

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

**DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE DISCO PARA
DISTRIBUIÇÃO DE UREIA A LANÇO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Leonardo Basso Brondani

Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

2013

DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE DISCO PARA DISTRIBUIÇÃO DE UREIA A LANÇO

Leonardo Basso Brondani

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, Linha de Pesquisa de Projeto e Utilização de Máquinas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Reges Durigon

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Basso Brondani, Leonardo
Desempenho de protótipos de disco para distribuição de uréia a lanço / Leonardo Basso Brondani.-2013.
82 p.; 30cm

Orientador: Reges Durigon
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2013

1. Uniformidade de distribuição 2. Distribuidores centrífugos 3. Avaliação de máquinas agrícolas I. Durigon, Reges II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Leonardo Basso Brondani. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Campus Universitário – Centro de Ciências Rurais – Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas. CEP 97105-900 – Santa Maria – RS – Brasil.

Email: leonardobbrondani@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE DISCO PARA DISTRIBUIÇÃO
DE URÉIA A LANÇO**

elaborada por

Leonardo Basso Brondani

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:



Reges Durigon, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)



Alexandre Russini, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 26 de agosto de 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho...

...a toda minha família: meu pai Elvio, meu irmão Eduardo, minha afilhada Maria Eduarda e, em especial, a minha mãe Sirlei, grande incentivadora e apoiadora em todas as fases da minha formação.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela vida, saúde, força e fé.

Aos meus pais, **Sirlei e Elvio**, e a meu irmão, **Eduardo**, pela compreensão, apoio e por estarem sempre ao meu lado, incentivando-me e torcendo por mim, e à minha afilhada, **Maria Eduarda**, pela alegria que trouxe às nossas vidas.

À **Universidade Federal de Santa Maria**, instituição na qual me graduei engenheiro agrônomo, agradeço a oportunidade de cursar o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Programa de **Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**, pelo apoio em meu aperfeiçoamento profissional.

Ao amigo e orientador professor **Reges Durigon**, pela oportunidade, confiança e incentivo.

À **CAPES**, pelo fomento estudantil durante 18 meses.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, por seus ensinamentos.

Ao engenheiro mecânico **Elton Neves da Silva** e ao professor **Leonardo Nabaes Romano**, por disponibilizarem os dados iniciais que propiciaram este trabalho.

À **Stara Implementos Agrícolas S.A.**, pelo empréstimo do distribuidor centrífugo e da área para as avaliações.

Ao colega **Olavo Santi**, pela amizade, discussões nas fases preliminares da dissertação e o convívio em plena harmonia durante o tempo em que estivemos juntos.

Aos amigos **Eduardo Druzian, Eduardo Jaehn, Fabiano Cassol e Victor Liberalesso**, pelo companheirismo e ajuda na coleta dos dados.

Aos colegas de departamento **André Casali, Daniel Uhry, Dirceu Noller, Fabricio Rodrigues, Gustavo Heller, Marçal Dornelles, Marcelo Silveira, Mateus Bellé, Otávio Machado, Pablo Silva Ferrer, Rodrigo Ribas e Ulisses Frantz**, pelo convívio e amizade e, também, pela contribuição no aprendizado.

Ao professor **Airton dos Santos Alonço**, pela disposição e atenção durante esse tempo.

Aos funcionários técnico-administrativos **Alberi, Manoel Zeri e Sérgio** pelo companheirismo durante todo o período de convivência, no Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas.

A todos os meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado dando o seu apoio.

A todas as pessoas que, de uma ou outra forma, contribuíram com essa pesquisa.

"No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz."

(Ayrton Senna)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

**DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE DISCO
PARA DISTRIBUIÇÃO DE UREIA A LANÇO**
AUTOR: LEONARDO BASSO BRONDANI
ORIENTADOR: PROF. DR. REGES DURIGON
SANTA MARIA, 26 DE AGOSTO DE 2013.

A correta utilização e distribuição de corretivos e fertilizantes nas áreas de cultivo, corrigindo o solo ou repondo os nutrientes exportados pelas culturas, é uma das mais importantes técnicas para incrementar ou manter o rendimento agrícola. Os distribuidores centrífugos de produtos sólidos são cada vez mais utilizados pela sua praticidade, simplicidade e alta capacidade operacional. Seu principal uso é na aplicação de produtos de correção e adubação de solos agrícolas, podendo distribuir calcário, gesso agrícola, adubo mineral e, como estes recursos são finitos, necessitam de uma racionalização no seu uso, sendo que, para isso, a aplicação correta torna-se indispensável. O desenvolvimento de protótipos virtuais tem sido uma ferramenta de grande sucesso e confiabilidade nos últimos anos, em função de oferecer a possibilidade de se verificar a viabilidade de um protótipo por meio de simulações, sem a necessidade de construí-lo. Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar o real comportamento de protótipos projetados, em condições de pista, em comparação com um disco convencional. Os protótipos utilizados na pesquisa foram desenvolvidos em uma dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) pelo acadêmico Engenheiro Mecânico Elton Neves da Silva. Com base na análise dos gráficos de distribuição obtidos nas simulações, optou-se pelos protótipos denominados Cônico 6 Aletas Meio e Plano 6 Aletas Meio, os quais apresentaram os melhores resultados. As observações mostram que a largura de trabalho para o disco convencional, na posição 50% do curso das aletas, foi a que apresentou maior valor, chegando aos 25 metros no sistema alternado direito. O protótipo cônico apresentou, para o CV de 15%, uma largura inferior aos 10 metros, independente do método de trabalho utilizado, e o protótipo plano apresentou o menor valor de largura de trabalho, chegando a, no máximo, 7,5 metros para o CV estipulado de 15%. Na avaliação do perfil de distribuição longitudinal, tanto o disco convencional, nas 3 posições, quanto os protótipos cônico e plano, mostraram uma distribuição uniforme. Na comparação entre o disco convencional e os protótipos, o disco convencional mostrou melhores resultados para todos os métodos de trabalho.

