

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO

Área de concentração: Projeto e Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOSADORES DE
FERTILIZANTES DE SEMEADORAS ADUBADORAS

Vinícius Reginato Taufer

Passo Fundo

2020



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

Vinícius Reginato Tauffer

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOSADORES DE FERTILIZANTES DE
SEMEADORAS ADUBADORAS

Passo Fundo

2020

Vinícius Reginato Tauffer

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOSADORES DE FERTILIZANTES DE
SEMEADORAS ADUBADORAS**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2020

CIP – Catalogação na Publicação

- T224a Taufer, Vinícius Reginato
 Avaliação do desempenho de dosadores de fertilizantes de
 semeadoras adubadoras [recurso eletrônico] / Vinícius
 Reginato Taufer. – 2020.
 1,445 Kb ; PDF.
- Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber.
 Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de
 Fabricação) – Universidade de Passo Fundo, 2020.
1. Adubos e fertilizantes - Aplicação. 2. Semeadura.
 3. Máquinas agrícolas. 4. Processos de fabricação. I. Walber,
 Márcio, orientador. II. Título.

CDU: 621.9

Vinícius Reginato Tauffer

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DOSADORES DE FERTILIZANTES DE
SEMEADORAS ADUBADORAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 18/11/2020

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber
Orientador

Professor Doutor Paulo Sérgio Gomes da Rocha
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI

Professor Doutor Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor William Haupt
Universidade de Passo Fundo

Aos meus pais, Milton e Ivete.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Milton e Ivete, e minha irmã, Clarissa, que sempre me incentivaram a estudar e, muitas vezes, abriram mão do próprio conforto para possibilitar as minhas formações.

À minha esposa, Amanda Postal Paula, pelo apoio, incentivo e compreensão, sendo que muitas vezes também abriu mão de seu próprio conforto e lazer em razão do meu sonho.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Márcio Walber, que sempre demonstrou acreditar no meu potencial, com paciência, liderança e orientações acima da expectativa; e ao Professor Doutor Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar, que não mediu esforços para me ajudar, com muita paciência e didática, com contribuições muito valiosas para este trabalho.

À empresa FertiSystem, que disponibilizou recursos e acreditou no meu trabalho.

E a todos que me apoiaram e sofreram de alguma forma com minha ausência, resultante das horas dedicadas ao meu objetivo.

RESUMO

O aumento da população mundial e a profissionalização na agricultura vêm exigindo uma melhor produtividade na mesma área de cultivo. Dentre várias alternativas, está a dosagem precisa do fertilizante no momento da semeadura, que garante um aumento da produção e redução do custo, ficando à cargo do dosador de fertilizante instalado na semeadora adubadora. Este trabalho apresenta o comparativo entre os principais dosadores de fertilizantes utilizados em semeadoras adubadoras quanto à uniformidade na distribuição longitudinal e a variação na dosagem em inclinações longitudinais. Foram avaliados o dosador tipo rosca sem-fim com descarga lateral, dosador tipo duplo sem-fim, dosador tipo rotor dentado e dosador com transbordo transversal utilizando um sem-fim maciço. O experimento foi realizado em um laboratório de uma empresa de produtos agrícolas, com o uso de uma bancada desenvolvida especialmente para esse tipo de estudo. Para fazer a função de fertilizante, foi validado o uso de pellets de poliamida, que possui as características muito semelhantes ao fertilizante comercial 02-20-20, além de possuir boa resistência mecânica, não ser higroscópico e ter granulometria homogênea, o que garante a repetibilidade do experimento. Na avaliação da distribuição longitudinal, o dosador que apresentou melhor desempenho foi o do tipo rotor dentado, seguido dos dosadores do tipo duplo sem-fim, sem-fim maciço em dosador do tipo transbordo transversal e sem-fim com descarga lateral, os quais apresentaram valores de coeficiente de variação 6,1 %, 7,7 %, 9,4 % e 13,3 % respectivamente. O experimento de variação de dosagem em diferentes inclinações longitudinais indicou que o melhor desempenho é observado no dosador do tipo sem-fim com descarga lateral, com CV igual a 4,4%, seguido respectivamente pelos dosadores do tipo rotor dentado (CV 7,6 %), duplo sem-fim (CV 8,2 %) e sem-fim maciço em dosador do tipo transbordo transversal (CV 11,5 %). Quanto ao número de unidades de coleta necessárias para avaliar o coeficiente de variação da distribuição longitudinal de fertilizantes, utilizando essa bancada e demais condições citadas neste trabalho, os resultados indicaram que a quantidade de 24 unidades de coleta é a menor que não difere estatisticamente das demais quantidades de unidades de coletas, ao nível de 5 % de probabilidade de erro.

Palavras-chave: Dosador de fertilizante. Experimento de máquinas agrícolas. Variação de dosagem.

ABSTRACT

The increase in the world population and the professionalization of productive agriculture, which requires better productivity in the same area of cultivation. Among several alternatives, there is the precise dosage of the fertilizer at the time of sowing, which guarantees an increase in production and cost reduction, being in charge of the fertilizer dispenser installed in the fertilizer seeder. This work presents the comparison between the main fertilizer feeders used in fertilizer sowing machines as to the uniformity in the longitudinal distribution and a variation in the dosage in longitudinal slopes. Worm feeder with side discharge, double worm feeder, toothed rotor feeder and transverse overflow feeder using a solid worm were taken. The experiment was carried out in a laboratory of an agricultural products company, using a bench developed especially for this type of study. To make the fertilizer function, the use of polyamide pellets has been validated, which has characteristics very similar to the commercial fertilizer 02-20-20, besides having good mechanical resistance, not being hygroscopic and having homogeneous granulometry, which guarantees the repeatability of the experiment. In the evaluation of the longitudinal distribution, the doser that shows the best performance was the toothed rotor type, followed by the double-screw, solid screw dosers in a transverse overflow and screw-type doser with lateral discharge, which are associated values of variation coefficient 6.1%, 7.7%, 9.4% and 13.3% respectively. The experiment of variation of dosage in different longitudinal inclinations indicated that the best performance is observed in any doser of the endless type with lateral discharge, with CV equal to 4.4%, followed respectively by the dosers of the toothed rotor type (CV 7.6 %), double screw (CV 8.2%) and massive screw in a transverse overflow dispenser (CV 11.5%). As for the number of collection units to evaluate the coefficient of variation of the longitudinal distribution of fertilizers, using this bench and other conditions mentioned in this work, the results indicated that the number of 24 collection units is the smallest that does not differ statistically from the other quantity of collection units, level of 5% probability of error.

Key words: Fertilizer metering device, agricultural machinery experiment, dosage variation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Local dosador de adubo	20
Figura 2 – Componente sem-fim usado em alguns modelos de dosadores de fertilizante para transporte do adubo	20
Figura 3 – Dosador tipo sem-fim convencional	21
Figura 4 – Dosador com transbordo transversal	22
Figura 5 – Dosador com descarga lateral	22
Figura 6 – Dosador com duplo sem-fim.....	23
Figura 7 – Dosador rotor dentado.....	24
Figura 8 – Posição do dosador durante a semeadura em solos com aclave e declive.....	25
Figura 9 – Vazões de adubo medidas a cada segundo em diferentes relações de transmissão	28
Figura 10 – Coeficiente de variação de dosadores tipo sem fim quando trabalhando em diferentes níveis de reservatório	29
Figura 11 – Bancada elétrica de experimento de dosador de fertilizante utilizada por Bonotto (2012)	31
Figura 12 – Protótipo de sem fim plástico proposto por Reynaldo (2013)	33
Figura 13 – Dosadores utilizados por Garcia <i>et al.</i> (2017).....	34
Figura 14 – Fluxograma da metodologia.....	38
Figura 15 – Bancada para experimento de dosador de fertilizante.....	40
Figura 16 – Regulagem da inclinação dos dosadores.....	41
Figura 17 – Detalhes carro móvel da bancada de experimento.....	41
Figura 18 – Dosadores de fertilizante com sistema de sem-fim: A) Descarga lateral; B) Duplo sem-fim.....	42
Figura 19 – Dosador tipo rotor dentado	43
Figura 20 – Sem-fim maciço	43
Figura 21 – Peneiras utilizadas na determinação da granulometria dos pellets usados no experimento	45
Figura 22 – Reservatório utilizado para medição e cálculo do ângulo de repouso dos pellets	46
Figura 23 – Formato de coleta dos dados	49
Figura 24 – Seleção do dosador a ser experimentado	50
Figura 25 – Bancada usada no experimento com seus respectivos componentes.....	51
Figura 26 – Coletar o material dosado nas unidades de coleta.....	52

Figura 27 – Unidades de coleta de adubo e calha usados no experimento.....	52
Figura 28 – Média dos CV para diferentes quantidades de unidades de coleta utilizadas na bancada de teste	58
Figura 29 – Valores de CV da distribuição longitudinal	61
Figura 30 – Média dos CV na distribuição longitudinal	62
Figura 31 – Coeficientes de variação de dosagem em inclinações longitudinais.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de variação obtidos por Ferreira, 2012	30
Tabela 2 – Coeficientes de variação obtidos por Bonotto, 2012	32
Tabela 3 – Coeficientes de variação encontrados por Reynaldo (2013) em seu experimento com dosadores	33
Tabela 4 – Resumo dos coeficientes de variação médios encontrados em inclinações longitudinais	48
Tabela 5 – Propriedades físicas dos pellets experimentados	55
Tabela 6 – Propriedades físicas dos fertilizantes utilizados por Bonotto (2012)	56
Tabela 7 – Propriedades físicas dos fertilizantes utilizado por Bonotto (2012) e poliamida natural	56
Tabela 8 – Análise de variância.....	58
Tabela 9 – Teste Tukey para diferentes números de unidades de coleta.....	59
Tabela 10 – Coeficientes de variação na distribuição longitudinal dos pellets de poliamida na bancada	60
Tabela 11 – Resultados da análise da variância (ANOVA) para as variáveis dosadores e ângulo de inclinação	63
Tabela 12 – Teste Tukey dosadores e ângulos	63
Tabela 13 – Valor de P – influência da inclinação no resultado de coeficiente de variação de cada dosador	63
Tabela 14 – CV para inclinações longitudinais	64
Tabela 15 – Médias do coeficiente de variação obtidas em cada tipo de dosador de adubo avaliado em bancada experimental.....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivos do trabalho	16
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
1.3	Metodologia da pesquisa	16
1.4	Estrutura do documento	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Tipos de dosadores	19
2.1.1	<i>Dosador tipo sem-fim (helicoidal) convencional</i>	20
2.1.2	<i>Dosador tipo sem-fim com transbordo transversal</i>	21
2.1.3	<i>Dosador tipo sem-fim com descarga lateral</i>	22
2.1.4	<i>Dosador tipo sem-fim com descarga lateral</i>	23
2.1.5	<i>Dosador rotor dentado</i>	23
2.2	ISO 5690/2	24
2.3	Efeito da inclinação em dosadores	25
2.4	Efeito da velocidade da dosagem	27
2.5	Efeito do peso sobre o dosador	27
2.6	Estado da arte da variação de dosagem	29
2.7	Análise estatística	35
2.8	Conclusão da revisão bibliográfica	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Materiais	39
3.1.1	<i>Bancada de experimentos</i>	40
3.1.2	<i>Mecanismos dosadores de fertilizantes</i>	42
3.1.3	<i>Fertilizante</i>	44
3.2	Metodologia de desenvolvimento do experimento	44
3.2.1	<i>Material alternativo ao fertilizante</i>	44
3.2.2	<i>Projeto do experimento</i>	47
3.2.3	<i>Compilação do estado da arte da variação em diferentes ângulos longitudinais</i>	48

3.2.4	<i>Avaliação do número ideal de unidades de coleta para experimento de distribuição longitudinal.....</i>	49
3.2.5	<i>Utilização da bancada</i>	50
3.2.6	<i>Distribuição longitudinal de fertilizantes</i>	52
3.2.7	<i>Variação total da dosagem em diferentes ângulos de inclinação longitudinal.....</i>	53
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
4.1	Validação do uso de pellets poliméricos no uso de experimentos.....	55
4.2	Avaliação do número de unidades de coleta ideal para experimento de distribuição longitudinal.....	57
4.3	Variação da distribuição longitudinal de fertilizantes	60
4.4	Variação total da dosagem em diferentes inclinações longitudinais	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
5.1	Conclusões	67
5.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	68
	REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um aumento considerável na população mundial, fato que não parece se estabilizar em um futuro próximo, tendo em vista os dados apresentados pela ONU, que estima que o número de habitantes no planeta Terra chegue a 8,5 bilhões de pessoas até 2030 (ONU, 2015). Conseqüentemente, também haverá um aumento na demanda por alimentos. Em outra extremidade está o fato de que os recursos naturais são limitados; dentre eles, as áreas rurais destinadas às mais diversas culturas. No Brasil, por exemplo, não se teve um aumento considerável das áreas (de cereais, leguminosas e oleaginosas) cultivadas entre as safras de 2017 e 2018, crescendo apenas 0,05 % (IBGE, 2018).

A produtividade pode ser melhorada com o controle e constância do fertilizante aplicado na lavoura. Rosa *et al.* (2016) realizaram um experimento em campo por três anos seguidos utilizando dois modelos de dosadores, os quais apresentaram diferentes coeficientes de variação de dosagem longitudinalmente. Também foi avaliada a produtividade das áreas em que foram utilizados cada modelo. O autor concluiu que a área plantada com o dosador que apresentou o menor coeficiente de variação resultou em um aumento de 1.388,1 kg/ha na soma do período.

Uma prática muito utilizada no plantio é a aplicação de fertilizante com dose variada, o que permite identificar e disponibilizar para o solo somente o que realmente é necessário para se ter a produtividade desejada. Beras (2014) demonstrou a redução de custo e o aumento de produção ao comparar esta prática com a aplicação de fertilizante em taxa fixa. Para isso, foi realizado um experimento em uma área de 10,54 hectares divididos em 10 parcelas, 5 para cada tratamento. Da análise, concluiu-se que com o uso da taxa variável foi possível obter uma economia de 0,4 % em fertilizante e um aumento de produção de 7,2 %.

Para isso ser viável, é necessário o uso de tecnologias que permitam que a semeadora possa fazer a variação de dosagem de acordo com a sua localização na lavoura. Isso exige uma comunicação via satélite e banco de dados, dentre outros aspectos. Porém, isso tem se tornado cada vez mais acessível. Segundo Lamas (2017), estamos na era da quarta revolução tecnológica na agricultura, denominada “Agricultura 4.0”, com forte conteúdo digital e conectada.

Sabendo das vantagens econômicas e de produtividade, e que há tecnologia para garantir que chegue na semeadora a informação do adubo necessário na posição em que a máquina está na lavoura, o limitante acaba sendo o dispositivo dosador de adubo, os quais sofrem variação de dosagem em função do modelo, sentido do deslocamento da semeadora, tipo do adubo,

dentre outras características. Bonotto *et al* (2013) concluíram que há variação entre a dosagem dos cinco principais dosadores de adubos encontrados hoje no mercado,

1.1 Justificativa

Tendo em vista as vantagens apresentadas anteriormente, em que é possível ter maior produtividade na lavoura com menor custo aplicando a dosagem correta de fertilizante nas áreas a serem cultivadas, fica claro que é preciso garantir que a semeadora adubadora distribua o adubo conforme esperado.

A função de descarregar o fertilizante fica a cargo do dosador, que normalmente fica acoplado abaixo da caixa de adubo da semeadora e tem seu acionamento por engrenagens. O sistema de funcionamento mais comum no mercado é o do tipo sem-fim, que consiste em um tubo fixo que tem em seu interior um mecanismo em formato helicoidal que gira e é o responsável por transportar o adubo até a descarga.

Esse mecanismo, embora tendo muita representatividade no mercado atual e sendo considerado o mais preciso, apresenta variações na dosagem em função da inclinação do terreno onde é utilizado, da variação do passo do sem-fim e da diferença da densidade do adubo. Essa variação pode resultar em uma má distribuição às plantas por aplicar muito sem necessidade em alguns pontos e deixando o solo pobre em outros, resumindo em desperdício de adubo e baixa de produtividade.

Desta forma, dentre os objetivos deste trabalho está o experimento e análise das variações encontradas nos dosadores de fertilizantes mais comuns no mercado, tipo sem-fim com transbordo transversal, sem-fim com descarga lateral, duplo sem-fim, sem-fim maciço e rotor dentado, em inclinações longitudinais de -15° , -10° , -5° , 0° , 5° , 10° e 15° , e na distribuição longitudinal de aplicação.

Vários autores realizaram experimentos com os mesmos objetivos. Porém, neste estudo, foi utilizada uma quantidade maior de inclinações, sendo um total de sete, bem como analisou-se o comportamento de dois dosadores de fertilizantes que não foram encontrados na literatura: dosador do tipo duplo sem-fim e do tipo rotor dentado.

1.2 Objetivos do trabalho

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos, os quais serão guias para o desenvolvimento do presente trabalho.

1.2.1 *Objetivo geral*

Analisar os desempenhos dos dosadores de fertilizantes utilizados em semeadoras adubadoras em diferentes condições (angulações) de trabalho encontradas no campo.

