanismos dosadores de fertilizantes em semeadoras-adubadoras. *In*: SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 14., 2010, Santa Maria. **Anais** [...]. Santa Maria, Centro Universitário Franciscano, 2010.
- ALVES, A. *et al.* Distribuição longitudinal de fertilizante Mistura Granular em diferentes umidades e inclinações de trabalho de um dosador Helicoidal por transbordo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 45., 2016, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: SBEA, 2016.
- AMATO NETO, J. A indústria de máquinas agrícolas no Brasil: origens e evolução. **Revista de Administração de Empresas**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 57-69, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Anuário ABIMAQ 2017/2018**. São Paulo: Public Projetos Editoriais, 2017. Disponível em: <http://online.pubhtml5.com/pbxw/mupu/#p=12>. Acesso em: 29 jan. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5776**: Fertilizantes, corretivos e condicionadores de solo: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1994a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9743**: Semeadora de fluxo contínuo em linha: ensaio de laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 04:015.06-004**: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1994b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 04:015.06-010**: Semeadoras e distribuidoras de fertilizantes ou corretivos – Terminologia: Definições. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 2005.
- BARNES, B.; FORTUNE, T. **Blending & spreading fertilizer - physical properties**. 2014. Disponível em: <https://www.fertilizer-assoc.ie/wp->

content/uploads/2014/10/Blending\_Spreading-Physical\_Characteristics\_B\_Barnes.pdf. Acessado em: 21 maio 2021.

BECKER, R. S. **Desenvolvimento de sensor para quantificação do fluxo de massa de fertilizantes sólidos**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

BEDIN, P. R. *et al.* **Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

BERNACKI, H.; HAMAN, J.; KANFOJKI, C. Z. **Agricultural machines: theory and construction**. Varsóvia: Scientific Publications Foreign Cooperation Center, 1972.

BICA, M. R. R.; SOUZA, E. A. C. Medição de vazão mássica para adubos sólidos em sistemas de Adubação a taxas variáveis. *In: SEMINÁRIO DA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA DA UNESP*, 3., 2009, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: UNESP, 2009.

BONOTTO, G. J. **Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

BONOTTO, G. J. *et al.* **Dosadores de fertilizantes**. 1. ed. Campinas: D7 Editora, 2020. v. 1.

BRANDT, M. A. **Projeto conceitual de um dosador de fertilizante Mistura Granular**. 2010. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 46, de 22 de novembro de 2016**. Ficam estabelecidas as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. Brasília: MAPA, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-46-de-22-11-2016-fert-minerais-dou-7-12-16.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2021.

CAMACHO-TAMAYO, J. H. *et al.* Operational characteristics of four metering systems for agricultural fertilizers and amendments. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 605-613, 2009.

CAMILO, A. J. *et al.* Influência de mecanismos rompedores e velocidade de trabalho no desempenho de semeadora-adubadora de plantio direto do feijão. **Engenharia na Agricultura**, São Paulo, v. 12, p. 203-211, 2004.

- CARDINAL, K. M. *et al.* Determinação do tamanho de amostra para ensaio de regularidade de vazão de dosadores de fertilizante. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 40., 2011, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: SBEA, 2011.
- CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto. *In: CASÃO JR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.* (Eds.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p. 85-126.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no sul do Brasil**: fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. 1. ed. Londrina: IAPAR, 2012.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2018**. 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 25 jan. 2020.
- COELHO, J. L. D. Ensaio e Certificação das máquinas para a semeadura. *In: MIALHE, L. G.* **Máquinas agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. p. 551-570.
- COLOMBINO, A. A.; POLLACINO, J. C. Diseño y construcción de un banco de ensayo para conjuntos dosificadores de sembradoras y fertilizadoras, **Revista de la Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v. 16, n. 1/2, p. 69-72, 1996.
- FERREIRA, M. F. P. *et al.* Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal. **Revista Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 18, p. 297-304, 2010.
- FRANCETTO, T. R. *et al.* **Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes presentes nas semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil**. Londrina: CLIA/CONBEA, 2012.
- FRANCK, C. J. *et al.* Distribuição longitudinal de fertilizantes em função do passo do helicóide. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 42., 2013, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: SBEA, 2013.
- GARCIA, A. P.; CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. Auger-type granular fertilizer distributor: mathematical model and dynamic simulation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 151-163, feb. 2012.
- GARCIA, L. C. *et al.* Performance of fertilizer metering mechanisms of planters as a function of longitudinal inclination. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, p. 1155-1162, 2017.
- HISTÓRICO. **Vence Tudo**, Ibirubá, 2020. Disponível em: [https://www.vencetudo.ind.br/pt\\_BR/historico](https://www.vencetudo.ind.br/pt_BR/historico). Acesso em: 10 fev. 2020.

IMASA. **PHX**: Semeadoras Específicas. 2020. Disponível em: <http://www.imasa.com.br/produtos/phx>. Acesso em: 17 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **O relevo brasileiro**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cnae.ibge.gov.br/en/component/content/article/94-7a12/7a12-vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/1489-relevo-e-clima.html>. Acesso em: 11 mar. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5690-2:1984**. Equipment for distributing fertilizers — Test methods — Part 2: Fertilizer distributors in lines. Switzerland, 1984.

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

KLINE, S. J.; ROSENBERG, N. An overview of innovation. *In*: LANDAU, R.; ROSENBERG, N. (Eds.). **The positive sum strategy**. Washington: National Academy of Press, 1986.