Palavras-chave: distribuidor centrífugo; uniformidade de distribuição; avaliação de máquinas.

ABSTRACT

Master Thesis
Postgraduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

PERFORMANCE OF DISC PROTOTYPES FOR UREA DISTRIBUTION ON BROADCAST SPREADERS

AUTHOR: LEONARDO BASSO BRONDANI
MENTOR: PROFESSOR PHD. REGES DURIGON
SANTA MARIA, AUGUST 26, 2013.

The correct use and distribution of correctives and fertilizers on growth areas, setting right the soil or returning the nutrients exported by the crops, is one of the most important techniques to increase and maintain the agricultural income. The centrifugal broadcasters of solid products are increasingly used because of its practicality, simplicity and high operational capacity. Its' main use is on the application of corrective and fertilization products of agricultural soils, which can apply calcareous, agricultural gypsum, mineral fertilizer and, once these resources are finite, they demand a rationalization on the use and, as a consequence, the correct application becomes indispensable. The development of virtual prototypes has been a great successful and reliable tool in the last years, offering the opportunity to verify the viability of a prototype by simulation without the need to build it. In this context, the present study intent to evaluate the real behavior of projected prototypes in track conditions compared with a conventional disk. The prototypes used in search were developed in a master thesis of the Postgraduate Program in Agricultural Engineering by the academic Mech. Eng. Elton Neves da Silva. Based on the graphics of distribution analyzes obtained from the simulations, it was chosen for the prototypes called Conic 6 Wings Middle and Plan 6 Wings Middle, which were the ones that presented the best results. The observations demonstrated that the width of work for a conventional disc, in the position 50% of wings course, was the one that presented a higher value, getting to 25 meters, in a right alternate system. The Conic prototype presented, for the CV of 15%, a width inferior to 10 meters, independent of the work method used, and the Plan prototype presented the smallest value of work width, getting, at maximum, 7,5 meters for the CV stipulated of 15%. At the evaluation of the longitudinal profile of distribution, as for the conventional disc in three positions as for the Conic and Plan prototypes, both presented a uniformity of distribution. In comparison between the conventional disc and the prototypes, the conventional disc revealed better results for all the work methods.

Key-words: centrifugal broadcaster; uniformity of distribution; machines evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de teste da empresa Stara S.A. onde foi realizada a avaliação de campo.	32
Figura 2 – Distribuidor centrífugo autopropelido utilizado nas avaliações.	35
Figura 3 – Esquema representativo da posição das aletas no disco convencional: ..	36
Figura 4 – Distribuidor Autopropelido em deslocamento para estabilização do fluxo de ureia.	38
Figura 5 – Distribuição das bandejas coletoras para determinação do perfil transversal.	40
Figura 6 – Detalhe do espaço para passagem dos rodados do equipamento.	40
Figura 7 – Recolhimento do material após a passagem do distribuidor.	41
Figura 8 – Detalhe do acondicionamento individualizado do material coletado em cada bandeja.	42
Figura 9 – Sistemas de trabalho na aplicação de insumos a lanço.	43
Figura 10 – Distribuição das bandejas coletoras para determinação do perfil longitudinal.	45
Figura 11 – Determinação da velocidade do vento durante as repetições.	47
Figura 12 – Vista do distribuidor durante determinação da vazão.	49
Figura 13 – Vazão de ureia ($\text{Kg} \cdot \text{min}^{-1}$) para as diferentes posições de abertura da comporta dosadora.	50
Figura 14 – Vista do distribuidor durante avaliação do perfil transversal.	53
Figura 15 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 0% do curso das aletas.	54
Figura 16 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 50% do curso das aletas.	55
Figura 17 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 100% do curso das aletas.	55
Figura 18 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 0% do curso das aletas.	56
Figura 19 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 50% do curso das aletas.	57

