

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MARIA EDUARDA HITZ**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UREIA COM DISTRIBUIDOR  
CENTRÍFUGO SOBRE TAIPAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

**Alegrete  
2023**

**MARIA EDUARDA HITZ**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UREIA COM DISTRIBUIDOR  
CENTRÍFUGO SOBRE TAIPAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Agrícola da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Vilnei de Oliveira  
Dias

**Alegrete  
2023**

**MARIA EDUARDA HITZ**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UREIA COM DISTRIBUIDOR CENTRÍFUGO SOBRE  
TAIPAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Trabalho defendido e aprovado em: 10 de julho de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Vilnei de Oliveira Dias

Orientador

(Unipampa)

---

Profa. Dra. Eracilda Fontanela

(Unipampa)

---

Eng. Agric. Bruno Pilecco Bisognin



Assinado eletronicamente por **VILNEI DE OLIVEIRA DIAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/07/2023, às 10:43, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ERACILDA FONTANELA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/07/2023, às 14:01, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **BRUNO PILECCO BISOGNIN, Usuário Externo**, em 15/07/2023, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1184458** e o código CRC **0FAB0B8A**.

“Nem tudo que se enfrenta pode ser  
modificado, mas nada pode ser  
modificado até que seja enfrentado”

(Albert Einstein)

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente a Deus por ele sempre me iluminar e guiar meus passos na vida.

Ao meu professor e orientador Vilnei de Oliveira Dias, pela disponibilidade de tempo e paciência para me orientar e transmitir seus conhecimentos.

À Universidade Federal do Pampa pela oportunidade de desenvolver meu experimento na área experimental do Campus Alegrete e por todos os anos de estudo.

Ao Técnico Administrativo em Educação Jhon Pablo Lima Cornélio, por todo o auxílio prestado no desenvolvimento da prática do trabalho.

À empresa GILMAQ Comércio de Máquinas Agrícolas LTDA. por serem parceiros na pesquisa e possibilitarem o desenvolvimento do presente trabalho ao concederem o empréstimo do implemento utilizado.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Vagner Romeu Hitz e Roberta Hitz, por sempre me incentivarem a estudar e por acreditarem no meu potencial.

Aos meus colegas, em específico, à Natália Garcez, ao Vitor Charão, à Milena Prates, à Lubna Maressa e à Stefani Refatti, por todo o auxílio prestado na realização do experimento a campo.

Ao meu querido parceiro de vida, Victor Ponte, por sempre me ajudar a manter a calma e me encorajar na realização dos meus sonhos.

## RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas mais produzidas no mundo, sendo a base da alimentação de milhares de pessoas. Comumente, nas lavouras de arroz irrigado, a distribuição de fertilizantes sólidos é realizada com a utilização de distribuidores centrífugos. Entretanto, são poucos os trabalhos avaliando esta distribuição em condições sobre taipas, sendo necessário trabalhos que estudem a eficácia deste tipo de equipamento. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a regularidade de distribuição de sólidos com um distribuidor centrífugo em diferentes superfícies de trabalho e em formas de acoplamento contrastantes. Para tal, foi realizado um experimento cujos tratamentos foram compostos pela variação do tipo de superfície, deslocamento em relação às taipas (paralelo, 45°, e 90°) e duas formas de acoplamento (montado no engate de três pontos do trator e arrastado pela barra de tração). Observou-se que para 20% de coeficiente de variação (CV) as larguras de trabalho encontradas foram pequenas visto que, segundo a empresa fabricante do distribuidor, a largura mínima é 16 m e a máxima de 30 m para o produto utilizado (ureia). O perfil de distribuição transversal no terreno com taipas onde o conjunto mecanizado se deslocou com ângulo de 45° apresentou-se como o pior perfil dentre os estudados, nas duas formas de acoplamento (montado e arrastado). Analisou-se que na largura de trabalho escolhida de 23 m todos os (CV%) encontrados foram acima do recomendado para materiais granulares. Concluiu-se que a forma de acoplamento alterou o perfil de distribuição transversal e o coeficiente de variação, sendo que para terreno com taipas o acoplamento montado expressou melhor perfil de distribuição transversal, sendo que, para terreno com taipas, a melhor forma de deslocamento é com ângulo de 90°.

Palavras-Chave: perfil de distribuição, adubação nitrogenada, taipas

## ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most produced crops in the world, being the basis of the diet of thousands of people. Commonly, in irrigated rice crops, the distribution of solid fertilizers is carried out with the use of centrifugal distributors. However, there are few studies evaluating this distribution in conditions on taipas, it is necessary to study the effectiveness of this type of equipment. Thus, the objective of this work was to evaluate the regularity of solids distribution with a centrifugal distributor on different work surfaces and in contrasting coupling shapes. To this end, an experiment was carried out whose treatments were composed by the variation of the type of surface displacement in relation to the taipas (parallel, 45° and 90°), and two forms of coupling (mounted on the tractor's three-point hitch and dragged along the drawbar). It was observed that for 20% of the (CV) coefficient of variation the working widths found were small since, according to the manufacturer of the distributor, the minimum width is 16 m and the maximum is 30 m for the product used (urea). The transverse distribution profile in the terrain with taipas where the mechanized set if moved with an angle of 45° presented as the worst profile among those studied, in the two forms of coupling (mounted and dragged). It was analyzed that in the chosen working width of 23 m all (CV%) found were above the recommended for granular materials. It is concluded that the coupling form altered the cross-sectional distribution profile and the coefficient of variation, and for terrain with taipas the mounted coupling expressed a better cross-sectional distribution profile, and for terrain with taipas, the best form of displacement is with an angle of 90°.

Key-words: distribution profile, nitrogen fertilization, rice paddies

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos de entaipadoras utilizadas na cultura do arroz irrigado. (a) Entaipadora de base estreita, (b) Entaipadora de base larga.....	16
Figura 2 – Distribuidor centrífugo volumétrico com dosador de esteira.....	19
Figura 3 – Distribuidor centrífugo com dosador gravitacional e agitador.....	20
Figura 4 – Distribuidor por gravidade de produtos sólidos.....	20
Figura 5 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos.....	21
Figura 6 – Distribuidor pendular de produtos sólidos.....	21
Figura 7 – Posição das aletas no disco. (a) aletas adiantadas, (b) aletas radiais, (c) aletas atrasadas.....	23
Figura 8 – Representação da forma de trabalho. (a) contínuo, (b) alternado.....	24
Figura 9 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor bidisco.....	25
Figura 10 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor monodisco.....	26
Figura 11 – Formas de acoplamento do distribuidor centrífugo. (a) montado, (b) arrastado.....	26
Figura 12 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos sobre o reboque estabilizador.....	27
Figura 13 – Distribuidor centrífugo sobre o reboque estabilizador que foi utilizado para desenvolvimento do experimento.....	32
Figura 14 – Conjunto de peneiras utilizadas para determinação da granulometria...33	
Figura 15 – Determinação da granulometria através de conjunto de peneiras.....	34
Figura 16 – Repousímetro utilizado na análise do ângulo de repouso.....	35
Figura 17 – Copo volumétrico preenchido com volume de 150 cm <sup>3</sup> de ureia.....	36
Figura 18– Coletores padronizados pela ISO 5690/1982.....	37
Figura 19 – Coletores alinhados e dispostos transversalmente ao sentido de deslocamento do conjunto mecanizado.....	38
Figura 20 – Ilustração dos níveis do fator superfície: superfície plana (a); superfície com taipas e deslocamento com ângulo de 45° (b); superfície com taipas deslocamento com ângulo de 90° (c). ....	39
Figura 21 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento montado.....	41

Figura 22 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento arrastado.....	42
Figura 23 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 45° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado.....	44
Figura 24 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 45° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado.....	45
Figura 25 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 90° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado.....	46
Figura 26 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 90° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado.....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações do trator NH TL 75 utilizado no experimento.....	31
Quadro 2 – Especificações técnicas do distribuidor centrífugo utilizado no estudo...	32
Quadro 3 – Especificações do reboque estabilizador.....	33
Quadro 4 – Combinação dos fatores para formação dos tratamentos.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria da ureia.....	34
Tabela 2 – Larguras de trabalho de acordo com o coeficiente de variação (CV%) delimitado.....	48
Tabela 3 – Síntese da análise de variância (ANOVA) para efeitos principais e secundários.....	49
Tabela 4 – Teste de médias para formas de acoplamento e tipos de superfícies.....	50
Tabela 5 – Testes de médias para forma de acoplamento e método de manobra.....	51
Tabela 6 – Teste de médias para tipo de superfície e método de manobra.....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1	A cultura do arroz irrigado.....	15
2.2	Adubação nitrogenada no arroz irrigado .....	17
2.3	Distribuição de sólidos em superfície .....	19
2.4	Uniformidade de distribuição de sólidos à lanço .....	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1	Local .....	31
3.2	Conjunto mecanizado .....	31
3.3	Caracterização do produto sólido.....	33
3.3.1	Granulometria .....	33
3.3.2	Ângulo de repouso .....	34
3.3.3	Densidade de partículas .....	35
3.3.4	Umidade gravimétrica.....	36
3.4	Análise do perfil de distribuição transversal .....	37
3.5	Delineamento experimental e análise estatística .....	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa L.*) é uma das culturas mais produzidas no mundo, sendo a base da alimentação de milhares de pessoas. O Brasil ocupa o nono lugar na produção de arroz, com 1,5% da produção mundial (SILVA; WANDER; FERREIRA, 2021).

No Brasil, nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, o arroz cultivado é o irrigado que tem como forma de irrigação a inundação que é conduzida por meio de taipas. As taipas são feitas a partir do levantamento altimétrico da área e funcionam como barreiras, sendo possível fazer o manejo do curso da água.

A aplicação de produtos a lanço é uma das técnicas mais antigas de distribuição de insumos na agricultura. Feita inicialmente de forma manual, em sequência foi desenvolvida a primeira semeadora manual e com o desenvolvimento de máquinas agrícolas diversas, chegou-se à concepção do que hoje é conhecido como distribuidor centrífugo. Nos tempos atuais, o distribuidor centrífugo é um dos implementos agrícolas mais acessíveis, com fácil manuseio e manutenção para os agricultores. Segundo Farret et al. (2008), o distribuidor centrífugo é um implemento que revolucionou a distribuição de produtos sólidos na agricultura, devido a sua simplicidade construtiva, facilidade de regulação e alta capacidade operacional.

Comumente, nas lavouras de arroz irrigado, a aplicação de fertilizantes sólidos é com a utilização de distribuidores centrífugos, sendo realizada antes de se iniciar a irrigação da área. Entretanto, a aplicação de produtos sólidos sobre taipas pode se constituir um problema pois, de acordo com Horrocks et al. (2015), os distribuidores centrífugos foram projetados para trabalhar em terrenos planos.

É conhecido o fato de que o distribuidor centrífugo é uma máquina que, dependendo das condições operacionais, pode apresentar baixa precisão. Esta condição pode ser potencializada se o terreno em que o equipamento estiver sendo utilizado for desuniforme, o que pode causar oscilações laterais na máquina.

Para diminuir a influência da superfície do terreno na distribuição normalmente é utilizado um reboque estabilizador, o qual consiste em um equipamento com rodas acoplado arrastado no trator onde o distribuidor centrífugo fica apoiado. No entanto, são desconhecidos trabalhos avaliando esta distribuição em condições contrastantes. Diante do exposto, este tema carece de trabalhos que

estudem a eficácia deste tipo de equipamento para que seja possível assegurar maior acurácia na operação no que se refere a uniformidade de distribuição.

### **1.1 Objetivo geral**

Avaliar a regularidade de distribuição de sólidos com um distribuidor centrífugo em diferentes superfícies de trabalho e em formas de acoplamento contrastantes.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Verificar o efeito da direção de deslocamento sobre a uniformidade de distribuição de sólidos sobre taipas na cultura do arroz irrigado;
- Quantificar, a desuniformidade de aplicação de sólidos sobre taipas na cultura do arroz irrigado;
- Avaliar a eficácia da forma de acoplamento na uniformidade de aplicação de sólidos sobre taipas na cultura do arroz irrigado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do arroz irrigado

O arroz (*Oryza sativa L.*) é um cereal amplamente produzido e consumido por todos. Diversos historiadores apontam o sudeste da Ásia como sendo o local de origem do arroz. São duas as formas silvestres apontadas como precursoras do arroz, os mais antigos relatos sobre o arroz são encontrados na literatura chinesa há cerca de 5000 anos (EMBRAPA, 2000).

A produção mundial do arroz está distribuída entre três principais continentes sendo o asiático o maior produtor com 89,9%, o continente americano com 5,0%, e o africano com 4,2%. No continente americano o Brasil ocupa o nono lugar de produção mundial, correspondendo a 1,5% (SILVA; WANDER; FERREIRA, 2021).

Conforme a Oliveira (2015), aponta o Brasil como o primeiro país a cultivar arroz no continente americano. No ano de 1587 já havia relatos de lavoura de arroz na Bahia, enquanto no Rio Grande do Sul apenas no ano de 1904 houve o registro da primeira lavoura empresarial, já irrigada.

Segundo o Instituto Riograndense do Arroz (IRGA, 2022), a produtividade média de arroz irrigado na safra de 21/22 foi de 8.315 kg ha<sup>-1</sup> (166,3 sc ha<sup>-1</sup>), sendo a área total semeada de 957.185 ha, com uma área perdida de 30.176 ha, devido à escassez hídrica e altas temperaturas do ano safra, na Fronteira Oeste. Sendo assim, a área colhida na safra 21/22 fechou em 927.009 ha e a produção total ficou em 7.708.229,84 toneladas, uma redução de 9,6 % em comparação a safra 20/21.

A cultura do arroz irrigado pode ser produzida em sistemas de irrigação por inundação, subirrigação ou aspersão, sendo que o método mais utilizado no Brasil é a irrigação por inundação contínua (STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 2021). No Brasil, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, predomina a forma de cultivo do arroz com irrigação por inundação. Esses estados contribuem com mais de 80% da produção do Brasil (MAGALHÃES, 2022).

De acordo com Sociedade Sul-Brasileira do Arroz Irrigado (SOSBAI, 2018), o manejo da água no arroz irrigado por inundação é fundamental para o desenvolvimento da cultura. A água tem influência em aspectos físicos da planta, interfere na disponibilidade de nutrientes, na população e no controle de plantas daninha. Segundo esta mesma fonte, no Rio Grande do Sul predominam as áreas

de cultivo do arroz com taipas. Nesse modelo de irrigação a água entra na lavoura nos pontos mais altos para que seja conduzida por gravidade até as partes mais baixas da área.

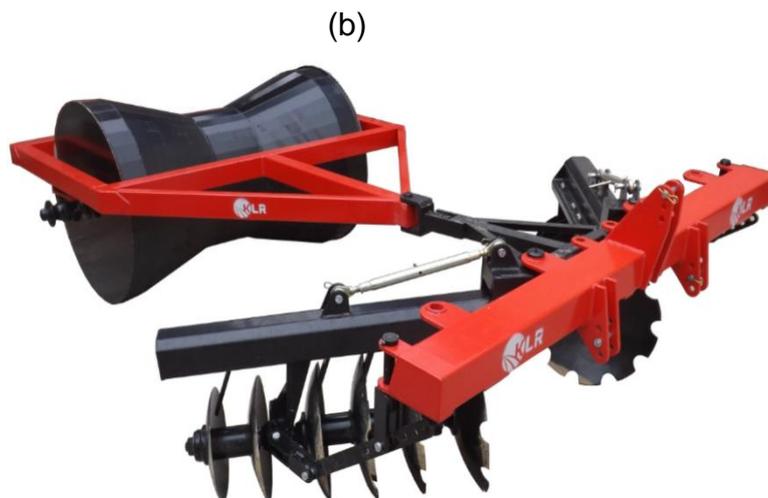
O arroz irrigado por inundação é uma das culturas mais exigentes em água (MAGALHÃES; GOMES; SANTOS 2004). Ainda de acordo com Bisognin et al. (2013), a lavoura de arroz irrigada em superfície com desnível, necessita de barreiras para que seja possível reter a água. Para que esta operação seja possível, são feitas taipas em curvas de nível e a diferença de cotas depende da inclinação do terreno.

As taipas são feitas a partir de um levantamento altimétrico do terreno, podendo ser executadas por meio do nível laser ou com tecnologias GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite). Em ambos os sistemas, ferramentas são utilizadas para analisar a declividade do terreno (BISOGNIN et al., 2013). Ainda de acordo com os autores, o entaipamento pode ser realizado com entaipadoras de base estreita (Figura 1a) ou larga (Figura 1b), sendo as de base larga mais utilizadas, pois formam taipas de perfil baixo (0,3 m a 0,4 m) com até 2,8 m, permitindo o trânsito de máquinas sobre elas. Neste caso, a entaipadora é acoplada aos três pontos do trator, sendo constituída por duas seções independentes de discos recortados que movem o solo para a formação da taipa, discos lisos que fazem o acabamento lateral da taipa e um rolo compactador que passa sobre a taipa fazendo a compactação da mesma.

Figura 1 – Modelos de entaipadoras utilizadas na cultura do arroz irrigado. (a) Entaipadora de base estreita, (b) Entaipadora de base larga



Fonte: MFRural (2023). Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/596926/arado-terraceador-taipadeira-imasa>>



Fonte: Auster tecnologia (2023). Disponível em: <<https://www.austertecnologia.com/single-post/taipas-arroz>>

## 2.2 Adubação nitrogenada no arroz irrigado

Nos últimos anos a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul está apresentando significativo crescimento na produtividade decorrente principalmente das melhoras nas práticas de manejo (CARMONA et al., 2015). Uma das práticas de manejo que elevou significativamente a produtividade é o correto manejo da adubação.

As formulações do tipo NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) são a principal categoria de fertilizante utilizada na lavoura de arroz irrigado. Conforme SCIVITTARO (2021), o nitrogênio, o fósforo e o potássio são de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento da planta e proporcionam maiores respostas na produtividade da lavoura. Segundo Rotili et al. (2010), o fósforo tem sido apontado como um dos nutrientes mais limitantes ao rendimento das culturas, apesar de ser relativamente abundante no solo.

A condição de solo alagado, promovida pela cultura do arroz irrigado, gera transformações físicas, químicas e biológicas no solo (SCIVITTARO; GOMES, 2007). O mesmo, declara que a adubação mineral visa prover às plantas de arroz a disponibilidade de nutrientes em quantidades suficientes para suprir o déficit estabelecido pela sua exigência nutricional. E afirma ainda que a recomendação de adubação está relacionada ao incremento em produtividade pretendido, estabelecido a partir do potencial produtivo das diferentes regiões de cultivo.

A Sociedade Sul-Brasileira do Arroz Irrigado (SOBAI, 2018), afirma que a resposta do arroz irrigado quanto a adubação depende de alguns fatores como o potencial genético da cultivar, o manejo da cultura e solo e as condições climáticas do local. Sendo assim, a mesma diz que é esperada alta resposta a adubação quando o arroz for cultivado em condições favoráveis de clima, elevada radiação solar (no período reprodutivo), uso de cultivares com alto potencial produtivo, manejo adequado da irrigação e controle de plantas daninhas e de doenças.

O arroz é uma cultura bastante exigente em questão de nutrientes, então é necessário que estes estejam prontamente disponíveis para a planta, para que a produtividade não seja limitada (FAGERIA; SANTOS; STONE, 2003). Os autores ainda afirmam que o nitrogênio (N) é um componente da clorofila, responsável por aumentar a área foliar da planta, a qual aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar e a taxa fotossintética e, conseqüentemente, aumenta a produtividade de grãos.

Ao estudar a resposta do arroz irrigado com diferentes doses e épocas de aplicação de ureia, Hernandez et al. (2010), observaram que o aumento da dose de nitrogênio (N) gerou o aumento de N foliar, acarretando em maior altura de plantas, número de panículas m<sup>2</sup>, número e massa de espiguetas e a produtividade de grãos; enquanto a época de aplicação não influenciou em nenhum dos fatores observados. Os autores então concluíram, que a aplicação pode ser feita totalmente em qualquer uma das épocas, se ocorrer a irrigação logo após a aplicação, para que não haja perdas significativas de NH<sub>3</sub> proveniente da ureia.

Em pesquisa sobre perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e respostas do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) na concentração de 0,05%, Scivittaro et al. (2010), constataram que as perdas de N por volatilização de amônia decorrentes do uso de ureia variam de 15% (solo saturado) a 22% (solo úmido) do nitrogênio aplicado, iniciando-se a irrigação 10 dias após a aplicação. Em sequência, as perdas de N com uso do inibidor NBPT foram de 2,6% (solo úmido) e 2,5% (solo saturado) do nitrogênio aplicado. Os mesmos então constataram que, o inibidor conseguiu reduzir significativamente as perdas de N-NH<sub>3</sub> e o uso do tratamento NBPT na ureia possibilitou atrasar, sem prejuízos, em até 10 dias o início da irrigação.

### 2.3 Distribuição de sólidos em superfície

Segundo Milan e Gadanha (1996), nomeia-se como distribuidor as máquinas fabricadas para distribuição de adubos, corretivos e sementes. Os autores classificam as máquinas para aplicação de sólidos em dois grupos básicos de acordo com a forma de execução da aplicação, podendo ser distribuidoras a lanço ou adubadoras de fileiras/linhas. As classificadas como distribuidoras a lanço, são máquinas que realizam a distribuição dos sólidos lançando as partículas aleatoriamente sobre o solo. As adubadoras em fileiras/linhas, são máquinas que realizam a aplicação dos sólidos ao longo das linhas de plantio normalmente no momento da semeadura.

Conforme Portella (2001), para realizar a distribuição de sementes com o distribuidor centrífugo, as sementes devem ser pequenas e que não demandam de grande profundidade para germinar, pois o distribuidor não realiza a incorporação da semente ao solo sendo necessária uma segunda operação para esta finalidade.

Para Mialhe (1996), os distribuidores centrífugos são constituídos basicamente por chassi, reservatório de produto, mecanismo dosador e mecanismo distribuidor de produto, sendo que os dois últimos são os mais importantes, pois têm a função de dosar e distribuir a quantidade de produto pré-estabelecida. O autor afirma que os distribuidores possuem uma classificação quanto ao mecanismo dosador, sendo os dois principais grupos:

- Volumétrico: são os que possuem um mecanismo que irá transportar o produto estabelecendo uma vazão, como a esteira transportadora (Figura 2).

Figura 2 – Distribuidor centrífugo volumétrico com dosador de esteira



Fonte: Valtra (2023). Disponível em: <<https://www.valtra.com.br/produtos/distribuidor/bs3350h-dry.html>>

- Gravitacional: são aqueles cuja vazão é estabelecida pelo fluxo natural do produto. O fluxo depende do ângulo de repouso do produto, se fazendo necessário um agitador (Figura 3).

Figura 3 – Distribuidor centrífugo com dosador gravitacional e agitador



Fonte: Kuhn Brasil (2023). Disponível em: <<https://www.kuhnbrasil.com.br/cultivos/distribuidores-de-fertilizantes/distribuidores-de-fertilizantes-montados/accura-1200>>

Mialhe (1996), também classifica os distribuidores de produtos sólidos de acordo com a forma de lançamento do produto, podendo ser:

- Queda livre: máquina com mecanismo que lança o produto por queda livre a uma altura do solo (Figura 4).

Figura 4 – Distribuidor por gravidade de produtos sólidos



Fonte: Stara (2023). Disponível em: <[https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR\\_Bruttus-25000-versao-web.pdf](https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR_Bruttus-25000-versao-web.pdf)>

- Força centrífuga: utiliza um ou dois rotores horizontais com aletas para o lançamento radial do produto (Figura 5).

Figura 5 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos



Fonte: Jan (2023). Disponível em: <<https://www.jan.com.br/modelo/83/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-master/1200-1500>>

- Inércia: realizam a distribuição por meio de um tubo horizontal com movimento pendular (Figura 6).

Figura 6 – Distribuidor pendular de produtos sólidos



Fonte: Jan (2023). Disponível em: <<https://www.jan.com.br/modelo/234/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-ppo/600-900>>

Para Farret (2005), a forma de trabalho do distribuidor centrífugo é bastante simples, pois o mesmo utiliza a energia produzida pela tomada de potência (TDP) do trator para ter energia para lançar as partículas. O autor destaca ainda que este implemento possui ampla faixa de trabalho, o que contribui para sua elevada capacidade operacional ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

A distribuição do material ocorre com escoamento das partículas até os discos, onde as aletas irão realizar o lançamento das partículas (ORTIZ-CAÑAVATE 1989). Sendo assim, Farret et al. (2008), afirmam que as principais características que afetam a distribuição dos produtos sólidos são diâmetro, rotação e altura do disco e para as aletas são o formato e o ângulo das mesmas.

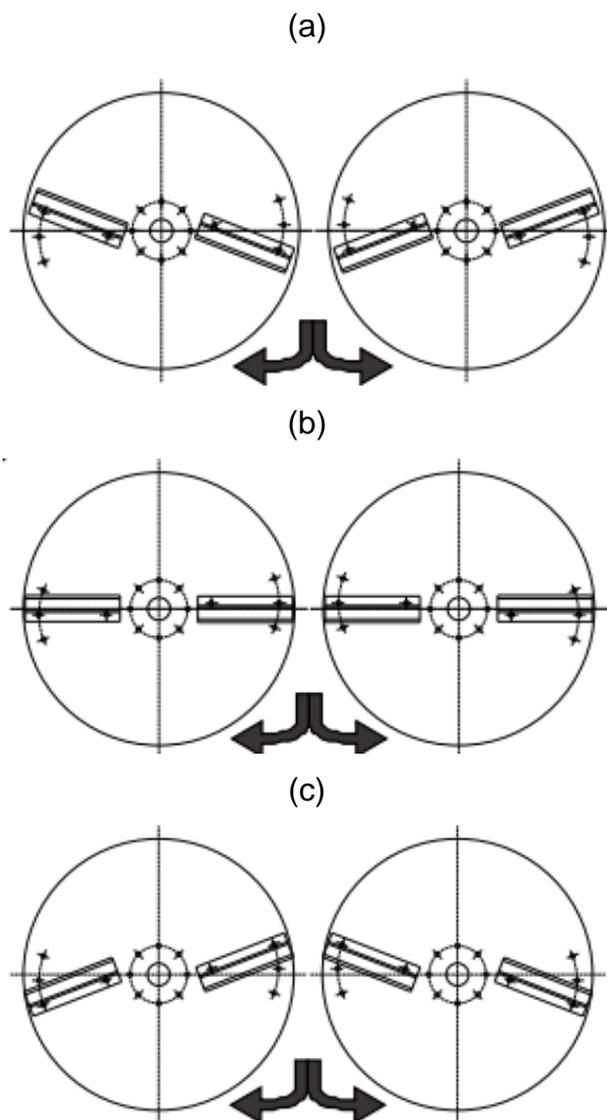
Ao estudar o comportamento de um distribuidor centrífugo com diferentes posições de aletas nos discos Hachuy (2008), constatou que a posição das aletas nos discos altera a largura efetiva de trabalho. Farret et al. (2008), ao estudarem a uniformidade de distribuição para o calcário e a aveia com diferentes posições das aletas, constataram que para o calcário a posição das aletas não teve influência na distribuição transversal e para a aveia a posição de aleta atrasada não é adequada, pois apresentou altos coeficientes de variação. Os autores afirmam que, o aumento da vazão e o adiantamento da posição das aletas possibilita maior capacidade operacional, por ser possível operar com maior velocidade e maior largura útil.