1.2.2 *Objetivos específicos*

Como objetivos específicos, apresentam-se:

1. Identificar um material que possa ser usado como alternativo ao fertilizante para realização de experimentos em dosadores.
2. Analisar comparativamente o desempenho dos dosadores de adubo em inclinação longitudinal;
3. Analisar comparativamente o desempenho dos dosadores de adubo na distribuição longitudinal;
4. Identificar o número mínimo de unidades de coleta para se realizar a avaliação de distribuição longitudinal de dosador de fertilizantes;

Visando facilitar o entendimento, o Quadro 1 apresenta uma breve explicação de cada objetivo proposto neste trabalho, desde o objetivo geral até os específicos.

1.3 Metodologia da pesquisa

Visando ser eficiente e atingir os objetivos propostos anteriormente, foram definidas algumas etapas consideradas cruciais para o desenvolvimento do trabalho, que são apresentadas a seguir:

- Primeira Etapa:** realizar uma revisão bibliográfica sobre os dosadores mais comuns no mercado, bem como sobre os seus comportamentos quando postos para trabalhar em diferentes inclinações e demais fatores que influenciam na variação da dosagem desejada, através da pesquisa do estado da arte.

- Segunda Etapa:** revisão do estado da arte, buscando trabalhos com foco semelhante a este, visando identificar as conclusões encontradas e evitar algum trabalho desnecessário.
- Terceira Etapa:** identificar as características de pellets de diversos polímeros e validar o seu uso para substituir o fertilizante em experimentos de dosadores.
- Quarta Etapa:** realização do experimento em laboratório com o uso de uma bancada desenvolvida para esta linha de pesquisa, em diferentes ângulos de inclinações, e coleta dos dados obtidos.
- Quinta Etapa:** realização de análise estatística, buscando validar o experimento, identificar a repetibilidade e o coeficiente de variação de cada dosador, bem como buscando atingir cada objetivo proposto.
- Sexta Etapa:** avaliação e discussão dos resultados obtidos e apresentação das conclusões do estudo.

1.4 Estrutura do documento

Este trabalho está dividido em cinco tópicos principais com seus respectivos subcapítulos, seguidos da Revisão Bibliográfica.

Capítulo 1 – trata dos assuntos iniciais relacionados ao desenvolvimento do trabalho, tais como justificativa e objetivos.

Capítulo 2 – contém a revisão bibliográfica em que são apresentados os tipos de dosadores (que serão posteriormente usados neste trabalho), algumas variáveis que também influenciam na uniformidade da vazão na distribuição longitudinal e em inclinações (tais como efeito da inclinação, efeito da velocidade, efeito do peso sobre o dosador e efeito do ponto de descida do adubo), revisão dos principais trabalhos desenvolvidos que experimentaram a variação de dosagem de dosadores de fertilizantes de plantadoras adubadoras, encerrando com um resumo de estatística e da norma ISO que prevê metodologias para esse tipo de experimento.

Capítulo 3 – em uma primeira etapa, apresenta os materiais utilizados no experimento, mostrando a bancada utilizada com suas principais características, seguindo com detalhamento dos dosadores de fertilizantes selecionados para a realização do estudo (apresentando também suas características e princípios de funcionamento), e uma breve explicação sobre os materiais (fertilizantes) utilizados em experimentos.

Na sequência, é apresentada a metodologia utilizada, iniciando com o projeto do experimento, modo de utilização da bancada e forma como serão coletados os dados. Posteriormente, são expostos os passos seguidos para avaliar materiais alternativos ao fertilizante. Por fim, apresenta-se a metodologia para determinação do número ideal de unidades de coleta.

Capítulo 4 – apresenta e discute os resultados encontrados para cada objetivo proposto, começando pela validação do uso de pellets para substituir o fertilizante em experimentos, seguindo com a discussão dos valores e resultados encontrados da variação de dosagem na distribuição longitudinal e variação da dosagem dos dosadores em diferentes inclinações, e apresentados os valores para determinação da quantidade ideal de unidades de coleta. Todos os valores coletados foram submetidos a análise de variância e, posteriormente, ao teste Tukey, além de ser calculado o coeficiente de variação.

Capítulo 5 – apresenta as considerações e conclusões finais obtidas após a análise dos dados encontrados com a realização do experimento, tendo foco nos objetivos propostos. Por fim, conclui-se com a sugestão de trabalhos futuros, que possam seguir contribuindo com o estado da arte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se, inicialmente, a definição de dosadores de adubo, descrevendo sua função no implemento agrícola onde normalmente são instalados e suas principais formas de acionamento. Ainda, são expostos os sistemas que estão presentes na maioria das máquinas comercializadas no Brasil e alguns com pouca fatia de mercado, mas que se espera encontrar bons resultados no experimento, explicando e simplificando seu princípio de funcionamento e representatividade no mercado.

Na sequência, são exibidas as influências que algumas variáveis têm sobre a qualidade da dosagem, que resultam em um coeficiente de variação significativamente alto. São retratados diversos autores e experimentos que apontam a inclinação, a velocidade e o peso do adubo sobre o dosador como fatores que têm relação direta com a uniformidade da distribuição. Finalmente, é dada uma maior atenção ao estado da arte da variação da dosagem, relacionando alguns trabalhos com o mesmo foco deste, apresentando suas metodologias, resultados encontrados e realizando uma comparação entre os autores.

Por fim, é feita uma revisão sobre estatística, apresentando alguns conceitos e metodologia para utilização em estudos e experimentos, apresentando os principais passos e cálculos realizados.

2.1 Tipos de dosadores

Os dosadores são os mecanismos que têm a função de realizar a movimentação do adubo do reservatório do implemento agrícola até o tubo condutor que o leva até o sulco aberto no solo em uma vazão constante (ISO 5690/2, 1984). Geralmente, possuem acionamento através de um eixo que está ligado ao rodado da máquina através de correntes e sistemas de redução por coroa e pinhão, motor hidráulico ligado diretamente em um eixo que aciona diversos sistemas, ou motor elétrico que aciona um conjunto ou individualmente.

Esses mecanismos são muito comuns em semeadoras adubadoras, as quais tem a função de distribuição de sementes e dosagem de adubos que servem de nutrientes, sendo normalmente instalados logo abaixo do reservatório ou caixa de adubo (Reynaldo, 2013). Os dosadores também podem ser encontrados em máquinas para plantio de cana (que não realiza a dosagem de semente), sistemas de adubação especiais, dentre outros. A Figura 1 apresenta uma semeadora adubadora, indicando os itens e sistemas citados anteriormente.

Figura 1 – Local dosador de adubo



Fonte: Adaptado de Deere (2019)

Existem vários modelos com princípios de funcionamentos muito distintos em alguns casos e bem semelhantes em outros. Francetto *et al* (2012), pesquisaram e avaliaram 18 marcas de fabricantes de semeadoras adubadoras nacionais, chegando a 558 modelos destinados aos mais diversos tamanhos de produtores rurais e concluíram que os dosadores helicoidais estão presentes em 94,44 % dos modelos. Ainda, identificaram mais três modelos de dosadores de fertilizantes presentes em semeadoras adubadoras, porém com menos representatividade. São eles: dosador tipo disco horizontal giratório, rotor acanalado e rotor dentado.

2.1.1 Dosador tipo sem-fim (helicoidal) convencional

Um conceito que se destaca frente aos demais dosadores, sendo o mais utilizado hoje no mercado, é o sistema helicoidal. Ele possui um eixo sem-fim, ou mola, que é responsável por transportar o adubo até o ponto de descarga com o seu movimento de giro (Bonotto, 2012). Esse componente pode ser visualizado na Figura 2.

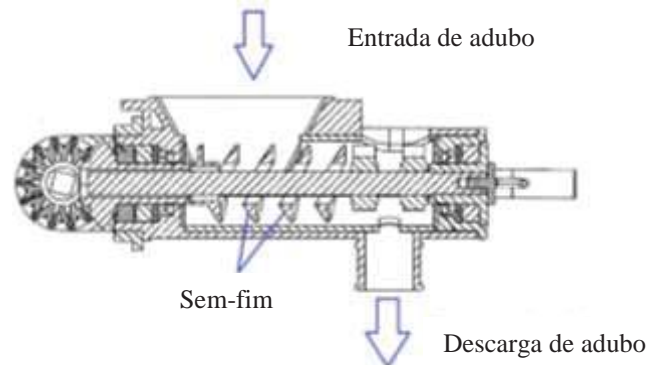
Figura 2 – Componente sem-fim usado em alguns modelos de dosadores de fertilizante para transporte do adubo



Fonte: Agromac (2019)

O sistema chamado de dosador convencional consiste em um mecanismo que transporta o adubo do seu ponto de entrada até a saída, através do giro do seu sem-fim, onde a descarga ocorre por gravidade (Bonotto, 2012). Esse dosador, ilustrado na Figura 3, fica acoplado logo abaixo da caixa de fertilizante da semeadora, que o mantém sempre cheio do produto a ser dosado.

Figura 3 – Dosador tipo sem-fim convencional



Fonte: Adaptado de Felizari (2013).

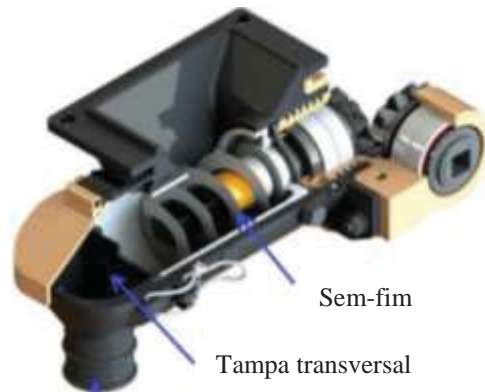
O sistema de dosador com sem-fim passou por evoluções ao longo do tempo, em busca de melhorar o seu coeficiente de variação da vazão mássica, tanto na semeadura em solos de topografia plana quanto em solos de topografia acidentada (inclinada). Atualmente, os mais comuns são o dosador com transbordo transversal e o dosador com descarga lateral, pois ambos podem ser encontrados como itens de série em semeadoras adubadoras. Há alguns anos entrou no mercado um dosador com duplo sem-fim, sendo que esse também fará parte do experimento deste trabalho.

2.1.2 *Dosador tipo sem-fim com transbordo transversal*

Segundo Bonotto (2012), o dosador com transbordo transversal se caracteriza por possuir uma espécie de represa, ou tampa transversal, que acumula o adubo deslocado pelo sem-fim, fazendo com que ele transborde e saia pela descarga de forma mais homogênea; e a vazão de adubo pode ser controlada variando a velocidade angular do sem-fim, substituindo o sem-fim por outro com passo diferente (maior ou menor), ou mudando a altura da tampa transversal. Na Figura 4 é apresentado esse dosador com seus principais componentes. Normalmente, para grandes vazões são utilizados o sem-fim com passo 2 e a tampa com a

menor altura; ao contrário, quando se busca baixa vazão, é utilizado o sem-fim com passo $\frac{3}{4}$ de polegada e a tampa com a maior altura.

Figura 4 – Dosador com transbordo transversal



Fonte: Adaptado de Agromac (2019)

Esse sistema busca uma uniformidade da vazão na distribuição longitudinal, visto que a tampa transversal tem a função de neutralizar o pulso do adubo resultante do giro da última volta do sem-fim, e permite uma descarga constante do adubo por transbordo.

2.1.3 Dosador tipo sem-fim com descarga lateral

O sistema com descarga lateral, diferente da grande maioria dos dosadores com sem-fim, é caracterizado por possuir a descarga do adubo na lateral final do tubo condutor (Bonotto, 2012), onde o mesmo também represa e transborda após ser transportado pelo sem-fim. Assim como nos dosadores citados anteriormente, sua vazão pode ser ajustada alterando a rotação e através da troca do sem-fim.

Figura 5 – Dosador com descarga lateral



Fonte: Autor (2019)

Esse dosador é de uso exclusivo de uma empresa fabricante de máquinas agrícolas, e será estudado por ter boa representatividade no mercado nacional.

2.1.4 *Dosador tipo sem-fim com descarga lateral*

Existe também uma variação que usa um sistema de duplo sem-fim, sendo caracterizado por possuir duas helicoides que fazem o transporte do adubo em sentido contrário, fazendo com que o mesmo seja descarregado ao final por gravidade. Esse funcionamento é bem semelhante ao do sistema convencional, e pode ter a vazão alterada com o aumento ou diminuição da rotação e troca dos sem-fins por outros com passo diferente. A Figura 6 apresenta uma vista superior desse sistema, em que estão indicados em vermelho os sentidos de transporte do adubo.

Figura 6 – Dosador com duplo sem-fim



Fonte: Adaptado de Sinuello (2019)

Este princípio de funcionamento visa manter a vazão constante do fertilizante quando a semeadura é feita em solos que apresentam aclive e/ou declive, visto que o sentido oposto dos seus dois sem-fins tem a tendência de compensar a quantidade dosada ao ponto em que ele se inclina.

2.1.5 *Dosador rotor dentado*

Um sistema de dosador que é pouco encontrado no Brasil e mais comum na Europa e Argentina é o rotor dentado, que, segundo Francetto *et al* (2012), está presente em 0,5% das máquinas nacionais pesquisadas. Esse dosador, também conhecido como Chevron (D'AMICO *et al* 2012), é usado tanto para adubo quanto para sementes miúdas. Seu funcionamento é

semelhante ao dosador com rotor acanalado, porém, se caracteriza por possuir alguns dentes, os quais são responsáveis por fazer o transporte do adubo até a descarga do mesmo, conforme exposto na Figura 7.

Figura 7 – Dosador rotor dentado



Fonte: D'Amico *et al* (2012)

Sua vazão pode ser alterada variando a velocidade do rotor ou através da regulagem do fundo móvel. Assim como todos os modelos de dosadores, a velocidade do sistema varia linearmente com a velocidade do trator e da semeadora em que está acoplado, aumentando sua rotação ao passo em que se aumenta a velocidade de semeadura, por exemplo.

2.2 ISO 5690/2

A norma ISO 5690/2 (1984) apresenta os testes de distribuidores de fertilizante, definindo princípios metodológicos em que são apresentadas diversas formas de realizar os experimentos conforme cada demanda, além de trazer a forma como devem ser processados os dados e posteriormente apresentados. Os testes relacionados pela norma são: efeito do nível do fertilizante no funil, efeito da taxa de fluxo, efeito da inclinação e efeitos de colisões.

Inicialmente são apresentadas algumas definições, tais como o mecanismo de alimentação, o qual também é chamado de dosador de adubo ou fertilizante, e taxa de fluxo, que representa a vazão de fertilizante dosada pelo mecanismo. A escolha do dosador fica a critério do responsável pelo experimento.

Quanto ao fertilizante, é indicado que sejam utilizados três tipos: fertilizante granulado, fertilizante peletizado e qualquer outro que o responsável pelo experimento considere importante. Além disso, devem ser determinadas as propriedades físicas do mesmo:

granulometria, densidade solta, teor de água e ângulo de repouso. Também é indicado que conste a umidade relativa do ambiente do teste no relatório.

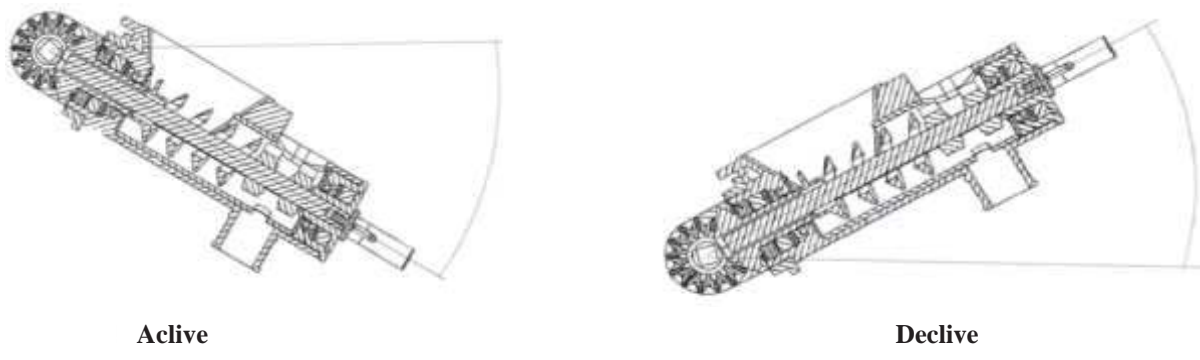
Com a função de coletar o adubo somente de um dosador, é indicado o uso de recipientes com dimensões de 500x500x150 (mm), e recomenda medidas que evitem o derrame do mesmo por efeitos de ricochete.

Para a interpretação dos resultados, a norma indica o cálculo do coeficiente de variação, que é a razão do desvio padrão pela média absoluta dos dados coletados.

2.3 Efeito da inclinação em dosadores

Embora seja recomendado a semeadura em nível, como proposto por Reynaldo (2013), ainda existem algumas áreas que não permitem tal prática, sendo necessário trabalhar em aclive e/ou declive (a subir e/ou descer). Desta forma, os dosadores de fertilizantes passam a apresentar variações na sua dosagem (comparada a qual foi regulada inicialmente), visto que, de certa forma, a gravidade afeta diretamente na força necessária para transportar o adubo até a descarga do dosador. A Figura 8 apresenta as posições em que o dosador fica quando a semeadura é feita em aclive e quando é feito em declive, em que varia o seu ângulo de inclinação longitudinal.