Figura 20 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 100% do curso das aletas.	57
Figura 21 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco Cônico 6 Aletas Meio.	59
Figura 22 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco Cônico 6 Aletas Meio.	59
Figura 23 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco Plano 6 Aletas Meio.	60
Figura 24 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco	61
Figura 25 – Vista do distribuidor durante perfil longitudinal.	62
Figura 26 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco convencional na posição 0% do curso das aletas.	62
Figura 27 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco convencional na posição 50% do curso das aletas.	63
Figura 28 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco convencional na posição 100% do curso das aletas.	63
Figura 29 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco Cônico 6 Aletas Meio.	64
Figura 30 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco Plano 6 Aletas Meio.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Especificações do modelo Hércules 5.0 utilizado nos ensaios de campo.	34
Quadro 2 - Valores médios coletados na avaliação em cada tratamento.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização física da ureia utilizada na avaliação.....	46
Tabela 2 - Condições atmosféricas durante as repetições da avaliação do perfil transversal.....	48
Tabela 3 - Condições atmosféricas durante as repetições da avaliação do perfil longitudinal.....	48
Tabela 4 - Comparativo nos diferentes sistemas de trabalho entre a largura de aplicação obtida pelo disco convencional 50% do curso das aletas e pelos protótipos cônico e plano, com CV máximo de 15%.....	65
Tabela 5 - Comparativo nos diferentes sistemas de trabalho entre a largura de aplicação obtida pelo protótipo Cônico 6 Aletas Meio e pelo protótipo Plano 6 Aletas Meio, com CV máximo de 15%.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD - Computer-aided Design

CV – Coeficiente de Variação

ISO – International Standard Organization

NEMA – Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas

PPGEA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

RPM – Rotações por minuto

RS – Rio Grande do Sul

TDP – Tomada de Potência

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE APÊNDICES

8.1 Apêndice A - Resultados do Coeficiente de Variação na distribuição da ureia com o disco convencional nas 3 posições e os 2 protótipos para os 3 sistemas de trabalho.	74
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo Geral	20
1.2 Objetivos específicos	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Fertilizantes e Corretivos.....	23
2.2 Distribuidor Centrífugo.....	24
2.3 Fatores de Influência no projeto de distribuidores centrífugos	26
2.4 Avaliação da Uniformidade de Distribuição	28
2.5 Protótipos	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 Distribuidor Utilizado	33
3.2 Protótipos	35
3.3 Tratamentos	36
3.4 Análise Física da Ureia.....	37
3.5 Condições da avaliação	37
3.6 Testes Estáticos	38
3.7 Testes Dinâmicos.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 Análise Física da Ureia.....	46
4.2 Condições da Avaliação	47
4.3 Determinação da Vazão	49
4.4 Avaliação dos Discos	50
4.4.1 Distribuição Transversal	53
4.4.2 Distribuição Longitudinal	61
4.4.3 Comparativo entre Disco Convencional e Protótipos	65
4.4.4 Comparativo entre discos cônico e plano.....	66
5. CONCLUSÕES	67
6. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	68
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
8 APÊNDICE.....	74

1. INTRODUÇÃO

O sistema agrícola, continuamente, busca aperfeiçoar a produção de alimentos. Nas últimas décadas, após a chamada “Revolução Verde” e, com a adoção de técnicas que diminuíram custos de produção e proporcionaram melhor conservação do solo, a eficiência das culturas tem aumentado significativamente. A crescente demanda mundial por alimentos força o uso cada vez maior de tecnologias que venham incrementar a produtividade das culturas. Dessa forma, é inegável que o uso de máquinas e a aplicação de técnicas eficientes permitiram o aumento da produção agrícola (DORNELLES, 2008). Por maiores que sejam os desenvolvimentos nas tecnologias ou nos sistemas de apoio à decisão, são as máquinas de distribuição de sementes, fertilizantes e produtos fitossanitários que, em última instância, os concretiza. O conceito geral de racionalidade de gestão que se exige não se compadece com o fraco rigor que, na maioria das vezes, se encontra associado, por exemplo, com a distribuição de adubo (SERRANO et al, 2005).

A utilização adequada e a distribuição de corretivos e fertilizantes nas áreas de cultivo, reparando o solo ou repondo os nutrientes exportados pelas culturas, é uma das mais importantes técnicas para incrementar ou manter o rendimento agrícola. Para se alcançar as metas de rendimento agrícola de uma área, os insumos devem ser apropriados e em dosagem indicada. Porém, não adianta, de forma alguma, a correta seleção do insumo ou fertilizante e a estimativa mais precisa de dosagem, se a operação de distribuição do produto na área não for uniforme. Teremos, como consequência, o rendimento da colheita comprometido e, também, um desperdício de fertilizantes, que se tornam pouco eficientes (MOLIN; MAZZOTI, 2000). Para Serrano et al. (2005), a imprecisão aparece na falta de correspondência entre as densidades de adubos planejadas e realmente aplicadas em uma determinada área. O desenvolvimento que ocorreu na tecnologia de aplicação trouxe maior responsabilidade, tanto de fabricantes, comprometendo-se com a realização de avaliações de seus equipamentos, como dos próprios agricultores, com o acompanhamento prático dos mesmos.