Sagrilo et al. (2019), constataram que a melhor forma de uso das aletas para a aplicação de calcário, foi utilizando 4 aletas de 24 cm ou 2 aletas de 27 cm, obtendo-se assim um coeficiente de variação (CV%) satisfatório de 10,26%. Os autores ainda constataram que para a obtenção do CV% satisfatório foi utilizada a largura de trabalho de 7,5 m, ressaltando que se a largura de trabalho for ampliada, o CV% também irá aumentar.

Realizando o teste para analisar a distribuição de ureia a lanço com o disco convencional (18-24 / 24-36) em diferentes posições de aletas, Brondani (2013), notou que as aletas na posição atrasada geraram um perfil de distribuição com características semelhantes entre o lado direito e esquerdo. Em sequência, a posição adiantada das aletas apresenta perfil com maior deposição de produto fora da faixa central. Por fim, a posição radial apresentou o perfil de distribuição mais uniforme dentre as posições de aletas vistas, porém esta posição apresentou a assimetria na distribuição, com maior deposição de ureia no lado direito do

distribuidor. Visto a influência da posição das aletas no disco, a Figura 7 ilustra as posições citadas anteriormente.

Figura 7 – Posição das aletas no disco. (a) aletas adiantadas, (b) aletas radiais, (c) aletas atrasadas



Fonte: Piccin (2014).

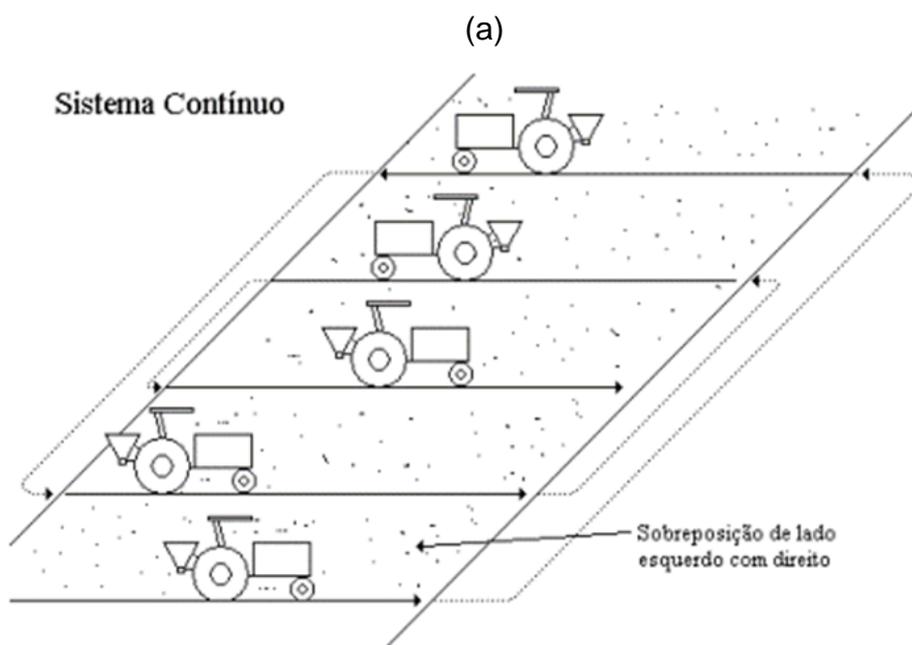
Ao comparar o desempenho de protótipos e discos convencionais para a distribuição de ureia a lanço, Brondani (2013), constatou que entre os dois, os discos convencionais apresentaram melhores resultados em relação aos protótipos para todos os métodos de trabalho. O mesmo diz que, entre os protótipos a forma que apresentou o melhor desempenho entre o disco cônico e o plano foi o disco cônico com a largura de trabalho de 9 m sendo que essa largura de trabalho foi 28% maior

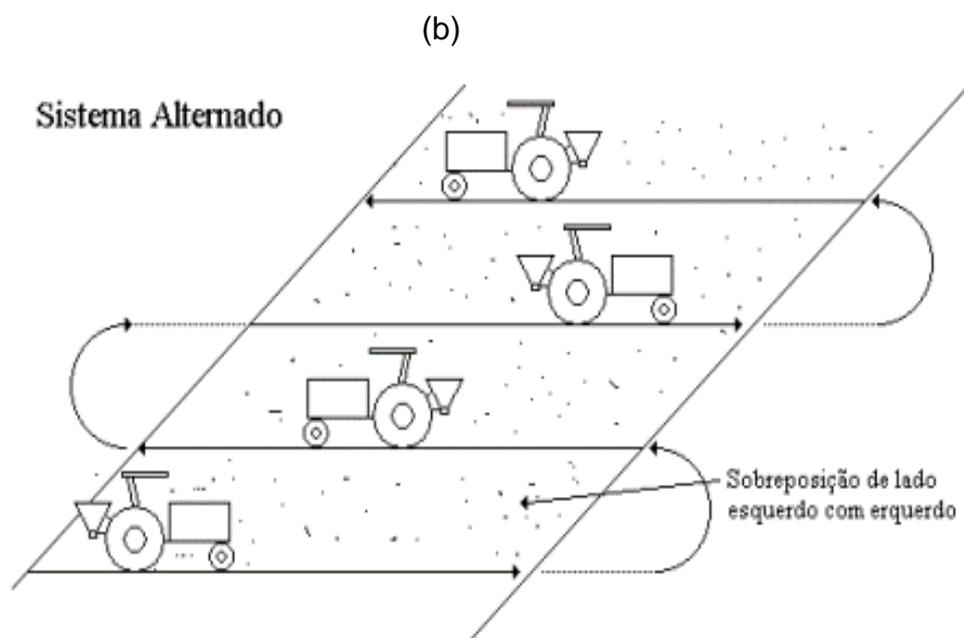
quando comparada com o disco plano (método de trabalho alternado direito). A velocidade de avanço da máquina tem maior efeito do que a velocidade de rotação dos discos no coeficiente de variação (KHUDHER; HIMOUD; ALMALIKI, 2020). Mas a velocidade de rotação dos discos possui efeito sobre a largura de trabalho, porém não tem influência no coeficiente de variação.

No distribuidor monodisco é de difícil obtenção um diagrama de distribuição simétrico em relação a linha de avanço, pois ele acaba jogando mais produto para o lado esquerdo (MARQUEZ, 2011). Conforme o autor, em comparação com o distribuidor bidisco, é mais fácil de se obter um diagrama de distribuição simétrico, pois com dois discos o mesmo joga produto para ambos os lados.

Conforme Farret (2008), os distribuidores centrífugos aplicam produtos a lança com um perfil transversal que diminui a quantidade de produto aplicado conforme aumenta a distância entre as passadas, então, é necessário que haja a sobreposição entre as passadas. Sendo assim, o mesmo pontua que são duas as formas de trabalho do distribuidor: de forma contínua onde o conjunto mecanizado faz a manobra sempre para o mesmo lado (Figura 8a) e alternado onde as manobras são feitas alternadas para a direita e para a esquerda (Figura 8b).

Figura 8 – Representação da forma de trabalho. (a) contínuo, (b) alternado

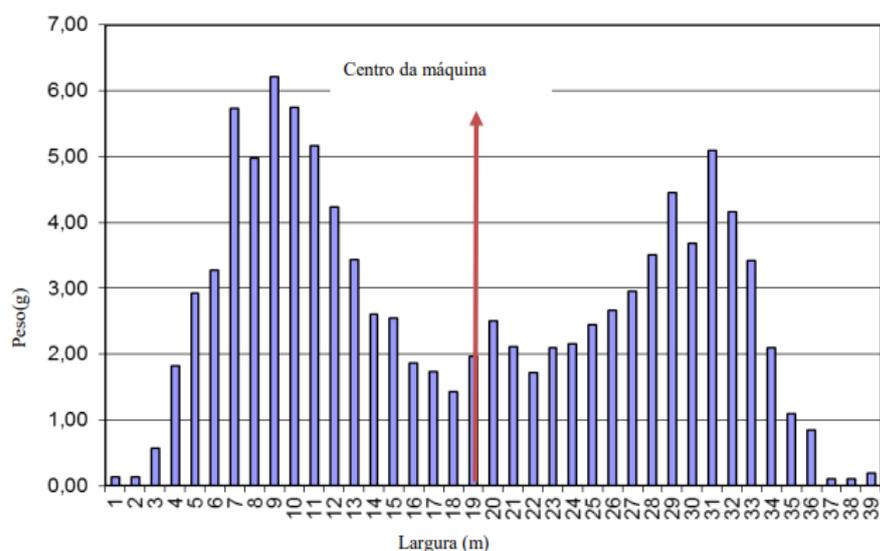




Fonte: Molin (2015).

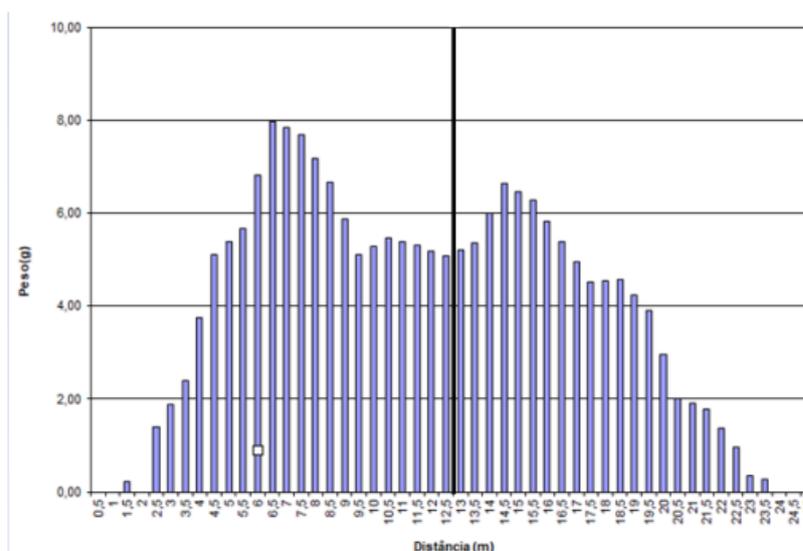
Conforme analisado por Molin et al. (2009), os distribuidores bidisco apresentam perfil de distribuição em formato de “W”, como ilustrado na Figura 9, com picos de material acumulado nas laterais e leve ascensão no centro. Enquanto os distribuidores monodisco tendem a apresentar perfil de distribuição com maior deposição de produto mais para um lado do distribuidor (Figura 10).

Figura 9 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor bidisco



Fonte: Ganascini et al. (2016).

Figura 10 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor monodisco



Fonte: Züge (2021).

O distribuidor pode ser acoplado ao trator de duas formas: na primeira, o implemento montado, que significa que o mesmo está acoplado à fonte de potência e nos três pontos do sistema hidráulico (Figura 11a) e arrastado o implemento está acoplado à fonte de potência através de um único ponto e na barra de tração (Figura 11b) (PORTELLA, 2001). Para a cultura do arroz irrigado, devido às ondulações do terreno, o distribuidor da Figura 12 é amplamente, onde o distribuidor fica sobre um reboque estabilizador, esse equipamento é utilizado com a intenção de proporcionar estabilidade ao equipamento.

Figura 11 – Formas de acoplamento do distribuidor centrífugo. (a) montado; (b) arrastado



Fonte: Valtra (2023). Disponível em: <<https://www.valtra.com.br/produtos/implementos/fertilizer-bdf-1300.html>>

(b)



Fonte: John Deere (2023). Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/tratos-culturais/distribuidor-de-nutrientes-dn1006/>>

Figura 12 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos sobre o reboque estabilizador



Fonte: Jan (2023). Disponível em: <<https://www.jan.com.br/modelo/80/distribuicao/acoplado-pela-barra-de-tracao/lancer-semea/3000-5000>>

## 2.4 Uniformidade de distribuição de sólidos à lança

De acordo com Molin e Mazzotti (2000), são vários os fatores que interferem na uniformidade de aplicação de corretivos e fertilizantes, como por exemplo: o tipo de máquina (mecanismo dosador e distribuidor), tipo de produto aplicado, velocidade de trabalho e largura útil de trabalho. Os autores complementam dizendo que, no momento da realização do ensaio de uniformidade, o tipo de coletores e a superfície

em que estão dispostos possuem forte influência nos resultados. Para Farret (2005), o coeficiente de variação CV% é um parâmetro importante para avaliar a uniformidade de distribuição.

Em relação aos fatores físicos dos produtos sólidos, Reynaldo et al. (2016), diz que os mesmos têm influência direta na distribuição, onde partículas maiores atingem maior distância para uma mesma força de lançamento. Ortiz-Cañavate (1989), diz que a uniformidade granulométrica de produtos granulares gera uma melhor uniformidade de distribuição de produto, sendo, o diâmetro médio das partículas de 2,3 mm e 85% das mesmas devem estar entre 1,3 e 3,3 mm.

Em pesquisa sobre a influência da umidade na distribuição a lanço de calcário calcítico e dolomítico, Almeida (2018) declara que o produto sofre variação de umidade ao longo do tempo. O autor menciona que o aumento da umidade gravimétrica do calcário aumenta o coeficiente de variação (CV%) dos perfis de distribuição transversal e longitudinal. O mesmo demonstra que, os menores índices de umidade no calcário proporcionaram constância e estaticidade ao CV%, porém, a largura da faixa de aplicação é reduzida.

Em estudo sobre a distribuição de fertilizantes a lanço em função da fração granulométrica, Reynaldo et al. (2016), avaliou dois tipos de ureia (Ua e Ub). O autor encontrou que Ua tem fração granulométrica de 36,69% para o diâmetro acima de 2,0 mm e 59,23% dos grânulos apresentam diâmetro superior a 2,8. A ureia Ub tem 64,20% da fração de grânulos com diâmetros superior a 2,8 mm e 33% de grânulos com diâmetros maiores que 4,0 mm. O autor afirmou que a Ub expressa maior qualidade no perfil de distribuição, possibilita maior de largura de trabalho, e conseqüentemente aumento de rendimento operacional. Então constata-se que, a condição física do fertilizante tem impacto direto na qualidade de distribuição a lanço.

Avaliando a uniformidade de aplicação de um distribuidor centrífugo em taxa variada, Takara e Quequeto (2014), concluíram que houve divergência entre as doses requeridas e aquelas efetivamente aplicadas na área de estudo. Os autores ainda observaram que o distribuidor equipado com esteira de borracha proporcionou a maior largura de aplicação na menor dose quando comparado a esteira de talisca. Da mesma forma, Ganascini et al. (2016), ao avaliarem o efeito da rotação dos discos no perfil de distribuição de um distribuidor centrífugo observou que para a rotação de 414 rpm a largura de trabalho aceitável é de 12 m tendo um coeficiente

de variação (CV%) de 15% e para a rotação de 540 RPM a largura de trabalho aceitável está entre 14 e 15 m com coeficiente de variação (CV%) de 10%. Dessa forma, menor rotação de trabalho acarreta em menor largura de deposição, pois as partículas não conseguem atingir velocidade para serem depositadas mais longe.

Estudando o comportamento da distribuição de fertilizantes granulados com uma semeadora adubadora em três diferentes níveis de enchimento do reservatório (100%, 50% e 25%) Pereira (2021), constatou que os níveis de enchimento do reservatório do distribuidor não causam diferença expressiva na uniformidade de distribuição. O autor observa ainda que, todos os fertilizantes por ele analisados sofreram quebra dos grânulos no contato com o helicóide do dosador.

Ao avaliar a influência do terreno na distribuição de fertilizante Grafton et al. (2016) constaram que a declividade do terreno tem influência na uniformidade de espalhamento do material. Também Horrocks et al. (2015), ao avaliarem o desenvolvimento de diretrizes para distribuição de fertilizantes, verificaram que a uniformidade de aplicação de fertilizantes com o distribuidor centrífugo é afetada pela topografia do terreno, sendo que um dos fatores que causa influência é a distância entre lombadas/taipas, inclinação das encostas e o produto que está sendo aplicado. Assim, os mesmos podem concluir que, em encostas o melhor resultado de aplicação é dirigir ao longo da mesma.

Analisando o perfil de aplicação Farret (2005), constatou dentre as condições por ele analisadas que a maior largura de aplicação para o calcário com o distribuidor de produtos sólidos, bidisco, foi de 13,5 m considerando um coeficiente de variação de até 33% como aceitável. A condição que apresentou melhor uniformidade de distribuição do calcário foi com a abertura de comporta 15, aletas na posição radial, sistema de aplicação alternado, obtendo-se então uma largura útil de 10 m. O autor concluiu que o aumento da vazão e adiantamento da posição das aletas, acarretou maior capacidade operacional de campo, pois possibilita operar com maior velocidade de deslocamento e maior largura útil de aplicação, preservando a uniformidade de distribuição transversal.

Avaliando o efeito do material na uniformidade de aplicação Sanaeifar e Sheikhdavoodi (2012), constataram que o tipo de material causa influência no coeficiente de variação (CV%). Dentre ureia, fosfato de amônio e semente de trigo, a ureia apresentou o maior CV% dentre as três, seguido da semente de trigo e o fosfato de amônio com menor CV%. Os autores confirmam que, o motivo da

variação do CV% foi a diferença entre densidades de partículas, sendo que maior densidade de partícula leva a maior uniformidade e menor coeficiente de variação.

A largura útil percorrida é menor que a largura máxima em que o produto é lançado, pois a quantidade de produto que é lançada nas laterais é menor e necessita que haja um pouco de sobreposição na próxima passada, para que não ocorra insuficiência de produto em algumas áreas (ORTIZ-CAÑAVATE, 1989). Então, o mesmo adota como máximo CV% de +/- 20% para produtos granulares e +/- 30% para produtos em pó.

Ao analisar o efeito de cinco alturas (1,15; 1,35; 1,55; 1,75 e 2,25 m) de trabalho para dois distribuidores centrífugos na distribuição de fertilizante, Machado; Reynaldo; Vale (2022), constataram que a altura de trabalho possui efeito sobre o coeficiente de variação para a largura estabelecida de 30 m. Os autores observaram que ocorreu segregação das partículas devido a diferença de tamanho das partículas, conseqüentemente alterando a largura de trabalho.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local

O trabalho foi desenvolvido na área experimental do curso de Engenharia Agrícola e no Laboratório de Mecanização Agrícola do Pampa (LAMAP), que pertencente a Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) localizado na cidade de Alegrete/RS. A coleta dos dados aconteceu nos dias 24 e 25 de maio de 2023, sendo que a temperatura média do ar dos dias e horários da execução do experimento era de 25,8 °C, a velocidade média do vento era de 3,6 Km h<sup>-1</sup> e a umidade relativa do ar era 63%.

Para a execução do experimento, foi necessário realizar o preparo do solo da área experimental. Esse processo envolveu o revolvimento inicial do solo por meio de arado de discos reversíveis e posterior revolvimento do solo por meio de grade niveladora. Após as taipas foram executadas com uma entaipadora de base larga, que desenvolveu taipas com largura média de 1,4 m, altura média de 0,23 m e espaçamento médio entre taipas de 2,35 m.

#### 3.2 Conjunto mecanizado

O trator que foi utilizado para execução do experimento é da marca New Holland, modelo TL 75, com 56 Kw (75 cv) de potência na rotação nominal do motor (540 rpm na TDP). Demais especificações do trator agrícola podem ser visualizadas no Quadro 2.

Quadro 1 – Especificações do trator NH TL 75 utilizado no experimento

Modelo e ano de fabricação	TL 75 E / 2011
Motor e fabricante	ciclo Diesel, 4T / MWM – série 229
Tração do trator	4x2 TDA (tração dianteira auxiliar)
Potência do motor	57,42 kW / 77 cv
Rotação correspondente	2400 rpm (sem carga)
Rotação ao torque máximo	1400 rpm
Cilindros	4
Transmissão	sincronizada; 12 velocidades Frente + 4 Ré
Posto de operação	Plataformado com estrutura de proteção na capotagem (EPC)
Dimensões	Comprimento total: 3700 mm Largura traseira máxima: 1928 mm altura: 2700 mm

Fonte: A autora.

O exemplar de distribuidor centrífugo que foi utilizado para a realização do trabalho foi da marca Stara<sup>1</sup>, modelo Tornado 1300. Os dois discos do distribuidor eram côncavos com raio de 0,225 m, possuindo aletas de dois tamanhos, com comprimentos de 0,235 e 0,360 m posicionadas adiantadas em relação ao raio do disco. As especificações técnicas do distribuidor estão descritas no Quadro 1.

Quadro 2 – Especificações técnicas do distribuidor centrífugo utilizado no estudo

Modelo	Tornado 1300 geração IV (bidisco)
Capacidade volumétrica	1300 litros
Capacidade máxima de carga	1340 Kg
Faixa de aplicação	Até 36 m
Rotação dos discos	506,25 rpm
Rotação da TDP	337,5 rpm
Altura	1,2 m
Largura	2,3 m
Comprimento	1,3 m
Peso vazio aproximado	260 Kg

Fonte: A autora.

Na sequência (Figura 13), está demonstrado o distribuidor centrífugo que foi utilizado sobre o reboque estabilizador e montado nos três pontos do hidráulico do trator.

Figura 13 – Distribuidor centrífugo sobre o reboque estabilizador que foi utilizado para desenvolvimento do experimento



Fonte: A autora.

<sup>1</sup> A citação de marcas comerciais não implica em sua recomendação (ou não) por parte da autora.

As medidas do reboque estabilizador que foi utilizado para realização do trabalho estão apresentadas no Quadro 3

Quadro 3 – Especificações do reboque estabilizador

Comprimento total	3,62 m
Largura	2,12 m
Bitola	1,88 m
Distância entre eixos	1,38 m
Altura dos discos do chão	0,91 m

Fonte: A autora.

### 3.3 Caracterização do produto sólido

#### 3.3.1 Granulometria

Foi utilizado fertilizante sólido granular com formulação 45-00-00 (ureia). Para a determinação da granulometria do material, foi utilizado um conjunto de peneiras da mesma forma que utilizou Pereira (2021). Na Figura 14 apresentam-se as peneiras utilizadas sendo as aberturas de malha de tamanho 4,80; 2,40; 2,00; 1,20 mm de diâmetro. No final do jogo de peneiras, se utilizou um fundo metálico, que é um recipiente onde ficou retido o material que passou pela peneira de menor abertura.

Figura 14 – Conjunto de peneiras utilizadas para determinação da granulometria



Fonte: A autora.

A Figura 15 exemplifica como foi realizada a passagem das 500 g de ureia pelo jogo de peneiras para determinação da granulometria.

Figura 15 – Determinação da granulometria através de conjunto de peneiras



Fonte: A autora.

A seguir, a Tabela 1 apresenta o peso e a porcentagem de produto retido em cada uma das aberturas das peneiras.

Tabela 1 – Granulometria da ureia

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
4,80	1,37	0,27
2,40	430,85	86,18
2,00	21,29	4,26
1,20	24,22	4,84
Fundo	22,27	4,45
<b>Total</b>	<b>500,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: A autora.

### 3.3.2 Ângulo de repouso

Para determinação do ângulo de repouso, o qual consiste na inclinação máxima que o material suporta até que comece a escoar, foi utilizado um repousímetro, que consiste em uma caixa de dimensões conhecidas, composto por madeira e vidro, onde é possível observar a formação de um talude, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Repousímetro utilizado na análise do ângulo de repouso



Fonte: A autora.

No repousímetro foi depositado uma quantidade de ureia até que o ângulo de repouso permanecesse estável, e então mediu-se a dimensão da base que é o cateto adjacente e da altura que corresponde ao cateto oposto do triângulo formado pelo talude de material sólido.

De posse das medidas do talude formado, foi possível calcular o ângulo de repouso pela equação descrita por Vilar (2017):

$$\alpha = \text{arc tang} \left[ \frac{CO}{CA} \right]$$

$\alpha$  – ângulo de repouso ( $^{\circ}$ );

CO – Cateto oposto (cm);

CA – Cateto adjacente (cm).

O ângulo de repouso da ureia utilizada apresentou média de  $33,22 \pm 2^{\circ}$ , valor que é próximo ao encontrado por Hachuy (2008), que foi de  $32,75^{\circ}$ .

### 3.3.3 Densidade de partículas

Para a determinação da densidade de partículas do fertilizante utilizado, foi retirada três amostra do lote do produto, as quais foram previamente pesada em um

recipiente de volume conhecido e então realizado o cálculo conforme a equação abaixo (MIALHE, 1996).

$$D = \frac{m}{v}$$

D - Densidade do produto (g.cm<sup>3</sup>);

m - Massa (g);

v - Volume (cm<sup>3</sup>).

A Figura 17 está demonstrando como ocorreu a utilização do copo volumétrico para encontrar a densidade do produto.

Figura 17 – Copo volumétrico preenchido com volume de 150 cm<sup>3</sup> de ureia.



Fonte: A autora.

A ureia utilizada apresentou densidade média de 0,79 g cm<sup>-3</sup>, valores que estão de acordo com os apresentados por Brondani (2013), onde o mesmo encontrou 0,78 g cm<sup>-3</sup> como densidade da ureia.