Figura 8 – Posição do dosador durante a semeadura em solos com aclive e declive



Fonte: Adaptado de Felizari (2013)

Quando se trata de dosadores tipo sem-fim, quando é feita a semeadura em aclive a quantidade de adubo descarregado pelo dosador é, em alguns casos, consideravelmente maior do que a quantidade desejada ou regulada com o mesmo em nível. Da mesma forma, quando a semeadora trabalha em declive, a dosagem de adubo acaba sendo menor do que a desejada.

Devido a isso, muitos pesquisadores e instituições vêm fazendo experimentos visando encontrar o sistema que apresenta o menor coeficiente de variação, conseqüentemente, melhor desempenho.

Ferreira *et al* (2010) realizaram um experimento com modelos de dosadores de fertilizantes tipo sem-fim convencional e tipo sem-fim com transbordo transversal, simulando seu trabalho em diferentes inclinações longitudinais, trabalhando em aclave e declive. Com base nos resultados encontrados, pode-se identificar que ambos os sistemas alteram a quantidade média de fertilizante dosado em inclinações de 10 ° de aclave e 10 ° de declive. Dentre eles, quem apresentou melhor desempenho foi o dosador com transbordo transversal.

Da mesma forma, Bonotto (2012), ao realizar um experimento em que foram avaliados cinco modelos de dosadores quando submetidos a uma situação de trabalho com inclinações longitudinais entre -11 ° e + 11 °, identificou variações consideráveis em todos os dosadores, sendo que somente três modelos ficaram com coeficiente de variação menor que 10 %. Até mesmo nos modelos rotor acanalado e disco estrela, que não haviam sido citados até o momento.

Reynaldo (2013); Reynaldo, Gamero (2015) e Reynaldo *et al* (2016), avaliaram o desempenho de 12 modelos de dosadores de fertilizante em bancada, sendo dois modelos do tipo sem-fim com transbordo transversal, dois modelos do tipo sem-fim com descarga lateral, quatro modelos do tipo sem-fim convencional e quatro modelos de seu protótipo. No experimento, foi variado o ângulo de inclinação longitudinal, simulando semeadura em aclave e em declive. Ao final, identificou-se que todos os modelos apresentaram variação, com maiores erros nas inclinações +5 ° e +15 °.

Garcia *et al* (2017) também simularam o trabalho dos dosadores tipo sem-fim convencional, sem-fim com transbordo transversal e sem-fim com descarga lateral em cinco inclinações longitudinais e, assim como os demais autores citados, encontrou variação em todos os modelos submetidos ao experimento.

Fica claro que a variação da dosagem dos dosadores de adubo de máquinas semeadoras adubadoras citados anteriormente é um fato que ocorre quando são submetidos a trabalhos com inclinações longitudinais, independente do modelo.

2.4 Efeito da velocidade da dosagem

O número de rotações por unidade de tempo do eixo dos dosadores pode interferir na uniformidade da dosagem final, dependendo também do tipo de adubo a ser aplicado. Dosadores do tipo sem fim que trabalham com maiores rotações podem apresentar menores variações na dosagem (CAPELLI; UMEZU; MARTINS, 2000).

Ferreira *et al* (2010), ao fazerem um experimento utilizando os dosadores convencional e por transbordo transversal com dois modelos de sem-fim para cada um, com rotações de 55 rpm e 73 rpm e dois tipos de adubo, identificou que a maior rotação fez com que diminuísse o coeficiente de variação nas diferentes inclinações. Também concluíram que o adubo tipo mistura farelada apresentou menores coeficientes de variação que a mistura granulada. Todavia, Bonotto *et al* (2013) identificou que alguns dosadores têm uma melhora da intermitência da dosagem, mas independentemente do tipo de fertilizante utilizado.

Santos *et al* (2014) coletaram na lavoura o adubo dosado pelo dosador do tipo transbordo transversal e do tipo convencional direto da semeadora, nas velocidades de 5 km/h e 7 km/h. “No teste a campo, a velocidade de deslocamento da semeadora não interferiu no coeficiente de variação longitudinal do fertilizante, porém influenciou nos índices em que a distribuição foi classificada”, (SANTOS *et al*, 2014).

Grespan, Garcia e Soares (2016) buscaram os coeficientes de variação do dosador por transbordo transversal em quatro rotações diferentes, 28,65 rpm, 57,29 rpm, 85,94 rpm e 114,59 rpm, encontrando 22,74 %, 16,53 %, 9,37 % e 8,75 % respectivamente, também comprovando a melhoria da eficiência com o aumento da velocidade.

D’Amico *et al* (2012) avaliaram o dosador do tipo rotor dentado, ou Chevron, em um experimento de dosagem de sementes e concluíram que o aumento da Rotação gera um aumento linear da quantidade dosada e tem uma melhor uniformidade da dosagem.

2.5 Efeito do peso sobre o dosador

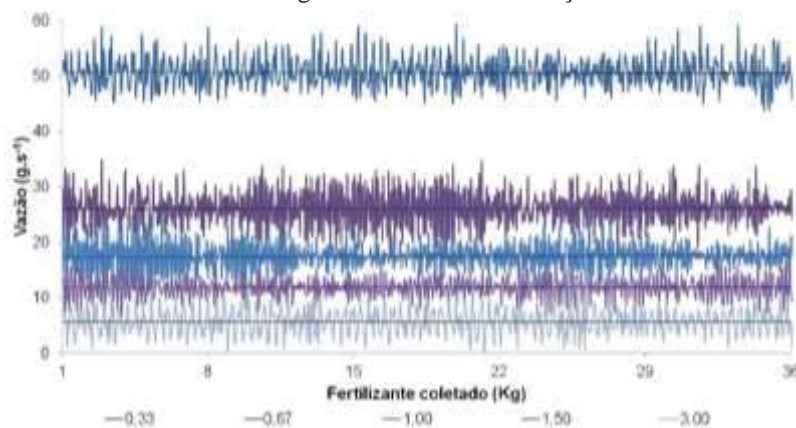
A maioria das semeadoras adubadoras possuem um reservatório destinado ao armazenamento do fertilizante a ser distribuído no processo de semeadura. Os implementos que utilizam os sistemas de dosagem citados neste trabalho os têm acoplados logo abaixo desse reservatório, sendo que recebem uma parte da força resultante do peso do fertilizante. Com o andamento da semeadura, o nível de fertilizante vai obviamente reduzindo, o que diminui a

pressão sobre o dosador de adubo. Nesse tópico, foi identificada uma divergência entre as conclusões de dois autores, sendo que um afirma que não houve variação da vazão quando posto o dosador para trabalhar com diferentes níveis do reservatório, e outro autor afirma que mesmo sendo considerada pequena, existe uma relação.

Bercht (2017) realizou um experimento em que avaliou a vazão de fertilizante em um dosador do tipo sem fim com cinco diferentes níveis do reservatório e cinco velocidades angulares diferentes, que o autor identifica pela relação de transmissão. O ensaio foi feito em uma bancada onde os dosadores eram acionados pela tomada de força de um trator, e o fertilizante era despejado em um reservatório que estava sobre uma célula de carga que registrava a variação da massa a cada segundo, conseguindo, assim, identificar a vazão. Após análise estatística, pode-se concluir que não houve influência direta entre o nível de adubo e a vazão medida na saída do dosador, não sendo o motivo da variação de dosagem.

A Figura 9 apresenta o gráfico gerado pelo sistema utilizado, em que podem ser vistas as vazões registradas a cada segundo para cada relação de transmissão (diretamente ligado a rotação dos dosadores); ficando claro que, mesmo existindo uma oscilação, a mesma se mantém constante.

Figura 9 – Vazões de adubo medidas a cada segundo em diferentes relações de transmissão

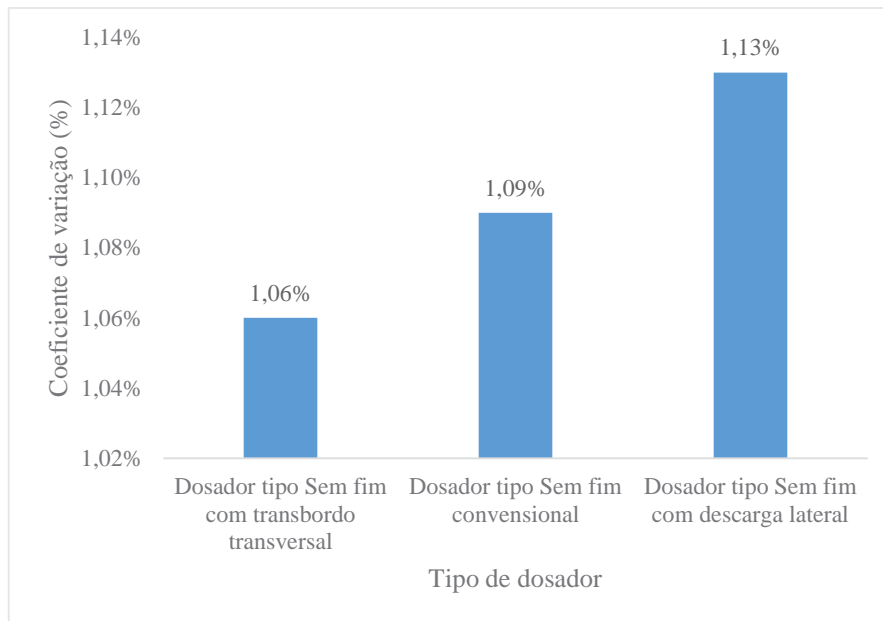


Fonte: Bercht (2017)

Bonotto (2012) avaliou a vazão de cinco tipos diferentes de dosadores de fertilizantes quando postos para trabalhar com três níveis de volume do reservatório de 22 litros: cheio, metade do volume e um quarto do volume. Foram utilizadas três diferentes fórmulas comerciais de adubo (que o autor identificou como mistura granulada de N-P-K fórmula 02-20-20, mistura granulada 16-16-16 e mistura farelada 00-15-30) e três vazões distintas (10 g/s, 30 g/s e 50 g/s).

O autor identificou que os dosadores do tipo sem-fim foram os que apresentaram melhor desempenho, com coeficientes de variação médios um pouco superior a 1 %, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Coeficiente de variação de dosadores tipo sem fim quando trabalhando em diferentes níveis de reservatório



Fonte: Adaptado de Bonotto (2012).

O dosador do tipo sem-fim com transbordo transversal teve sua vazão reduzida quando trabalhou com vazão de 50 g/s, com a mistura 02-20-20 e quando chegou a $\frac{1}{4}$ do nível de capacidade do reservatório. O dosador do tipo sem fim com descarga lateral apresentou uma diminuição da vazão quando o reservatório estava cheio e com $\frac{1}{4}$ da capacidade, utilizando a mistura 16-16-16, quando trabalhou com uma dosagem de 30 g/s. Com a mistura 00-15-30 não houve interação entre o nível do reservatório e a vazão aplicada pelos dosadores do tipo sem fim com descarga lateral e sem fim com transbordo transversal (BONOTTO, 2012).

2.6 Estado da arte da variação de dosagem

A inclinação que alguns dosadores se encontram no momento do trabalho tem influência sobre a quantidade de fertilizante distribuída no solo (REYNALDO, 2013; FERREIRA *et al*, 2010; GARCIA *et al*, 2017; BONOTTO *et al*, 2013), impactando na produtividade da lavoura. Isto é de tal importância que é possível encontrar diversos estudos nos quais foram avaliados os desempenhos de diferentes mecanismos, como os citados anteriormente.

Na maioria dos casos, foi buscado identificar o coeficiente de variação da dosagem quando os dosadores são submetidos a diferentes condições de trabalho, como diferentes inclinações longitudinais, diferentes inclinações transversais, variação da dosagem longitudinal (para identificar a existência de pulsos na vazão), e a influência que o nível do reservatório tem sobre o resultado.

Ferreira *et al* (2010) realizaram um experimento em laboratório utilizando uma bancada própria para esse tipo de atividade. Nela foram instalados os dosadores convencionais e por transbordo transversal, sendo, ainda, avaliados com dois modelos de sem-fim para cada um e simulando seu trabalho em cinco inclinações longitudinais (-10 °, -5 °, 0 °, 5 ° e 10 °). Além disso, aplicou duas velocidades angulares diferentes, de 55 rpm e 73 rpm, e dois tipos de fertilizantes. Assim, obteve 15 tratamentos por dosador com 4 repetições em cada.

O melhor desempenho, com menor coeficiente de variação, foi encontrado no dosador por transbordo transversal quando utilizado o sem-fim de passo 25 mm, rotação de 73 rpm e mistura de fertilizante farelado; ele variou entre 4,57 % e 9,22 %. O dosador convencional apresentou coeficiente de variação entre 11,03 % e 15,82 %. Os dados completos obtidos podem ser visualizados na Tabela 1, que apresenta todos os coeficientes de variação com seus respectivos tipos de adubo, rotação e tipo de dosador.

Tabela 1 – Coeficientes de Variação obtidos por Ferreira, 2012

Tipos de Dosadores	Adubo mistura granulada		Adubo mistura farelada	
	55 rpm	73 rpm	55 rpm	73 rpm
Convencional 25,4	14,12 %	11,78 %	13,01 %	11,29 %
Convencional 50,8	13,02 %	11,03 %	15,82 %	14,34 %
Transbordo transversal 25,4	9,22 %	8,26 %	4,93 %	4,57 %
Transbordo transversal 50,8	6,86 %	6,31 %	8,11 %	8,10 %

Fonte: Adaptado de Ferreira *et al* (2010)

Também pode ser concluído que o coeficiente de variação está diretamente ligado à velocidade angular do sistema dosador, visto que, com o aumento da rotação, foi encontrada uma maior uniformidade.

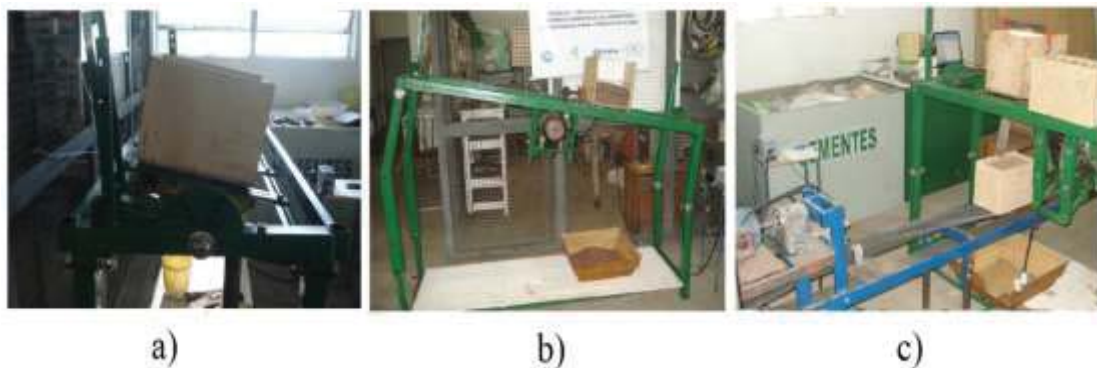
Bonotto (2012) foi um pouco além ao fazer um experimento avaliando também a distribuição longitudinal do fertilizante, identificando a variação de dosagem ao longo do deslocamento linear do dosador de adubo, assim como ocorre no momento da semeadura. Desta forma, ele identificou os sistemas que apresentam “pulso” durante o processo de descarga do adubo.

Além desse experimento, o autor também simulou, em bancada especial, o comportamento dos sistemas dosadores quando submetidos ao trabalho em três diferentes inclinações longitudinais (-11° , 0° e $+11^\circ$), simulando a semeadura a subir e a descer, e quando submetidos a três diferentes inclinações transversais (11° para a direita, 0° e 11° para a esquerda), simulando o plantio em nível em uma lavoura com as mesmas inclinações.

Dentre os dosadores avaliados estão o do tipo sem-fim com transbordo transversal, e o do tipo sem-fim com descarga lateral. O estudo foi realizado em um laboratório de experimentos utilizando uma bancada elétrica própria para essa atividade. Nela, foram presos os dosadores em um mecanismo dotado de um reservatório, que permitia a variação das inclinações longitudinais (Figura 11 a) e transversais (Figura 11 b).

A verificação da variação longitudinal de dosagem foi realizada na mesma bancada, porém, o adubo foi coletado em um recipiente com divisórias internas que se moveu abaixo do fluxo de descarga dos dosadores a uma velocidade constante (Figura 11 c).

Figura 11 – Bancada elétrica de experimento de dosador de fertilizante utilizada por Bonotto (2012)



Fonte: Adaptado de Bonotto (2012)

Bonotto (2012) identificou que todos os modelos apresentaram coeficiente de variação de mais de 30 % na distribuição longitudinal, sendo que os que tiveram o melhor desempenho foram os dosadores por transbordo transversal e dosador rotor acanalado. No ensaio com diferentes inclinações longitudinais, todos apresentaram variação, sendo que apenas os dosadores por transbordo transversal, descarga lateral e disco estrela apresentaram coeficiente de variação inferior a 10 %. Neste caso, o dosador convencional com sem-fim passo 50,8 mm teve um coeficiente de variação de 17,4 %, o dosador por transbordo transversal com sem-fim passo 50,8 mm teve 9,4 %, e o dosador tipo descarga lateral com sem-fim passo 50,8 mm apresentou 7,2 %.