Alguns conceitos na agricultura brasileira vêm passando por alterações, sendo um deles a adubação. Ocorre um aumento gradativo da aplicação de adubo a

lanço, reduzindo ou, até mesmo, eliminando a adubação na linha durante a semeadura. Algumas aplicações já eram tradicionalmente utilizadas em cobertura e, hoje, surge uma nova tendência de aplicações a lanço, também em pré-plantio (MOLIN, 2002). As máquinas utilizadas para essas aplicações têm como característica principal a grande dependência em relação à qualidade e à condição física do produto a ser aplicado (MOLIN et al, 2009).

Os distribuidores centrífugos de produtos sólidos são cada vez mais utilizados pela sua praticidade, simplicidade e alta capacidade operacional. A sua utilização se dá, principalmente, na aplicação de produtos de correção e adubação de solos agrícolas, entre eles adubos orgânicos, calcário, gesso agrícola e adubo mineral. Como alguns desses recursos são finitos, necessitam de uma racionalização no seu uso, sendo que, para isso, a aplicação correta torna-se indispensável. No entanto, os distribuidores centrífugos têm apresentado vários inconvenientes, como a dificuldade de calibração e a variação de comportamento com as características do produto utilizado e/ou as condições da aplicação. Ao usar esses equipamentos é preciso observar alguns detalhes que são importantes para a boa prática agrícola, como a homogeneidade de distribuição e a precisão da dosagem.

De acordo com Márquez (2001), nos distribuidores centrífugos, a largura útil de trabalho nunca pode coincidir com a largura total de trabalho, tornando-se essencial uma sobreposição entre as passadas para garantir a uniformidade de aplicação. Os distribuidores centrífugos aplicam produtos com um perfil transversal, que diminui a quantidade de produto com o aumento da largura de aplicação e, por isso, há necessidade de certa sobreposição entre as passadas. Assim, deve-se avaliar a quantidade de produto aplicado no perfil transversal e sobrepor as passadas, de modo a tornar esse perfil o mais uniforme possível (FARRET, 2005).

Outro cuidado é quanto ao método de trabalho, que pode ser contínuo ou alternado. No contínuo, o conjunto mecanizado trabalha manobrando sempre para o mesmo lado e, no alternado, as manobras são ora para um lado, ora para outro. No caso de não haver isometria no perfil transversal, ou seja, um dos lados do perfil de distribuição ser maior do que o outro, o método de trabalho deve ser compatibilizado no campo. Ainda, há equipamentos que apresentam problemas de projeto que ocasionam perfis de distribuição inadequados, com falhas na zona central de aplicação, caso impossível de se resolver pela sobreposição.

Mialhe (1996) afirma que a execução de ensaios visa quantificar o desempenho, analisar as características ergonômicas e de segurança, além de verificar a qualidade e o aperfeiçoamento técnico dos equipamentos. Os ensaios devem seguir a norma ISO 5690 (*International Standard Organization*), que é correspondente à norma UNE 68088. Os ensaios referentes à norma utilizada tratam do estudo da uniformidade de distribuição dos diversos produtos aplicados por essas máquinas, o que condiciona a sua largura útil de aplicação.

Segundo Márquez (2001), a baixa uniformidade de distribuição de produtos sólidos é influenciada por vários fatores. Entre eles, destaca-se o próprio projeto da máquina. Ao cair adubo sobre o disco giratório, a força centrífuga gera o lançamento das partículas do produto. Como a queda se realiza em diferentes pontos da superfície do disco, nem todas as partículas alcançam a mesma velocidade de saída. Consequentemente, as de maior tamanho caem no solo a uma grande distância da máquina, enquanto as menores caem mais próximas. A velocidade do disco, a forma das aletas e o orifício de saída do depósito (reservatório) modificam sensivelmente a distribuição.

Nesse contexto, o presente trabalho vem como um complemento ao estudo do acadêmico Elton Neves da Silva, que, em sua dissertação de mestrado, também realizada no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), projetou vários protótipos de disco que, após, passaram por simulação no computador. Os protótipos pesquisados consideraram vários dos fatores mencionados anteriormente em seu desenvolvimento, surgindo a necessidade da avaliação de seu real comportamento em condições de pista, objetivo principal dessa dissertação.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a uniformidade de distribuição de ureia a lanço pelos protótipos de disco projetados, com base na teoria de máquinas de fluxo.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar o perfil transversal de distribuição de ureia com o disco convencional;
- Determinar o perfil transversal de distribuição de ureia com os protótipos de disco;

- Determinar o perfil longitudinal de distribuição de ureia com o disco convencional;
- Determinar o perfil longitudinal de distribuição de ureia com os protótipos de disco;
- Comparar os protótipos com o disco convencional;
- Comparar a forma cônica e plana dos discos.