#### 3.3.4 Umidade gravimétrica

Para a determinação da umidade gravimétrica, foi determinada a umidade de três amostras. As amostras foram previamente pesadas e então levadas à estufa em temperatura de 100°C por 2, 4 e 72 horas. Então, com os pesos das amostras após

os tempos estipulados foi possível encontrar a umidade gravimétrica pela expressão a seguir:

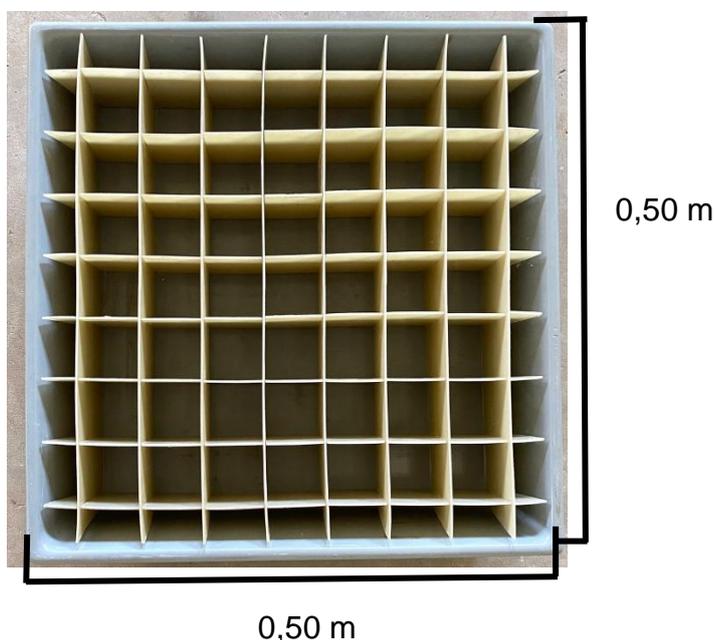
$$Umidade = \frac{(massa\ úmida - massa\ seca)}{massa\ seca} * 100$$

A umidade média encontrada foi de 0,62%, a qual é condizente com os valores apresentados por Brondani (2013).

### 3.4 Análise do perfil de distribuição transversal

Para realizar a análise do perfil de distribuição transversal foi coletado o material depositado pelo distribuidor centrífugo sobre os coletores padrão. Na coleta, utilizaram-se coletores com as dimensões de 0,50 m x 0,50 m padronizadas de acordo com a norma internacional ISO 5690 (ISO, 1982), demonstrado na Figura 18.

Figura 18– Coletores padronizados pela ISO 5690/1982



Fonte: A autora.

Para a coleta de dados, os coletores foram dispostos alinhados sobre a superfície de forma transversal ao sentido de deslocamento do conjunto trator/implemento. Foram utilizados 15 coletores para uma largura total de 28,50 m, então a cada 1,5 m havia um coletor, como demonstra a Figura 19. Em seguida, o

conjunto se deslocou sobre os coletores com velocidade constante de  $3,7 \text{ Km h}^{-1}$  realizando a distribuição da ureia sobre os coletores. Para encontrar a velocidade de deslocamento do conjunto (trator/distribuidor) percorreu-se uma distância de 20 metros e o tempo que o mesmo levou para se deslocar foi cronometrado, esse processo foi repetido quatro vezes, dessa forma foi possível encontrar a velocidade real do conjunto.

Figura 19 – Coletores alinhados e dispostos transversalmente ao sentido de deslocamento do conjunto mecanizado



Fonte: A autora.

Foram realizadas três repetições de cada tratamento, após cada repetição o material depositado em cada um dos coletores foi identificado e posteriormente pesado individualmente. Os valores obtidos foram lançados no Software Adulança 3.0 (MOLIN, 2015), e então foi realizada a interpolação dos dados coletados, possibilitando a determinação do coeficiente de variação (CV%) em diferentes larguras de trabalho (m).

### 3.5 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi executado em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) onde os tratamentos foram compostos pela combinação de duas formas de acoplamento (montado nos três pontos do trator e arrastado), três diferentes ângulos de deslocamento em relação às taipas (plano,  $45^\circ$ , e  $90^\circ$ ) totalizando seis tratamentos com três repetições de cada combinação ( $2 \times 3 \times 3$ )

formando 18 unidades experimentais básicas. No Quadro 4 é possível observar a combinação dos fatores utilizados para a composição de cada um dos seis tratamentos.

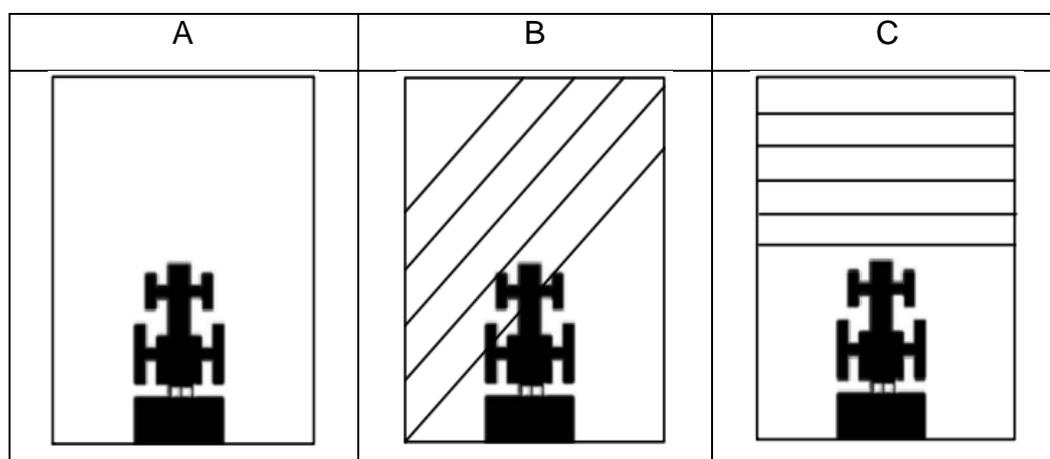
Quadro 4 – Combinação dos fatores para formação dos tratamentos

Tratamento	Forma de acoplamento	Superfície
T1	Arrastado	Plana
T2	Arrastado	Taipas 45°
T3	Arrastado	Taipas 90°
T4	Montado	Plana
T5	Montado	Taipas 45°
T6	Montado	Taipas 90°

Fonte: A autora.

Para o fator forma de acoplamento, quando o distribuidor estava sendo arrastado, o mesmo ficou acoplado apenas na barra de tração e posicionado sobre um reboque estabilizador composto por dois eixos paralelos montados em tandem. Por outro lado, no acoplamento montado, o distribuidor ficou fixado no sistema de engate dos três pontos do trator. Na Figura 20 está ilustrado os tipos de superfícies e como foram executados os três sentidos de deslocamento no terreno que compuseram este fator.

Figura 20 – Ilustração dos níveis do fator superfície: superfície plana (a); superfície com taipas e deslocamento com ângulo de 45° (b); superfície com taipas deslocamento com ângulo de 90° (c).



Fonte: A autora.

A escolha da largura de trabalho para obtenção dos valores de CV% ocorreu após se calcular a média das larguras indicadas pelo fabricante para distribuição de ureia no manual de instruções do distribuidor, a qual foi de 23 m.

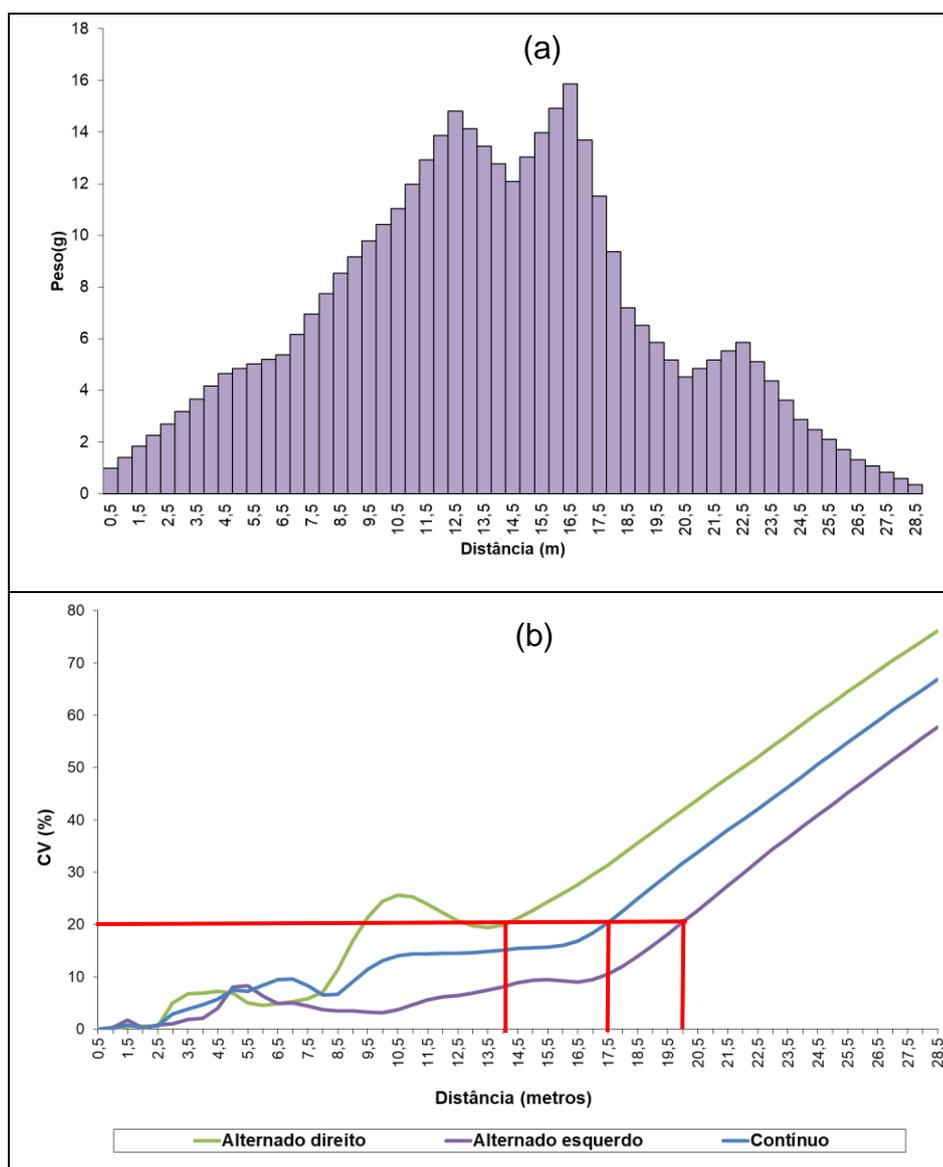
Após a coleta dos dados de coeficiente de variação em 23 m de largura (CV%23), por se tratar de dados expressos em percentual, os valores foram transformados pelo Arco seno raiz da proporção por apresentarem um valor máximo estabelecido (100%) e em seguida foi testada a hipótese de normalidade dos dados (KULLMANN, DIAS, 2020).

Constatada a condição de normalidade, os mesmos foram submetidos à análise da variância e quando houveram contrastes significativos, estes foram analisados através do teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro. Para determinação das larguras, foi utilizado um coeficiente de variação de 20%, esse valor está de acordo com o proposto por Ortiz-Cañavate (1989), que indica CV% +/- 20% para uma boa uniformidade de distribuição de produtos granulares.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras de perfil de distribuição transversal individual de cada tratamento estão apresentadas abaixo e servem para possibilitar a visualização do volume e disposição de produto que ocorreu no campo. A Figura 21 (a), mostra o perfil de distribuição transversal para o distribuidor centrífugo em terreno plano com acoplamento montado. Nesse perfil é possível observar que ocorreu uma concentração de produto (distribuído) onde os discos estão posicionados e entre os discos ocorreu uma deficiência de distribuição do material.

Figura 21 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento montado



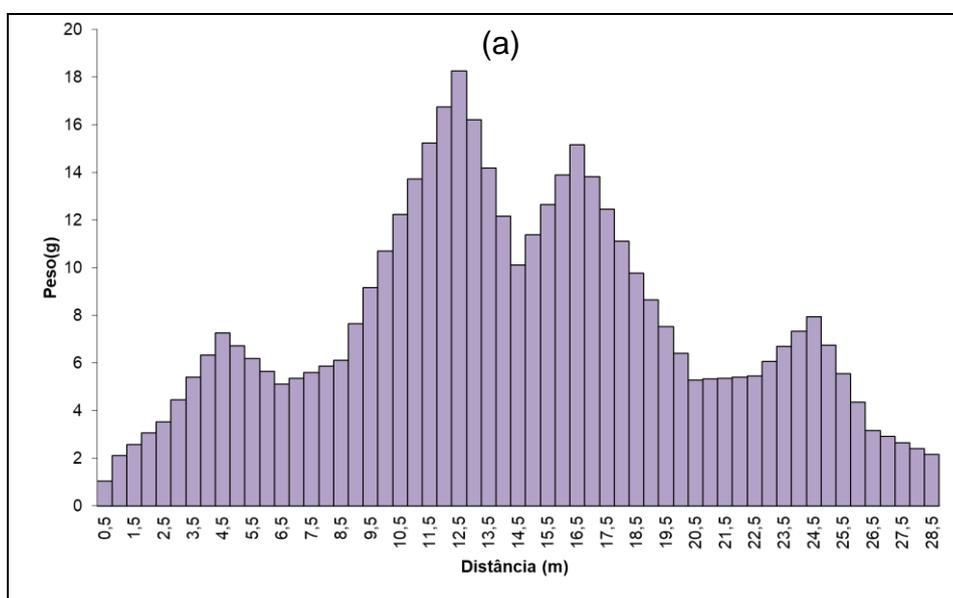
Fonte: A autora.

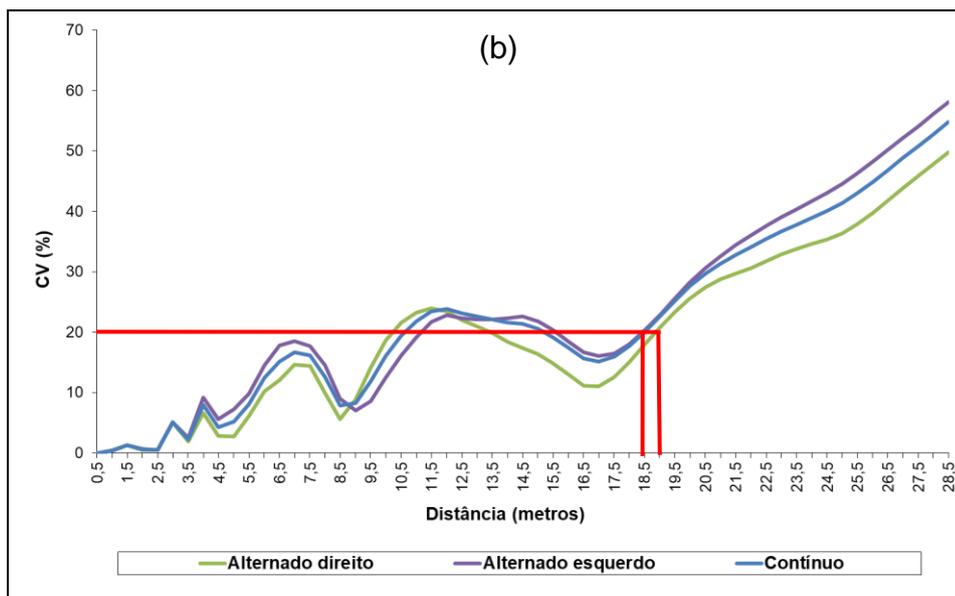
Em relação ao coeficiente de variação para o tratamento citado, a Figura 21 (b) mostra as possíveis larguras de trabalho respeitando o CV% de 20%. Dado este limite, foram observadas larguras de 14 m, 17,5 m e 20 m que correspondem respectivamente aos seguintes métodos de manobras alternado direito, contínuo e alternado esquerdo. Ao avaliar o perfil de distribuição transversal da aveia Farret (2005), encontrou a largura de trabalho de 13,5 m considerando o 20% de CV%, porém, essa largura é pequena comparada com a recomendada para distribuidores centrífugos bidisco.

Na Figura 22 (a) é mostrado o perfil de distribuição transversal para o distribuidor centrífugo, porém com acoplamento arrastado. Observa-se que o perfil apresentado se assemelha mais ao perfil característico dos distribuidores centrífugos bidisco. De acordo com Molin et al. (2009), o perfil transversal, que é característico desse equipamento, apresenta-se em formato de “W”. Entretanto, isto não significa que esse perfil de distribuição seja o que possibilite maior homogeneidade na distribuição transversal.

Para o mesmo tratamento, a Figura 22 (b) expõe a largura de trabalho de acordo com o coeficiente de variação delimitado de 20%. Observa-se, desta forma, que para os métodos de manobras alternado esquerdo e contínuo a largura de trabalho foi de 18,5 m e para a método alternado direito houve um acréscimo na largura para 19 m. Faltou aqui uma discussão com a literatura.

Figura 22 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento arrastado





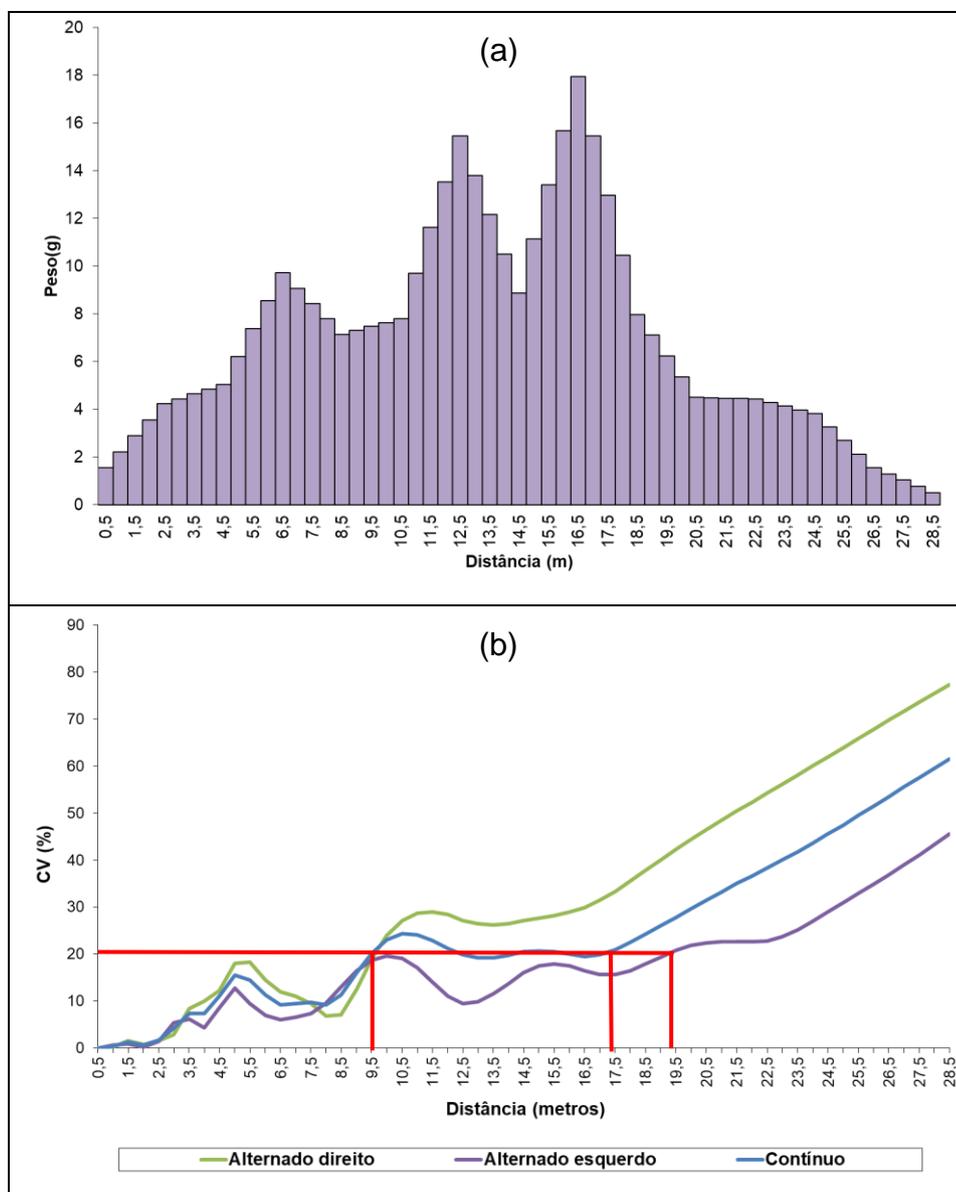
Fonte: A autora.

O perfil de distribuição transversal apresentou mudança quando o conjunto (trator/distribuidor) se deslocou sobre as taipas, em comparação com o tratamento em que este se desloca em um terreno plano (Figuras 21 (a) e 22 (a)).

Nota-se na Figura 23 (a) que a forma de deslocamento com ângulo de 45° sobre as taipas com o distribuidor acoplado de forma montado gera um acúmulo de material para o lado esquerdo do distribuidor. Tal situação pode ser explicada devido ao movimento que o conjunto faz no momento em que se desloca sobre as taipas. Nessa forma de deslocamento, em certos momentos, o lado esquerdo do conjunto ficou mais distante da superfície, o que impossibilita que as partículas do material alcancem uma distância maior e acaba gerando esse pico de produto depositado ao lado esquerdo do distribuidor. Com fator de variação diferente do analisado nesse tratamento Züge (2021), estudou diferentes posições das aletas nos discos dos distribuidores centrífugos e encontrou comportamento similar ao da Figura 23 (a) quando as aletas estavam na posição 2 (avançadas).

Para a mesma superfície e forma de acoplamento, observa-se na Figura 23 (b) a largura de trabalho de acordo com o método de manobra e o coeficiente de variação de 20%. Dessa maneira, as larguras de trabalho para cada método de manobra foram de 9,5 m para alternado direito, 17,5 m para contínuo e para o método alternado esquerdo 19,5 m.

Figura 23 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de  $45^\circ$  sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado

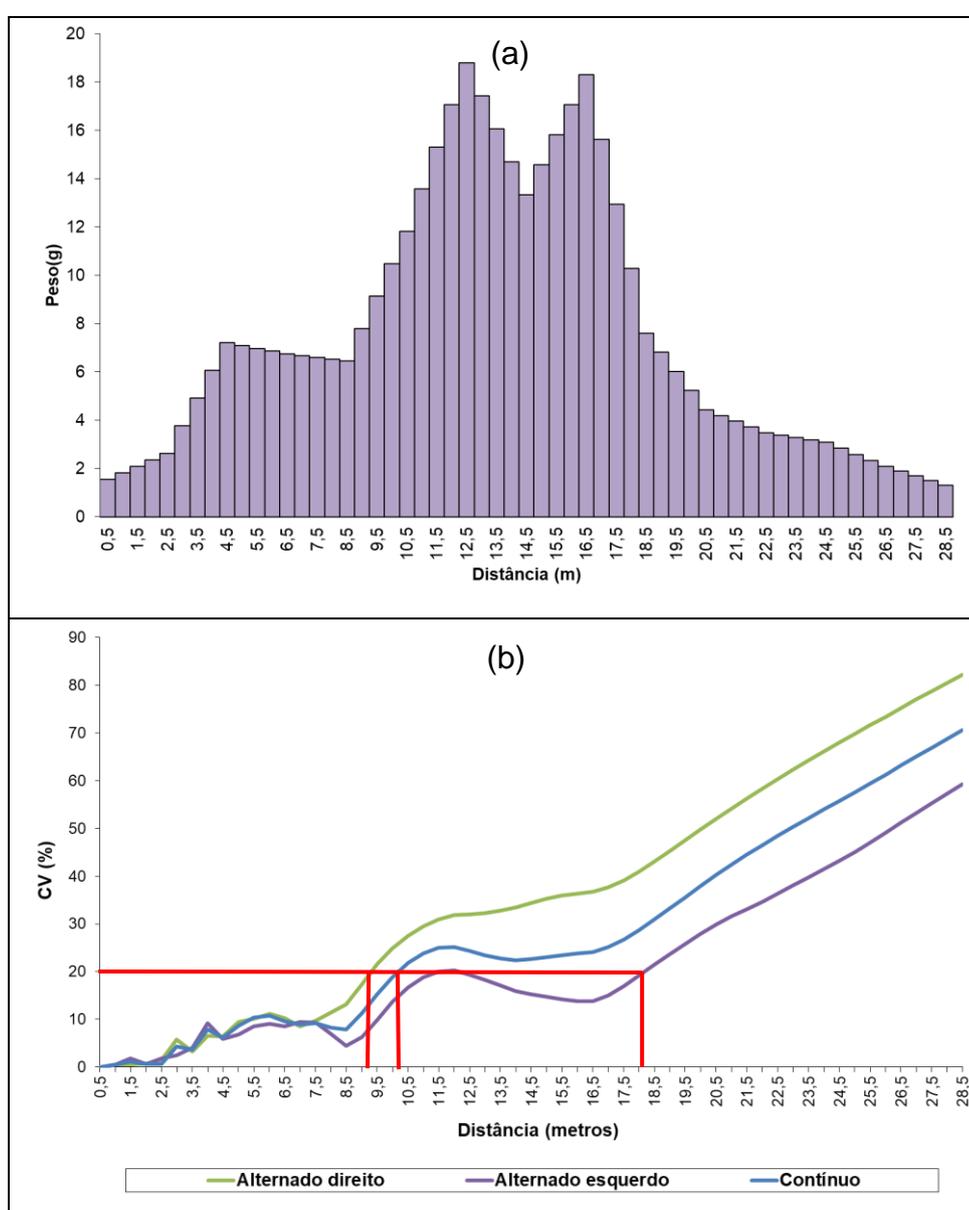


Fonte: A autora.

O perfil de distribuição da Figura 24 (a), mostra o tratamento onde o distribuidor se deslocou com ângulo de  $45^\circ$  sobre as taipas e acoplado de forma arrastada. O perfil de distribuição transversal apresenta comportamento similar com o da Figura 23 (a). No entanto, para a forma de acoplamento arrastado, observa-se que a concentração de material foi maior no centro dos discos do distribuidor. Com fator de variação deferente do analisado nesse tratamento do presente trabalho Sagrilo et al. (2019), encontraram perfil de distribuição similar ao da Figura 24 (a) ao

realizarem variação da regulação das aletas na aplicação de calcário com um distribuidor bidisco. De mesma forma, Ganascini (2016), ao testar duas rotações (540 e 414 rpm), observou que para ambas rotações o perfil apresentava déficit de produto no centro e superávit nas laterais, constatando a característica dessa forma de distribuição transversal dos distribuidores bidisco.