Quando submetidos à inclinação transversal, os melhores resultados foram dos dosadores por transbordo transversal, descarga lateral e rotor acanalado. Entretanto, todos ficaram abaixo de 5 %. A Tabela 2 apresenta os coeficientes de variação médios que cada dosador apresentou em cada experimento.

Tabela 2 – Coeficientes de Variação obtidos por Bonotto, 2012

Tipos de dosadores	Tipos de inclinações do dosador		
	Inclinação longitudinal	Inclinação transversal	Distribuição longitudinal
Convencional SF 50,8	17,44 %	1,28 %	37,05 %
Transbordo transversal SF 50,8	9,35 %	1,17 %	32,48 %
Descarga lateral SF 50,8	7,22 %	2,28 %	36,31 %

Fonte: Adaptado de Bonotto (2012)

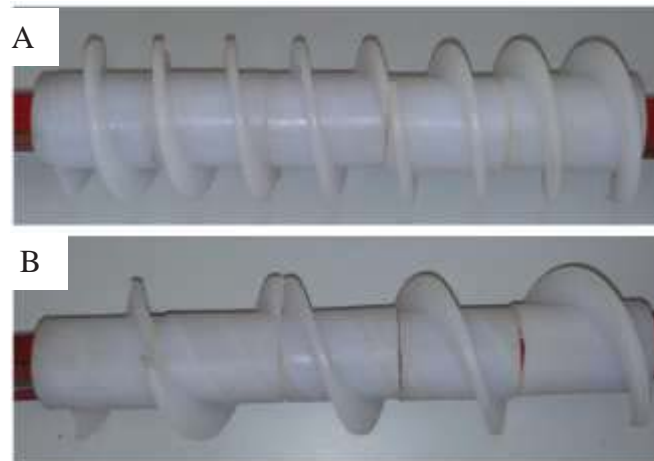
De modo semelhante, Reynaldo (2013), Reynaldo, Gamero (2015) e Reynaldo *et al* (2016), avaliaram o desempenho de doze modelos de dosadores fertilizantes em uma bancada própria para esse tipo de experimento, sendo utilizados sem-fins de passo 1 e 2 em diferentes inclinações longitudinais e transversais (-15° , -5° , 0° , $+5^\circ$ e $+15^\circ$), e duas taxas de dosagens diferentes.

Dentre os modelos de dosadores utilizados no experimento, estão o do tipo sem-fim com transbordo transversal, sem-fim com descarga lateral e convencional (sem-fim com descarga por gravidade), e uma variação do sem-fim maciço proposto pelos próprios autores, conforme apresenta a Figura 12.

Com a principal característica de ser maciço, os sem-fins propostos pelos autores foram fabricados no passo 1 ” (Figura 12 A) e no passo 2 ” (Figura 12 B), sendo que foram usinados em nylon.

Após o experimento, foram apresentados os coeficientes de variação gerais de cada modelo de dosador, sendo consideradas as variações em inclinação longitudinal e transversal. Foram encontradas diferenças de dosagem em todos os dosadores.

Figura 12 – Protótipo de Sem Fim Plástico proposto por Reynaldo (2013)



Fonte: Reynaldo (2013)

O melhor desempenho foi identificado como sendo do dosador por descarga lateral com sem-fim de passo 50,8 mm, o qual apresentou um coeficiente de variação geral de 5,1 %. Seu protótipo apresentou bom desempenho frente aos demais, conseguindo um coeficiente de variação geral entre 6,9 % e 7,7 %. O dosador com descarga transversal, que também foi utilizado neste trabalho, obteve coeficiente de variação geral de 10,3% quando utilizado o sem-fim passo 2 e 13,2 % quando utilizado o sem-fim de passo 1.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de variação gerais encontrados em cada modelo experimentado.

Tabela 3 – Coeficientes de variação encontrados por Reynaldo (2013) em seu experimento com dosadores

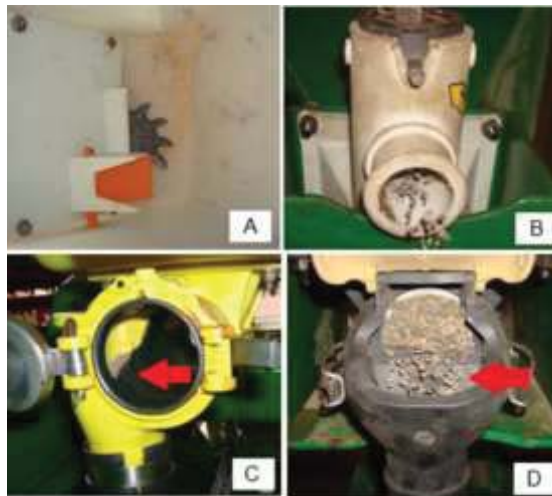
Modelo de dosador de fertilizante	Passo	CV (%)
Descarga lateral	1	11,6
Descarga lateral	2	5,1
Transbordo Transversal	1	13,2
Transbordo Transversal	2	10,3
Protótipo	1	6,9
Protótipo	2	7,1
Protótipo Segmentado	1	7,3
Protótipo Segmentado	2	7,7
Convencional 25085202	1	10,3
Convencional 36168904	2	20,4
Convencional Antigo	1	26
Convencional Antigo	2	19,9

Fonte: Adaptado de Reynaldo (2013)

Garcia *et al.* (2017) também avaliaram o desempenho de quatro modelos de dosadores de fertilizante em cinco ângulos de inclinação longitudinal (-10° , -5° , 5° , e 10°). Foram utilizados no experimento os dosadores tipo disco estrelado (Figura 13 A), sem-fim com descarga por gravidade (Figura 13 B), sem-fim com descarga lateral (Figura 13 C) e sem-fim com transbordo transversal (Figura 13 D), sendo que eles foram fixados em uma bancada metálica, a qual possuía um motor e permitia a variação da inclinação longitudinal. Ainda, foram utilizados dois diferentes tipos de adubos, mistura de grânulos e pó.

Os autores concluíram que todos apresentaram variações consideráveis, sendo que as piores variações foram encontradas nos dosadores tipo sem-fim com descarga por gravidade (convencional) e disco estrela, principalmente quando trabalhando com adubo mistura granular. Os coeficientes de variação encontrados para o dosador convencional foram $-29,4\%$, $-7,9\%$, $7,6\%$ e $21,9\%$. O melhor desempenho apresentado foi do dosador do tipo sem-fim com descarga lateral, onde foram encontrados os seguintes coeficientes de variação: $-2,4\%$, $-0,6\%$, $3,2\%$ e $4,7\%$.

Figura 13 - Dosadores utilizados por Garcia *et al.* (2017)



Fonte: Adaptado de Garcia *et al.* (2017)

Com o segundo melhor desempenho ficou o dosador por transbordo transversal, o qual teve coeficientes de variação de $-9,0\%$, $-3,6\%$, $5,9\%$ e $9,7\%$. Todos nas inclinações citadas anteriormente, respectivamente.

2.7 Análise estatística

Embora a estatística esteja sendo muito usada atualmente no auxílio da interpretação da grande quantidade de dados gerados e coletados com o aumento do uso da internet, Bayer *et al.* (2009) relata que os primeiros dados estatísticos registrados são do ano 5.000 A.C – e no ano de 1708 foi criado, na Alemanha, o primeiro curso de Estatística, na Universidade de IENA (Bayer *et al.*, 2009). Dentre várias definições, Montgomery (2016, p. 01) afirma que “estatística é a ciência que nos ajuda a tomar decisões e tirar conclusões na presença de variabilidade.” Ele ainda aponta que uma parte da tomada de decisões em engenharia é o experimento.

Em um experimento com vários tratamentos se utiliza a análise de variância para se fazer a comparação entre as médias dos resultados da variável em análise (UFPR, 2009). Esta análise também é conhecida como ANOVA ou ANAVA.

Nesse sentido, elencam-se alguns conceitos básicos (UFPR, 2009):

- Tratamento – é a variável ou condição que se deseja testar no experimento;
- Parcela – local ou objeto onde é feita a aplicação do tratamento;
- Repetição – é a quantidade de vezes em que o tratamento é aplicado no experimento;
- Variável – é o dado obtido que se deseja avaliar em um experimento;
- Delineamento – é a forma como os tratamentos são designados às parcelas (UFPR, 2009).

A análise de variância consiste em um teste de probabilidades em que se consideram duas hipóteses: a hipótese nula (H_0) considera que a média dos resultados entre os níveis do experimento são iguais, enquanto a hipótese alternativa (H_1) afirma que essas médias são estatisticamente diferentes. Assim, calcula-se a probabilidade (valor de P), de se estar errado ao rejeitar a hipótese nula (considerar que as amostras são diferentes). Em geral, o nível de significância adotado para a interpretação da análise é de 95 %, ou seja, as médias somente serão consideradas diferentes se existir uma probabilidade de erro na afirmação menor do que 5 %. Assim, se o valor de P calculado for menor do que 5 %, significa que as médias das variáveis são diferentes; e caso o valor de P calculado seja maior do que 5 %, significa que as médias das variáveis são iguais estatisticamente.

Caso o teste P indique que há diferença entre as médias das variáveis, e seja do interesse, é possível identificar a magnitude disto com o uso do teste Tukey, que consegue comparar as médias de dois tratamentos por vez, sendo que também se utiliza o nível de 95 % de significância.

Ainda, para experimentos de distribuição de fertilizantes, é calculado o coeficiente de variação conforme indicado pela ISO 5690/2 (1984), dividindo o desvio padrão pela média absoluta dos dados coletados.

$$CV = \frac{S}{X} \quad (1)$$

Sendo:

CV – Coeficiente de Variação

S – desvio padrão

X – média absoluta

Ainda, Montgomery (2016), destaca a importância de se ter clareza do que exatamente será estudado, e propôs uma sequência para projetar o experimento:

1. **Reconhecimento do estado da arte do problema** – nesta etapa devem serem buscados os conhecimentos e normas gerados e apresentados por outros autores.
2. **Seleção das variáveis de resposta** – aqui devem ser definidas as informações que serão coletadas e utilizadas para o cálculo estatístico.
3. **Escolha dos fatores, níveis e intervalos de interesse** – nesta etapa devem ser escolhidos quais fatores irão variar e quanto (especificamente). Como os diferentes ângulos de inclinação e dosadores.
4. **Escolha do tipo do delineamento experimental** – nesta etapa se consideram o tamanho da amostra, ordem de execução e número de repetições;
5. **Realização do experimento** – aqui devem ser executado o experimento, garantindo que siga o que foi definido no plano.
6. **Análise estatística dos dados** – aqui devem ser realizada algumas análises como a comparação das médias através da análise de variância, e do teste de Tukey para identificar os grupos em que pertenciam cada variável em análise.
7. **Conclusões sobre o experimento** – após a avaliação dos resultados obtidos, devem ser concluídos diversos pontos relevantes ao estado da arte.

2.8 Conclusão da revisão bibliográfica

Na revisão bibliográfica, foi esclarecida a função do dosador de adubo e a importância que ele tem em um equipamento de semeadura, especialmente em uma semeadora adubadora. Decorrido isso, foram apresentados os principais modelos existentes no mercado e seu funcionamento, bem como as variáveis já pesquisadas que exercem influência sobre a vazão dosada por cada modelo de dosador, sabendo que tudo isso pode influenciar o experimento a ser realizado neste trabalho.

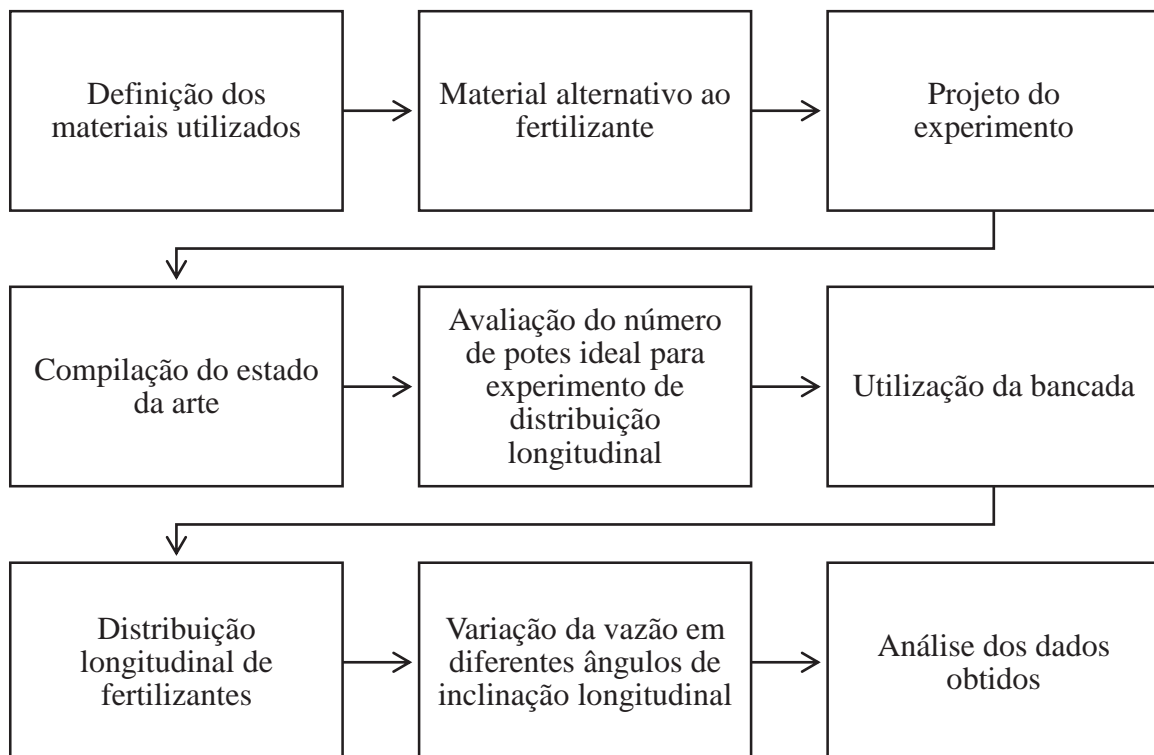
Adicionalmente, o estado da arte apresenta em síntese os resultados encontrados até o momento por diversos autores, suas metodologias e indicações, sendo completada com a revisão da norma ISO 5690/2, que apresenta a metodologia dos testes com dosadores de fertilizante, agregando à metodologia do presente trabalho.

O estudo de análise estatística, que encerrou a revisão bibliográfica, foi buscado com o intuito de mostrar conceitos básicos e esclarecer a melhor forma de serem analisados os dados obtidos nos experimentos que serão realizados, garantindo que os mesmos alcancem os objetivos propostos do estudo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados e métodos adotados para a realização do experimento, tendo foco nos objetivos do trabalho. São apresentados a bancada de experimentos, os dosadores selecionados e a metodologia utilizada. A Figura 16 apresenta o fluxograma da metodologia seguida para a execução do estudo.

Figura 14 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autor (2019)

Inicialmente foram definidos os materiais a serem utilizados no experimento, identificadas as características de diferentes pellets de polímeros e comparadas com fertilizantes comerciais, para validar o seu uso de um material alternativo, e então planejado o experimento seguindo as diretrizes propostas por Montgomery (2012). O primeiro passo foi compilar os resultados encontrados por diversos autores em uma só tabela, facilitando a interpretação e esclarecendo o estado da arte.

Em seguida são apresentadas a metodologia para determinação do número ideal de unidades de coleta para experimentos, que partiu do cálculo de coeficientes de variação da massa dosada em 13 diferentes grupos de unidades de coleta, e as características da bancada

que simule plantio (inclinação do dosador, distribuição longitudinal de adubo e o volume total depositado).

A identificação do desempenho dos dosadores na distribuição longitudinal foi a partir das massas de fertilizante coletadas em cada uma das 52 unidades de coleta distribuídos longitudinalmente sob os dosadores, em sete inclinações diferentes; enquanto para determinação da variação longitudinal, foram utilizadas as somas das massas das unidades de coleta nas diferentes inclinações.

Com os dados coletados, foram calculados os coeficientes de variação e submetidos à análise de variância a um nível de 95% de significância, sendo que, posteriormente, as médias foram submetidas ao teste Tukey.

Por fim foram identificados e discutidos os resultados para os objetivos propostos: desempenho dos dosadores de adubo em inclinação longitudinal, desempenho dos dosadores de adubo na distribuição longitudinal, número mínimo de unidades de coleta para se realizar a avaliação de distribuição longitudinal de dosador de fertilizantes e avaliar a possibilidade de uso de um material alternativo ao fertilizante para realização de experimentos em dosadores.

3.1 Materiais

Este experimento foi realizado em um laboratório de testes do setor de pesquisa e desenvolvimento de uma empresa de produtos agrícolas, no município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. No local, foi utilizada uma bancada própria para execução da atividade, que permite simular todas as características de semeadura necessárias para buscar os objetivos deste trabalho.

Foram selecionados cinco modelos de dosadores de fertilizante, sendo que alguns deles já tiveram seu desempenho experimentado por outros autores, como os dosadores tipo rosca sem-fim com transbordo transversal, sem-fim com descarga lateral e sem-fim maciço, e outros não foram encontrados na literatura, como o dosador do tipo rotor dentado e duplo sem-fim.