A exequibilidade deste estudo se deu pela oportunidade e condições do PPGEA, aliada à estrutura física e de recursos humanos do Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícola (NEMA) da UFSM.

Justificou-se a realização deste trabalho a partir da necessidade de melhorar a aplicação realizada pelos distribuidores centrífugos, pois, hoje, são equipamentos largamente utilizados. No entanto, o fato de possuir baixa uniformidade em sua aplicação motivou o projeto dos protótipos e a posterior necessidade de sua avaliação em campo.

O estudo, inicialmente, apresenta uma revisão bibliográfica sobre os assuntos pertinentes ao trabalho, seguida pela metodologia adotada e resultados obtidos e, por fim, expõe as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Balastreire e Coelho (2000), na agricultura moderna, a adubação com fertilizantes minerais é uma prática indispensável, tendo em vista que é a forma mais rápida, eficiente e de menor custo operacional para melhorar as características químicas do solo, principalmente no que se refere ao aumento de disponibilidade de nutrientes para as plantas cultivadas. Os mesmos autores ainda citam que o consumo de fertilizantes no Brasil chega a 15 milhões de toneladas ao ano, o que equivale a um negócio de US\$ 2,7 bilhões. Para Milan e Gadanha Junior (1996), fertilizantes e corretivos agrícolas constituem insumos fundamentais na atividade agropecuária e, a sua correta aplicação, assume particular significado, tanto pela forma como as plantas respondem a essa prática quanto pelos custos envolvidos na lavoura. A correção e a fertilização representam cerca de 20% a 30% dos custos totais de produção nas principais culturas de importância econômica. Ainda, se for acrescentado o custo da aplicação mecanizada, os valores aumentam cerca de 22% a 33%, respectivamente (BALASTREIRE; COELHO, 2000).

De acordo com Durigon (2007), a agricultura convencional geralmente faz uso maciço de insumos agrícolas, os quais, além de aumentar o custo de produção, podem causar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas. O autor ainda cita que a dosagem, a época e a metodologia empregadas na aplicação de um insumo interferem diretamente na resposta final dada pela produtividade. Primo (2007) diz que o excesso de adubação, além de ser um gasto desnecessário de produto, pode ser prejudicial às plantas, e, por outro lado, a falta resultará em decréscimo da produtividade devido à deficiência de nutrientes.

Para Balastreire e Coelho (2000), o sucesso de uma boa adubação é uma combinação de alguns parâmetros importantes, entre os quais é possível destacar:

- Características físico-químicas do solo;
- Tipos de nutrientes que devem constar da recomendação bem como suas respectivas quantidades;
- Qualidade do produto;
- Época de aplicação;
- Eficiência da distribuição.

2.1 Fertilizantes e Corretivos

Para Saldanha (2008), as etapas de diagnóstico da fertilidade do solo, a interpretação da análise de solo e, conseqüentemente, a recomendação de adubação já são bastante discutidas e, até certo ponto, dominadas. Portanto, é importante que se tenha maior preocupação com a tecnologia de aplicação empregada na distribuição de fertilizantes e corretivos, a fim de maximizar sua eficiência. Outros autores também apontam essa questão. Luz et al. (2010) citam que as informações sobre manejo da adubação, considerando a utilização desses produtos e seu efeito na fertilidade do solo e na nutrição mineral de plantas, estão bem consolidadas e já dispõem de resultados práticos para os agricultores. Porém, nota-se que a tecnologia de aplicação dos corretivos e fertilizantes muitas vezes não recebe a devida atenção por parte do produtor.

Segundo Andrade (2004), os fertilizantes químicos, itens importantes do processo produtivo, devem ser produzidos de forma a garantir ao consumidor os teores de nutrientes necessários para suprir as deficiências nutricionais diagnosticadas na lavoura, bem como possuir características físicas adequadas para uma aplicação uniforme. As características físicas, químicas e físico-químicas dos fertilizantes e corretivos são determinantes no desempenho qualitativo e quantitativo da aplicação. Especificamente nos corretivos (calcário e gesso), as características físicas, como umidade, granulometria e ângulo de repouso, são mais determinantes na eficiência da aplicação do que as características químicas.

Para os corretivos, a granulometria é o fator mais importante, principalmente quando são utilizados equipamentos que fazem lançamento mecânico do insumo. Normalmente, apresentam sua granulometria classificada como pó ou farelado, pois, de modo geral, são pouco solúveis e, em função da estratégia de ação da correção das áreas produtivas, é necessário colocá-los em contato com grande volume de solo para promover maior reação.

Para os fertilizantes, as características físicas, químicas e físico-químicas devem ser levadas em consideração quando se discutem aspectos relacionados à tecnologia de aplicação. Molin et al. (2009) citam que, basicamente, as características físicas definem a qualidade de distribuição dos fertilizantes, as quais são mais difíceis de ser controladas pela legislação oficial. As principais características que devem ser analisadas são: estado físico, granulometria, dureza

dos grânulos, fluidez ou escoabilidade, densidade, higroscopicidade e empedramento. Quanto ao estado físico, os fertilizantes são classificados em sólidos, líquidos e gasosos, sendo que, na agricultura brasileira, a forma mais utilizada é a sólida.