Figura 24 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 45° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado

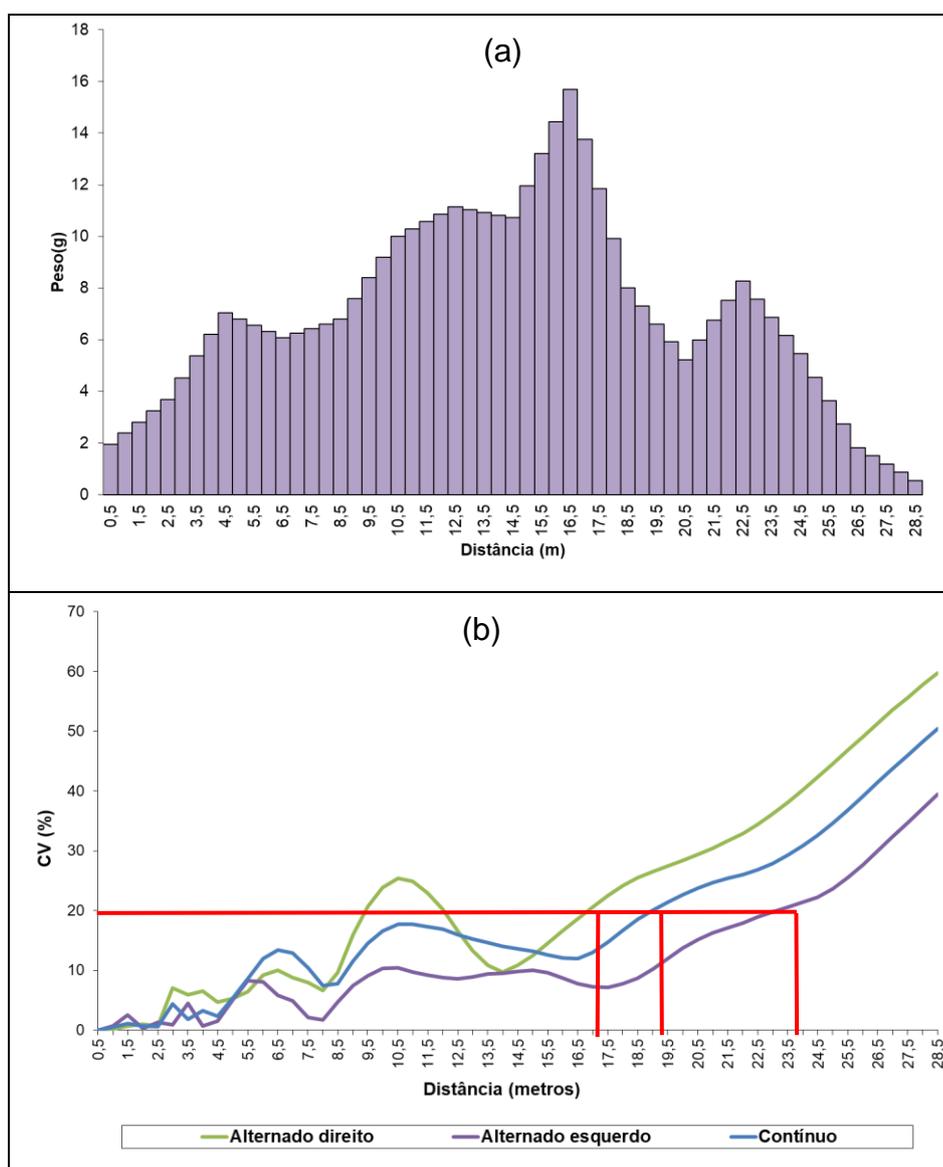


Fonte: A autora.

Em relação a largura de acordo com o coeficiente de variação apresentados na Figura 24 (b), observa-se que os três métodos de trabalho apresentaram diferença, sendo que o método alternado direito apresentou largura de 9 m sendo a menor entre os três, enquanto o método contínuo obteve largura de 10 m e o alternado esquerdo 18 m.

O perfil de distribuição transversal com acoplamento montado apresentado na Figura 25 (a) representa oferecer maior uniformidade de distribuição que o perfil de distribuição da Figura 26 (a) onde o distribuidor está acoplado de forma arrastada.

Figura 25 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 90° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado



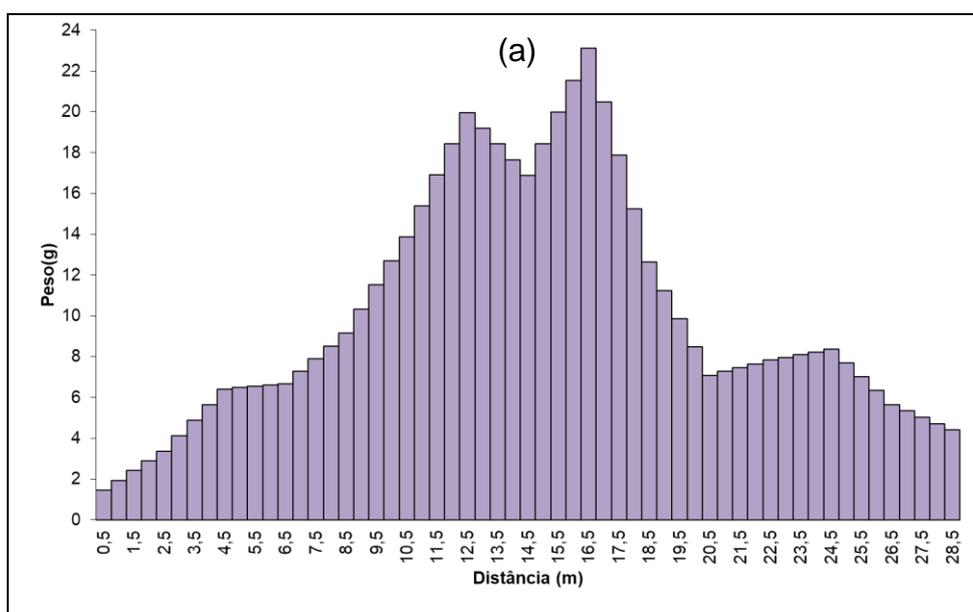
Fonte: A autora.

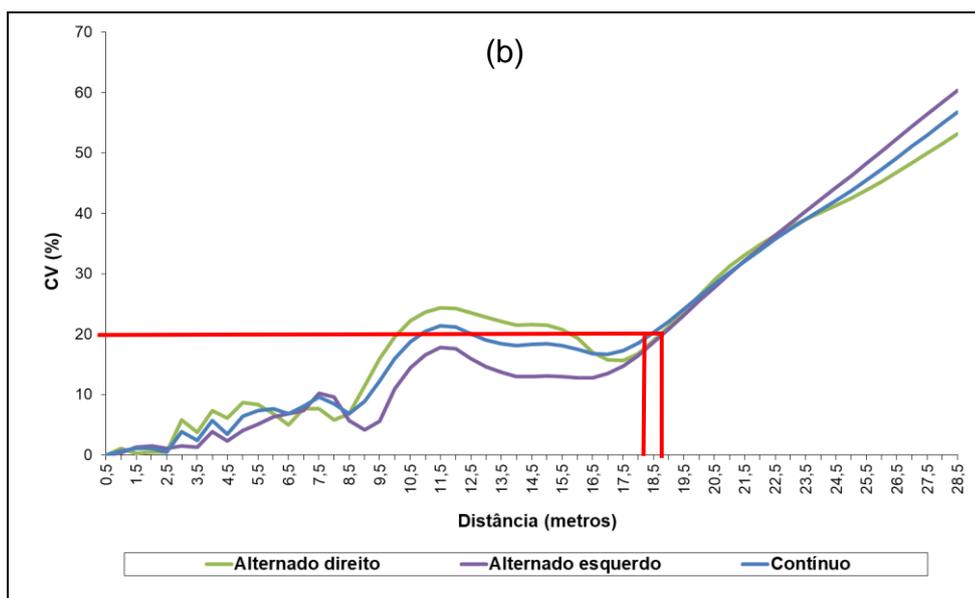
Visualmente os perfis de distribuição transversal das Figuras 25 (a) e 26 (a) aparentam ser mais uniformes que os das Figuras 23 (a) e 24 (a) onde o conjunto mecanizado se deslocou com ângulo de  $45^\circ$  sobre as taipas do terreno.

Ao analisar a Figura 25 (b), onde apresenta a largura de trabalho de acordo com o coeficiente de variação limitado, é possível determiná-la de acordo com os métodos de manobra. Nota-se que quando o distribuidor centrífugo está se deslocando sobre as taipas com ângulo de  $90^\circ$  acoplado de forma montado o método de trabalho alternado esquerdo apresentou largura de 23,5 m sendo a maior dentre os demais. Da mesma forma, Hachuy (2008), ao considerar um CV% de 15% também encontrou que o método de manobra alternado esquerdo oferece a maior largura de trabalho, enquanto para o método contínuo a largura foi de 19 m e para a método alternado direito foi de 17 m.

Na Figura 26 (b) nota-se que para o CV% de 20% as larguras de trabalho apresentaram apenas 0,5 m de diferença entre os métodos de manobra, sendo que o método alternado direito e alternado esquerdo ficaram com a mesma largura de 19 m e o método contínuo com 18,5 m. Também se observa que as larguras de trabalho encontradas para a forma arrastada são menores do que as encontradas na Figura 25 (b).

Figura 26 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de  $90^\circ$  sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado





Fonte: A autora.

Para a melhor visualização das larguras de trabalho considerando o coeficiente de variação estabelecido como aceitável, apresenta-se a Tabela 2. Observa-se que para o CV% avaliado as larguras de trabalho encontradas foram pequenas visto que, segundo a empresa fabricante do distribuidor, a largura mínima é 16 m e a máxima de 30 m para o produto utilizado (ureia).

Tabela 2 – Larguras de trabalho de acordo com o coeficiente de variação (CV%) delimitado

Tipo de superfície	Largura de trabalho (m) para 20% de CV		
	AD	AE	CT
Plano montado	14,0	20	17,5
Plano arrastado	19,0	18,5	18,5
45° montado	9,5	19,5	17,5
45° arrastado	9,0	18,0	10,0
90° montado	17,0	23,5	19,0
90° arrastado	19,0	19,0	18,5

AD: alternado direito, AE: alternado esquerdo, CT: contínuo

Fonte: A autora.

A ocorrência de menor largura de trabalho pode ser explicada pela utilização da rotação do trator em 1500 rpm. Dessa forma, na TDP do trator não estava produzindo 540 rpm, que é o indicado para a utilização do distribuidor centrífugo,

sendo a rotação real de 337,5 rpm. Ganascini et al. (2016), estudou a largura de trabalho para 414 e 540 rpm e confirmaram que menor rotação de trabalho acarreta menor largura de trabalho, pois as partículas não conseguem atingir velocidade para serem depositadas mais longe. A utilização de menor rotação no motor do trator gera economia de combustível, então tendo em vista economia, é oportuno diminuir a largura de trabalho.

Observa-se que para o tipo de superfície onde o conjunto se deslocou com ângulo de 45° ocorreu uma diferença considerável da largura de trabalho entre os métodos de manobra alternado direito e alternado esquerdo. Esse caso pode se tornar um problema no campo, pois na execução da distribuição a campo, normalmente o trabalhador fixa uma distância e realiza as manobras. Dessa forma, é melhor quando as larguras de trabalho não tenham grande diferença entre elas.

Na tabela 3 é apresentada a síntese da análise da variância (ANOVA) para a variável Coeficiente de Variação na largura de 23 m (CV%23). Observa-se que as variáveis que apresentaram interação significativa bifatorial foram: forma de acoplamento e tipo de superfície, forma de acoplamento e método de manobra e tipo de superfície e método de manobra.

Tabela 3 – Síntese da análise de variância (ANOVA) para efeitos principais e secundários

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>FC
Forma de acoplamento (FA)	1	253,50	253,50	5,72	0,0221
Tipo de superfície (TS)	2	4146,78	523,39	11,81	0,0001
Método de manobra (MM)	2	1713,78	856,89	19,34	0,0000
FA * TS	2	874,11	437,06	9,86	0,0004
FA * MM	2	460,44	230,22	5,19	0,0104
TS * MM	4	924,44	231,11	5,22	0,0002
FA * TS * MM	4	156,44	39,11	0,88	0,4841
Erro	36	1595,33	44,31		
Total corrigido	53	7024,83			

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância

Fonte: A autora.

Na Tabela 4 observa-se que todos os tipos de terreno apresentaram diferença no coeficiente de variação para 23 m em função da forma de acoplamento, sendo que, todos os CV% encontrados para essa largura de trabalho são maiores que o

recomendado para produtos granulares. Sanaeifar e Sheikhdavoodi (2012), ao avaliarem a uniformidade de distribuição transversal entre ureia, fosfato de amônio e semente de trigo observaram que a ureia apresentou maior CV% dentre os três.

Nota-se que somente no terreno plano a forma de acoplamento arrastado apresentou menor CV%, em comparação ao acoplamento montado. Analisando se houve diferença do coeficiente de variação das superfícies dentro da forma de acoplamento montada, somente a superfície de 90° apresentou diferença, sendo o menor CV% dessa análise.

Para a forma arrastada, entre as superfícies plana e 90° não ocorreu contraste, sendo que somente a superfície de 45° apresentou diferença das demais, apresentando o maior CV% da tabela.

Tabela 4 – Teste de médias para formas de acoplamento e tipos de superfícies

Forma de acoplamento	Tipo de superfície		
	Plana	45°	90°
Montado	45,44 Aa	41,56 Ab	31,67 Bb
Arrastado	38,44 Bb	52,44 Aa	40,78 Ba

\*Os valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro\*

Fonte: A autora.

O desdobramento das interações entre forma de acoplamento e método de manobra é apresentada na Tabela 5. Nesta tabela é possível verificar que entre os métodos de manobra alternado direito e contínuo a forma de acoplamento (montado e arrastado) não causou diferença significativa.

Enquanto para o método de manobra alternado esquerdo a forma de acoplamento causou diferença significativa, sendo que, a forma montada teve menor CV% comparada ao arrastado, ou seja, oferece o melhor perfil de distribuição entre os tratamentos analisados.

Para o teste de médias entre as formas de acoplamento, todos os métodos de manobras apresentaram diferença entre si para a forma montado, diferente do acoplamento arrastado que os métodos não apresentaram diferença entre eles.

Tabela 5 – Testes de médias para forma de acoplamento e método de manobra

Forma de acoplamento	Método da manobra		
	AD	AE	CT
Montado	50,00 Aa	29,11 Cb	39,56 Ba
Arrastado	46,78 Aa	40,11 Aa	44,78 Aa

\*Os valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro\*

Fonte: A autora.

A Tabela 6 apresenta o teste de médias para o tipo de superfície e método de manobra. Analisando os dados na coluna, constata-se que para o método de manobra alternado direito as superfícies plana e de 90° não apresentam diferença significativa entre elas, somente a superfície de 45° apresentou diferença das demais. Enquanto para a método alternado esquerdo não ocorreu diferença entre todas as superfícies estudadas. No método de manobra contínuo o tipo de superfície de 45° e 90° apresentaram diferença entre si, ao passo que a superfície plana não expressou diferença significativa entre a de 45° e 90°. O método alternado esquerdo apresentou CV% semelhantes entre os tipos de superfície, mesmo que o CV% encontrado seja alto comparado ao indicado para a distribuição de produtos granulares, esse fato é um bom indicativo para o método de manobra.

Tabela 6 – Teste de médias para tipo de superfície e método de manobra

Tipo de superfície	Método da manobra		
	AD	AE	CT
Plana	45,17 Ab	37,50 Aa	43,16 Aab
45°	61,00 Aa	33,00 Ca	47,00 Ba
90°	39,00 Ab	33,33 Aa	36,33 Ab

\*As seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro\*

Fonte: A autora.

Para o tipo de superfície plana e de 90° não houve diferença entre os métodos de manobras, porém, para a superfície de 45° todos os métodos apresentaram diferença entre os métodos de manobra. Notou-se que o método alternado direito apresentou o maior CV% dentro desse teste de médias e o método

alternado esquerdo o menor CV% para essa análise. Machado; Reynaldo; Vale (2022), ao compararem o desempenho de dois distribuidores de marcas distintas com duas formulações de ureia, encontraram CV%'s que variaram de 11,2 a 32,3% para uma largura de trabalho de 30 m, valores estes bem abaixo dos descritos neste trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

A forma de acoplamento e superfície de trabalho alteram o comportamento de um distribuidor centrífugo bidisco na distribuição de ureia a lanço.

Conclui-se que para a largura de trabalho escolhida de 23 m todos os CV% encontrados foram acima do recomendado para materiais granulares.

Em uma superfície com taipas, a melhor forma de deslocamento para o conjunto mecanizado é com ângulo de 90°.

A forma de acoplamento arrastado apresentou melhor perfil de distribuição transversal apenas em terreno plano. Este comportamento é diferente do esperado na formulação do trabalho, pois esperava-se que a forma de acoplamento arrastada (com o reboque estabilizador) proporcionaria perfil de distribuição transversal mais uniforme que o acoplamento montado.

A forma de acoplamento montado apresentou melhor perfil de distribuição transversal para os terrenos com taipas, nas duas superfícies de deslocamento (45° e 90°), o que destoa do comportamento esperado neste estudo.

O método de manobra alternado esquerdo com a forma de acoplamento montado apresentou o menor CV% para a largura de 23 m entre os tratamentos estudados.

Para trabalhos futuros, destaca-se que é preciso estudar o perfil de distribuição longitudinal nas mesmas condições do presente estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. A. S. de. **Influência da umidade de dois calcários sobre a distribuição a lanço com equipamento centrífugo**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE. Cascavel/PR. 2018. (47).
- AUSTER. Disponível em: <https://www.austertecnologia.com/single-post/taipas-arroz>. Acesso em: 9 mar. 2023.
- BISOGNIN, B. P. et al. No nível. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 134, out. 2013. p. 06-08.
- BRONDANI, L. B. **Desempenho de protótipos de discos para distribuição de ureia a lanço**. Universidade Federal de Santa Maria (UFM). Santa Maria, p. 82. 2013.
- CARMONA, F. C. de et al. As atuais recomendações de adubação para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul são válidas em sistema integrados de produção agropecuária. *In*: IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO XXXV, 2015. **Anais** [...]. Natal/RN: [s.n.].
- EMBRAPA. Origem e história do feijoeiro comum e do arroz. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão.**, Antônio de Goiás/GO, jun. 2000. p. 1-4.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F. Manejo de nitrogênio em arroz irrigado. **EMBRAPA**, Santo Antônio de Goiás, GO, novembro 2003. p. 1-4.
- FARRET, I. S. **Efeito da variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos**. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Santa Maria/RS, p. 89. 2005.
- FARRET, I. S. et al. Variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1886-1892. 7 p, 09 abr. 2008.
- GANASCINI, D. et al. O efeito da rotação dos discos no perfil de distribuição. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 5, n. 4, p. 63-73, jan. 2016. ISSN 2316-4093.
- GRAFTON, M. C. E. et al. Measuring the spread patterns of spreaders under normal field conditions compared to test conditions. **Integrated nutrient and water management for sustainable farming**, Palmerston North, 2016. p. 1-11.
- HACHUY, L. **Desempenho de uma distribuidora a lanço com dois tipos de produtos aplicados com diferentes posições de aletas nos discos**. Universidade Federal Paulista-UNESP. Botucatu/SP, p. 60. 2008.
- HERNANDES, A. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 307-312, 29 abr. 2010.

HORROCKS, A. et al. Developing guidelines for fertiliser spreading on west coast humps and hollows. *In*: IN: 28TH ANNUAL FERTILIZER AND LIME RESEARCH CENTER WORKSHOP., 2015. **Anais** [..]. Palmerston North: [s.n.]. p. 1-6.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 5690. Equipment for distributtin fertilizers: test ethods - Part 1: Full width fertilizer distributors. **ISO Standars handbook 13**, p. 373-385, 1982.

IRGA - INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **BOLETIM DE RESULTADOS DA SAFRA 2021/22 EM TERRAS BAIXAS: ARROZ IRRIGADO E SOJA**. 2022. 19 p. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202209/26133439-relatorio-irga-safra-2021-22.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

JAN. Disponível em: <https://www.jan.com.br/modelo/83/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-master/1200-1500>. Acesso em: 9 mar. 2023.

JAN. Disponível em: <https://www.jan.com.br/modelo/234/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-ppo/600-900>. Acesso em: 9 mar. 2023.

JAN. Disponível em: <https://www.jan.com.br/modelo/80/distribuicao/acoplado-pela-barra-de-tracao/lancer-semea/3000-5000>. Acesso em: 9 mar. 2023.

JOHN DEERE. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/tratos-culturais/distribuidor-de-nutrientes-dn1006/>. Acesso em: 9 mar. 2023.

KHUDHER, A. Y.; HIMOUD, M. S.; ALMALIKI, S. A. Modulating a centrifuge spreader disc and evaluating performance under some different operating factors. **Agricultural and statistical sciences**, v. 16, 07 set. 2020. p. 1799-1805.

KUHN BRASIL. Disponível em: <https://www.kuhnbrasil.com.br/cultivos/distribuidores-de-fertilizantes/distribuidores-de-fertilizantes-montados/accura-1200>. Acesso em: 9 mar. 2023.

KULLMANN, S. E.; DIAS, V. de O. Uniformidade de distribuição volumétrica de duas pontas de pulverização sob efeito da assistência a ar na barra. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 3, 29 set. 2020. p. 339-351.

MACHADO, T. M.; REYNALDO, E. F.; VALE, W. G. do. Distribuidores a lançaõ montados em pulverizador autopropelido com diferentes alturas de lançamento de fertilizantes. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 5, 29 mai. 2022. p. 39462-39475.

MAGALHÃES, A. M. de. Arroz irrigado na região subtropical. **EMBRAPA**, 27 set. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MAGALHÃES, A. M. de; GOMES, A. S. da; SANTOS, A. B. dos. **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil**. Pelotas/RS, 2004. 270 p. Disponível

em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179868/1/sistema-03.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARQUEZ, L.. La tecnologia en las abanadoras de proyección-parte 1. **Agrotécnica**, Espanha, mar. 2011. p. 38-44.

MFRURAL. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/596926/arado-terraceador-taipadeira-imasa>>. Acesso em: 9 mar. 2023.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba/SP: [s.n.], 1996.

MILAN, M.; GADANHA C. D. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba/SP: [s.n.], 1996.

MOLIN, J. P. et al. Segregação de fertilizantes aplicados a lanço. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 614-622, out. 2009. ISSN 0100-6916.

MOLIN, J. P. et al. **Adulção 3.1- Guia de uso**. Universidade de São Paulo - USP. Piracicaba - SP, p. 20. 2015.

MOLIN, J. P.; MAZZOTTI, H. C. Influência da utilização e do tipo de amortecedores de ricochete em ensaios de aplicadores a lanço. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, jul. 2000. p. 281-285.

OLIVEIRA, A. A. de. A cultura do arroz. **CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento**., Brasília/DF, p. 180, 2015. ISSN 978-85-62223-06-8.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.. **Técnica de la mecanización agraria**. 3. ed. Madrid: Muundi-Prensa, 1989. 641 p.

PEREIRA, J. C. S. **Comportamento da distribuição de fertilizantes granulados de uma semeadora-adubadora em diferentes níveis do reservatório**. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Botucatu-SP, p. 57. 2021.

PICCIN. **Manual de instruções: Master 5500D - 7500 D - 12000D distribuidor de calcário e adubo orgânico**. Manualzz. 2014. 40 p. Disponível em: <https://manualzz.com/doc/5967686/manual>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PORTELLA, J. A. **Semeadoras para plantio direto**. 1. ed. Viçosa/MG: Aprenda Fácil, 2001.

REYNALDO, E. F. et al. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da fração granulométrica. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, 20 jun. 2016. p. 487-494.

ROTILI, E. A. et al. Eficiência no uso de fósforo de variedades de arroz cultivadas em solos de várzea irrigada. **Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, mai/jun 2010. p. 415-420.

SAGRILO, A. D. et al. Variação da regulação das aletas na aplicação de calcário. **Técnico-Científica do CREA-PR**, mar. 2019. p. 1-12.

SANAEIFAR, A. ; SHEIKHDAVOODI, M. J. Evaluating of broadcasting uniformity of centrifugal and oscillating granular broadcaster. **Applied Sciences, Engineering and Technology**, ago. 2012. p. 2460-2468.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. S. da. Adubação e calagem para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Circular Técnica**, Pelotas/RS, nov. 2007.

SCIVITTARO, W. B. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, Santa Maria/RS, v. 40, n. 6, p. 1283-1289, 18 jun. 2010.

SCIVITTARO, W. B. **Calagem e adubação para o arroz irrigado na região subtropical**. EMBRAPA. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical/correcao-do-solo-e-adubacao>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SILVA, O. F. da; WANDER, A. E.; FERREIRA, C. M. Estatística de produção. **Embrapa-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 08 jul. 2021. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao#:~:text=Em%20primeiro%20lugar%20est%C3%A1%20a,\(19%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas\)](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao#:~:text=Em%20primeiro%20lugar%20est%C3%A1%20a,(19%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas)). Acesso em: 19 nov. 2022.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Cachoeirinha/RS: Pallotti, 2018. 205 p.

STARA. Disponível em: [https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR\\_Bruttus-25000-versao-web.pdf](https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR_Bruttus-25000-versao-web.pdf). Acesso em: 9 mar. 2023.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A. Métodos de irrigação. **Embrapa- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.**, 05 jul. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/metodos-de-irrigacao>. Acesso em: 19 nov. 2022.

TAKARA, J. G; QUEQUETO, W. D. **Uniformidade de aplicação de um distribuidor centrífugo a taxa variada**. Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD. Dourados/MS, p. 26. 2014.

VALTRA. Disponível em: <https://www.valtra.com.br/produtos/distribuidor/bs3350h-dry.html>. Acesso em: 9 mar. 2023.

VALTRA. Disponível em: <https://www.valtra.com.br/produtos/implementos/fertilizer-bdf-1300.html>. Acesso em: 9 mar. 2023.

VILAR, C. C. Fluides de fertilizantes. **Universidade Estadual de Mato Grosso**, set. 2017. Disponível em: <http://agrosenso.blogspot.com/2017/09/fluidez-de-fertilizantes.html>. Acesso em: 05 jun. 2023.

ZÜGE, G. G. **Angulação das aletas de rotores utilizados para distribuição a lanço de ureia**. Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS. Cerro Largo, p. 52. 2021.