Para a função de adubo, foram realizados alguns experimentos com diversos tipos de pellets poliméricos - matéria prima utilizada na injeção plástica - e encontrado o que possui as características mais próximas ao fertilizante comercial. Optou-se por utilizar um material polimérico devido às suas características que garantem uma melhor repetibilidade, visto que não absorve água e possui granulometria homogênea, que não apresenta alteração com o seu uso.

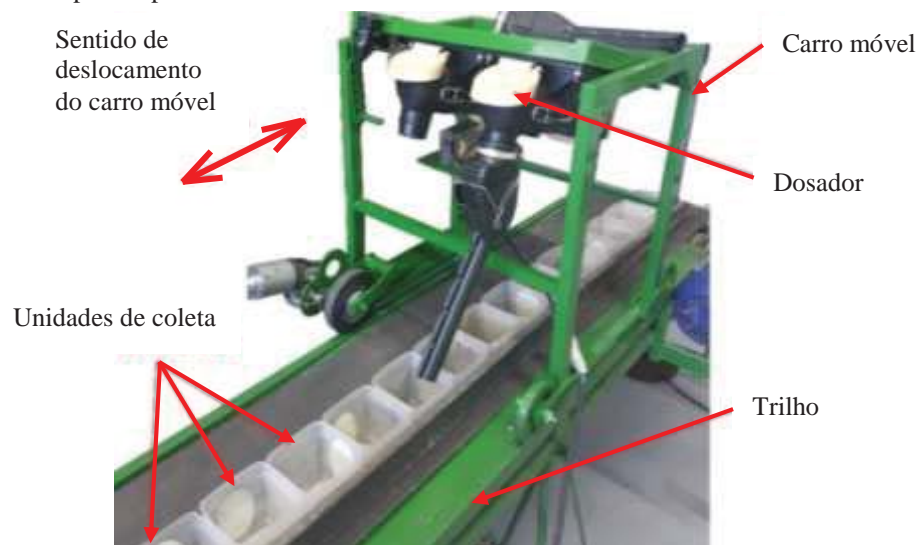
3.1.1 Bancada de experimentos

Para a realização deste experimento, foi necessária a utilização de uma bancada onde possam ser acoplados todos os modelos de dosadores de fertilizantes propostos, bem como permitir simular as características de plantio desejadas, como inclinação do dosador no sentido ascendente e descendente, e coleta do fertilizante ao longo de uma distância longitudinal, além de permitir coletar o volume total de adubo depositado pelos diferentes sistemas de dosagem. A bancada pertence a uma empresa de máquinas agrícolas e é utilizada para experimentos desta natureza.

A bancada possui um trilho como base fixa, onde são posicionadas 58 unidades de coleta com a dimensão de 97x97x120mm (largura x largura x altura), responsáveis por armazenar o adubo despejado pelos dosadores de fertilizante testados; todos posicionados dentro de uma calha para garantir o alinhamento. Muito semelhante ao experimento realizado por Santos *et al.* (2014), que utilizaram unidades de coleta com as mesmas dimensões e distribuídos ao longo de 5 metros. Seguindo as recomendações de Bonotto (2012), foi utilizada uma distância maior para a coleta do adubo no experimento de avaliação da distribuição longitudinal, chegando a 5,63 metros lineares.

A bancada também é composta por um carro móvel que possui um motor com a função de deslocar o mesmo ao longo do trilho, simulando o processo de semeadura. Na Figura 17 podem ser identificados os componentes citados anteriormente.

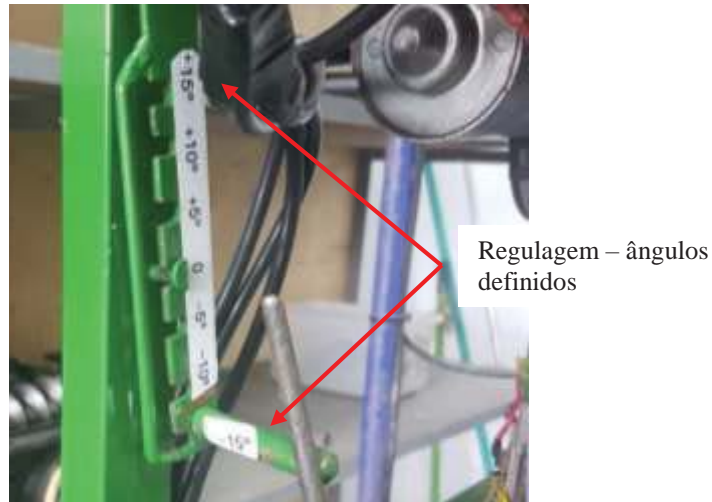
Figura 15 – Bancada para experimento de dosador de fertilizante



Fonte: Autor (2019)

O carro móvel é dotado de uma regulagem (Figura 18) que permite parametrizar a inclinação longitudinal dos dosadores podendo simular a semeadura em aclive e em declive, bastando apenas posicionar a regulagem no encaixe com o ângulo desejado.

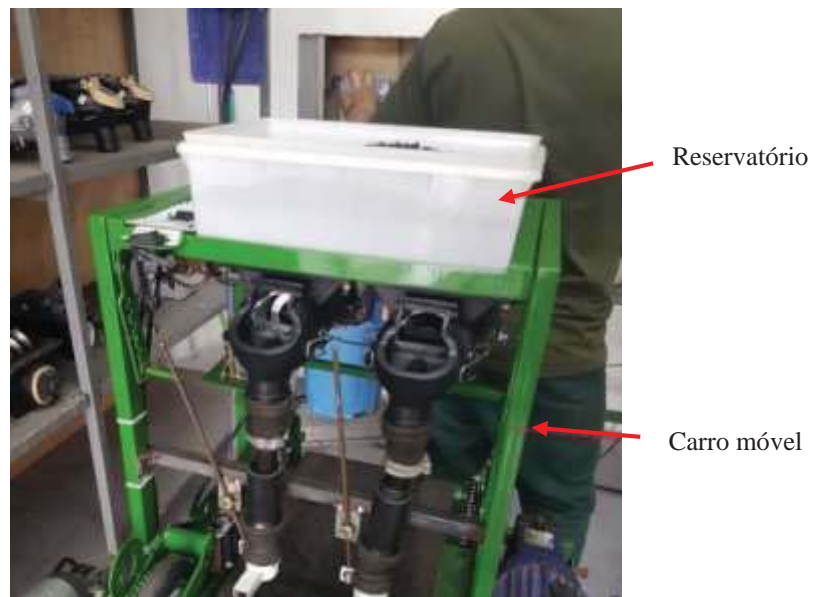
Figura 16 – Regulagem da inclinação dos dosadores



Fonte: Autor (2019)

O carro móvel também possui um reservatório na sua parte superior, onde é armazenado o adubo durante o experimento, sendo que, logo abaixo, são posicionados os dosadores a serem avaliados, conforme demonstrado na Figura 19.

Figura 17 – Detalhes carro móvel da bancada de experimento



Fonte: Autor (2020)

A bancada também possui um motor 12V, com a função de acionar os dosadores, alimentado por uma fonte que também fornece energia para o motor responsável por deslocar o carro móvel ao longo do trilho, chegando a uma velocidade de 1 km/h.

3.1.2 Mecanismos dosadores de fertilizantes

Para este experimento, foram selecionados cinco modelos de dosadores de fertilizantes: três modelos utilizam o sistema de helicóide para fazer a movimentação do adubo, um dosador do tipo rotor dentado, e um sistema que utiliza o sem-fim maciço sugerido por Reynaldo (2013).

Os dosadores escolhidos, e que utilizam o sistema helicoidal, estão apresentados na Figura 20. São eles:

- a) Dosador tipo sem-fim com descarga lateral, por ser utilizado em uma fabricante de máquinas agrícolas multinacional e estar presente em outros experimentos;
- b) Dosador tipo duplo sem-fim, por apresentar uma solução diferente dos modelos encontrados, visto que utiliza duas helicoides trabalhando em sentido oposto, representando compensar o problema gerado quando o mesmo trabalha em diferentes inclinações.

Figura 18 – Dosadores de fertilizante com sistema de sem-fim: a) descarga lateral; b) duplo sem-fim



a)



b)

Fonte: a) Autor (2019); b) adaptado de Sinuello (2019)

Todos os dosadores do tipo sem-fim usados no experimento utilizaram o helicóide com passo de 50mm (ou equivalente).

O dosador tipo rotor dentado foi escolhido por ser muito comum na Argentina e na Europa, e não existirem muitos trabalhos demonstrando a eficiência e coeficientes de variação desse sistema. A Figura 21 apresenta o dosador utilizado.

Figura 19 – Dosador tipo rotor dentado



Fonte: AJS (2019)

Por fim, foi utilizado o sem-fim maciço proposto por Reynaldo (2013) no dosador com transbordo transversal. Sabendo que o adubo possui características abrasivas, tendência de adesão à superfícies devido a sua higroscopia e alta capacidade de corrosão de metais, foi desenvolvido um protótipo junto a um fornecedor de polímeros para encontrar uma matéria prima que resistisse às adversidades citadas. Na Figura 22, pode ser visto o sem-fim fabricado em polímero.

Figura 20 – Sem-fim maciço



Fonte: Autor (2020)

Devido ao material selecionado, o sem-fim teve que ser fabricado por processo de usinagem, visto que não permite ser injetado.

Para facilitar a organização e apresentação dos resultados, os modelos de dosadores de fertilizantes foram denominados com uma letra e um número, conforme exposto no Quadro 1.

Quadro 1 – Denominação dada aos modelos de dosadores de fertilizante

DENOMINAÇÃO	MODELO DO DOSADOR
D2	Tipo sem-fim com descarga lateral
D3	Duplo sem-fim
D4	Rotor dentado
D5	Sem-fim maciço em dosador com transbordo transversal

Fonte: Autor (2020)

3.1.3 Fertilizante

Até então, a grande maioria dos experimentos realizados neste segmento utiliza o próprio fertilizante comercial, como, por exemplo, mistura de grânulos, mistura granulada e mistura farelada utilizados por Bonotto (2012), ou misturas que têm a granulometria variando de 0,125mm até 4mm, utilizadas por Garcia *et al.* (2017). Porém, esses adubos possuem uma série de características que podem não ser ideais para um estudo em que são realizadas inúmeras repetições em vários dias, visto que sua baixa resistência mecânica resulta na quebra dos grãos, o que pode causar variação na sua densidade aparente e seu ângulo de repouso com o andamento do experimento. Além disso, a existência de diferentes tamanhos de grânulos no mesmo fertilizante pode resultar na diferença de densidade ao longo do mesmo experimento.

Dessa forma, visando evitar incertezas no experimento vindas das características do fertilizante, tais como higroscopia, fácil esfarelamento, variação de densidade, dentre outras, buscou-se um material alternativo que possuísse boas propriedades mecânicas e que pudesse ter as características mais próximas do fertilizante. A metodologia utilizada para avaliar e determinar o material ideal segue descrita no presente capítulo.

3.2 Metodologia de desenvolvimento do experimento

Tendo definidos os materiais utilizados, o próximo passo foi a definição da metodologia aplicada a este experimento, conforme etapas apresentadas a seguir.

3.2.1 Material alternativo ao fertilizante

Assim como realizado por Reynaldo (2013) e Bonotto (2012) e indicada pela ISO 5690/2 (1984), foram identificadas as características de granulometria, ângulo de repouso, densidade aparente e teor de água.

Para isso, foram testados cinco tipos de pellets de polímero, matéria-prima utilizada na injeção de peças plásticas, nos quais foram identificadas a granulometria, densidade e ângulo de repouso. Os materiais testados foram: pigmento para poliamida, polipropileno triturado, poliamida com fibra de vidro, poliamida natural e polipropileno com fibra de vidro.

a) Granulometria

A identificação da granulometria foi feita através da passagem dos pellets por peneiras para análise granulométrica (Figura 23) no Laboratório de Análises de Solos da Universidade de Passo Fundo.

Figura 21 - Peneiras utilizadas na determinação da granulometria dos pellets usados no experimento



Fonte: Autor (2019)

O material analisado foi depositado na peneira superior e o conjunto foi agitado em movimentos circulares durante 1 minuto, e depois foram pesadas as massas retidas por cada peneira e identificadas as respectivas porcentagens.

b) Ângulo de repouso

Para identificar o ângulo de repouso dos pellets, foi utilizado um reservatório cúbico construído em vidro para possibilitar a medição. O material foi depositado a uma vazão constante até atingir a altura de 130mm, formando um triângulo retângulo. Posteriormente, foram medidas a base e a altura, conforme demonstrado na Figura 24.

Figura 22 – Reservatório utilizado para medição e cálculo do ângulo de repouso dos pellets



Fonte: autor (2019)

A partir das medidas encontradas, foi possível calcular o ângulo de repouso utilizando a equação da tangente do ângulo.

c) Densidade aparente

Para calcular a densidade aparente, ou densidade a granel, foi feita a relação da massa por volume. Foram utilizados um reservatório cúbico com dimensões de 253x67x138 (mm) e uma balança de precisão. O reservatório foi preenchido até estar com todo o seu volume ocupado e, então, pesado. Para encontrar esse dado, foi utilizada a Equação 1.

$$Da = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Onde:

Da – densidade aparente (g/cm^3)

m – massa (g)

v – volume do reservatório (cm^3)

d) Teor de água

Os pellets de poliamida são um termoplástico que possuem baixíssima absorção de água, porém, o fornecedor desse material indica uma absorção de umidade de até 1%, não aumentando após a estabilização do material (Petropol, 2019).

3.2.2 Projeto do experimento

O experimento foi projetado seguindo o procedimento recomendado por Montgomery (2016), que destaca a importância de se ter clareza do que exatamente será estudado. O autor destaca sete tópicos principais:

- 1. Reconhecimento do estado da arte do problema** – nesta etapa foram buscados os conhecimentos e normas gerados e apresentados por outros autores. Foram identificados diversos pontos importantes, como os principais dosadores utilizados em plantadoras adubadoras no mercado, principais inclinações e condições nas quais são realizados os experimentos, quais pontos podem influenciar nos resultados do trabalho e metodologias utilizadas. Desta forma, foi possível criar uma boa estrutura para o planejamento e realização deste trabalho.
- 2. Seleção das variáveis de resposta** – como identificado no estado da arte, os valores de coeficiente de variação calculados, através da Equação 1, são a principal forma de se identificar o desempenho de cada dosador de fertilizante e/ou cada tratamento, sendo possível, inclusive, usar esses dados para comparação do desempenho entre os tratamentos. Para o cálculo dos valores de coeficiente de variação, foram utilizadas as massas dosadas por cada tratamento em sua situação específica (diferentes inclinações, diferentes unidades de coleta e diferentes quantidades de unidades de coleta).
- 3. Escolha dos fatores, níveis e intervalos de interesse** – também a partir do conhecimento adquirido na revisão do estado da arte, optou-se por realizar o experimento com os diferentes dosadores de fertilizante apresentados na seção 3.1.2, além das sete diferentes inclinações longitudinais (-15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10° e 15°) escolhidas para abranger os diversos experimentos compilados na seção 3.2.3 a seguir, e utilização de 52 unidades de coleta para identificação da distribuição longitudinal por ser a quantidade máxima permitida pela bancada, conforme apresentado na metodologia do presente estudo.
- 4. Escolha do tipo do delineamento experimental** – foi adotado o delineamento experimental fatorial, no qual se estudou a influência dos fatores e níveis de entrada em diferentes níveis sobre as variáveis de saída.
- 5. Realização do experimento** – o experimento foi realizado em um laboratório de uma empresa de máquinas agrícolas e com uma bancada existente, sendo que a mesma já

havia sido validada, assegurando os resultados obtidos. Os tratamentos foram designados ao acaso, e cada coleta foi repetida três vezes, sendo que, após cada alteração da inclinação, foi ligado o dosador até ser despejada uma quantidade de 300g do polímero utilizado como fertilizante, visando garantir que o sistema estivesse “estabilizado” para o experimento em nova inclinação.

6. **Análise estatística dos dados** – algumas análises foram feitas através da avaliação do valor do coeficiente de variação calculado; todavia, também foi realizada a comparação das médias através da análise de variância, e aplicado o teste de Tukey para identificar os grupos em que pertenciam cada variável em análise.
7. **Conclusões sobre o experimento** – após a avaliação dos resultados obtidos, foram concluídos diversos pontos relevantes ao estado da arte.

3.2.3 Compilação do estado da arte da variação em diferentes ângulos longitudinais

Visando facilitar o entendimento e fazer uma comparação, os resultados encontrados por cada autor citado foram compilados na Tabela 4, que apresenta as médias dos coeficientes de variação encontrados por eles. Em cada coluna está o autor e os respectivos ângulos de inclinação longitudinal utilizados nos experimentos; enquanto as linhas indicam os modelos dos dosadores.