Segundo Luz et al (2010), a granulometria dos fertilizantes é avaliada por peneiras e dividida de acordo com o diâmetro das partículas. Além disso, o seu formato também é importante, e a forma granulada é a mais comum e também a que apresenta melhor desempenho, considerando os aspectos de fluidez, higroscopicidade e empedramento, pois implica em menor superfície de contato e exposição ao meio. Em decorrência da composição granulométrica, os fertilizantes sólidos podem apresentar segregação, que é a separação das partículas componentes de uma mistura por ordem de tamanho e densidade, sendo essa potencializada pela desuniformidade do produto. A segregação pode ocorrer tanto durante o transporte e manuseio do produto quanto na sua aplicação no campo. Em ambos os casos, o problema torna-se ainda maior com o uso de produtos contendo mais de um nutriente (misturas N-P-K), embora também ocorra com o uso de um produto simples. Quando um fertilizante que apresenta grânulos de tamanhos distintos é submetido ao lançamento mecânico, poderão ocorrer variações na dosagem e nos teores dos nutrientes ao longo da faixa de aplicação (LUZ et al, 2010).

2.2 Distribuidor Centrífugo

De acordo com Mialhe (1996), os distribuidores centrífugos são máquinas para a aplicação de adubos e corretivos, as quais podem aplicar fertilizantes e corretivos a lanço ou em fileiras. As máquinas para aplicação a lanço são constituídas, basicamente, por um chassi, um depósito ou reservatório e mecanismos dosador e distribuidor do produto. O princípio de funcionamento de distribuidores consiste em fornecer às partículas do produto energia cinética necessária para serem lançadas a uma determinada distância, que depende da velocidade de saída e da altura da descarga (ORTIZ-CAÑAVATE; HERNANZ, 1989). O acoplamento pode ser feito através do engate de três pontos, para máquinas montadas, e por meio da barra de tração, para máquinas de arrasto. Atualmente, já existem equipamentos autopropelidos.

Os distribuidores centrífugos são os mais populares, equipam máquinas de pequeno porte, montadas e de arrasto, com mecanismo dosador gravitacional e/ou autopropelidas, com mecanismo dosador volumétrico de esteira. A largura efetiva dessas máquinas depende da sobreposição das camadas de aplicação e sempre há incertezas associadas à decisão (HACHUY, 2008).

Segundo Milan e Gadanha Junior (1996), nos distribuidores a lança, o mecanismo dosador e distribuidor são os principais componentes, pois têm a responsabilidade de dosar e distribuir adequadamente a quantidade pré-selecionada do produto a ser aplicado.

O dosador, como o nome indica, tem a função de dosar uma quantidade pré-selecionada de produto, ou seja, define a vazão de produto que sai do reservatório. Esse mecanismo pode ser classificado de acordo com o tipo de funcionamento:

- *Dosadores gravitacionais*: utilizam a força da gravidade para promover e controlar o fluxo das partículas sólidas que escoam do depósito para o mecanismo distribuidor.

- *Dosadores volumétricos*: operam liberando, continuamente, um determinado volume de produto retirado do reservatório e colocado no mecanismo distribuidor.

O mecanismo distribuidor é um conjunto de elementos que tem por objetivo espalhar o produto oriundo do dosador. Por se tratar do principal mecanismo das aplicadoras, responsável pela faixa de deposição ou aplicação, o mecanismo distribuidor é um critério normalmente usado para agrupar os equipamentos para qualquer finalidade de análise (MOLIN, 2002), classificados de acordo com o princípio utilizado no lançamento do produto ao solo:

- *Queda livre*: equipamentos com mecanismo que libera certa quantidade de produto a determinada altura do solo, normalmente denominados “distribuidores de rastilho”. O produto liberado pelo dosador gravitacional é lançado ao solo em queda livre, sendo depositado em linhas (rastilhos).

- *Inércia (pendular)*: equipamentos que distribuem o produto dosado através de movimento pendular; possuem um tubo horizontal cujo movimento oscilante horizontal determina o caminhamento das partículas, ao longo de seu comprimento, pela ação da inércia e o lançamento em arco.

- *Força Centrífuga*: equipamentos que se caracterizam por utilizar um ou dois rotores (discos) horizontais, com aletas fixas ou não, para o lançamento radial do produto.

Para Márquez (2001), os distribuidores centrífugos de disco possuem um depósito central de produto, com um ou dois discos com aletas, que giram acionados pela tomada de potência, lançando o produto com força, sendo que, a largura de trabalho, dependendo do produto utilizado, pode superar os 20 metros.