**MARIA EDUARDA HITZ**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UREIA COM DISTRIBUIDOR CENTRÍFUGO SOBRE  
TAIPAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Trabalho defendido e aprovado em: 10 de julho de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Vilnei de Oliveira Dias

Orientador

(Unipampa)

---

Profa. Dra. Eracilda Fontanela

(Unipampa)

---

Eng. Agric. Bruno Pilecco Bisognin



Assinado eletronicamente por **VILNEI DE OLIVEIRA DIAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/07/2023, às 10:43, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ERACILDA FONTANELA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/07/2023, às 14:01, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **BRUNO PILECCO BISOGNIN, Usuário Externo**, em 15/07/2023, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1184458** e o código CRC **0FAB0B8A**.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MARIA EDUARDA HITZ**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UREIA COM DISTRIBUIDOR  
CENTRÍFUGO SOBRE TAIPAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

**Alegrete  
2023**

**MARIA EDUARDA HITZ**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UREIA COM DISTRIBUIDOR  
CENTRÍFUGO SOBRE TAIPAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Agrícola da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Vilnei de Oliveira  
Dias

**Alegrete  
2023**

**MARIA EDUARDA HITZ**

**UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA UREIA COM DISTRIBUIDOR  
CENTRÍFUGO SOBRE TAIPAS NA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 10 julho de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Vilnei de Oliveira Dias  
Orientador  
(UNIPAMPA)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Eracilda Fontanela  
(UNIPAMPA)

---

Eng. Agríc. Bruno Pilecco Bisognin

“Nem tudo que se enfrenta pode ser  
modificado, mas nada pode ser  
modificado até que seja enfrentado”

(Albert Einstein)

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente a Deus por ele sempre me iluminar e guiar meus passos na vida.

Ao meu professor e orientador Vilnei de Oliveira Dias, pela disponibilidade de tempo e paciência para me orientar e transmitir seus conhecimentos.

À Universidade Federal do Pampa pela oportunidade de desenvolver meu experimento na área experimental do Campus Alegrete e por todos os anos de estudo.

Ao Técnico Administrativo em Educação Jhon Pablo Lima Cornélio, por todo o auxílio prestado no desenvolvimento da prática do trabalho.

À empresa GILMAQ Comércio de Máquinas Agrícolas LTDA. por serem parceiros na pesquisa e possibilitarem o desenvolvimento do presente trabalho ao concederem o empréstimo do implemento utilizado.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Vagner Romeu Hitz e Roberta Hitz, por sempre me incentivarem a estudar e por acreditarem no meu potencial.

Aos meus colegas, em específico, à Natália Garcez, ao Vitor Charão, à Milena Prates, à Lubna Maressa e à Stefani Refatti, por todo o auxílio prestado na realização do experimento a campo.

Ao meu querido parceiro de vida, Victor Ponte, por sempre me ajudar a manter a calma e me encorajar na realização dos meus sonhos.

## RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas mais produzidas no mundo, sendo a base da alimentação de milhares de pessoas. Comumente, nas lavouras de arroz irrigado, a distribuição de fertilizantes sólidos é realizada com a utilização de distribuidores centrífugos. Entretanto, são poucos os trabalhos avaliando esta distribuição em condições sobre taipas, sendo necessário trabalhos que estudem a eficácia deste tipo de equipamento. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a regularidade de distribuição de sólidos com um distribuidor centrífugo em diferentes superfícies de trabalho e em formas de acoplamento contrastantes. Para tal, foi realizado um experimento cujos tratamentos foram compostos pela variação do tipo de superfície, deslocamento em relação às taipas (paralelo, 45°, e 90°) e duas formas de acoplamento (montado no engate de três pontos do trator e arrastado pela barra de tração). Observou-se que para 20% de coeficiente de variação (CV) as larguras de trabalho encontradas foram pequenas visto que, segundo a empresa fabricante do distribuidor, a largura mínima é 16 m e a máxima de 30 m para o produto utilizado (ureia). O perfil de distribuição transversal no terreno com taipas onde o conjunto mecanizado se deslocou com ângulo de 45° apresentou-se como o pior perfil dentre os estudados, nas duas formas de acoplamento (montado e arrastado). Analisou-se que na largura de trabalho escolhida de 23 m todos os (CV%) encontrados foram acima do recomendado para materiais granulares. Concluiu-se que a forma de acoplamento alterou o perfil de distribuição transversal e o coeficiente de variação, sendo que para terreno com taipas o acoplamento montado expressou melhor perfil de distribuição transversal, sendo que, para terreno com taipas, a melhor forma de deslocamento é com ângulo de 90°.

Palavras-Chave: perfil de distribuição, adubação nitrogenada, taipas

## ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most produced crops in the world, being the basis of the diet of thousands of people. Commonly, in irrigated rice crops, the distribution of solid fertilizers is carried out with the use of centrifugal distributors. However, there are few studies evaluating this distribution in conditions on taipas, it is necessary to study the effectiveness of this type of equipment. Thus, the objective of this work was to evaluate the regularity of solids distribution with a centrifugal distributor on different work surfaces and in contrasting coupling shapes. To this end, an experiment was carried out whose treatments were composed by the variation of the type of surface displacement in relation to the taipas (parallel, 45° and 90°), and two forms of coupling (mounted on the tractor's three-point hitch and dragged along the drawbar). It was observed that for 20% of the (CV) coefficient of variation the working widths found were small since, according to the manufacturer of the distributor, the minimum width is 16 m and the maximum is 30 m for the product used (urea). The transverse distribution profile in the terrain with taipas where the mechanized set if moved with an angle of 45° presented as the worst profile among those studied, in the two forms of coupling (mounted and dragged). It was analyzed that in the chosen working width of 23 m all (CV%) found were above the recommended for granular materials. It is concluded that the coupling form altered the cross-sectional distribution profile and the coefficient of variation, and for terrain with taipas the mounted coupling expressed a better cross-sectional distribution profile, and for terrain with taipas, the best form of displacement is with an angle of 90°.

Key-words: distribution profile, nitrogen fertilization, rice paddies

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos de entaipadoras utilizadas na cultura do arroz irrigado. (a) Entaipadora de base estreita, (b) Entaipadora de base larga.....	16
Figura 2 – Distribuidor centrífugo volumétrico com dosador de esteira.....	19
Figura 3 – Distribuidor centrífugo com dosador gravitacional e agitador.....	20
Figura 4 – Distribuidor por gravidade de produtos sólidos.....	20
Figura 5 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos.....	21
Figura 6 – Distribuidor pendular de produtos sólidos.....	21
Figura 7 – Posição das aletas no disco. (a) aletas adiantadas, (b) aletas radiais, (c) aletas atrasadas.....	23
Figura 8 – Representação da forma de trabalho. (a) contínuo, (b) alternado.....	24
Figura 9 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor bidisco.....	25
Figura 10 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor monodisco.....	26
Figura 11 – Formas de acoplamento do distribuidor centrífugo. (a) montado, (b) arrastado.....	26
Figura 12 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos sobre o reboque estabilizador.....	27
Figura 13 – Distribuidor centrífugo sobre o reboque estabilizador que foi utilizado para desenvolvimento do experimento.....	32
Figura 14 – Conjunto de peneiras utilizadas para determinação da granulometria...33	
Figura 15 – Determinação da granulometria através de conjunto de peneiras.....	34
Figura 16 – Repousímetro utilizado na análise do ângulo de repouso.....	35
Figura 17 – Copo volumétrico preenchido com volume de 150 cm <sup>3</sup> de ureia.....	36
Figura 18– Coletores padronizados pela ISO 5690/1982.....	37
Figura 19 – Coletores alinhados e dispostos transversalmente ao sentido de deslocamento do conjunto mecanizado.....	38
Figura 20 – Ilustração dos níveis do fator superfície: superfície plana (a); superfície com taipas e deslocamento com ângulo de 45° (b); superfície com taipas deslocamento com ângulo de 90° (c). ....	39
Figura 21 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento montado.....	41

Figura 22 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento arrastado.....	42
Figura 23 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 45° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado.....	44
Figura 24 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 45° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado.....	45
Figura 25 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 90° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado.....	46
Figura 26 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 90° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado.....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações do trator NH TL 75 utilizado no experimento.....	31
Quadro 2 – Especificações técnicas do distribuidor centrífugo utilizado no estudo...	32
Quadro 3 – Especificações do reboque estabilizador.....	33
Quadro 4 – Combinação dos fatores para formação dos tratamentos.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria da ureia.....	34
Tabela 2 – Larguras de trabalho de acordo com o coeficiente de variação (CV%) delimitado.....	48
Tabela 3 – Síntese da análise de variância (ANOVA) para efeitos principais e secundários.....	49
Tabela 4 – Teste de médias para formas de acoplamento e tipos de superfícies.....	50
Tabela 5 – Testes de médias para forma de acoplamento e método de manobra.....	51
Tabela 6 – Teste de médias para tipo de superfície e método de manobra.....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1	A cultura do arroz irrigado.....	15
2.2	Adubação nitrogenada no arroz irrigado .....	17
2.3	Distribuição de sólidos em superfície .....	19
2.4	Uniformidade de distribuição de sólidos à lanço .....	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1	Local .....	31
3.2	Conjunto mecanizado .....	31
3.3	Caracterização do produto sólido.....	33
3.3.1	Granulometria .....	33
3.3.2	Ângulo de repouso .....	34
3.3.3	Densidade de partículas .....	35
3.3.4	Umidade gravimétrica.....	36
3.4	Análise do perfil de distribuição transversal .....	37
3.5	Delineamento experimental e análise estatística .....	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa L.*) é uma das culturas mais produzidas no mundo, sendo a base da alimentação de milhares de pessoas. O Brasil ocupa o nono lugar na produção de arroz, com 1,5% da produção mundial (SILVA; WANDER; FERREIRA, 2021).

No Brasil, nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, o arroz cultivado é o irrigado que tem como forma de irrigação a inundação que é conduzida por meio de taipas. As taipas são feitas a partir do levantamento altimétrico da área e funcionam como barreiras, sendo possível fazer o manejo do curso da água.

A aplicação de produtos a lanço é uma das técnicas mais antigas de distribuição de insumos na agricultura. Feita inicialmente de forma manual, em sequência foi desenvolvida a primeira semeadora manual e com o desenvolvimento de máquinas agrícolas diversas, chegou-se à concepção do que hoje é conhecido como distribuidor centrífugo. Nos tempos atuais, o distribuidor centrífugo é um dos implementos agrícolas mais acessíveis, com fácil manuseio e manutenção para os agricultores. Segundo Farret et al. (2008), o distribuidor centrífugo é um implemento que revolucionou a distribuição de produtos sólidos na agricultura, devido a sua simplicidade construtiva, facilidade de regulagem e alta capacidade operacional.

Comumente, nas lavouras de arroz irrigado, a aplicação de fertilizantes sólidos é com a utilização de distribuidores centrífugos, sendo realizada antes de se iniciar a irrigação da área. Entretanto, a aplicação de produtos sólidos sobre taipas pode se constituir um problema pois, de acordo com Horrocks et al. (2015), os distribuidores centrífugos foram projetados para trabalhar em terrenos planos.

É conhecido o fato de que o distribuidor centrífugo é uma máquina que, dependendo das condições operacionais, pode apresentar baixa precisão. Esta condição pode ser potencializada se o terreno em que o equipamento estiver sendo utilizado for desuniforme, o que pode causar oscilações laterais na máquina.

Para diminuir a influência da superfície do terreno na distribuição normalmente é utilizado um reboque estabilizador, o qual consiste em um equipamento com rodas acoplado arrastado no trator onde o distribuidor centrífugo fica apoiado. No entanto, são desconhecidos trabalhos avaliando esta distribuição em condições contrastantes. Diante do exposto, este tema carece de trabalhos que

estudem a eficácia deste tipo de equipamento para que seja possível assegurar maior acurácia na operação no que se refere a uniformidade de distribuição.

### **1.1 Objetivo geral**

Avaliar a regularidade de distribuição de sólidos com um distribuidor centrífugo em diferentes superfícies de trabalho e em formas de acoplamento contrastantes.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Verificar o efeito da direção de deslocamento sobre a uniformidade de distribuição de sólidos sobre taipas na cultura do arroz irrigado;
- Quantificar, a desuniformidade de aplicação de sólidos sobre taipas na cultura do arroz irrigado;
- Avaliar a eficácia da forma de acoplamento na uniformidade de aplicação de sólidos sobre taipas na cultura do arroz irrigado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do arroz irrigado

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal amplamente produzido e consumido por todos. Diversos historiadores apontam o sudeste da Ásia como sendo o local de origem do arroz. São duas as formas silvestres apontadas como precursoras do arroz, os mais antigos relatos sobre o arroz são encontrados na literatura chinesa há cerca de 5000 anos (EMBRAPA, 2000).

A produção mundial do arroz está distribuída entre três principais continentes sendo o asiático o maior produtor com 89,9%, o continente americano com 5,0%, e o africano com 4,2%. No continente americano o Brasil ocupa o nono lugar de produção mundial, correspondendo a 1,5% (SILVA; WANDER; FERREIRA, 2021).

Conforme a Oliveira (2015), aponta o Brasil como o primeiro país a cultivar arroz no continente americano. No ano de 1587 já havia relatos de lavoura de arroz na Bahia, enquanto no Rio Grande do Sul apenas no ano de 1904 houve o registro da primeira lavoura empresarial, já irrigada.

Segundo o Instituto Riograndense do Arroz (IRGA, 2022), a produtividade média de arroz irrigado na safra de 21/22 foi de 8.315 kg ha<sup>-1</sup> (166,3 sc ha<sup>-1</sup>), sendo a área total semeada de 957.185 ha, com uma área perdida de 30.176 ha, devido à escassez hídrica e altas temperaturas do ano safra, na Fronteira Oeste. Sendo assim, a área colhida na safra 21/22 fechou em 927.009 ha e a produção total ficou em 7.708.229,84 toneladas, uma redução de 9,6 % em comparação a safra 20/21.

A cultura do arroz irrigado pode ser produzida em sistemas de irrigação por inundação, subirrigação ou aspersão, sendo que o método mais utilizado no Brasil é a irrigação por inundação contínua (STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 2021). No Brasil, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, predomina a forma de cultivo do arroz com irrigação por inundação. Esses estados contribuem com mais de 80% da produção do Brasil (MAGALHÃES, 2022).

De acordo com Sociedade Sul-Brasileira do Arroz Irrigado (SOSBAI, 2018), o manejo da água no arroz irrigado por inundação é fundamental para o desenvolvimento da cultura. A água tem influência em aspectos físicos da planta, interfere na disponibilidade de nutrientes, na população e no controle de plantas daninha. Segundo esta mesma fonte, no Rio Grande do Sul predominam as áreas

de cultivo do arroz com taipas. Nesse modelo de irrigação a água entra na lavoura nos pontos mais altos para que seja conduzida por gravidade até as partes mais baixas da área.

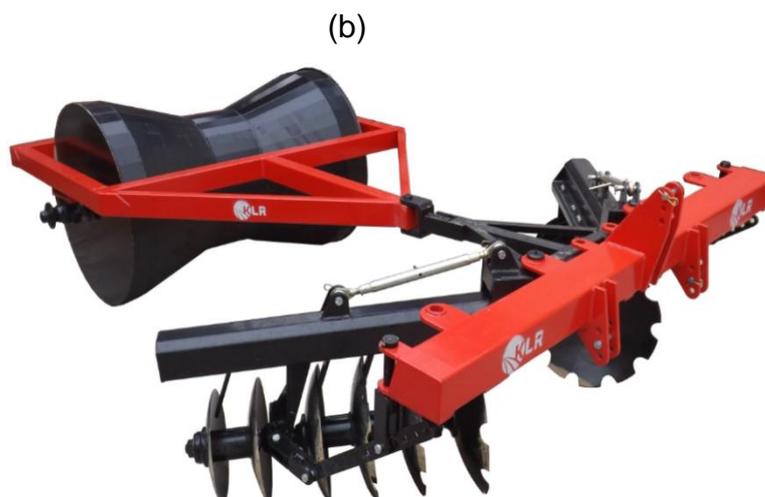
O arroz irrigado por inundação é uma das culturas mais exigentes em água (MAGALHÃES; GOMES; SANTOS 2004). Ainda de acordo com Bisognin et al. (2013), a lavoura de arroz irrigada em superfície com desnível, necessita de barreiras para que seja possível reter a água. Para que esta operação seja possível, são feitas taipas em curvas de nível e a diferença de cotas depende da inclinação do terreno.

As taipas são feitas a partir de um levantamento altimétrico do terreno, podendo ser executadas por meio do nível laser ou com tecnologias GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite). Em ambos os sistemas, ferramentas são utilizadas para analisar a declividade do terreno (BISOGNIN et al., 2013). Ainda de acordo com os autores, o entaipamento pode ser realizado com entaipadoras de base estreita (Figura 1a) ou larga (Figura 1b), sendo as de base larga mais utilizadas, pois formam taipas de perfil baixo (0,3 m a 0,4 m) com até 2,8 m, permitindo o trânsito de máquinas sobre elas. Neste caso, a entaipadora é acoplada aos três pontos do trator, sendo constituída por duas seções independentes de discos recortados que movem o solo para a formação da taipa, discos lisos que fazem o acabamento lateral da taipa e um rolo compactador que passa sobre a taipa fazendo a compactação da mesma.

Figura 1 – Modelos de entaipadoras utilizadas na cultura do arroz irrigado. (a) Entaipadora de base estreita, (b) Entaipadora de base larga



Fonte: MFRural (2023). Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/596926/arado-terraceador-taipadeira-imasa>>



Fonte: Auster tecnologia (2023). Disponível em: <<https://www.austertecnologia.com/single-post/taipas-arroz>>

## 2.2 Adubação nitrogenada no arroz irrigado

Nos últimos anos a cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul está apresentando significativo crescimento na produtividade decorrente principalmente das melhoras nas práticas de manejo (CARMONA et al., 2015). Uma das práticas de manejo que elevou significativamente a produtividade é o correto manejo da adubação.

As formulações do tipo NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) são a principal categoria de fertilizante utilizada na lavoura de arroz irrigado. Conforme SCIVITTARO (2021), o nitrogênio, o fósforo e o potássio são de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento da planta e proporcionam maiores respostas na produtividade da lavoura. Segundo Rotili et al. (2010), o fósforo tem sido apontado como um dos nutrientes mais limitantes ao rendimento das culturas, apesar de ser relativamente abundante no solo.

A condição de solo alagado, promovida pela cultura do arroz irrigado, gera transformações físicas, químicas e biológicas no solo (SCIVITTARO; GOMES, 2007). O mesmo, declara que a adubação mineral visa prover às plantas de arroz a disponibilidade de nutrientes em quantidades suficientes para suprir o déficit estabelecido pela sua exigência nutricional. E afirma ainda que a recomendação de adubação está relacionada ao incremento em produtividade pretendido, estabelecido a partir do potencial produtivo das diferentes regiões de cultivo.

A Sociedade Sul-Brasileira do Arroz Irrigado (SOBAI, 2018), afirma que a resposta do arroz irrigado quanto a adubação depende de alguns fatores como o potencial genético da cultivar, o manejo da cultura e solo e as condições climáticas do local. Sendo assim, a mesma diz que é esperada alta resposta a adubação quando o arroz for cultivado em condições favoráveis de clima, elevada radiação solar (no período reprodutivo), uso de cultivares com alto potencial produtivo, manejo adequado da irrigação e controle de plantas daninhas e de doenças.

O arroz é uma cultura bastante exigente em questão de nutrientes, então é necessário que estes estejam prontamente disponíveis para a planta, para que a produtividade não seja limitada (FAGERIA; SANTOS; STONE, 2003). Os autores ainda afirmam que o nitrogênio (N) é um componente da clorofila, responsável por aumentar a área foliar da planta, a qual aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar e a taxa fotossintética e, conseqüentemente, aumenta a produtividade de grãos.

Ao estudar a resposta do arroz irrigado com diferentes doses e épocas de aplicação de ureia, Hernandez et al. (2010), observaram que o aumento da dose de nitrogênio (N) gerou o aumento de N foliar, acarretando em maior altura de plantas, número de panículas m<sup>2</sup>, número e massa de espiguetas e a produtividade de grãos; enquanto a época de aplicação não influenciou em nenhum dos fatores observados. Os autores então concluíram, que a aplicação pode ser feita totalmente em qualquer uma das épocas, se ocorrer a irrigação logo após a aplicação, para que não haja perdas significativas de NH<sub>3</sub> proveniente da ureia.

Em pesquisa sobre perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e respostas do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) na concentração de 0,05%, Scivittaro et al. (2010), constataram que as perdas de N por volatilização de amônia decorrentes do uso de ureia variam de 15% (solo saturado) a 22% (solo úmido) do nitrogênio aplicado, iniciando-se a irrigação 10 dias após a aplicação. Em sequência, as perdas de N com uso do inibidor NBPT foram de 2,6% (solo úmido) e 2,5% (solo saturado) do nitrogênio aplicado. Os mesmos então constataram que, o inibidor conseguiu reduzir significativamente as perdas de N-NH<sub>3</sub> e o uso do tratamento NBPT na ureia possibilitou atrasar, sem prejuízos, em até 10 dias o início da irrigação.

### 2.3 Distribuição de sólidos em superfície

Segundo Milan e Gadanha (1996), nomeia-se como distribuidor as máquinas fabricadas para distribuição de adubos, corretivos e sementes. Os autores classificam as máquinas para aplicação de sólidos em dois grupos básicos de acordo com a forma de execução da aplicação, podendo ser distribuidoras a lanço ou adubadoras de fileiras/linhas. As classificadas como distribuidoras a lanço, são máquinas que realizam a distribuição dos sólidos lançando as partículas aleatoriamente sobre o solo. As adubadoras em fileiras/linhas, são máquinas que realizam a aplicação dos sólidos ao longo das linhas de plantio normalmente no momento da semeadura.

Conforme Portella (2001), para realizar a distribuição de sementes com o distribuidor centrífugo, as sementes devem ser pequenas e que não demandam de grande profundidade para germinar, pois o distribuidor não realiza a incorporação da semente ao solo sendo necessária uma segunda operação para esta finalidade.

Para Mialhe (1996), os distribuidores centrífugos são constituídos basicamente por chassi, reservatório de produto, mecanismo dosador e mecanismo distribuidor de produto, sendo que os dois últimos são os mais importantes, pois têm a função de dosar e distribuir a quantidade de produto pré-estabelecida. O autor afirma que os distribuidores possuem uma classificação quanto ao mecanismo dosador, sendo os dois principais grupos:

- Volumétrico: são os que possuem um mecanismo que irá transportar o produto estabelecendo uma vazão, como a esteira transportadora (Figura 2).

Figura 2 – Distribuidor centrífugo volumétrico com dosador de esteira



Fonte: Valtra (2023). Disponível em: <<https://www.valtra.com.br/produtos/distribuidor/bs3350h-dry.html>>

- Gravitacional: são aqueles cuja vazão é estabelecida pelo fluxo natural do produto. O fluxo depende do ângulo de repouso do produto, se fazendo necessário um agitador (Figura 3).

Figura 3 – Distribuidor centrífugo com dosador gravitacional e agitador



Fonte: Kuhn Brasil (2023). Disponível em: <<https://www.kuhnbrasil.com.br/cultivos/distribuidores-de-fertilizantes/distribuidores-de-fertilizantes-montados/accura-1200>>

Mialhe (1996), também classifica os distribuidores de produtos sólidos de acordo com a forma de lançamento do produto, podendo ser:

- Queda livre: máquina com mecanismo que lança o produto por queda livre a uma altura do solo (Figura 4).

Figura 4 – Distribuidor por gravidade de produtos sólidos



Fonte: Stara (2023). Disponível em: <[https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR\\_Bruttus-25000-versao-web.pdf](https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR_Bruttus-25000-versao-web.pdf)>

- Força centrífuga: utiliza um ou dois rotores horizontais com aletas para o lançamento radial do produto (Figura 5).

Figura 5 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos



Fonte: Jan (2023). Disponível em: <<https://www.jan.com.br/modelo/83/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-master/1200-1500>>

- Inércia: realizam a distribuição por meio de um tubo horizontal com movimento pendular (Figura 6).

Figura 6 – Distribuidor pendular de produtos sólidos



Fonte: Jan (2023). Disponível em: <<https://www.jan.com.br/modelo/234/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-ppo/600-900>>

Para Farret (2005), a forma de trabalho do distribuidor centrífugo é bastante simples, pois o mesmo utiliza a energia produzida pela tomada de potência (TDP) do trator para ter energia para lançar as partículas. O autor destaca ainda que este implemento possui ampla faixa de trabalho, o que contribui para sua elevada capacidade operacional ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

A distribuição do material ocorre com escoamento das partículas até os discos, onde as aletas irão realizar o lançamento das partículas (ORTIZ-CAÑAVATE 1989). Sendo assim, Farret et al. (2008), afirmam que as principais características que afetam a distribuição dos produtos sólidos são diâmetro, rotação e altura do disco e para as aletas são o formato e o ângulo das mesmas.

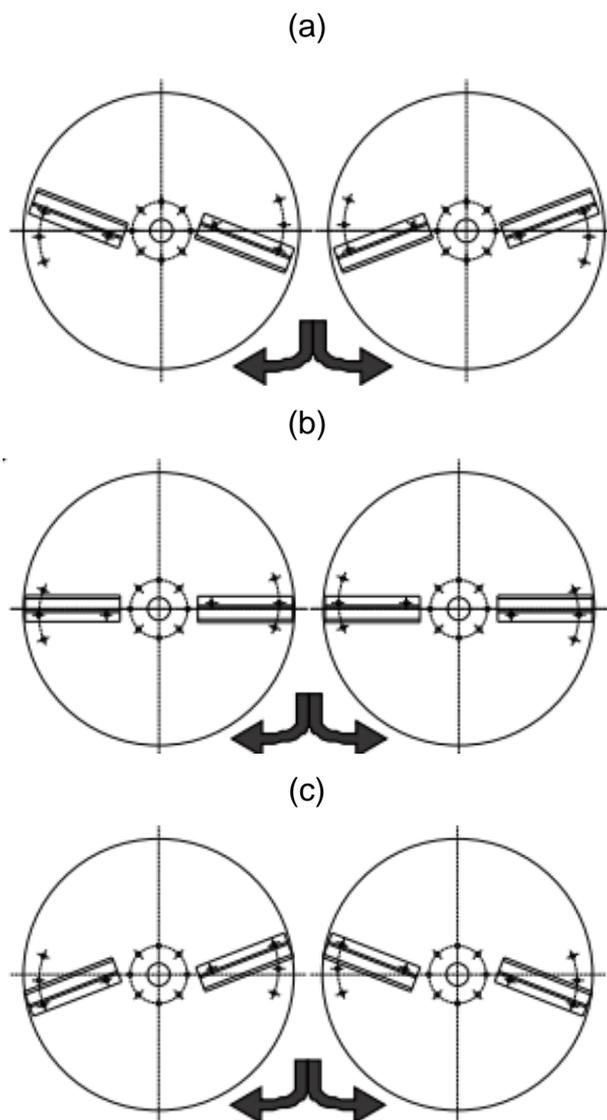
Ao estudar o comportamento de um distribuidor centrífugo com diferentes posições de aletas nos discos Hachuy (2008), constatou que a posição das aletas nos discos altera a largura efetiva de trabalho. Farret et al. (2008), ao estudarem a uniformidade de distribuição para o calcário e a aveia com diferentes posições das aletas, constataram que para o calcário a posição das aletas não teve influência na distribuição transversal e para a aveia a posição de aleta atrasada não é adequada, pois apresentou altos coeficientes de variação. Os autores afirmam que, o aumento da vazão e o adiantamento da posição das aletas possibilita maior capacidade operacional, por ser possível operar com maior velocidade e maior largura útil.