Tabela 4 – Resumo dos coeficientes de variação médios encontrados em inclinações longitudinais

	Ferreira, 2010	Bonotto, 2012	Reynaldo, 2013	Garcia <i>et al.</i>, 2017
Inclinação	-10°, -5°, 0°, +5°, +10°	-11°, 0°, +11°	-15°, -5°, 0°, +5°, +15°	-10°, -5°, 0°, +5°, +10°
Modelo de Dosadores				
Convencional SF 25,4	12,6%	-	-	
Convencional SF 50,8	13,6%	17,4%	-	51,3%
Transbordo transversal SF 25,4	6,7%	-	13,5%	
Transbordo transversal SF 50,8	7,3%	9,4%	10,5%	18,7%
Descarga lateral SF 25,4	-	-	12,0%	
Descarga lateral SF 50,8	-	7,2%	5,1%	10,9%
PROT 2 (sem fim maciço passo 50,8)	-	-	6,3%	
PROT 1 (sem fim maciço passo 25,4)	-	-	7,0%	
PROTSEG 1 (sem fim maciço segmentado passo 25,4)	-	-	7,5%	
PROTSEG 2 (sem fim maciço segmentado passo 50,8)	-	-	7,8%	

Fonte: Autor (2019)

Como pode ser verificado na Tabela 4, todos os autores encontraram variação de dosagem quando qualquer um dos modelos de dosador foram submetidos ao trabalho em inclinação longitudinal, sendo que os menores coeficientes de variação foram encontrados nos dosadores do tipo sem-fim com descarga lateral e tipo sem-fim com transbordo transversal.

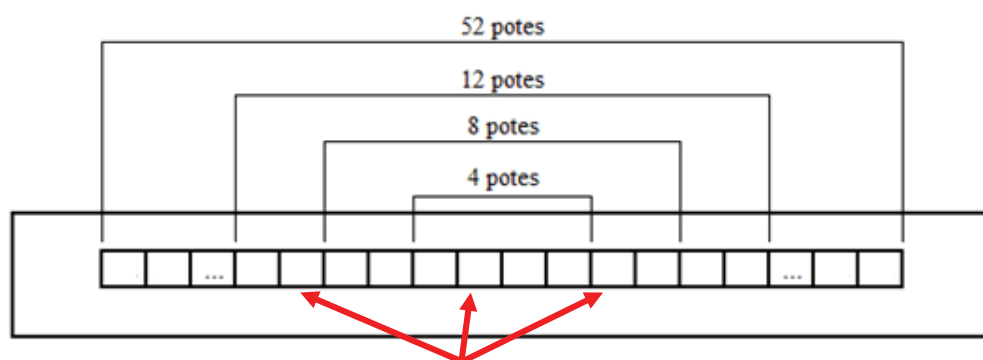
Ainda, é notória a grande diferença entre os valores de coeficientes de variação encontrados pelos diferentes autores para o mesmo sistema; como no caso do dosador convencional com sem-fim de 50,8, em que Ferreira *et al.* (2010) encontraram 13,6% e Garcia *et al.* (2017) encontraram 51,3%. Os motivos para isto podem ser vários: diferentes tipos de fertilizante, estado do conjunto dosador utilizado nos experimentos (novo, desgastado, com alterações dimensionais, etc), forma de controle de início e fim das coletas de adubo, modelos e características das bancadas utilizadas, entre outras.

Outro ponto que cabe destacar é a escolha dos ângulos de inclinação escolhidos para se realizar o experimento. Bonotto (2012) seguiu a recomendação da ISO 5690/2 (1984), enquanto os demais autores seguiram um padrão de múltiplos de cinco graus.

3.2.4 Avaliação do número ideal de unidades de coleta para experimento de distribuição longitudinal

Para verificar a quantidade ideal de unidades de coleta, foram calculados os coeficientes de variação das massas coletadas no experimento de variação da distribuição longitudinal nas seguintes combinações de unidades de coleta: 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48 e 52. Iniciou-se a verificação pelas quatro unidades de coleta centrais e, a cada nova combinação, adicionou-se duas unidades de coleta de cada sentido da calha, conforme indicado na Figura 25.

Figura 23 – Formato de coleta dos dados



Fonte: Autor (2019)

Unidades de coleta

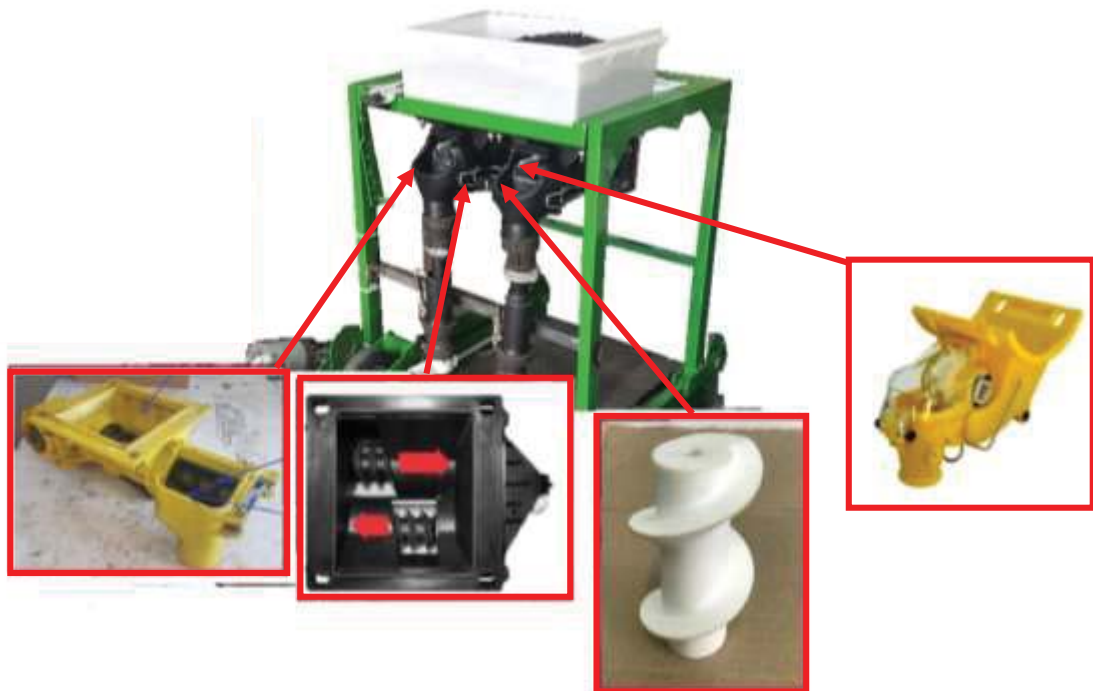
Posteriormente, os dados calculados foram submetidos a uma ANOVA, para fazer a comparação das médias dos coeficientes de variação e identificar se existe diferença estatística entre os valores apresentados pelas diferentes quantidades de unidades de coleta. Na sequência, foi realizado o teste de Tukey, que pôde apresentar entre quais quantidades há semelhança e quais não.

Por fim, foram avaliados os resultados do teste e buscada a menor quantidade de unidades de coleta que apresentou as médias próximas ou iguais a todas as combinações.

3.2.5 Utilização da bancada

Na utilização da bancada, o primeiro passo é selecionar e montar o dosador a ser utilizado no experimento no carro móvel, conforme apresentado na Figura 26.

Figura 24 – Seleção do dosador a ser experimentado



Fonte: Autor (2019)

Posteriormente, deve ser alimentado o reservatório com o fertilizante ou substituto, como o pellet de poliamida natural (no caso deste experimento), e selecionar o ângulo de inclinação longitudinal dos dosadores, simulando o trabalho em aclave e/ou declive, conforme indicado na Figura 27.

Figura 25 – Bancada usada no experimento com seus respectivos componentes



Fonte: Autor (2019)

Embora a ISO 5690/2 (1984) indique que devem ser utilizadas inclinações de -11° , 0° e $+11^\circ$, optou-se por trabalhar com -15° , -10° , -5° , 0° , 5° , 10° e 15° (Quadro 2), baseado nos experimentos de Santos *et al.* (2014), Ferreira *et al.* (2010) e Garcia *et al.* (2017) que utilizaram -10° , -5° , 0° , 5° , 10° , e Reynaldo (2013) que utilizou -15° , -5° , 0° , 5° e 15° respectivamente, esperando, assim, gerar resultados mais abrangentes.

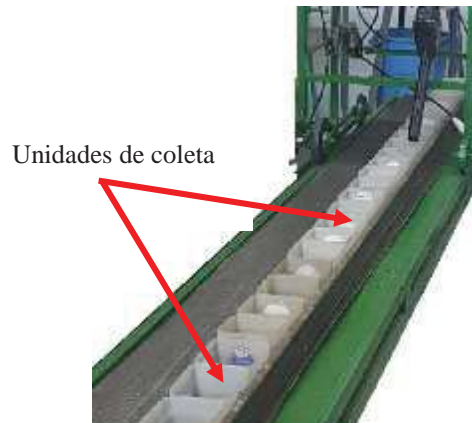
Quadro 2– Apresentação dos ângulos de inclinação utilizados no experimento

Simulação	Aclive	Nível	Declive
Ângulo utilizado	$+15^\circ$, $+10^\circ$, $+5^\circ$	0°	-5° , -10° , -15°

Fonte: Autor (2020)

O próximo passo consiste em ligar os dosadores até ser despejada uma quantidade de 300g do polímero, buscando a estabilização do material dentro dos sistemas dosadores de fertilizante e, só então, acionar o botão de comando do deslocamento do carro móvel. Feito isso, a bancada irá despejar o material escolhido como fertilizante ao longo do chassi onde estão dispostas as unidades de coleta (Figura 28), desligando automaticamente ao chegar no fim do curso.

Figura 26 – Coletar o material dosado nas unidades de coleta



Fonte: Autor (2019)

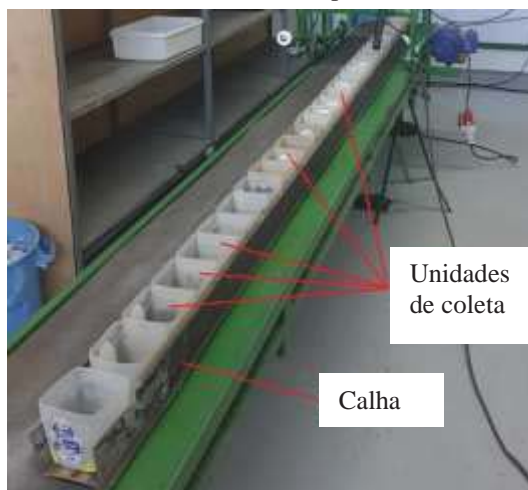
Na sequência, basta pesar e registrar individualmente os valores das massas de fertilizante coletadas em cada uma das unidades de coleta.

3.2.6 Distribuição longitudinal de fertilizantes

Para se conseguir identificar a variação da quantidade de adubo dosado ao longo da aplicação, foi seguido o procedimento semelhante ao utilizado por Santos *et al.* (2014), em que foram medidas as massas despejadas em cada uma das unidades de coleta posicionadas na calha da bancada (Figura 29). Sendo que, seguindo as recomendações de Bonotto (2012), foi utilizada uma distância maior para a coleta do adubo no experimento, chegando a 5,63 metros lineares.

Ainda, foi garantido que a posição dos sem-fins fosse sempre igual no início de cada repetição, visando eliminar uma possível variável.

Figura 27 – Unidades de coleta de adubo e calha usados no experimento



Fonte: Autor (2019)

O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casual, em um arranjo fatorial 7x5, em que o primeiro fator representa os ângulos de inclinação -15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10° e 15°; e o segundo, os cinco modelos de dosadores de fertilizante descritos na seção 3.1.2. As massas coletadas em cada pote foram consideradas as unidades amostrais, sendo que foram realizadas três repetições. Após cada coleta, foram descartados os três primeiros e três últimas unidades de coleta, visando eliminar o erro resultante da aceleração e desaceleração do carro móvel. Então, foram calculados os coeficientes de variação (variável resposta) para cada combinação.

Este conjunto de dados (inclinação + dosador + coeficiente de variação) foi submetido a análise de variância a um nível de significância de 95%, para verificar se os ângulos e os dosadores, separadamente, influenciam estatisticamente na média dos valores de CV obtidos. Posteriormente, foi realizado o teste Tukey para buscar identificar em quais tratamentos está a diferença. Assim, pode-se observar a influência que cada variável tem sobre a eficiência dos sistemas.

3.2.7 Variação total da dosagem em diferentes ângulos de inclinação longitudinal

Esta análise consistiu em identificar a variação da massa total de fertilizante despejada por cada dosador quando submetido aos sete ângulos de inclinação longitudinal diferentes. Para isso, considerou-se para cada tratamento e cada repetição a soma dos valores coletados por cada uma das 52 unidades de coleta, diminuindo a possibilidade de erros, pois não houve interferência humana no controle do início e fim de cada coleta, já que a velocidade do carro móvel é constante.

O delineamento foi inteiramente casual, e o arranjo ficou 5x7, sendo que o primeiro representa os cinco modelos de dosadores de fertilizante apresentados na seção 3.1.2 e, o segundo, as inclinações longitudinais de -15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10° e 15 ° dos dosadores; foram realizadas três repetições.

Após a coleta dos dados, foi realizada a análise de variância para cada dosador, analisando o comportamento em diferentes inclinações e visando identificar se o ângulo de trabalho influencia estatisticamente na massa total despejada.

Na sequência, foram calculados os valores de coeficiente de variação para cada dosador, considerando as massas dosadas nos sete ângulos propostos, sendo que, quanto menor o valor de CV encontrado, mais eficiente foi considerado o sistema dosador de fertilizante.

Posteriormente, estes valores (dosador + coeficiente de variação) foram submetidos a análise de variância, com nível de significância adotado de 95%, testando a probabilidade de que as médias das variáveis respostas são iguais. Ou seja, buscando identificar se há diferença estatística entre as eficiências dos dosadores experimentados.

O próximo passo foi realizar o teste Tukey para identificar entre quais sistemas dosadores de fertilizante existem diferenças significativas.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados dos experimentos realizados, iniciando com a validação de um material alternativo ao fertilizante, valores e resultados das análises estatísticas para a distribuição longitudinal, variação em diferentes inclinações longitudinais e, por fim, foi verificada a quantidade mínima de unidades de coleta necessários para se realizar um experimento para identificar a variação longitudinal de fertilizante.

4.1 Validação do uso de pellets poliméricos no uso de experimentos

Para validar o uso de um material alternativo ao fertilizante, foi realizada a comparação das propriedades (distribuição granulométrica, densidade e ângulo de repouso) de cinco diferentes materiais: pigmento para poliamida, polipropileno triturado, poliamida com fibra de vidro, poliamida natural e polipropileno com fibra de vidro. Na Tabela 5 são apresentadas essas propriedades, determinadas através dos métodos citados na seção 3.2.4.

Tabela 5 – Propriedades físicas dos pellets experimentados

Características		Pigmento para poliamida	Polipropileno triturado	Poliamida com FV	Poliamida natural	Polipropileno com FV
Granulometria	4,6mm		52,5%			1,3%
	4mm		19,0%			93,9%
	3,35mm		13,0%	72,1%		4,7%
	2mm	91,9%	12,4%	27,8%	99,7%	
	1mm	8,1%	2,6%		0,3%	
	Fundo		0,1%			0,1%
Densidade (g/cm³)		0,81	0,53	0,74	0,71	0,47
Ângulo de repouso (°)		32,4	35,8	35,8	29,5	36,6

Fonte: Autor (2019)

Após identificadas as características, efetuou-se uma comparação com os fertilizantes mistura de grânulos 02-20-20, mistura granulada 16-16-16 e mistura farelada 00-15-30, utilizados por Bonotto (2012), apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades físicas dos fertilizantes utilizados por Bonotto (2012)

Características		Fórmula comercial do adubo		
		02-20-20	16-16-16	00-15-30
Granulometria	4mm	15%	1%	0%
	2mm	82%	73%	1%
	1mm	4%	14%	3%
	0,5mm	0%	8%	19%
	Fundo	0%	4%	76%
Densidade (g/cm ³)		1,04	0,85	1,24
Ângulo de repouso (°)		30,0	27,0	21,0

Fonte: Adaptado de Bonotto (2012)

Ao compará-los, optou-se por utilizar pellets de poliamida natural devido ao ângulo de repouso ser o mais próximo do fertilizante 02-20-20, e ambos possuírem a maior quantidade dos grânulos com tamanho de 2mm. Essas características dos dois materiais estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades físicas dos fertilizantes utilizado por Bonotto (2012) e poliamida natural

		02-20-20	Poliamida natural
Granulometria	4mm	15%	-
	2mm	82%	99,7%
	1mm	4%	0,3%
Densidade (g/cm ³)		1,04	0,71
Ângulo de repouso (°)		30,0	29,5

Fonte: Adaptado de Bonotto (2012)

Como pode ser visto, ambos possuem a maior concentração da dimensão dos grânulos em 2mm, sendo que a poliamida natural possui 99,7% da sua composição com esse tamanho. Essa característica garante que a densidade seja mais homogênea e não altere durante a realização do experimento, visto que não há segregação do material (Tabela 7).

Outra característica importante é o ângulo de repouso, estando os de ambos muito próximos: o fertilizante apresentou 30° e o pellet de poliamida 29,5° (Tabela 7). Isso garante que o volume dosado durante o experimento não apresente diferença ao utilizar o pellet de poliamida natural frente ao fertilizante 02-20-20, em diferentes ângulos de inclinação. Mesmo a densidade apresentando diferença, o volume deverá ser constante.