Atualmente, a distribuição de produtos sólidos, através de força centrífuga (discos), é o mecanismo mais utilizado em distribuidores. As principais características dos discos que afetam a distribuição dos produtos são o formato e o ângulo das aletas e o diâmetro, a rotação e a altura do disco (FARRET, 2005). Silva (1982) verificou que a queda das rotações do disco causou uma diminuição da largura da faixa, concentrando a deposição do fertilizante nas proximidades do disco, devido à redução da velocidade tangencial das partículas ao sair das aletas.

Por sua alta capacidade operacional de campo, associada à grande versatilidade quanto a produtos e dosagens que consegue aplicar, os distribuidores centrífugos trouxeram uma nova dimensão à tecnologia de aplicação de produtos sólidos na agricultura. Com a utilização desses distribuidores, é possível aplicar desde poucas dezenas de quilos de sementes até várias toneladas de corretivos de solo (FARRET, 2005). Souza (1984) cita que os distribuidores centrífugos são largamente utilizados por apresentarem economia de operação, facilidade de manutenção e alto rendimento, embora apresentem uma desuniformidade de cerca de 20% na aplicação.

2.3 Fatores de Influência no projeto de distribuidores centrífugos

Na fase de projeção do processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas, Romano (2003) diz que os fatores de influência consistem em elementos cuja análise cria bases seguras para a realização de ações e de tomadas de decisão. O autor também cita que, ao serem definidos os fatores de influência no projeto, vários deles podem ser transformados em medidas, as quais constituem informação relevante para as tomadas de decisão dos agentes interessados no ciclo de vida da máquina agrícola. Para Marini (2007), é possível interpretar que os fatores de influência, transformados em medidas, dão origem a um conjunto parcial de especificações de projeto.

Os fatores de influência no projeto de máquinas agrícolas levam em consideração vários quesitos. Segundo Marini, o conjunto desses elementos pode

ser dividido em quatro categorias básicas de informações a serem consideradas. Essa separação é feita conforme o componente principal que determina sua origem: escopo do projeto, máquinas existentes, normas de homologação ou características da operação. Cada um deles contribui com informações que colaboram, progressivamente, para a definição dos fatores de influência no projeto da máquina agrícola.

Os critérios de homologação das máquinas agrícolas são constituídos de disposições específicas contidas em normas. São documentos publicamente reconhecidos, que determinam os padrões de qualidade necessários. Tais dispositivos discorrem sobre requisitos dimensionais que devem ser atendidos pela máquina agrícola para sua homologação (MARINI, 2007). O autor ainda cita que a classe de adequação ao processo identifica os documentos normativos que estabelecem formas de avaliar o desempenho das máquinas agrícolas. Para o caso do distribuidor centrífugo, a norma ISO 5690/1 define parâmetros de adequação do equipamento, além de índices mínimos de desempenho.

Segundo Silva (2011), os fatores de influência no projeto do disco para distribuição de ureia estão associados à análise do desempenho dos distribuidores centrífugos, e consistem em:

- Raio de disco: raio do disco em que são assentadas as aletas;
- Ângulo de passo da aleta: ângulo da linha de trajetória da aleta de distribuição em relação à linha radial do disco;
- Velocidade angular do disco: rotação do disco de distribuição para impulsão das partículas de ureia.

O insumo é outra classe importante para os distribuidores de fertilizantes, pois esse elemento tem características próprias e deve ser caracterizado para verificar qual a influência existente sobre o funcionamento da máquina (MARINI, 2007). Entre as características identificadas nos insumos que influenciam nos distribuidores centrífugos estão a forma, a granulometria, a segregação, o coeficiente de restituição e o coeficiente aerodinâmico. Marini (2007) cita que vários parâmetros do modelo não são possíveis de quantificar sem que haja uma análise mais detalhada das propriedades físicas dos fertilizantes. A caracterização, no projeto de distribuidores de fertilizantes de tais propriedades, permite a seleção e o dimensionamento de forma mais adequada dos materiais utilizados para os componentes.

2.4 Avaliação da Uniformidade de Distribuição

Os equipamentos hoje disponíveis no mercado, que vêm sendo utilizados para espalhar fertilizantes e corretivos a lanço, possuem como característica uma dependência muito grande da qualidade e da condição física do produto a ser aplicado. Um fato constatado é que a aplicação de calcário é tida como uma operação de pouca qualidade, por conta de vários fatores, sendo, talvez, o baixo custo do produto e a baixa tecnologia empreendida nas máquinas aplicadoras, os mais importantes. Com um custo maior, a injeção de adubos sólidos acontece com um pouco mais de critério, existindo, porém, muita falta de informação, especialmente quanto à largura efetiva que as máquinas podem trabalhar com cada produto (MOLIN, 2002).

Conforme a norma 5690/1 da *International Standard Organization* (ISO, 1983), há um método padronizado para se avaliar o trabalho desses distribuidores, que são projetados para aplicar material granular na superfície do solo. A norma define termos, estabelece as condições e os procedimentos de ensaio, assim como a maneira de relatar os resultados de avaliação. Cabe ressaltar uma diferenciação entre ensaio e avaliação: no primeiro, todas as determinações que a norma exige são realizadas, enquanto que, no segundo, alguns parâmetros são modificados e/ou adaptados. Nessa pesquisa, alguns pontos não foram avaliados e adaptações foram praticadas, o que define o trabalho como uma avaliação e não um ensaio.