Sagrilo et al. (2019), constataram que a melhor forma de uso das aletas para a aplicação de calcário, foi utilizando 4 aletas de 24 cm ou 2 aletas de 27 cm, obtendo-se assim um coeficiente de variação (CV%) satisfatório de 10,26%. Os autores ainda constataram que para a obtenção do CV% satisfatório foi utilizada a largura de trabalho de 7,5 m, ressaltando que se a largura de trabalho for ampliada, o CV% também irá aumentar.

Realizando o teste para analisar a distribuição de ureia a lanço com o disco convencional (18-24 / 24-36) em diferentes posições de aletas, Brondani (2013), notou que as aletas na posição atrasada geraram um perfil de distribuição com características semelhantes entre o lado direito e esquerdo. Em sequência, a posição adiantada das aletas apresenta perfil com maior deposição de produto fora da faixa central. Por fim, a posição radial apresentou o perfil de distribuição mais uniforme dentre as posições de aletas vistas, porém esta posição apresentou a assimetria na distribuição, com maior deposição de ureia no lado direito do

distribuidor. Visto a influência da posição das aletas no disco, a Figura 7 ilustra as posições citadas anteriormente.

Figura 7 – Posição das aletas no disco. (a) aletas adiantadas, (b) aletas radiais, (c) aletas atrasadas



Fonte: Piccin (2014).

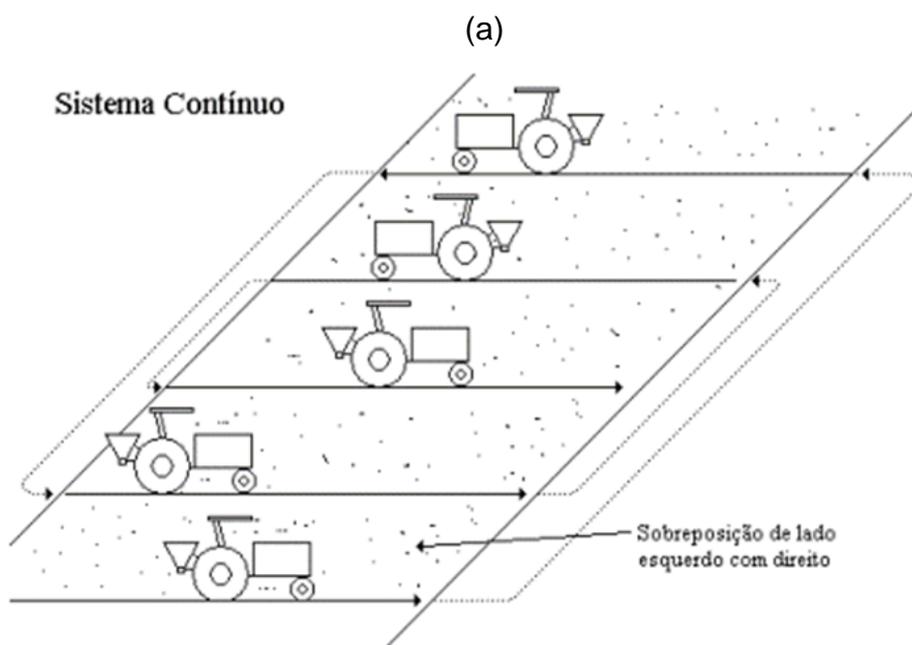
Ao comparar o desempenho de protótipos e discos convencionais para a distribuição de ureia a lanço, Brondani (2013), constatou que entre os dois, os discos convencionais apresentaram melhores resultados em relação aos protótipos para todos os métodos de trabalho. O mesmo diz que, entre os protótipos a forma que apresentou o melhor desempenho entre o disco cônico e o plano foi o disco cônico com a largura de trabalho de 9 m sendo que essa largura de trabalho foi 28% maior

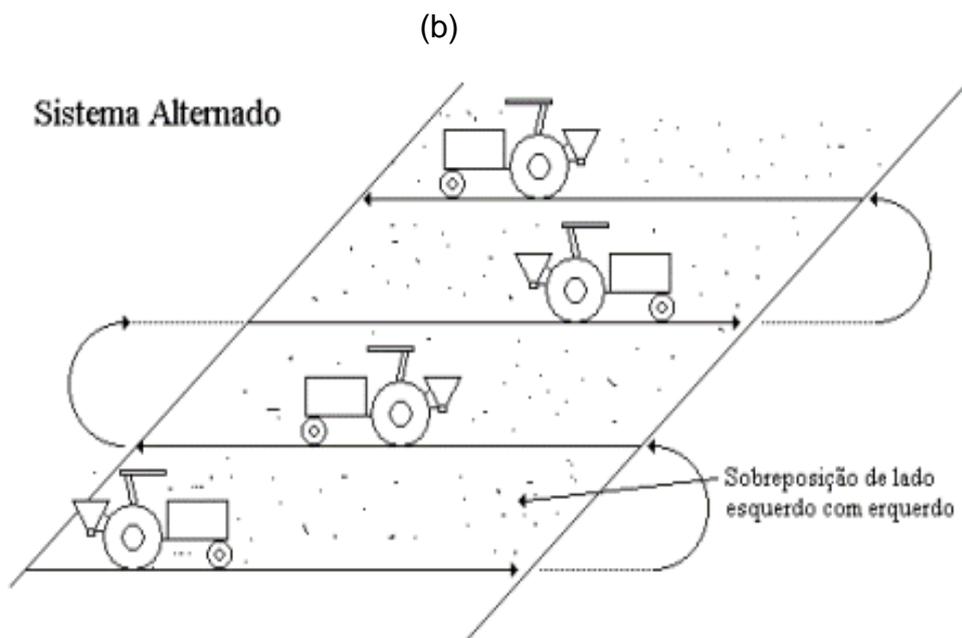
quando comparada com o disco plano (método de trabalho alternado direito). A velocidade de avanço da máquina tem maior efeito do que a velocidade de rotação dos discos no coeficiente de variação (KHUDHER; HIMOUD; ALMALIKI, 2020). Mas a velocidade de rotação dos discos possui efeito sobre a largura de trabalho, porém não tem influência no coeficiente de variação.

No distribuidor monodisco é de difícil obtenção um diagrama de distribuição simétrico em relação a linha de avanço, pois ele acaba jogando mais produto para o lado esquerdo (MARQUEZ, 2011). Conforme o autor, em comparação com o distribuidor bidisco, é mais fácil de se obter um diagrama de distribuição simétrico, pois com dois discos o mesmo joga produto para ambos os lados.

Conforme Farret (2008), os distribuidores centrífugos aplicam produtos a lança com um perfil transversal que diminui a quantidade de produto aplicado conforme aumenta a distância entre as passadas, então, é necessário que haja a sobreposição entre as passadas. Sendo assim, o mesmo pontua que são duas as formas de trabalho do distribuidor: de forma contínua onde o conjunto mecanizado faz a manobra sempre para o mesmo lado (Figura 8a) e alternado onde as manobras são feitas alternadas para a direita e para a esquerda (Figura 8b).

Figura 8 – Representação da forma de trabalho. (a) contínuo, (b) alternado

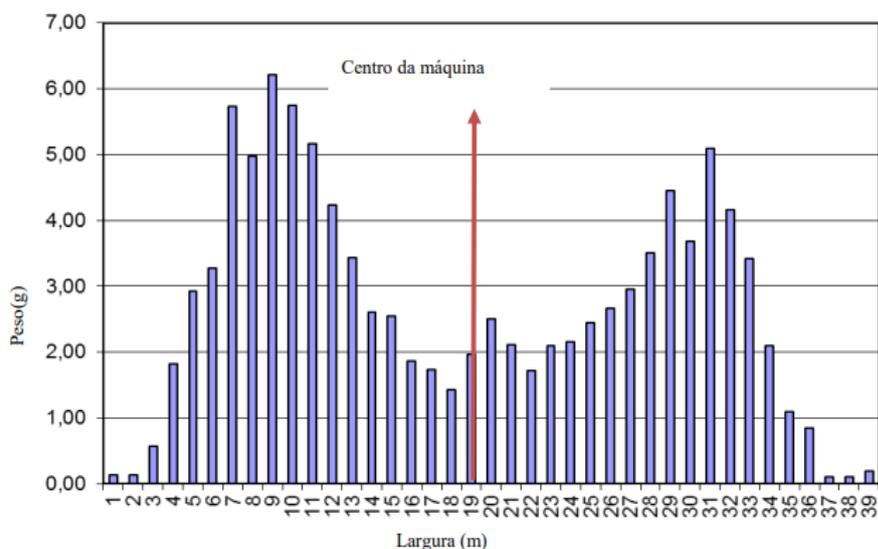




Fonte: Molin (2015).

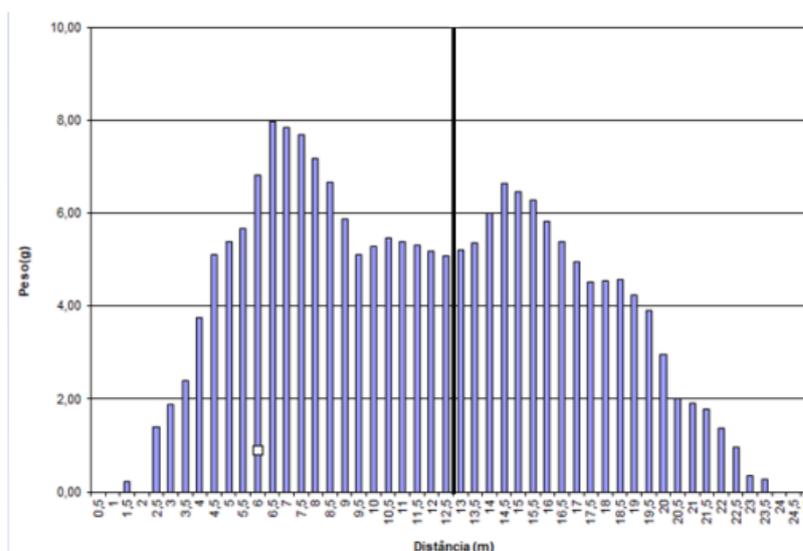
Conforme analisado por Molin et al. (2009), os distribuidores bidisco apresentam perfil de distribuição em formato de “W”, como ilustrado na Figura 9, com picos de material acumulado nas laterais e leve ascensão no centro. Enquanto os distribuidores monodisco tendem a apresentar perfil de distribuição com maior deposição de produto mais para um lado do distribuidor (Figura 10).

Figura 9 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor bidisco



Fonte: Ganascini et al. (2016).

Figura 10 – Perfil de distribuição transversal de um distribuidor monodisco



Fonte: Züge (2021).

O distribuidor pode ser acoplado ao trator de duas formas: na primeira, o implemento montado, que significa que o mesmo está acoplado à fonte de potência e nos três pontos do sistema hidráulico (Figura 11a) e arrastado o implemento está acoplado à fonte de potência através de um único ponto e na barra de tração (Figura 11b) (PORTELLA, 2001). Para a cultura do arroz irrigado, devido às ondulações do terreno, o distribuidor da Figura 12 é amplamente, onde o distribuidor fica sobre um reboque estabilizador, esse equipamento é utilizado com a intenção de proporcionar estabilidade ao equipamento.

Figura 11 – Formas de acoplamento do distribuidor centrífugo. (a) montado; (b) arrastado



Fonte: Valtra (2023). Disponível em: <<https://www.valtra.com.br/produtos/implementos/fertilizer-bdf-1300.html>>

(b)



Fonte: John Deere (2023). Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/tratos-culturais/distribuidor-de-nutrientes-dn1006/>>

Figura 12 – Distribuidor centrífugo de produtos sólidos sobre o reboque estabilizador



Fonte: Jan (2023). Disponível em: <<https://www.jan.com.br/modelo/80/distribuicao/acoplado-pela-barra-de-tracao/lancer-semea/3000-5000>>

## 2.4 Uniformidade de distribuição de sólidos à lança

De acordo com Molin e Mazzotti (2000), são vários os fatores que interferem na uniformidade de aplicação de corretivos e fertilizantes, como por exemplo: o tipo de máquina (mecanismo dosador e distribuidor), tipo de produto aplicado, velocidade de trabalho e largura útil de trabalho. Os autores complementam dizendo que, no momento da realização do ensaio de uniformidade, o tipo de coletores e a superfície

em que estão dispostos possuem forte influência nos resultados. Para Farret (2005), o coeficiente de variação CV% é um parâmetro importante para avaliar a uniformidade de distribuição.

Em relação aos fatores físicos dos produtos sólidos, Reynaldo et al. (2016), diz que os mesmos têm influência direta na distribuição, onde partículas maiores atingem maior distância para uma mesma força de lançamento. Ortiz-Cañavate (1989), diz que a uniformidade granulométrica de produtos granulares gera uma melhor uniformidade de distribuição de produto, sendo, o diâmetro médio das partículas de 2,3 mm e 85% das mesmas devem estar entre 1,3 e 3,3 mm.

Em pesquisa sobre a influência da umidade na distribuição a lanço de calcário calcítico e dolomítico, Almeida (2018) declara que o produto sofre variação de umidade ao longo do tempo. O autor menciona que o aumento da umidade gravimétrica do calcário aumenta o coeficiente de variação (CV%) dos perfis de distribuição transversal e longitudinal. O mesmo demonstra que, os menores índices de umidade no calcário proporcionaram constância e estaticidade ao CV%, porém, a largura da faixa de aplicação é reduzida.

Em estudo sobre a distribuição de fertilizantes a lanço em função da fração granulométrica, Reynaldo et al. (2016), avaliou dois tipos de ureia (Ua e Ub). O autor encontrou que Ua tem fração granulométrica de 36,69% para o diâmetro acima de 2,0 mm e 59,23% dos grânulos apresentam diâmetro superior a 2,8. A ureia Ub tem 64,20% da fração de grânulos com diâmetros superior a 2,8 mm e 33% de grânulos com diâmetros maiores que 4,0 mm. O autor afirmou que a Ub expressa maior qualidade no perfil de distribuição, possibilita maior de largura de trabalho, e conseqüentemente aumento de rendimento operacional. Então constata-se que, a condição física do fertilizante tem impacto direto na qualidade de distribuição a lanço.

Avaliando a uniformidade de aplicação de um distribuidor centrífugo em taxa variada, Takara e Quequeto (2014), concluíram que houve divergência entre as doses requeridas e aquelas efetivamente aplicadas na área de estudo. Os autores ainda observaram que o distribuidor equipado com esteira de borracha proporcionou a maior largura de aplicação na menor dose quando comparado a esteira de talisca. Da mesma forma, Ganascini et al. (2016), ao avaliarem o efeito da rotação dos discos no perfil de distribuição de um distribuidor centrífugo observou que para a rotação de 414 rpm a largura de trabalho aceitável é de 12 m tendo um coeficiente

de variação (CV%) de 15% e para a rotação de 540 RPM a largura de trabalho aceitável está entre 14 e 15 m com coeficiente de variação (CV%) de 10%. Dessa forma, menor rotação de trabalho acarreta em menor largura de deposição, pois as partículas não conseguem atingir velocidade para serem depositadas mais longe.

Estudando o comportamento da distribuição de fertilizantes granulados com uma semeadora adubadora em três diferentes níveis de enchimento do reservatório (100%, 50% e 25%) Pereira (2021), constatou que os níveis de enchimento do reservatório do distribuidor não causam diferença expressiva na uniformidade de distribuição. O autor observa ainda que, todos os fertilizantes por ele analisados sofreram quebra dos grânulos no contato com o helicóide do dosador.

Ao avaliar a influência do terreno na distribuição de fertilizante Grafton et al. (2016) constaram que a declividade do terreno tem influência na uniformidade de espalhamento do material. Também Horrocks et al. (2015), ao avaliarem o desenvolvimento de diretrizes para distribuição de fertilizantes, verificaram que a uniformidade de aplicação de fertilizantes com o distribuidor centrífugo é afetada pela topografia do terreno, sendo que um dos fatores que causa influência é a distância entre lombadas/taipas, inclinação das encostas e o produto que está sendo aplicado. Assim, os mesmos podem concluir que, em encostas o melhor resultado de aplicação é dirigir ao longo da mesma.

Analisando o perfil de aplicação Farret (2005), constatou dentre as condições por ele analisadas que a maior largura de aplicação para o calcário com o distribuidor de produtos sólidos, bidisco, foi de 13,5 m considerando um coeficiente de variação de até 33% como aceitável. A condição que apresentou melhor uniformidade de distribuição do calcário foi com a abertura de comporta 15, aletas na posição radial, sistema de aplicação alternado, obtendo-se então uma largura útil de 10 m. O autor concluiu que o aumento da vazão e adiantamento da posição das aletas, acarretou maior capacidade operacional de campo, pois possibilita operar com maior velocidade de deslocamento e maior largura útil de aplicação, preservando a uniformidade de distribuição transversal.

Avaliando o efeito do material na uniformidade de aplicação Sanaeifar e Sheikhdavoodi (2012), constataram que o tipo de material causa influência no coeficiente de variação (CV%). Dentre ureia, fosfato de amônio e semente de trigo, a ureia apresentou o maior CV% dentre as três, seguido da semente de trigo e o fosfato de amônio com menor CV%. Os autores confirmam que, o motivo da

variação do CV% foi a diferença entre densidades de partículas, sendo que maior densidade de partícula leva a maior uniformidade e menor coeficiente de variação.

A largura útil percorrida é menor que a largura máxima em que o produto é lançado, pois a quantidade de produto que é lançada nas laterais é menor e necessita que haja um pouco de sobreposição na próxima passada, para que não ocorra insuficiência de produto em algumas áreas (ORTIZ-CAÑAVATE, 1989). Então, o mesmo adota como máximo CV% de +/- 20% para produtos granulares e +/- 30% para produtos em pó.

Ao analisar o efeito de cinco alturas (1,15; 1,35; 1,55; 1,75 e 2,25 m) de trabalho para dois distribuidores centrífugos na distribuição de fertilizante, Machado; Reynaldo; Vale (2022), constataram que a altura de trabalho possui efeito sobre o coeficiente de variação para a largura estabelecida de 30 m. Os autores observaram que ocorreu segregação das partículas devido a diferença de tamanho das partículas, conseqüentemente alterando a largura de trabalho.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local

O trabalho foi desenvolvido na área experimental do curso de Engenharia Agrícola e no Laboratório de Mecanização Agrícola do Pampa (LAMAP), que pertencente a Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) localizado na cidade de Alegrete/RS. A coleta dos dados aconteceu nos dias 24 e 25 de maio de 2023, sendo que a temperatura média do ar dos dias e horários da execução do experimento era de 25,8 °C, a velocidade média do vento era de 3,6 Km h<sup>-1</sup> e a umidade relativa do ar era 63%.

Para a execução do experimento, foi necessário realizar o preparo do solo da área experimental. Esse processo envolveu o revolvimento inicial do solo por meio de arado de discos reversíveis e posterior revolvimento do solo por meio de grade niveladora. Após as taipas foram executadas com uma entaipadora de base larga, que desenvolveu taipas com largura média de 1,4 m, altura média de 0,23 m e espaçamento médio entre taipas de 2,35 m.

#### 3.2 Conjunto mecanizado

O trator que foi utilizado para execução do experimento é da marca New Holland, modelo TL 75, com 56 Kw (75 cv) de potência na rotação nominal do motor (540 rpm na TDP). Demais especificações do trator agrícola podem ser visualizadas no Quadro 2.

Quadro 1 – Especificações do trator NH TL 75 utilizado no experimento

Modelo e ano de fabricação	TL 75 E / 2011
Motor e fabricante	ciclo Diesel, 4T / MWM – série 229
Tração do trator	4x2 TDA (tração dianteira auxiliar)
Potência do motor	57,42 kW / 77 cv
Rotação correspondente	2400 rpm (sem carga)
Rotação ao torque máximo	1400 rpm
Cilindros	4
Transmissão	sincronizada; 12 velocidades Frente + 4 Ré
Posto de operação	Plataformado com estrutura de proteção na capotagem (EPC)
Dimensões	Comprimento total: 3700 mm Largura traseira máxima: 1928 mm altura: 2700 mm

Fonte: A autora.

O exemplar de distribuidor centrífugo que foi utilizado para a realização do trabalho foi da marca Stara<sup>1</sup>, modelo Tornado 1300. Os dois discos do distribuidor eram côncavos com raio de 0,225 m, possuindo aletas de dois tamanhos, com comprimentos de 0,235 e 0,360 m posicionadas adiantadas em relação ao raio do disco. As especificações técnicas do distribuidor estão descritas no Quadro 1.

Quadro 2 – Especificações técnicas do distribuidor centrífugo utilizado no estudo

Modelo	Tornado 1300 geração IV (bidisco)
Capacidade volumétrica	1300 litros
Capacidade máxima de carga	1340 Kg
Faixa de aplicação	Até 36 m
Rotação dos discos	506,25 rpm
Rotação da TDP	337,5 rpm
Altura	1,2 m
Largura	2,3 m
Comprimento	1,3 m
Peso vazio aproximado	260 Kg

Fonte: A autora.

Na sequência (Figura 13), está demonstrado o distribuidor centrífugo que foi utilizado sobre o reboque estabilizador e montado nos três pontos do hidráulico do trator.

Figura 13 – Distribuidor centrífugo sobre o reboque estabilizador que foi utilizado para desenvolvimento do experimento



Fonte: A autora.

<sup>1</sup> A citação de marcas comerciais não implica em sua recomendação (ou não) por parte da autora.

As medidas do reboque estabilizador que foi utilizado para realização do trabalho estão apresentadas no Quadro 3

Quadro 3 – Especificações do reboque estabilizador

Comprimento total	3,62 m
Largura	2,12 m
Bitola	1,88 m
Distância entre eixos	1,38 m
Altura dos discos do chão	0,91 m

Fonte: A autora.

### 3.3 Caracterização do produto sólido

#### 3.3.1 Granulometria

Foi utilizado fertilizante sólido granular com formulação 45-00-00 (ureia). Para a determinação da granulometria do material, foi utilizado um conjunto de peneiras da mesma forma que utilizou Pereira (2021). Na Figura 14 apresentam-se as peneiras utilizadas sendo as aberturas de malha de tamanho 4,80; 2,40; 2,00; 1,20 mm de diâmetro. No final do jogo de peneiras, se utilizou um fundo metálico, que é um recipiente onde ficou retido o material que passou pela peneira de menor abertura.

Figura 14 – Conjunto de peneiras utilizadas para determinação da granulometria



Fonte: A autora.

A Figura 15 exemplifica como foi realizada a passagem das 500 g de ureia pelo jogo de peneiras para determinação da granulometria.

Figura 15 – Determinação da granulometria através de conjunto de peneiras



Fonte: A autora.

A seguir, a Tabela 1 apresenta o peso e a porcentagem de produto retido em cada uma das aberturas das peneiras.

Tabela 1 – Granulometria da ureia

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
4,80	1,37	0,27
2,40	430,85	86,18
2,00	21,29	4,26
1,20	24,22	4,84
Fundo	22,27	4,45
<b>Total</b>	<b>500,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: A autora.

### 3.3.2 Ângulo de repouso

Para determinação do ângulo de repouso, o qual consiste na inclinação máxima que o material suporta até que comece a escoar, foi utilizado um repousímetro, que consiste em uma caixa de dimensões conhecidas, composto por madeira e vidro, onde é possível observar a formação de um talude, como mostra a Figura 16.

Figura 16 – Repousímetro utilizado na análise do ângulo de repouso



Fonte: A autora.

No repousímetro foi depositado uma quantidade de ureia até que o ângulo de repouso permanecesse estável, e então mediu-se a dimensão da base que é o cateto adjacente e da altura que corresponde ao cateto oposto do triângulo formado pelo talude de material sólido.

De posse das medidas do talude formado, foi possível calcular o ângulo de repouso pela equação descrita por Vilar (2017):

$$\alpha = \text{arc tang} \left[ \frac{CO}{CA} \right]$$

$\alpha$  – ângulo de repouso ( $^{\circ}$ );

CO – Cateto oposto (cm);

CA – Cateto adjacente (cm).

O ângulo de repouso da ureia utilizada apresentou média de  $33,22 \pm 2^{\circ}$ , valor que é próximo ao encontrado por Hachuy (2008), que foi de  $32,75^{\circ}$ .

### 3.3.3 Densidade de partículas

Para a determinação da densidade de partículas do fertilizante utilizado, foi retirada três amostra do lote do produto, as quais foram previamente pesada em um

recipiente de volume conhecido e então realizado o cálculo conforme a equação abaixo (MIALHE, 1996).

$$D = \frac{m}{v}$$

D - Densidade do produto (g.cm<sup>3</sup>);

m - Massa (g);

v - Volume (cm<sup>3</sup>).

A Figura 17 está demonstrando como ocorreu a utilização do copo volumétrico para encontrar a densidade do produto.

Figura 17 – Copo volumétrico preenchido com volume de 150 cm<sup>3</sup> de ureia.



Fonte: A autora.

A ureia utilizada apresentou densidade média de 0,79 g cm<sup>-3</sup>, valores que estão de acordo com os apresentados por Brondani (2013), onde o mesmo encontrou 0,78 g cm<sup>-3</sup> como densidade da ureia.