O material selecionado ainda possui mais algumas características específicas, sendo que elas foram fornecidas pelo fabricante do mesmo, e estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Propriedades mecânicas da poliamida natural

Propriedades Mecânicas	Valores
Resistência à Tração	140 MPa
Alongamento na Ruptura	4%
Resistência Flexão	220 MPa
Módulo de Flexão	7900 MPa
Impacto Izod com entalhe	115 J/m

Fonte: Adaptado de Petropol (2019)

Com essa escolha, é possível realizar o teste com um material alternativo ao fertilizante que possui maior resistência mecânica, garantindo que não ocorra a quebra dos grãos ao longo dos testes, o que manterá constante as suas características de ângulo de repouso e densidade aparente.

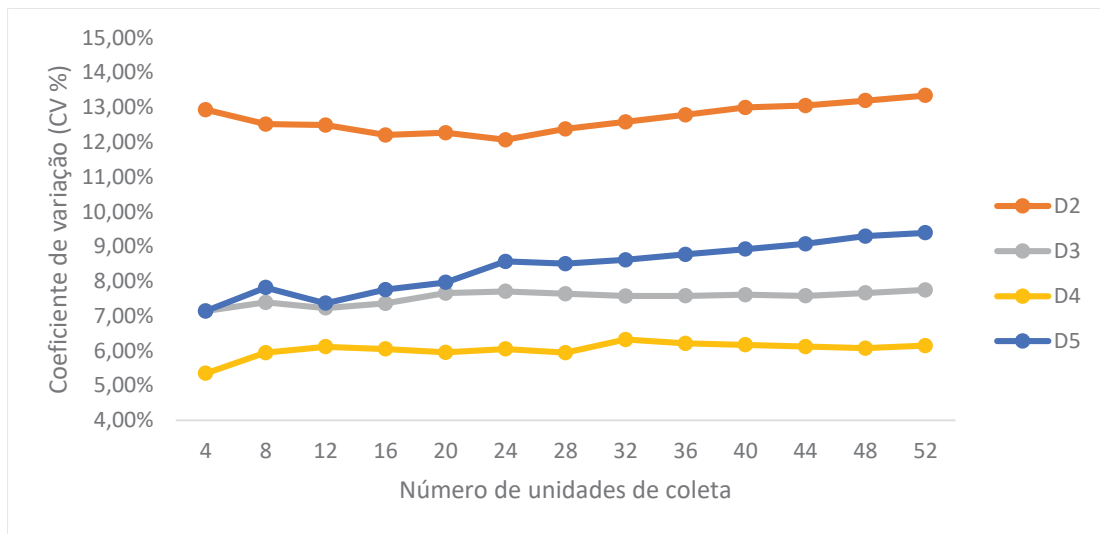
4.2 Avaliação do número de unidades de coleta ideal para experimento de distribuição longitudinal

Analisando os resultados, foi possível identificar que cada sistema dosador de fertilizante indicou uma particularidade, visto que alguns modelos demonstraram aumentar o valor de coeficiente de variação com o aumento do número de unidades de coleta, enquanto outros demonstraram uma diminuição do valor de CV e posterior aumento.

A Figura 30 apresenta a média dos coeficientes de variação entre os sete ângulos experimentados para cada sistema dosador de fertilizante, sendo: D2 – Tipo sem fim com descarga lateral; D3 – Duplo sem fim; D4 – Rotor dentado; e, D5 – Sem fim maciço em dosador com transbordo transversal.

O dosador D2, do tipo sem-fim com descarga lateral, iniciou com CV de 12,9% com 4 unidades de coleta, decaiu até 12,7% com 24 unidades de coleta e aumentou até 13,34% ao final. O dosador D3, do tipo duplo sem-fim, iniciou apresentando um coeficiente de variação de 7,1%, mostrando uma estabilização a partir de 20 unidades de coleta. O dosador D4, do tipo rotor dentado, iniciou com um CV de 5,35% e representou estabilidade já a partir de 8 unidades de coleta, com 5,94%, terminando com 6,14%.

Figura 28 - Média dos CV para diferentes quantidades de unidades de coleta utilizadas na bancada de teste



Fonte: Autor (2019)

Por fim, o dosador D5, com o sem-fim plástico, iniciou com 7,14% de coeficiente de variação e teve uma crescente dos valores até a quantidade de 52 unidades de coleta, em que apresentou um valor de 9,39%.

Cabe destacar que em nenhuma das quantidades de unidades de coleta os valores de CV se aproximaram dos encontrados por Bonotto (2012), que obteve um mínimo de 22,56% e máximo de 48,66% ao utilizar o fertilizante 02-20-20. Desta forma, acredita-se que a diferença encontrada entre os resultados dos experimentos pode ser em função da bancada, da vazão estipulada para a coleta ou até mesmo pelo fato de terem sido utilizados pellets de poliamida como fertilizante, com maior homogeneidade entre os tamanhos de grãos.

Os valores encontrados nas combinações entre dosadores, inclinações e números de unidades de coleta foram submetidos a análise de variância para identificar se existem diferenças entre as médias. A Tabela 8 contém os resultados da ANOVA, e nela está destacada a linha que contém os indicativos da avaliação do número de unidades de coleta.

Tabela 8 - Análise de variância

	SQ	SM	Valor de F	Valor de P
Linear	0,79723	0,036238	101,69	< 0,000
Dosador	0,68721	0,171802	482,11	< 0,000
Inclinação	0,08202	0,01367	38,36	< 0,000
Unidades de coleta	0,028	0,002333	6,55	< 0,000
Dosador*Inclinação	0,11694	0,004872	13,67	< 0,000
Dosador* Unidades de coleta	0,02213	0,000461	1,29	0,09
Inclinação* Unidades de coleta	0,01806	0,000251	0,7	0,97

Fonte: Autor (2019)

O fato de o valor de P (última coluna da Tabela 8) ser menor que 0,05 para as unidades de coleta (linha destacada), indica que a quantidade deles influencia estatisticamente no resultado do coeficiente de variação encontrado. Então, foram realizadas novas análises de variância individual para cada dosador e, posteriormente, o teste Tukey, buscando identificar quais quantidades de unidades de coleta não possuem uma diferença significativa.

Dentre todos os dosadores, somente um apresentou o valor de P menor que 0,05, indicando que este modelo é o único que pode ter o valor do coeficiente de variação estatisticamente diferente para diferentes números de unidades de coleta. Assim, foi realizado o teste Tukey somente para ele, visto que a conclusão também caberá para os demais.

Pelos resultados do teste T apresentados na Tabela 9, pode ser identificado que as quantidades entre 24 e 52 unidades de coleta não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade de erro, visto que suas respectivas médias são seguidas da mesma letra (A). O mesmo ocorreu para as quantidades entre 4 e 40 unidades de medida, que tiveram suas médias seguidas da mesma letra (D).

Tabela 9 – Teste Tukey para diferentes números de unidades de coleta

Unidades de coleta	N	Média	Grupo
52	21	0,0930	A
48	21	0,0913	A B
44	21	0,0891	A B C
40	21	0,0873	A B C D
36	21	0,0827	A B C D
32	21	0,0802	A B C D
28	21	0,0751	A B C D
24	21	0,0698	A B C D
20	21	0,0677	B C D
8	21	0,067	C D
16	21	0,0658	C D
12	21	0,0650	C D
4	21	0,0632	D

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor (2019)

Desta forma, pode-se interpretar que a quantidade de 24 unidades de coleta é a menor que não difere estatisticamente das demais quantidades de unidades de coletas, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.3 Variação da distribuição longitudinal de fertilizantes

Após a coleta dos dados e cálculo dos coeficientes de variação, foi possível identificar que todos os dosadores estudados apresentam variação de dosagem na distribuição longitudinal. A Tabela 10 apresenta o coeficiente de variação, calculados a partir da Equação 1 e o desvio padrão de cada um dos dosadores em cada uma das inclinações calculados a partir das três repetições de cada tratamento, ou seja, a variação da vazão de cada mecanismo quando está trabalhando em diferentes condições. Sendo: D2 – Tipo sem fim com descarga lateral; D3 – Duplo sem fim; D4 – Rotor dentado; e, por fim, D5 – Sem fim maciço em dosador com transbordo transversal.

Tabela 10 - Coeficientes de Variação na distribuição longitudinal dos pellets de poliamida na bancada

Inclinação (°)	D2		D3		D4		D5	
	CV	Desv. Padrão	CV	Desv. Padrão	CV	Desv. Padrão	CV	Desv. Padrão
-15	13,6%	2,6%	8,4%	4,5%	7,3%	1,8%	11,6%	3,5%
-10	12,4%	1,0%	7,0%	1,0%	7,2%	1,2%	10,8%	1,9%
-5	13,3%	1,4%	9,8%	0,6%	6,7%	2,1%	8,6%	0,4%
0	14,6%	1,2%	7,4%	1,8%	4,7%	0,5%	8,9%	1,6%
5	13,3%	0,6%	6,5%	0,4%	5,7%	0,5%	8,9%	0,6%
10	13,0%	0,8%	6,8%	0,3%	6,3%	1,2%	6,9%	0,9%
15	13,3%	2,1%	8,2%	1,2%	5,1%	0,6%	10,0%	0,8%

Fonte: Autor (2020)

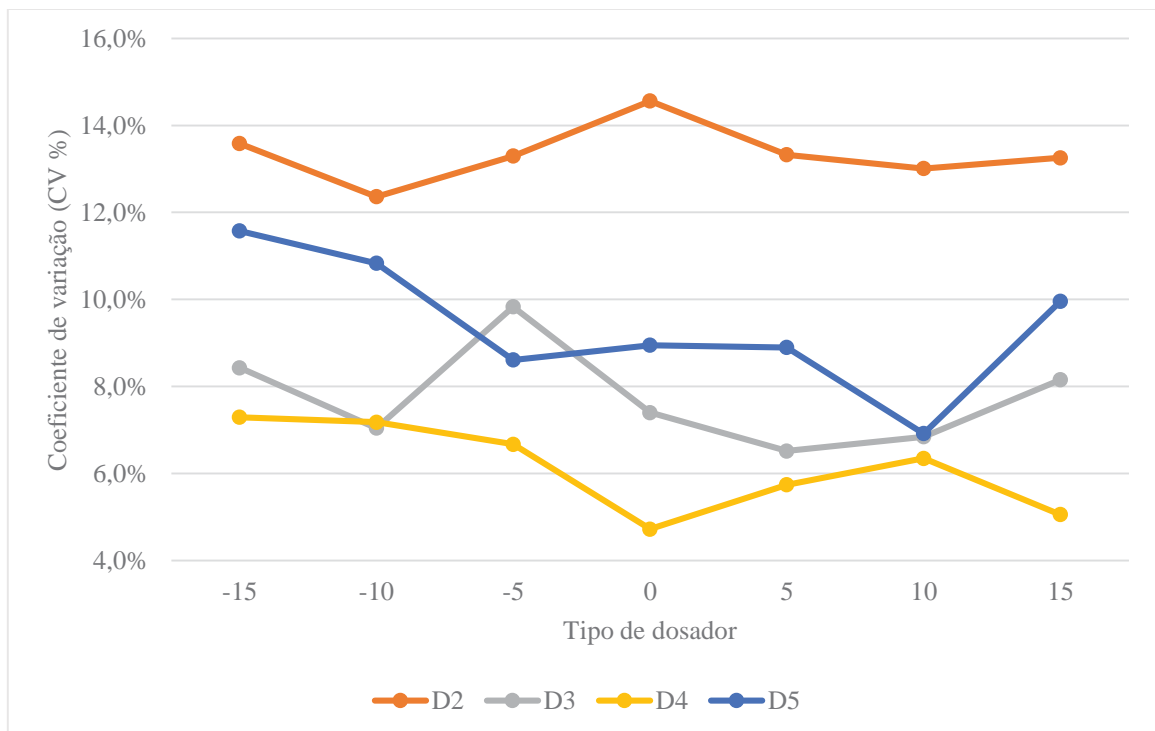
O menor coeficiente de variação foi encontrado no dosador D4, tipo rotor dentado, quando o mesmo trabalhou em nível (0°), ficando com 4,7%, e mostrou uma tendência em aumentar o valor de CV com a inclinação do sistema, apresentando maior variação em inclinações negativas, onde chegou a 7,3% a -15°. Esse dosador ainda apresentou os valores mais baixos, sendo que a média dos seus coeficientes de variação é 6,1% (Figura 31). Ficando com o melhor desempenho dentre os modelos experimentados.

Já o maior valor de CV foi encontrado na distribuição longitudinal do dosador D2 (tipo sem-fim com descarga lateral), quando o mesmo trabalha no nível, com 14,6%. Possivelmente esse resultado seja reflexo do formato de descarga do fertilizante, que ocorre pela lateral e sem restrição, sofrendo aumento e redução da dosagem à medida que o perfil do sem-fim passa pelo local de saída. Ao trabalhar inclinado, os valores de CV diminuíram, tanto em aclive quanto em declive, mas manteve uma certa constância.

O dosador D3, do tipo duplo sem-fim, apresentou um valor de coeficiente de variação igual a 7,4% quando trabalhando em nível (0°), sendo que não apresentou uma tendência clara de aumento e/ou diminuição deste valor com a variação da inclinação, visto que em ambos os sentidos o sistema apresentou valores maiores e menores que o encontrado em 0° .

Na Figura 31 podem ser vistos os comportamentos citados anteriormente, tanto entre inclinações quanto entre os dosadores.

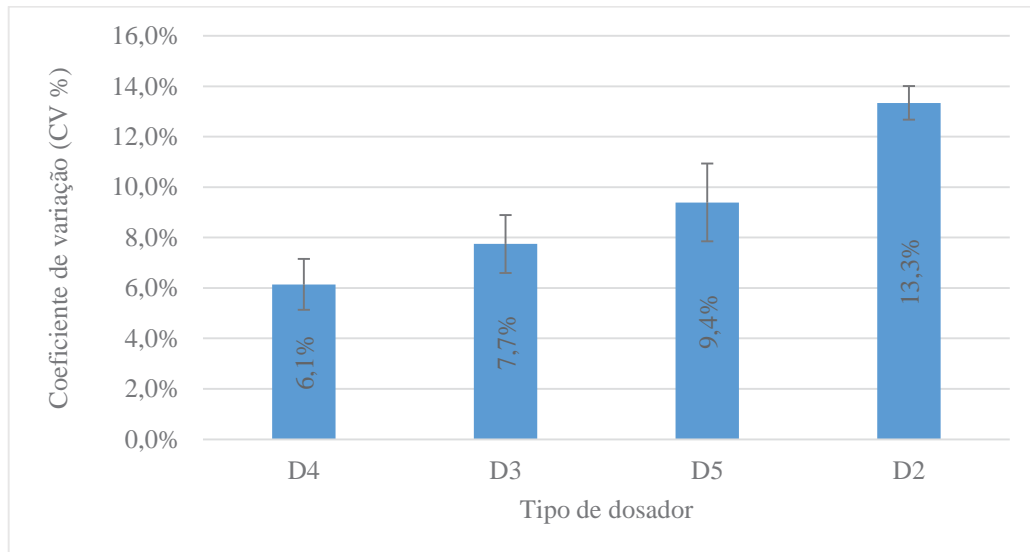
Figura 29 – Valores de CV da distribuição longitudinal



Fonte: Autor (2020)

A Figura 32 apresenta as médias dos coeficientes de variação e seus respectivos desvios padrão, da distribuição longitudinal de cada dosador, em ordem crescente, do mais eficiente para o menos eficiente.

Figura 30 - média dos CV na distribuição longitudinal



Fonte: Autor (2020)

O sistema que se mostrou mais eficiente dentre os experimentados foi o D4 (tipo rotor dentado), apresentando um coeficiente de variação médio de 6,1%. Representa que seu princípio de funcionamento é superior aos sistemas que utilizam sem-fim (Figura 32). Acredita-se que cabe realizar novos experimentos para identificar e entender seu funcionamento.

O segundo melhor desempenho foi encontrado no trabalho do dosador D3 (tipo duplo sem-fim), com valor de CV médio igual a 7,7%. Um dos motivos desse desempenho pode ser o fato de os dois sem-fins também compensarem o pulso resultante da passagem do perfil do sem-fim pela área de descarga.

O dosador com sem-fim plástico apresentou coeficiente de variação médio igual a 9,4%, ficando com o quarto melhor desempenho. Cabe destacar que Reynaldo (2013) não avaliou o seu comportamento quanto a distribuição longitudinal.

Os valores de coeficiente de variação se mostraram inferiores aos encontrados por Bonotto (2012), em que se obteve um mínimo de 22,56% e máximo de 48,6% ao utilizar o fertilizante 02-20-20.

Por fim, foi realizada a comparação das médias dos valores de CV encontrados, visando realizar uma análise estatística dos resultados. Como pode ser visto na Tabela 11, os valores de P do ângulo e do dosador tiveram resultado menor que 0,05, indicando que tanto o ângulo de inclinação quanto o tipo de dosador utilizado exercem efeito significativo no coeficiente de variação. Porém o ângulo de inclinação exerce uma influência maior no resultado do que o modelo do dosador de fertilizante, visto que apresentou um valor de P igual a 0,002, enquanto o Dosador apresentou um valor menor que 0,000.