KURACHI, S. A. H. *et al.* Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: Tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

MAHL, D. **Desempenho de semeadoras-adubadoras de milho (Zea mays L.) em sistema de plantio direto**. 2002. 160 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

MALLARINO, A. P.; WITTERY, D. J. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for sitespecific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. **Precision Agriculture**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 131-144, 2004.

MARTINS, M. M. **Desenvolvimento de um dosador helicoidal visando sua utilização em equipamentos de aplicação localizada de fertilizantes sólidos**. 1999. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificações**. Piracicaba: FEALQ, 1996.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para plantio**. 1. ed. Campinas: Millennium, 2012.

MILAN, M.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Ensaio e certificação das máquinas para a semeadura. *In*: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. p. 515-550.

MODOLO, A. J. *et al.* Efeito do teor de água do solo e da carga aplicada pela roda compactadora na velocidade de emergência da soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 5, p. 587-592, 2007.

MOREIRA, L. J. *et al.* Banferti II: bancada para testes com dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas. *In*: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MÁQUINAS PRECISAS, 1., 2011, Não-Me-Toque. **Anais [...]**. Não-Me-Toque: UFSM, 2011.

NAVA, I. A. *et al.* Efeito agroeconômico de adubos contendo zinco de diferentes marcas comerciais no cultivo da soja em um Latossolo Vermelho. **Scientia Agrária Paranaensis**, Cascavel, v. 10, p. 32-44, 2011.

OLIVEIRA, M. L. *et al.* Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1455-1463, jul. 2000.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030. **Agência Brasil**, New York, jun. 2017. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-06/onu-diz-que-populacao-mundial-chegara-86-bilhoes-de-pessoas-em-2030>. Acesso em: 22 mar. 2020.

PAGNUSSAT, L. *et al.* Eficiência de dosadores helicoidais em função da dosagem na cultura da soja. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43., 2014, Campo Grande. **Anais [...]**. Jaboticabal: SBEA, 2014.

PIVETTA, L. A. *et al.* A soja compensa a desuniformidade de distribuição do fertilizante no sulco de semeadura?. *In*: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 20., 2016, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: SBCS; IAPAR, 2016.

PORTELLA, J. A. **Semeadoras para plantio direto**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

PORTELLA, J. A. *et al.* Regularidade de distribuição de sementes e de fertilizantes de semeadoras para plantio direto de trigo e soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 57-64, jun. 1998.

REETZ JR., H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017.

REIS, Â. V. Erros na semeadura. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, p. 12-13, abr. 2001.

REYNALDO, E. F. **Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos tipo helicoidais em diferentes ângulos de nivelamento longitudinal e transversal**. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Ciência e Tecnologia. **RS um estado de inovação: diretrizes estratégicas 2018/2028**. Porto Alegre, 2018. Disponível em:

<https://fapergs.rs.gov.br/upload/arquivos/201905/29160132-diretrizes-estrategicas-para-o-rs-2018-2028.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2020.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Requisitos de qualidade física e química de fertilizantes minerais. *In*: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Orgs.). **Nutrição e fertilização florestal**. 1. ed. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. v. 1, p. 59-78.

ROSA, D. P. *et al.* Methodology to evaluate the fertilizer distribution by helical doser from seed planter. **Journal of Experimental Agriculture International**, [S. l.], v. 31, n. 5, p. 1-7, 2019.

SCHIAVON, C. S. *et al.* Distribuição de fertilizante na linha por um dosador com helicóide duplo. *In*: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 4., 2020, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: UFPel, 2020.

SCHIAVON, C. S. *et al.* Performance de mecanismo dosador de fertilizante com dois helicóides. *In*: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 3., 2019, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: UFPel, 2019.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, sept. 1974.

SHARABY, N. *et al.* A comparative analysis of precision seed planters. **E3S Web Of Conferences**, [S. l.], v. 135, p. 1-19, 2019.

SILVA, G. A. **Estudo da segregação em fertilizantes**. 1995. 169 f. Tese (Livre-Docência) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVA, M. R. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação**. 2003. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, D. R. G.; LOPES, A. S. **Princípios básicos para formulação e mistura de fertilizantes**: Boletim Técnico nº 89. Lavras: Ed. UFLA, 2012.

SIQUEIRA, R. Milho: semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: ABMS, 2008.

SPAGNOLO, R. T. *et al.* Performance of helical metering mechanisms in the application of microgranular fertilizer. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, p. 481-488, 2020.

TESSARIN, M. S.; SUZIGAN, W.; GUILHOTO, J. J. M. **Inovação no Brasil por intensidade tecnológica**: cooperação e origem do capital. São Paulo: FEA-USP, 2019. (Working Paper Series Nº 2019-06)



TORINO, M. C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIS AGRÍCOLA, 13.*, Rio de Janeiro, 1983. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1983. v. 2, p. 103-116.

UHRY, D. **Avaliação e critério para a utilização de semeadora com sistema de taxa variável de sementes na cultura da soja**. 2013. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ULIANA, M. B. *et al.* Avaliação da uniformidade de distribuição longitudinal de adubo em semeadora – adubadora utilizando rosca sem fim comum e modificada. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34.*, 2005, Canoas. **Anais** [...]. Canoas: ULBRA, 2005.

VERARDI, J. *et al.* Distribuição longitudinal de fertilizante Mistura Granular em diferentes inclinações e posição da rosca de um dosador de rosca helicoidal dupla. **Tecnología En Marcha**, Cartago, v. 32, n. 7, p. 128-134, 2019.