#### 3.3.4 Umidade gravimétrica

Para a determinação da umidade gravimétrica, foi determinada a umidade de três amostras. As amostras foram previamente pesadas e então levadas à estufa em temperatura de 100°C por 2, 4 e 72 horas. Então, com os pesos das amostras após

os tempos estipulados foi possível encontrar a umidade gravimétrica pela expressão a seguir:

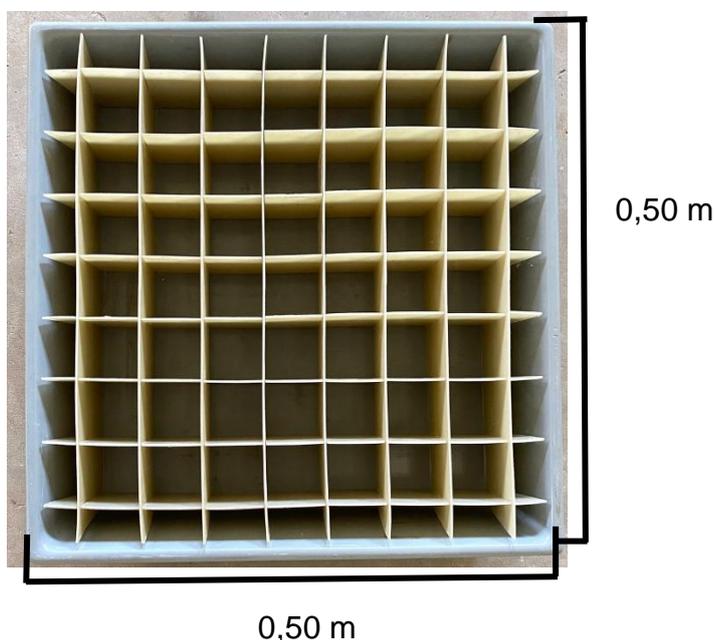
$$Umidade = \frac{(massa\ úmida - massa\ seca)}{massa\ seca} * 100$$

A umidade média encontrada foi de 0,62%, a qual é condizente com os valores apresentados por Brondani (2013).

### 3.4 Análise do perfil de distribuição transversal

Para realizar a análise do perfil de distribuição transversal foi coletado o material depositado pelo distribuidor centrífugo sobre os coletores padrão. Na coleta, utilizaram-se coletores com as dimensões de 0,50 m x 0,50 m padronizadas de acordo com a norma internacional ISO 5690 (ISO, 1982), demonstrado na Figura 18.

Figura 18– Coletores padronizados pela ISO 5690/1982



Fonte: A autora.

Para a coleta de dados, os coletores foram dispostos alinhados sobre a superfície de forma transversal ao sentido de deslocamento do conjunto trator/implemento. Foram utilizados 15 coletores para uma largura total de 28,50 m, então a cada 1,5 m havia um coletor, como demonstra a Figura 19. Em seguida, o

conjunto se deslocou sobre os coletores com velocidade constante de  $3,7 \text{ Km h}^{-1}$  realizando a distribuição da ureia sobre os coletores. Para encontrar a velocidade de deslocamento do conjunto (trator/distribuidor) percorreu-se uma distância de 20 metros e o tempo que o mesmo levou para se deslocar foi cronometrado, esse processo foi repetido quatro vezes, dessa forma foi possível encontrar a velocidade real do conjunto.

Figura 19 – Coletores alinhados e dispostos transversalmente ao sentido de deslocamento do conjunto mecanizado



Fonte: A autora.

Foram realizadas três repetições de cada tratamento, após cada repetição o material depositado em cada um dos coletores foi identificado e posteriormente pesado individualmente. Os valores obtidos foram lançados no Software Adulânço 3.0 (MOLIN, 2015), e então foi realizada a interpolação dos dados coletados, possibilitando a determinação do coeficiente de variação (CV%) em diferentes larguras de trabalho (m).

### 3.5 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi executado em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) onde os tratamentos foram compostos pela combinação de duas formas de acoplamento (montado nos três pontos do trator e arrastado), três diferentes ângulos de deslocamento em relação às taipas (plano,  $45^\circ$ , e  $90^\circ$ ) totalizando seis tratamentos com três repetições de cada combinação ( $2 \times 3 \times 3$ )

formando 18 unidades experimentais básicas. No Quadro 4 é possível observar a combinação dos fatores utilizados para a composição de cada um dos seis tratamentos.

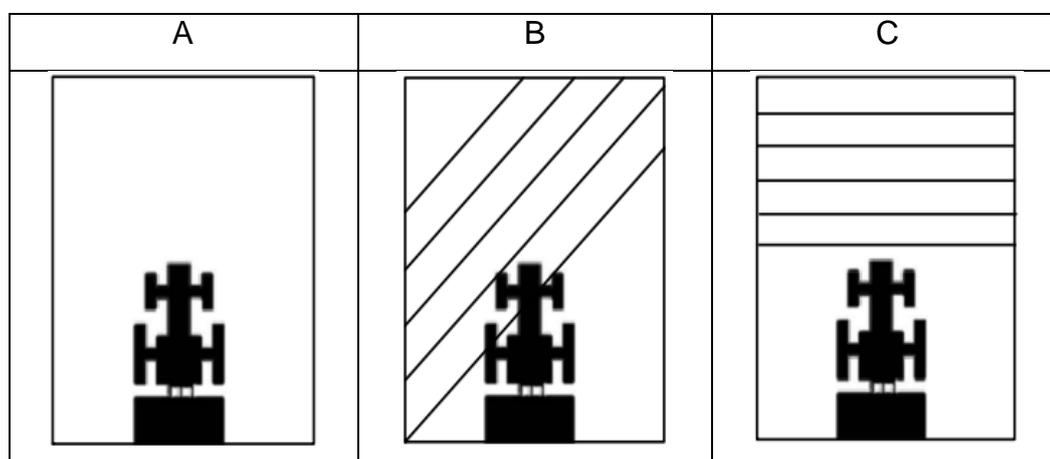
Quadro 4 – Combinação dos fatores para formação dos tratamentos

Tratamento	Forma de acoplamento	Superfície
T1	Arrastado	Plana
T2	Arrastado	Taipas 45°
T3	Arrastado	Taipas 90°
T4	Montado	Plana
T5	Montado	Taipas 45°
T6	Montado	Taipas 90°

Fonte: A autora.

Para o fator forma de acoplamento, quando o distribuidor estava sendo arrastado, o mesmo ficou acoplado apenas na barra de tração e posicionado sobre um reboque estabilizador composto por dois eixos paralelos montados em tandem. Por outro lado, no acoplamento montado, o distribuidor ficou fixado no sistema de engate dos três pontos do trator. Na Figura 20 está ilustrado os tipos de superfícies e como foram executados os três sentidos de deslocamento no terreno que compuseram este fator.

Figura 20 – Ilustração dos níveis do fator superfície: superfície plana (a); superfície com taipas e deslocamento com ângulo de 45° (b); superfície com taipas deslocamento com ângulo de 90° (c).



Fonte: A autora.

A escolha da largura de trabalho para obtenção dos valores de CV% ocorreu após se calcular a média das larguras indicadas pelo fabricante para distribuição de ureia no manual de instruções do distribuidor, a qual foi de 23 m.

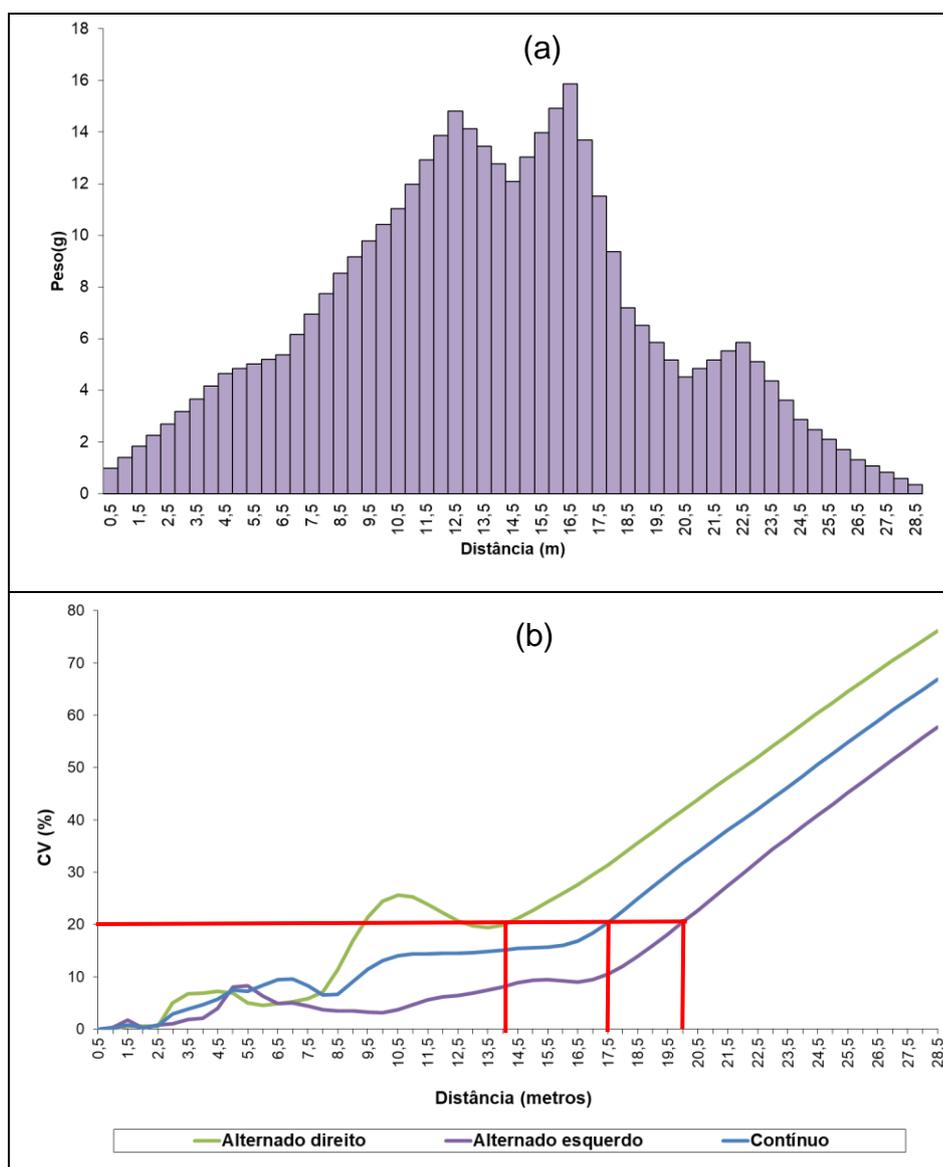
Após a coleta dos dados de coeficiente de variação em 23 m de largura (CV%23), por se tratar de dados expressos em percentual, os valores foram transformados pelo Arco seno raiz da proporção por apresentarem um valor máximo estabelecido (100%) e em seguida foi testada a hipótese de normalidade dos dados (KULLMANN, DIAS, 2020).

Constatada a condição de normalidade, os mesmos foram submetidos à análise da variância e quando houveram contrastes significativos, estes foram analisados através do teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro. Para determinação das larguras, foi utilizado um coeficiente de variação de 20%, esse valor está de acordo com o proposto por Ortiz-Cañavate (1989), que indica CV% +/- 20% para uma boa uniformidade de distribuição de produtos granulares.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras de perfil de distribuição transversal individual de cada tratamento estão apresentadas abaixo e servem para possibilitar a visualização do volume e disposição de produto que ocorreu no campo. A Figura 21 (a), mostra o perfil de distribuição transversal para o distribuidor centrífugo em terreno plano com acoplamento montado. Nesse perfil é possível observar que ocorreu uma concentração de produto (distribuído) onde os discos estão posicionados e entre os discos ocorreu uma deficiência de distribuição do material.

Figura 21 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento montado



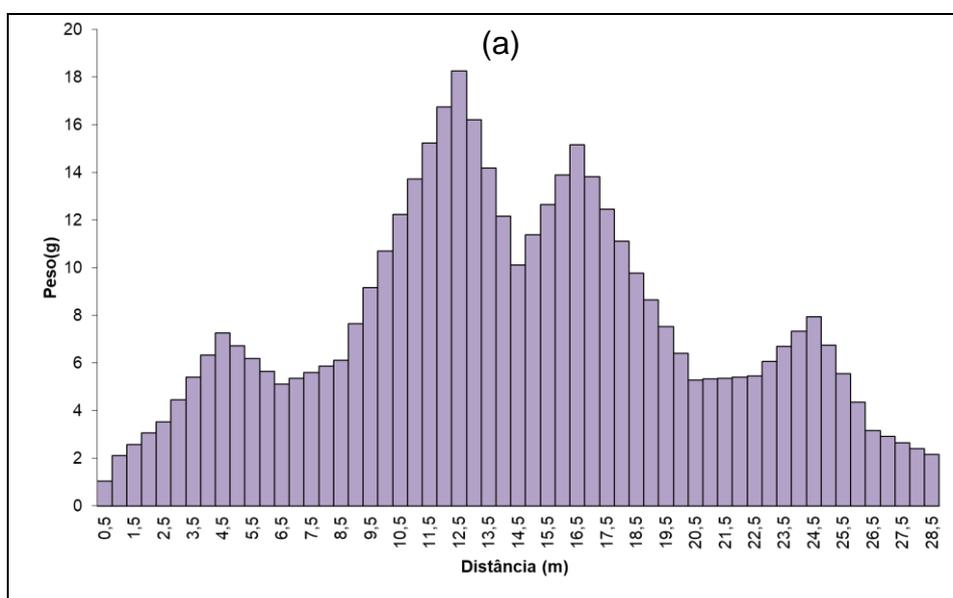
Fonte: A autora.

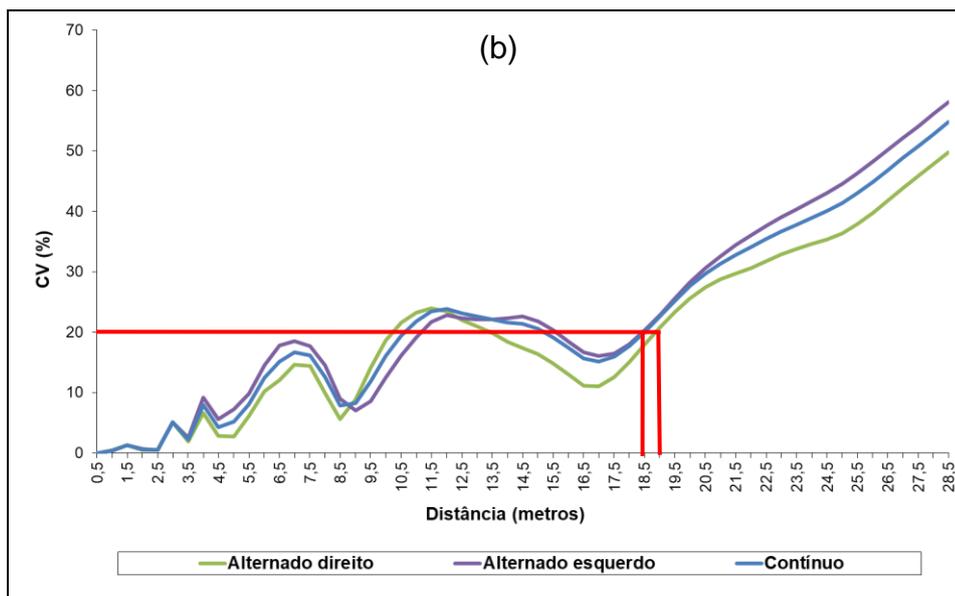
Em relação ao coeficiente de variação para o tratamento citado, a Figura 21 (b) mostra as possíveis larguras de trabalho respeitando o CV% de 20%. Dado este limite, foram observadas larguras de 14 m, 17,5 m e 20 m que correspondem respectivamente aos seguintes métodos de manobras alternado direito, contínuo e alternado esquerdo. Ao avaliar o perfil de distribuição transversal da aveia Farret (2005), encontrou a largura de trabalho de 13,5 m considerando o 20% de CV%, porém, essa largura é pequena comparada com a recomendada para distribuidores centrífugos bidisco.

Na Figura 22 (a) é mostrado o perfil de distribuição transversal para o distribuidor centrífugo, porém com acoplamento arrastado. Observa-se que o perfil apresentado se assemelha mais ao perfil característico dos distribuidores centrífugos bidisco. De acordo com Molin et al. (2009), o perfil transversal, que é característico desse equipamento, apresenta-se em formato de “W”. Entretanto, isto não significa que esse perfil de distribuição seja o que possibilite maior homogeneidade na distribuição transversal.

Para o mesmo tratamento, a Figura 22 (b) expõe a largura de trabalho de acordo com o coeficiente de variação delimitado de 20%. Observa-se, desta forma, que para os métodos de manobras alternado esquerdo e contínuo a largura de trabalho foi de 18,5 m e para a método alternado direito houve um acréscimo na largura para 19 m. Faltou aqui uma discussão com a literatura.

Figura 22 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco em terreno plano com forma de acoplamento arrastado





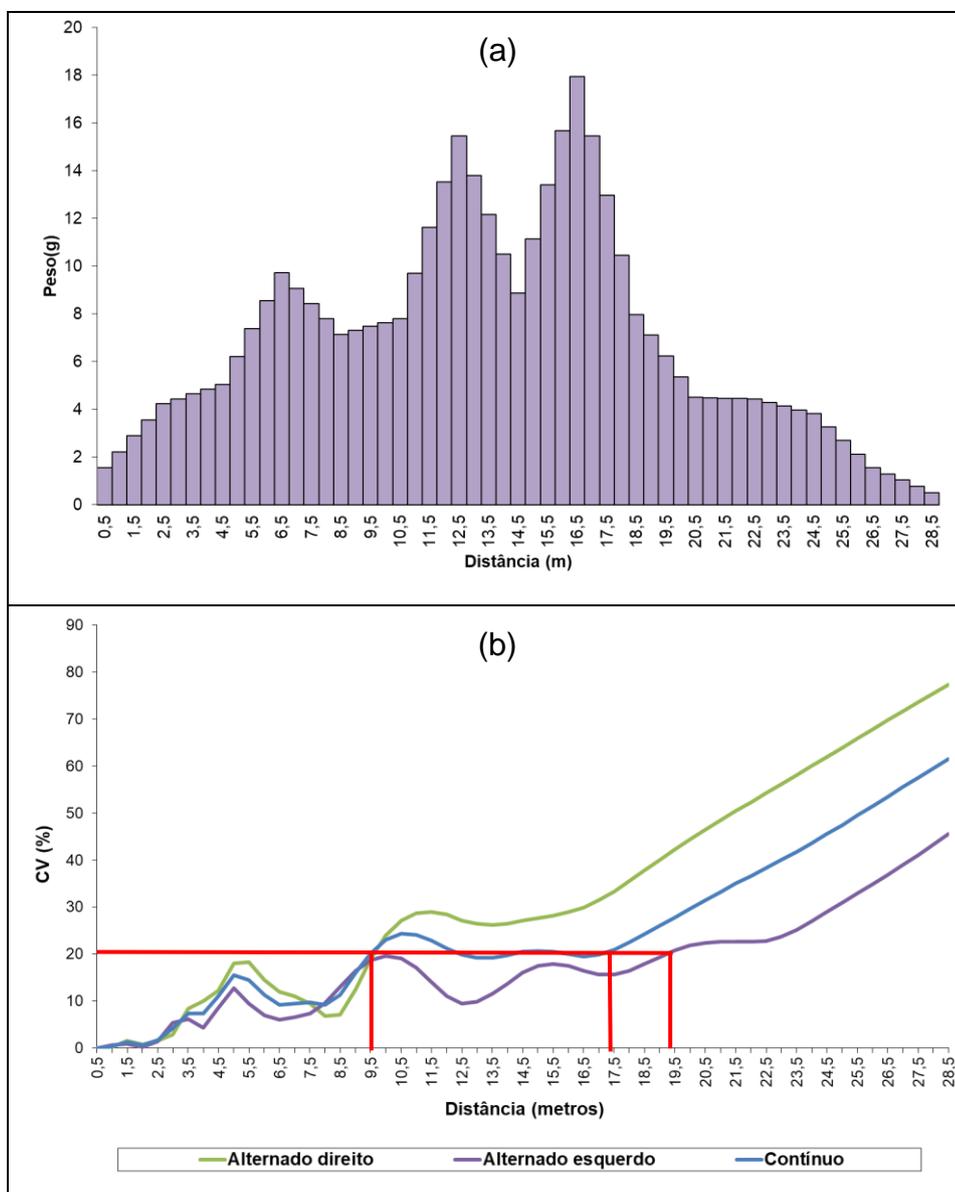
Fonte: A autora.

O perfil de distribuição transversal apresentou mudança quando o conjunto (trator/distribuidor) se deslocou sobre as taipas, em comparação com o tratamento em que este se desloca em um terreno plano (Figuras 21 (a) e 22 (a)).

Nota-se na Figura 23 (a) que a forma de deslocamento com ângulo de 45° sobre as taipas com o distribuidor acoplado de forma montado gera um acúmulo de material para o lado esquerdo do distribuidor. Tal situação pode ser explicada devido ao movimento que o conjunto faz no momento em que se desloca sobre as taipas. Nessa forma de deslocamento, em certos momentos, o lado esquerdo do conjunto ficou mais distante da superfície, o que impossibilita que as partículas do material alcancem uma distância maior e acaba gerando esse pico de produto depositado ao lado esquerdo do distribuidor. Com fator de variação diferente do analisado nesse tratamento Züge (2021), estudou diferentes posições das aletas nos discos dos distribuidores centrífugos e encontrou comportamento similar ao da Figura 23 (a) quando as aletas estavam na posição 2 (avançadas).

Para a mesma superfície e forma de acoplamento, observa-se na Figura 23 (b) a largura de trabalho de acordo com o método de manobra e o coeficiente de variação de 20%. Dessa maneira, as larguras de trabalho para cada método de manobra foram de 9,5 m para alternado direito, 17,5 m para contínuo e para o método alternado esquerdo 19,5 m.

Figura 23 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de  $45^\circ$  sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado

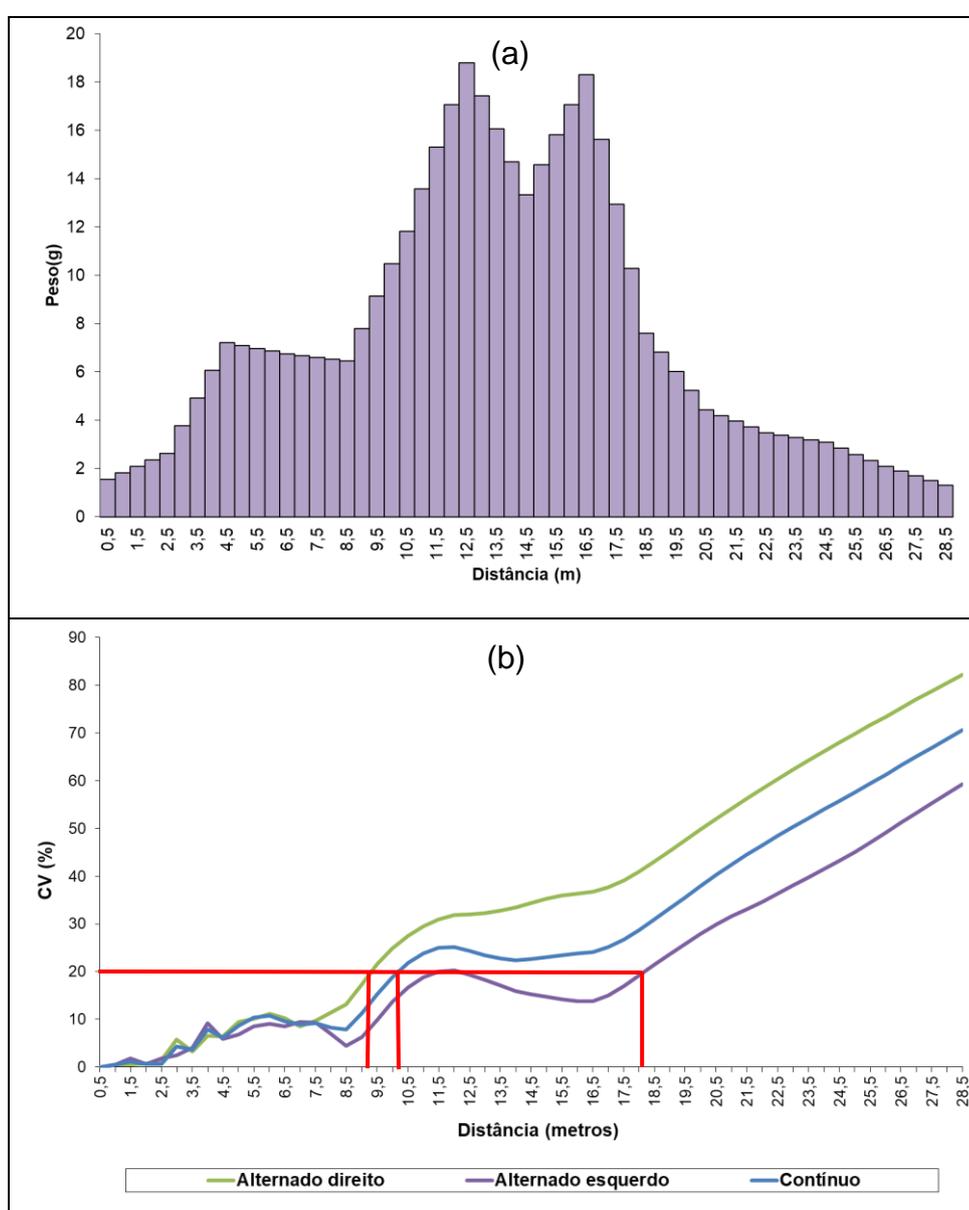


Fonte: A autora.

O perfil de distribuição da Figura 24 (a), mostra o tratamento onde o distribuidor se deslocou com ângulo de  $45^\circ$  sobre as taipas e acoplado de forma arrastada. O perfil de distribuição transversal apresenta comportamento similar com o da Figura 23 (a). No entanto, para a forma de acoplamento arrastado, observa-se que a concentração de material foi maior no centro dos discos do distribuidor. Com fator de variação deferente do analisado nesse tratamento do presente trabalho Sagrilo et al. (2019), encontraram perfil de distribuição similar ao da Figura 24 (a) ao

realizarem variação da regulação das aletas na aplicação de calcário com um distribuidor bidisco. De mesma forma, Ganascini (2016), ao testar duas rotações (540 e 414 rpm), observou que para ambas rotações o perfil apresentava déficit de produto no centro e superávit nas laterais, constatando a característica dessa forma de distribuição transversal dos distribuidores bidisco.