Tabela 11 – Resultados da análise da variância (ANOVA) para as variáveis dosadores e ângulo de inclinação

	GL	SQ	MQ	Valor de F	Valor de P
Ângulo	6	0,006071	0,001012	3,97	0,002
Dosador	4	0,060161	0,01504	58,98	< 0,000

Fonte: Autor (2020)

Ao se realizar o teste Tukey, pode ser identificado que os dosadores demonstraram ter comportamento estatisticamente diferente.

Tabela 8 – Teste Tukey dosadores e ângulos

Tipo de dosador	Média	Grupo
D2	0,13342	A
D5	0,09392	B
D3	0,07747	C
D4	0,06145	D

*médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor (2020)

4.4 Variação total da dosagem em diferentes inclinações longitudinais

O primeiro passo foi realizar a análise de variância dos valores coletados para cada dosador, levando em conta os diferentes ângulos. Para todos os dosadores o valor de P deu inferior a 0,05, indicando que o ângulo de inclinação influencia estatisticamente na quantidade de fertilizante dosado, conforme apresentado na Tabela 13.

Todavia, o dosador D2, do tipo sem-fim com descarga lateral, apresentou valor de P igual a 0,032, bem acima dos demais, indicando que seu desempenho é superior, ou seja, a influência que o ângulo de inclinação tem sobre este sistema é bem menor do que sobre os demais sistemas.

Tabela 13 – Valor de P – influência da inclinação no resultado de coeficiente de variação de cada dosador

Dosador	Valor de P
D2	0,032
D3	0,002
D4	< 0,000
D5	< 0,000

Fonte: Autor (2020)

Então, foram calculados os valores de coeficiente de variação da dosagem considerando os sete diferentes ângulos de inclinação (-15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10° e 15°), para cada dosador, conforme exposto na Tabela 14.

Tabela 94 - CV para inclinações longitudinais

Inclinação -15 a +15	D2	D3	D4	D5
CV Geral	4,4%	8,2%	7,6%	11,5%

Fonte: Autor (2019)

O dosador que apresentou melhor desempenho foi o D2 (do tipo sem fim com descarga lateral), representando que, dos equipamentos experimentados, esse é o que menos altera a dosagem em função da inclinação de trabalho, com CV igual a 4,4%, indo de acordo com a análise de variância realizada, que apontou que este sistema é o que menos tem sua dosagem influenciada com a alteração da inclinação longitudinal. Isso pode ser atribuído ao fato da sua descarga ser lateral, o que possivelmente bloqueia a queda de fertilizante que cairia devido à gravidade. Esse dosador também foi o que apresentou melhor desempenho nos experimentos realizados por Bonotto (2012), Reynaldo (2013) e Garcia *et al.* (2017).

Com o segundo melhor resultado de coeficiente de variação ficou o dosador D4 (dosador do tipo rotor dentado), sendo que foi encontrado coeficiente de variação igual a 7,6%. Não foram encontrados artigos para comparar esse resultado, mas acredita-se que o formato do dosador e seu funcionamento consigam amenizar o efeito da gravidade quando trabalha em diferentes inclinações, visto que o rotor representa controlar o fertilizante que “escoaria” com o efeito do peso, podendo ser o motivo do resultado encontrado.

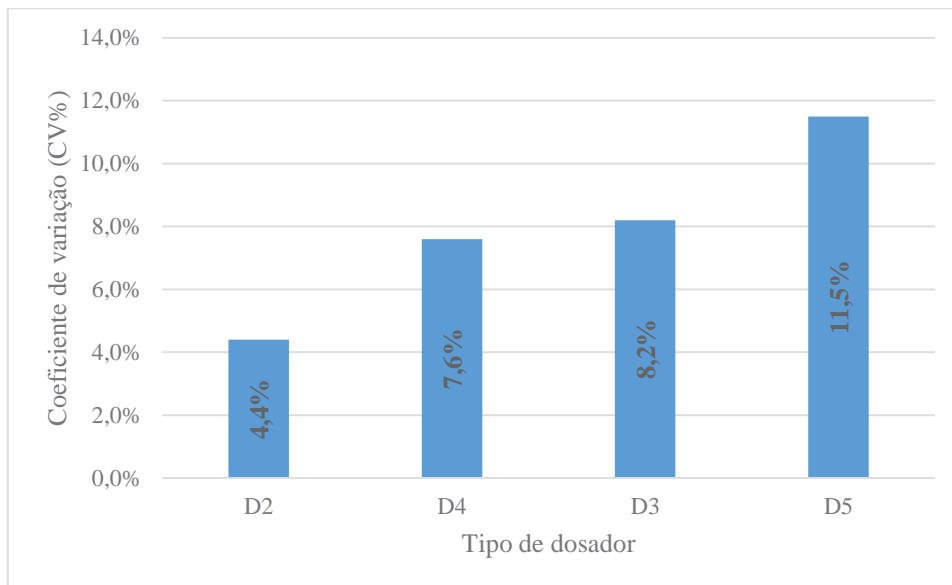
Já o dosador do tipo duplo sem-fim (D3) apresentou um coeficiente de variação igual a 8,2%, ficando com o quarto melhor resultado encontrado. O fato de possuir dois sem-fins transportando o fertilizante em sentidos opostos pode amenizar a variação, visto que ocorre uma compensação entre eles: quando um dosa menos, o outro dosa mais. Porém, o fato da saída ser livre ainda resulta em um CV longe do primeiro colocado.

O sem fim maciço (D5), semelhante ao proposto por Reynaldo (2013), montado no dosador do tipo transbordo transversal teve um coeficiente de variação igual a 11,5%, ficando com o pior desempenho dentre os sistemas testados neste experimento. Esse valor também ficou acima do encontrado por Reynaldo (2013), que foram 7,1% para o sem-fim inteiro e 7,7% para o sem-fim segmentado. Uma possível razão para esse valor elevado de CV pode ser a baixa

rugosidade superficial, facilitando o deslizamento dos pellets de poliamida no sentido oposto ao desejado.

A Figura 33 apresenta os coeficientes de variação e seus respectivos desvios padrão encontrados para cada sistema conforme citado anteriormente, sendo: D2 – Tipo sem fim com descarga lateral; D3 – Duplo sem fim; D4 – Rotor dentado; e, D5 – Sem fim maciço em dosador com transbordo transversal.

Figura 31 - Coeficientes de variação de dosagem em inclinações longitudinais



Fonte: Autor (2019)

Na seqüência, os valores de coeficiente de variação encontrados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para fazer a comparação entre as eficiências dos dosadores. A análise apresentou um valor de P igual a 0,00 (zero), indicando que, estatisticamente, há diferenças significativas entre os dosadores. O próximo passo foi realizar o teste de Tukey, pois ele mostra entre quais dosadores está a diferença. A Tabela 15 contém os resultados.

Tabela 15 – Médias do coeficiente de variação obtidas em cada tipo de dosador de adubo avaliado em bancada experimental

Dosador	N	Média	Grupo
D5	3	0,1148	A
D3	3	0,0825	B
D4	3	0,0762	B
D2	3	0,0435	C

*Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor (2019)

Na Tabela 15 é possível observar que o menor coeficiente de variação (0,1148) foi obtido com o dosador do tipo sem-fim maciço em dosador com transbordo transversal (D5). Ainda na mesma tabela nota-se que não houve diferença do coeficiente de variação entre os dosadores D3 e D4, os quais foram superiores ao do dosador D2 (0,0435).

Esses resultados indicam que a inclinação de trabalhos destes sistemas de dosadores de fertilizante tem influência direta sobre o volume despejado pelos mesmos, e que há diferenças estatísticas entre os sistemas, sendo que cada dosador apresenta um desempenho. Acredita-se que o ângulo de inclinação e o ângulo de repouso do fertilizante possam juntos influenciar no coeficiente de variação, porém, é necessário um experimento específico para validar essa questão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas de forma objetiva as conclusões do presente estudo, iniciando com a discussão dos objetivos propostos e concluindo com as sugestões de trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

O objetivo geral de analisar os desempenhos dos dosadores de fertilizantes utilizados em semeadoras adubadoras em diferentes condições (angulações) de trabalhos encontradas no campo foi atingido, pois o experimento e a análise foram realizados e permitiram avaliar individualmente o comportamento de cada sistema dosador.

A bancada utilizada teve participação muito importante na realização dos testes, visto que a mesma permitiu variar as condições de trabalho dos sistemas, simulando o plantio no campo, tanto em diferentes inclinações quanto permitindo avaliar o comportamento em deslocamento.

O objetivo específico de identificar um material que possa ser utilizado como alternativa ao fertilizante para realização de experimentos em dosadores foi atingido, visto que, ao serem identificadas as características de granulometria, ângulo de repouso, densidade aparente e teor de água, pode ser encontrada uma solução que possui as características próximas a um fertilizante comercial.

O pellet de poliamida natural possui as características muito semelhantes às do fertilizante comercial 02-20-20, portanto, pode ser utilizado no experimento de dosadores como material substituto, e se destaca devido às suas características mecânicas, como alta resistência e o fato de não ser higroscópico.

Quanto ao objetivo específico de identificar o número mínimo de coletas (unidades de coleta) para se realizar a avaliação de distribuição longitudinal de dosador de fertilizantes, foi identificado que a quantidade de 24 unidades de coleta é a menor que não difere estatisticamente das demais quantidades de unidades de coletas, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Porém, não foi identificada uma estabilização nos valores de coeficientes de variação à medida em que se aumentou a quantidade de unidades de coleta, gerando oportunidade para futuros trabalhos científicos.

O objetivo específico de analisar e comparar o desempenho dos dosadores de adubo na distribuição longitudinal também foi atingido, visto que as coletas das massas nas unidades de coleta distribuídas longitudinalmente na bancada geraram informações do comportamento de cada sistema dosador em situação de trabalho. A análise estatística permitiu interpretar e comparar cada um.

O experimento indicou que o dosador que apresentou melhor desempenho foi o do tipo rotor dentado, ficando com coeficiente de variação médio igual a 6,1%; seguido dos dosadores do tipo duplo sem-fim que obteve CV igual 7,7%, sem-fim maciço em dosador do tipo transbordo transversal com CV igual a 9,4% e sem-fim com descarga lateral, que apresentou CV igual a 13,3%.

Quanto ao objetivo específico de analisar e comparar o desempenho dos dosadores de adubo em inclinação longitudinal, foi concluído que o sistema que possui melhor desempenho é o do tipo sem-fim com descarga lateral, apresentando um coeficiente de variação igual a 4,4%, sendo que a análise de variância indicou que este sistema é o que menos tem sua vazão influenciada pelo ângulo; seguido respectivamente pelos dosadores do tipo rotor dentado que apresentou CV igual a 7,6%, duplo sem-fim com CV igual a 8,2% e sem-fim maciço em dosador do tipo transbordo transversal, que apresentou coeficiente de variação igual a 11,5%.

Desta forma, o experimento apresentou resultados e conclusões que alcançaram os objetivos propostos e trouxeram contribuições para o estado da arte.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

A partir do estado da arte revisado, metodologia utilizada neste trabalho e conclusões encontradas, é possível apontar algumas sugestões de trabalhos futuros que podem apresentar grandes resultados, agregando conhecimento ao que se tem até o momento.

Este mesmo experimento (de análise da distribuição longitudinal e dosagem em diferentes ângulos de inclinação) pode ser realizado com diferentes vazões do fertilizante e diferentes velocidades do carro móvel. Quanto ao material alternativo ao uso do fertilizante em experimentos com dosadores de adubo, cabe realizar mais testes buscando comparar os resultados obtidos com o fertilizante comercial com os resultados obtidos com o uso dos pellets de poliamida.

Referente a variação da dosagem em inclinações longitudinais, ainda existe uma diferença entre os valores encontrados na literatura, tendo espaço para serem repetidos novos experimentos com esse propósito.

O sistema dosador do tipo rotor dentado apresentou resultados distintos dos sistemas com dosagem através de sem-fim, e não foi encontrado um embasamento claro na literatura sobre esse assunto, surgindo a necessidade de se realizar novos experimentos com esse sistema, submetendo aos mesmos e a novos tratamentos.

A avaliação e definição de número mínimo de unidades de coleta não mostrou estabilizar os valores de coeficiente de variação. Então, sugere-se que em novos experimentos seja utilizada uma quantidade acima de 52 unidades de coleta, visando identificar o comportamento do valor de CV para distribuição longitudinal, ou fazer um experimento específico para determinar a estabilização.

REFERÊNCIAS

- AGROMAC. 2019. Disponível em: www.agromac.com.br. Acesso em: 23 jul. 2019.
- AJS. 2019. Disponível em: www.ajs.com.ar. Acesso em: 23 jul. 2019.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1990. 307p.
- BAYER, A. *et al.* **A Estatística e sua história**. 2009. Disponível em: <https://notasdeaula.files.wordpress.com/2009/08/estatistica-e-sua-historia.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- BERAS, G. J.. **Análise da Viabilidade Econômica da Semeadura da Cultura de Soja Utilizando Taza Variável de Fertilizante na Linha**. 2014. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Santa Maria, RS.
- BERCHT, A. K.. **Avaliação do efeito de nível do reservatório na vazão de fertilizante em dosador volumétrico**. 2017. 29 p. Trabalho de conclusão (Curso de Engenharia Agrônoma) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- BONOTTO, G. J. *et al.* Distribuição longitudinal de fertilizantes por dosadores de semeadoras adubadoras em linhas. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 21, n. 4, p. 368-378. 2013.
- BONOTTO, G. J.; **Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras adubadoras em linha**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS.
- CAPPELLI, N.L.; UMEZU, C.K.; MARTINS, M.M. Avaliação do desempenho de um dosador helicoidal para aplicação de fertilizantes sólidos. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 20, n. 2, p. 130-138. 2000.
- D’AMICO, J. P. *et al.* **Dosificadores a chorrillo: análisis de desempeño entre dos diseños usando semilla de trigo**. Londrina-PR: CLIA/COMBEA, 2012.
- DEERE. 2019. Disponível em: www.deere.com.br/pt/solu%C3%A7%C3%B5es-para-plantio/1107/. Acesso em: 28 jul. 2019.
- FELIZARI, A. A.. **Dosador de adubo de precisão**. Depositante: Alexandre Antônio Felizari. MU 9101034-9 U2. Depósito: 15 mai. 2011. Concessão: 08 jan. 2013. Revista da Propriedade Industrial, n. 2192, 2013.

FERREIRA, M. F. P. *et al.* Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 18, n. 4, p. 297-304. 2010.

FRANCETTO, T. R. *et al.* **Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes presentes nas semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil**. Londrina – PR: CLIA/CONBEA, 2012.

GARCIA, L. C. *et al.* Performance of fertilizer metering mechanisms of planters as a function of longitudinal inclination. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 6, p. 1155-1162. 2017.

GRESPLAN, A.; GARCIA, A. P.; SOARES, F. T. **Projeto conceitual para dosadores de fertilizantes sólidos**. In: XXIV Congresso de Iniciação Científica da Unicamp, 2016, Campinas. XXIV Congresso de Iniciação Científica da Unicamp, 2016.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2018. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm>. Acesso em: 23 mai. 2018.

ISO 5690/2. **Equipment for distributing fertilizers – Test methods**. Switzerland, 1984.

JUMIL. **Produtos\Plantadora adubadora JM2040**. Disponível em: <http://www.jumil.com.br/Produto/plantadora-adubadora-jm2040>. Acesso em: 05 abr. 2019.

LAMAS, F. M. **A tecnologia na agricultura**. Embrapa, 2017 Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30015917/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>. Acesso em: 23 mai. 2018.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 8. ed. Arizona State university: John Wiley & Sons, Inc., 2016.

MONTGOMERY, D. C; RUNGER, GC. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2016.

ONU. **ONU projeta população mundial para atingir 8,5 bilhões até 2030, impulsionada pelo crescimento nos países em desenvolvimento**. 2015. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2015/07/505352-un-projects-world-population-reach-85-billion-2030-driven-growth-developing#.Vbky2fIVhHx>> Acesso em: 01 jun. 2018

PETROPOL. **Informativo Técnico: Nypol B3 G30 NTLA010 NT301**. Mauá/SP. 2019.

PORTELLA, J. A.. **Semeadoras para o Plantio Direto**. 1. ed. Viçosa: Aprenda fácil, 2001. 231p.

REYNALDO, E. F. *et al.* **Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes helicoidais em ângulos de nivelamento longitudinal**. In: XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016. Florianópolis - SC, 2016.

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) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, 2013.

REYNALDO, E. F.; GAMERO, C. A.; Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes helicoidais em ângulos de nivelamento longitudinal e transversal. **Revista Energia na Agricultura. Botucatu**, v. 30, n. 2, p. 125-136. 2015.

ROSA, D. P. *et al.* **Dosadores de rosca helicoidal e suas relações com a produção de grão.** In: XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016. Florianópolis - SC, 2016.

SANTOS, C. C. *et al.* **Metodologia de avaliação de distribuidores de fertilizantes helicoidais.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014. Campo Grande -MS, 2014.

SILVEIRA, G. M. **As máquinas para Plantar:** aplicadores, distribuidoras, semeadoras, plantadoras e cultivadoras. 1. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1989.

SINUELLO. Disponível em: <https://www.sinuello.com.br>. Acesso em: 23 jul. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Departamento de Estatística. **Estatística II.** Curitiba - PR, 2009.



UPF
UNIVERSIDADE
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900
(54) 3316 7000 - www.upf.br