Figura 24 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 45° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado

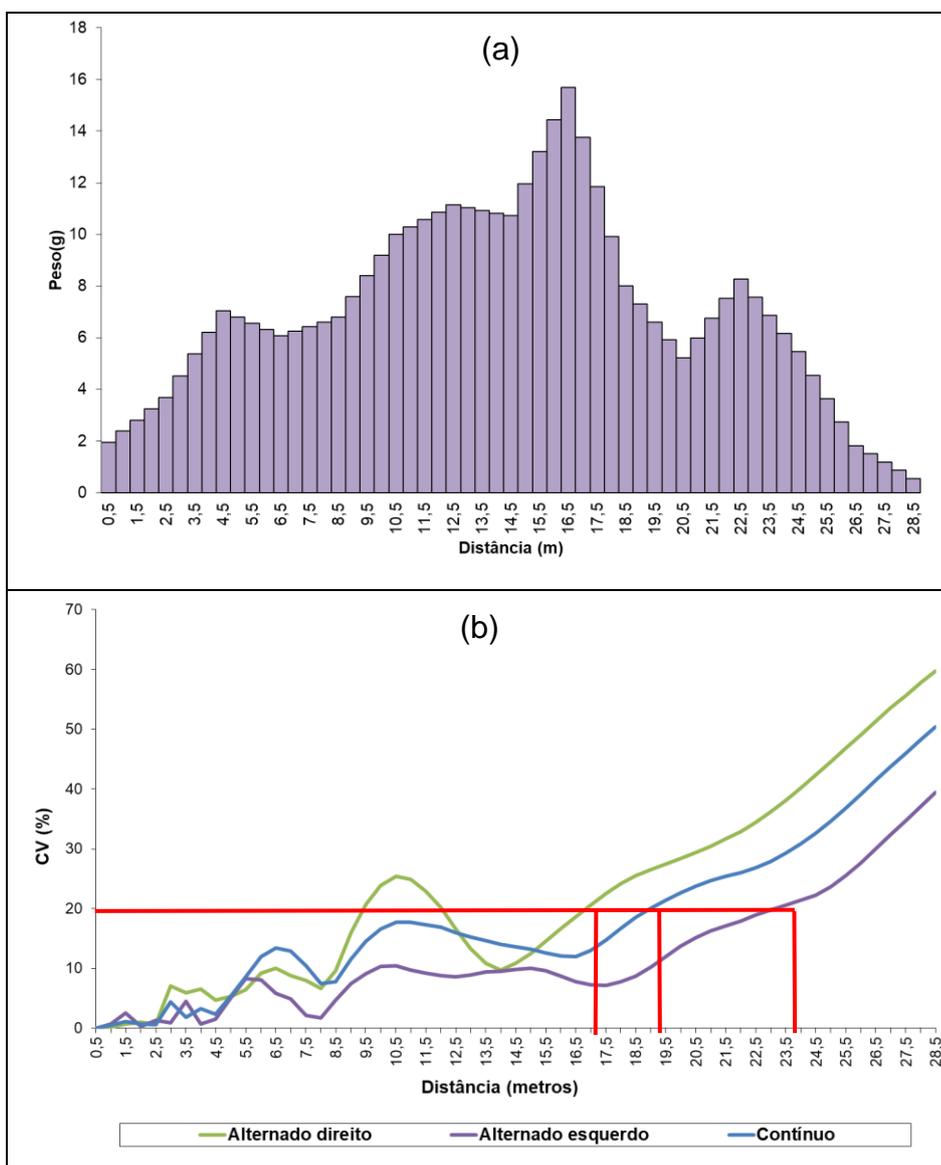


Fonte: A autora.

Em relação a largura de acordo com o coeficiente de variação apresentados na Figura 24 (b), observa-se que os três métodos de trabalho apresentaram diferença, sendo que o método alternado direito apresentou largura de 9 m sendo a menor entre os três, enquanto o método contínuo obteve largura de 10 m e o alternado esquerdo 18 m.

O perfil de distribuição transversal com acoplamento montado apresentado na Figura 25 (a) representa oferecer maior uniformidade de distribuição que o perfil de distribuição da Figura 26 (a) onde o distribuidor está acoplado de forma arrastada.

Figura 25 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de 90° sobre terreno com taipas com forma de acoplamento montado



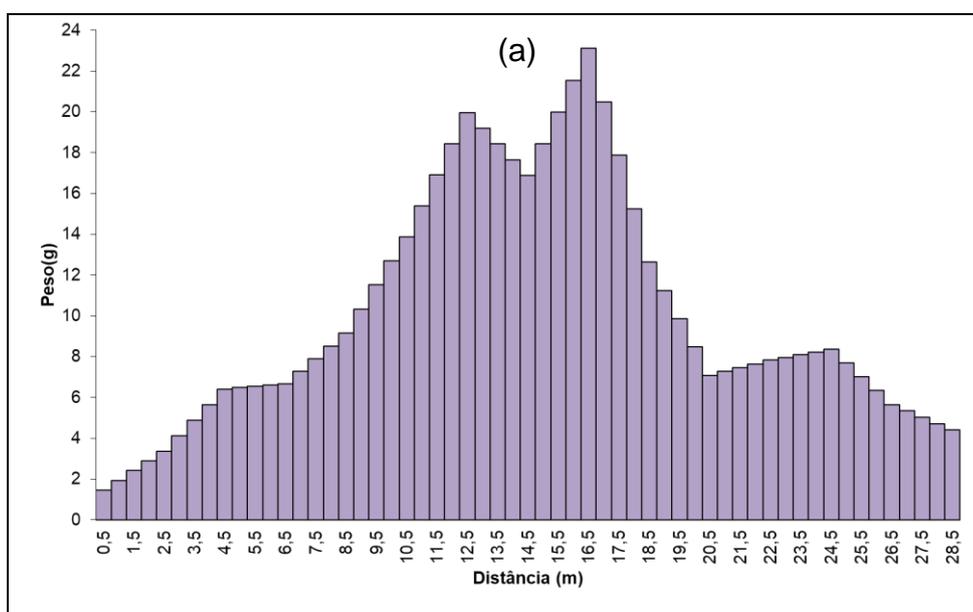
Fonte: A autora.

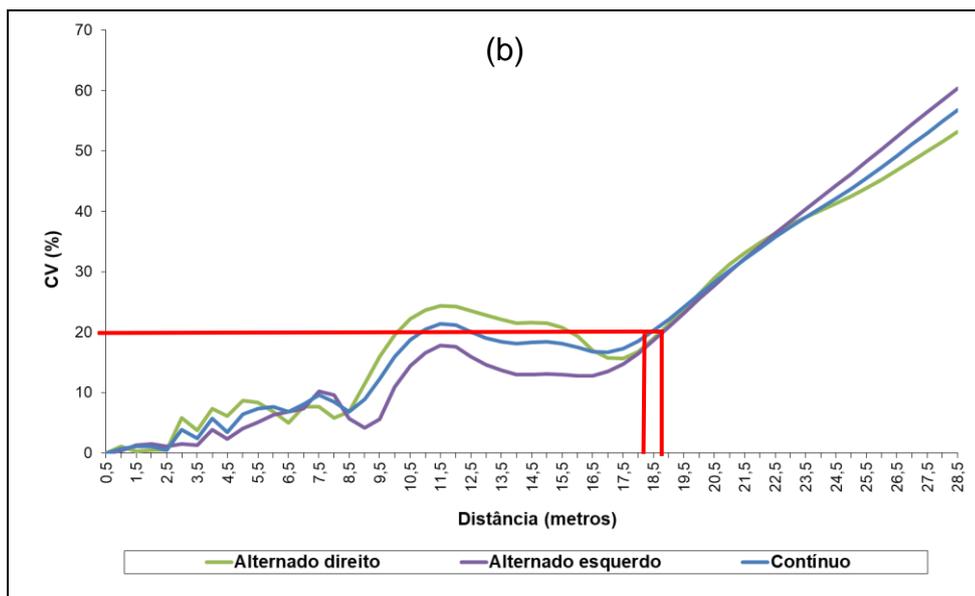
Visualmente os perfis de distribuição transversal das Figuras 25 (a) e 26 (a) aparentam ser mais uniformes que os das Figuras 23 (a) e 24 (a) onde o conjunto mecanizado se deslocou com ângulo de  $45^\circ$  sobre as taipas do terreno.

Ao analisar a Figura 25 (b), onde apresenta a largura de trabalho de acordo com o coeficiente de variação limitado, é possível determiná-la de acordo com os métodos de manobra. Nota-se que quando o distribuidor centrífugo está se deslocando sobre as taipas com ângulo de  $90^\circ$  acoplado de forma montado o método de trabalho alternado esquerdo apresentou largura de 23,5 m sendo a maior dentre os demais. Da mesma forma, Hachuy (2008), ao considerar um CV% de 15% também encontrou que o método de manobra alternado esquerdo oferece a maior largura de trabalho, enquanto para o método contínuo a largura foi de 19 m e para a método alternado direito foi de 17 m.

Na Figura 26 (b) nota-se que para o CV% de 20% as larguras de trabalho apresentaram apenas 0,5 m de diferença entre os métodos de manobra, sendo que o método alternado direito e alternado esquerdo ficaram com a mesma largura de 19 m e o método contínuo com 18,5 m. Também se observa que as larguras de trabalho encontradas para a forma arrastada são menores do que as encontradas na Figura 25 (b).

Figura 26 – Perfil de distribuição transversal (a) e coeficiente de variação (b) de um distribuidor centrífugo bidisco deslocando-se com ângulo de  $90^\circ$  sobre terreno com taipas com forma de acoplamento arrastado





Fonte: A autora.

Para a melhor visualização das larguras de trabalho considerando o coeficiente de variação estabelecido como aceitável, apresenta-se a Tabela 2. Observa-se que para o CV% avaliado as larguras de trabalho encontradas foram pequenas visto que, segundo a empresa fabricante do distribuidor, a largura mínima é 16 m e a máxima de 30 m para o produto utilizado (ureia).

Tabela 2 – Larguras de trabalho de acordo com o coeficiente de variação (CV%) delimitado

Tipo de superfície	Largura de trabalho (m) para 20% de CV		
	AD	AE	CT
Plano montado	14,0	20	17,5
Plano arrastado	19,0	18,5	18,5
45° montado	9,5	19,5	17,5
45° arrastado	9,0	18,0	10,0
90° montado	17,0	23,5	19,0
90° arrastado	19,0	19,0	18,5

AD: alternado direito, AE: alternado esquerdo, CT: contínuo

Fonte: A autora.

A ocorrência de menor largura de trabalho pode ser explicada pela utilização da rotação do trator em 1500 rpm. Dessa forma, na TDP do trator não estava produzindo 540 rpm, que é o indicado para a utilização do distribuidor centrífugo,

sendo a rotação real de 337,5 rpm. Ganascini et al. (2016), estudou a largura de trabalho para 414 e 540 rpm e confirmaram que menor rotação de trabalho acarreta menor largura de trabalho, pois as partículas não conseguem atingir velocidade para serem depositadas mais longe. A utilização de menor rotação no motor do trator gera economia de combustível, então tendo em vista economia, é oportuno diminuir a largura de trabalho.

Observa-se que para o tipo de superfície onde o conjunto se deslocou com ângulo de 45° ocorreu uma diferença considerável da largura de trabalho entre os métodos de manobra alternado direito e alternado esquerdo. Esse caso pode se tornar um problema no campo, pois na execução da distribuição a campo, normalmente o trabalhador fixa uma distância e realiza as manobras. Dessa forma, é melhor quando as larguras de trabalho não tenham grande diferença entre elas.

Na tabela 3 é apresentada a síntese da análise da variância (ANOVA) para a variável Coeficiente de Variação na largura de 23 m (CV%23). Observa-se que as variáveis que apresentaram interação significativa bifatorial foram: forma de acoplamento e tipo de superfície, forma de acoplamento e método de manobra e tipo de superfície e método de manobra.

Tabela 3 – Síntese da análise de variância (ANOVA) para efeitos principais e secundários

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>FC
Forma de acoplamento (FA)	1	253,50	253,50	5,72	0,0221
Tipo de superfície (TS)	2	4146,78	523,39	11,81	0,0001
Método de manobra (MM)	2	1713,78	856,89	19,34	0,0000
FA * TS	2	874,11	437,06	9,86	0,0004
FA * MM	2	460,44	230,22	5,19	0,0104
TS * MM	4	924,44	231,11	5,22	0,0002
FA * TS * MM	4	156,44	39,11	0,88	0,4841
Erro	36	1595,33	44,31		
Total corrigido	53	7024,83			

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma de quadrados, QM: quadrados médios, FC: F crítico, Pr>FC: significância

Fonte: A autora.

Na Tabela 4 observa-se que todos os tipos de terreno apresentaram diferença no coeficiente de variação para 23 m em função da forma de acoplamento, sendo que, todos os CV% encontrados para essa largura de trabalho são maiores que o

recomendado para produtos granulares. Sanaeifar e Sheikhdavoodi (2012), ao avaliarem a uniformidade de distribuição transversal entre ureia, fosfato de amônio e semente de trigo observaram que a ureia apresentou maior CV% dentre os três.

Nota-se que somente no terreno plano a forma de acoplamento arrastado apresentou menor CV%, em comparação ao acoplamento montado. Analisando se houve diferença do coeficiente de variação das superfícies dentro da forma de acoplamento montada, somente a superfície de 90° apresentou diferença, sendo o menor CV% dessa análise.

Para a forma arrastada, entre as superfícies plana e 90° não ocorreu contraste, sendo que somente a superfície de 45° apresentou diferença das demais, apresentando o maior CV% da tabela.

Tabela 4 – Teste de médias para formas de acoplamento e tipos de superfícies

Forma de acoplamento	Tipo de superfície		
	Plana	45°	90°
Montado	45,44 Aa	41,56 Ab	31,67 Bb
Arrastado	38,44 Bb	52,44 Aa	40,78 Ba

\*Os valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro\*

Fonte: A autora.

O desdobramento das interações entre forma de acoplamento e método de manobra é apresentada na Tabela 5. Nesta tabela é possível verificar que entre os métodos de manobra alternado direito e contínuo a forma de acoplamento (montado e arrastado) não causou diferença significativa.

Enquanto para o método de manobra alternado esquerdo a forma de acoplamento causou diferença significativa, sendo que, a forma montada teve menor CV% comparada ao arrastado, ou seja, oferece o melhor perfil de distribuição entre os tratamentos analisados.

Para o teste de médias entre as formas de acoplamento, todos os métodos de manobras apresentaram diferença entre si para a forma montado, diferente do acoplamento arrastado que os métodos não apresentaram diferença entre eles.

Tabela 5 – Testes de médias para forma de acoplamento e método de manobra

Forma de acoplamento	Método da manobra		
	AD	AE	CT
Montado	50,00 Aa	29,11 Cb	39,56 Ba
Arrastado	46,78 Aa	40,11 Aa	44,78 Aa

\*Os valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro\*

Fonte: A autora.

A Tabela 6 apresenta o teste de médias para o tipo de superfície e método de manobra. Analisando os dados na coluna, constata-se que para o método de manobra alternado direito as superfícies plana e de 90° não apresentam diferença significativa entre elas, somente a superfície de 45° apresentou diferença das demais. Enquanto para a método alternado esquerdo não ocorreu diferença entre todas as superfícies estudadas. No método de manobra contínuo o tipo de superfície de 45° e 90° apresentaram diferença entre si, ao passo que a superfície plana não expressou diferença significativa entre a de 45° e 90°. O método alternado esquerdo apresentou CV% semelhantes entre os tipos de superfície, mesmo que o CV% encontrado seja alto comparado ao indicado para a distribuição de produtos granulares, esse fato é um bom indicativo para o método de manobra.

Tabela 6 – Teste de médias para tipo de superfície e método de manobra

Tipo de superfície	Método da manobra		
	AD	AE	CT
Plana	45,17 Ab	37,50 Aa	43,16 Aab
45°	61,00 Aa	33,00 Ca	47,00 Ba
90°	39,00 Ab	33,33 Aa	36,33 Ab

\*As seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade de erro\*

Fonte: A autora.

Para o tipo de superfície plana e de 90° não houve diferença entre os métodos de manobras, porém, para a superfície de 45° todos os métodos apresentaram diferença entre os métodos de manobra. Notou-se que o método alternado direito apresentou o maior CV% dentro desse teste de médias e o método

alternado esquerdo o menor CV% para essa análise. Machado; Reynaldo; Vale (2022), ao compararem o desempenho de dois distribuidores de marcas distintas com duas formulações de ureia, encontraram CV%'s que variaram de 11,2 a 32,3% para uma largura de trabalho de 30 m, valores estes bem abaixo dos descritos neste trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

A forma de acoplamento e superfície de trabalho alteram o comportamento de um distribuidor centrífugo bidisco na distribuição de ureia a lanço.

Conclui-se que para a largura de trabalho escolhida de 23 m todos os CV% encontrados foram acima do recomendado para materiais granulares.

Em uma superfície com taipas, a melhor forma de deslocamento para o conjunto mecanizado é com ângulo de 90°.

A forma de acoplamento arrastado apresentou melhor perfil de distribuição transversal apenas em terreno plano. Este comportamento é diferente do esperado na formulação do trabalho, pois esperava-se que a forma de acoplamento arrastada (com o reboque estabilizador) proporcionaria perfil de distribuição transversal mais uniforme que o acoplamento montado.

A forma de acoplamento montado apresentou melhor perfil de distribuição transversal para os terrenos com taipas, nas duas superfícies de deslocamento (45° e 90°), o que destoa do comportamento esperado neste estudo.

O método de manobra alternado esquerdo com a forma de acoplamento montado apresentou o menor CV% para a largura de 23 m entre os tratamentos estudados.

Para trabalhos futuros, destaca-se que é preciso estudar o perfil de distribuição longitudinal nas mesmas condições do presente estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. A. S. de. **Influência da umidade de dois calcários sobre a distribuição a lanço com equipamento centrífugo**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE. Cascavel/PR. 2018. (47).
- AUSTER. Disponível em: <https://www.austertecnologia.com/single-post/taipas-arroz>. Acesso em: 9 mar. 2023.
- BISOGNIN, B. P. et al. No nível. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 134, out. 2013. p. 06-08.
- BRONDANI, L. B. **Desempenho de protótipos de discos para distribuição de ureia a lanço**. Universidade Federal de Santa Maria (UFM). Santa Maria, p. 82. 2013.
- CARMONA, F. C. de et al. As atuais recomendações de adubação para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul são válidas em sistema integrados de produção agropecuária. *In*: IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO XXXV, 2015. **Anais** [...]. Natal/RN: [s.n.].
- EMBRAPA. Origem e história do feijoeiro comum e do arroz. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão.**, Antônio de Goiás/GO, jun. 2000. p. 1-4.
- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F. Manejo de nitrogênio em arroz irrigado. **EMBRAPA**, Santo Antônio de Goiás, GO, novembro 2003. p. 1-4.
- FARRET, I. S. **Efeito da variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos**. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Santa Maria/RS, p. 89. 2005.
- FARRET, I. S. et al. Variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1886-1892. 7 p, 09 abr. 2008.
- GANASCINI, D. et al. O efeito da rotação dos discos no perfil de distribuição. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 5, n. 4, p. 63-73, jan. 2016. ISSN 2316-4093.
- GRAFTON, M. C. E. et al. Measuring the spread patterns of spreaders under normal field conditions compared to test conditions. **Integrated nutrient and water management for sustainable farming**, Palmerston North, 2016. p. 1-11.
- HACHUY, L. **Desempenho de uma distribuidora a lanço com dois tipos de produtos aplicados com diferentes posições de aletas nos discos**. Universidade Federal Paulista-UNESP. Botucatu/SP, p. 60. 2008.
- HERNANDES, A. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 307-312, 29 abr. 2010.

HORROCKS, A. et al. Developing guidelines for fertiliser spreading on west coast humps and hollows. *In*: IN: 28TH ANNUAL FERTILIZER AND LIME RESEARCH CENTER WORKSHOP., 2015. **Anais** [..]. Palmerston North: [s.n.]. p. 1-6.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 5690. Equipment for distributin fertilizers: test ethods - Part 1: Full width fertilizer distributors. **ISO Standars handbook 13**, p. 373-385, 1982.

IRGA - INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **BOLETIM DE RESULTADOS DA SAFRA 2021/22 EM TERRAS BAIXAS: ARROZ IRRIGADO E SOJA**. 2022. 19 p. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202209/26133439-relatorio-irga-safra-2021-22.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

JAN. Disponível em: <https://www.jan.com.br/modelo/83/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-master/1200-1500>. Acesso em: 9 mar. 2023.

JAN. Disponível em: <https://www.jan.com.br/modelo/234/distribuicao/acoplado-ao-terceiro-ponto/lancer-ppo/600-900>. Acesso em: 9 mar. 2023.

JAN. Disponível em: <https://www.jan.com.br/modelo/80/distribuicao/acoplado-pela-barra-de-tracao/lancer-semea/3000-5000>. Acesso em: 9 mar. 2023.

JOHN DEERE. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/tratos-culturais/distribuidor-de-nutrientes-dn1006/>. Acesso em: 9 mar. 2023.

KHUDHER, A. Y.; HIMOUD, M. S.; ALMALIKI, S. A. Modulating a centrifuge spreader disc and evaluating performance under some different operating factors. **Agricultural and statistical sciences**, v. 16, 07 set. 2020. p. 1799-1805.

KUHN BRASIL. Disponível em: <https://www.kuhnbrasil.com.br/cultivos/distribuidores-de-fertilizantes/distribuidores-de-fertilizantes-montados/accura-1200>. Acesso em: 9 mar. 2023.

KULLMANN, S. E.; DIAS, V. de O. Uniformidade de distribuição volumétrica de duas pontas de pulverização sob efeito da assistência a ar na barra. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 3, 29 set. 2020. p. 339-351.

MACHADO, T. M.; REYNALDO, E. F.; VALE, W. G. do. Distribuidores a lançaõ montados em pulverizador autopropelido com diferentes alturas de lançamento de fertilizantes. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 5, 29 mai. 2022. p. 39462-39475.

MAGALHÃES, A. M. de. Arroz irrigado na região subtropical. **EMBRAPA**, 27 set. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MAGALHÃES, A. M. de; GOMES, A. S. da; SANTOS, A. B. dos. **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil**. Pelotas/RS, 2004. 270 p. Disponível

em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179868/1/sistema-03.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MARQUEZ, L.. La tecnologia en las abanadoras de proyección-parte 1. **Agrotécnica**, Espanha, mar. 2011. p. 38-44.

MFRURAL. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/596926/arado-terraceador-taipadeira-imasa>>. Acesso em: 9 mar. 2023.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba/SP: [s.n.], 1996.

MILAN, M.; GADANHA C. D. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba/SP: [s.n.], 1996.

MOLIN, J. P. et al. Segregação de fertilizantes aplicados a lanço. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 614-622, out. 2009. ISSN 0100-6916.

MOLIN, J. P. et al. **Adulção 3.1- Guia de uso**. Universidade de São Paulo - USP. Piracicaba - SP, p. 20. 2015.

MOLIN, J. P.; MAZZOTTI, H. C. Influência da utilização e do tipo de amortecedores de ricochete em ensaios de aplicadores a lanço. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, jul. 2000. p. 281-285.

OLIVEIRA, A. A. de. A cultura do arroz. **CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento**., Brasília/DF, p. 180, 2015. ISSN 978-85-62223-06-8.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.. **Técnica de la mecanización agraria**. 3. ed. Madrid: Muundi-Prensa, 1989. 641 p.

PEREIRA, J. C. S. **Comportamento da distribuição de fertilizantes granulados de uma semeadora-adubadora em diferentes níveis do reservatório**. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Botucatu-SP, p. 57. 2021.

PICCIN. **Manual de instruções: Master 5500D - 7500 D - 12000D distribuidor de calcário e adubo orgânico**. Manualzz. 2014. 40 p. Disponível em: <https://manualzz.com/doc/5967686/manual>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PORTELLA, J. A. **Semeadoras para plantio direto**. 1. ed. Viçosa/MG: Aprenda Fácil, 2001.

REYNALDO, E. F. et al. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da fração granulométrica. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, 20 jun. 2016. p. 487-494.

ROTILI, E. A. et al. Eficiência no uso de fósforo de variedades de arroz cultivadas em solos de várzea irrigada. **Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, mai/jun 2010. p. 415-420.

SAGRILO, A. D. et al. Variação da regulação das aletas na aplicação de calcário. **Técnico-Científica do CREA-PR**, mar. 2019. p. 1-12.

SANAEIFAR, A. ; SHEIKHDAVOODI, M. J. Evaluating of broadcasting uniformity of centrifugal and oscillating granular broadcaster. **Applied Sciences, Engineering and Technology**, ago. 2012. p. 2460-2468.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. S. da. Adubação e calagem para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Circular Técnica**, Pelotas/RS, nov. 2007.

SCIVITTARO, W. B. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, Santa Maria/RS, v. 40, n. 6, p. 1283-1289, 18 jun. 2010.

SCIVITTARO, W. B. **Calagem e adubação para o arroz irrigado na região subtropical**. EMBRAPA. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical/correcao-do-solo-e-adubacao>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SILVA, O. F. da; WANDER, A. E.; FERREIRA, C. M. Estatística de produção. **Embrapa-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 08 jul. 2021. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao#:~:text=Em%20primeiro%20lugar%20est%C3%A1%20a,\(19%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas\)](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao#:~:text=Em%20primeiro%20lugar%20est%C3%A1%20a,(19%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas)). Acesso em: 19 nov. 2022.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Cachoeirinha/RS: Pallotti, 2018. 205 p.

STARA. Disponível em: [https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR\\_Bruttus-25000-versao-web.pdf](https://stara-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/uploads/2022/06/BR_Bruttus-25000-versao-web.pdf). Acesso em: 9 mar. 2023.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A. Métodos de irrigação. **Embrapa- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.**, 05 jul. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/metodos-de-irrigacao>. Acesso em: 19 nov. 2022.

TAKARA, J. G; QUEQUETO, W. D. **Uniformidade de aplicação de um distribuidor centrífugo a taxa variada**. Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD. Dourados/MS, p. 26. 2014.

VALTRA. Disponível em: <https://www.valtra.com.br/produtos/distribuidor/bs3350h-dry.html>. Acesso em: 9 mar. 2023.

VALTRA. Disponível em: <https://www.valtra.com.br/produtos/implementos/fertilizer-bdf-1300.html>. Acesso em: 9 mar. 2023.

VILAR, C. C. Fluides de fertilizantes. **Universidade Estadual de Mato Grosso**, set. 2017. Disponível em: <http://agrosenso.blogspot.com/2017/09/fluidez-de-fertilizantes.html>. Acesso em: 05 jun. 2023.

ZÜGE, G. G. **Angulação das aletas de rotores utilizados para distribuição a lanço de ureia**. Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS. Cerro Largo, p. 52. 2021.