Srivastava et al. (1993) salientam que um dos critérios de desempenho mais importantes é a uniformidade de distribuição. Segundo Farret et al. (2008), o que afeta a distância horizontal, pela qual as partículas são lançadas, é o tamanho da partícula, sua densidade, forma e padronização, e a velocidade de rotação dos discos. Os componentes de uma mistura seca tendem a separar-se, sendo projetadas para mais longe as partículas maiores de mesma densidade. O padrão de distribuição também é afetado pelo vento.

Para Molin e Mazzotti (2000), o tipo de máquina utilizada (mecanismo dosador e mecanismo distribuidor), a espécie de insumo empregado, a velocidade de aplicação e a largura útil de trabalho são fatores que interferem na uniformidade do uso de corretivos e fertilizantes em uma área. A uniformidade de distribuição geralmente é maior em máquinas equipadas com dois discos de distribuição, que giram em sentido contrário. Além do desenho da máquina e da granulometria do

produto utilizado, o estado da máquina pode ser responsável pela perda de uniformidade, como na saída uniforme do produto do depósito, discos tortos e aletas deformadas, corroídas ou cobertas com material aderido (FARRET, 2005). Avaliando a distribuição transversal de três máquinas com diferentes mecanismos distribuidores (um e dois discos e pendular), em doses máxima, média e mínima de ureia, Primo et al. (2003) relataram que a quantidade de produto aplicada afetou diretamente a uniformidade de distribuição do produto, e que a largura de trabalho variou conforme o mecanismo distribuidor utilizado e a quantidade de produto aplicado.

A determinação do perfil de distribuição e dos valores correspondentes às larguras máxima e útil de trabalho é necessária para que se possa determinar a uniformidade de manejo de um distribuidor centrífugo (ORTIZ-CAÑAVATE; HERNANZ, 1989). De acordo com a norma ISSO 5690/1, o procedimento utilizado para a determinação da largura efetiva de trabalho baseia-se no coeficiente de variação (CV), como uma medida da desuniformidade da dose aplicada com a sobreposição de passadas, sendo que a norma não estabelece um CV mínimo como padrão.

Com essa falta de padronização, ao longo dos anos diversos autores indicaram valores que podem ser utilizados como referência, como é o caso de Valdez (1978), citando que um perfil de distribuição com CV de 33% é suficientemente uniforme e não afeta a produtividade da cultura ou criando escalas onde se considera, como grau de uniformidade de distribuição, muito bom um CV até 10%, bom até 20%, regular até 33% e pobre acima de 33% (ORTIZ-CAÑAVATE; HERNANZ, 1989). Por outro lado, Dallmayer (1985) relatou que a Sociedade de Agricultura Alemã não reconhece distribuidores centrífugos que apresentam um perfil transversal com valores de coeficiente de variação superior a 12,5%. Atualmente, os autores têm utilizado um coeficiente de variação de 15% como um valor satisfatório para a uniformidade de distribuição.

A execução de avaliações visa analisar as características ergonômicas e de segurança, além de quantificar o desempenho e verificar a qualidade e aperfeiçoamento técnico dos equipamentos (MIALHE, 1996).

2.5 Protótipos

Os protótipos utilizados na avaliação foram desenvolvidos em uma dissertação de mestrado do PPGEA pelo acadêmico engenheiro mecânico Elton Neves da Silva.

Em seu projeto, os protótipos levaram em consideração a teoria das máquinas de fluxo. As máquinas de fluxo são definidas como transformadoras de energia, onde o meio operante é um fluido que, ao passar pela máquina, interage com um elemento rotativo, sem, em qualquer instante, ficar confinado (HENN, 2001).

Mataix (1975) descreve que no rotor e no sistema diretor acontecem os fenômenos fluidodinâmicos essenciais para o funcionamento da máquina. Ainda, segundo o autor, o rotor é constituído por aletas giratórias que dividem o espaço ocupado em canais por onde circula o fluido de trabalho, sendo nele ocorrida a transformação de energia. Mataix diz, também, que a finalidade do sistema diretor é coletar o fluido e dirigi-lo para um caminho determinado. Silva (2011) cita que o formato das aletas tem significativa influência no rendimento e aplicação do rotor.

A analogia entre as máquinas de fluxo e os discos dos distribuidores centrífugos é demonstrada sob dois aspectos: similaridade construtiva e similaridade de função global. A similaridade construtiva é observada pela comparação entre o rotor de uma máquina de fluxo e o disco de um distribuidor centrífugo. A construção dos rotores e dos discos é feita com um diâmetro externo, um diâmetro interno para sua fixação, dotados de aletas e giram com uma determinada rotação que proporciona força centrífuga para as partículas que entram em contato com os mesmos (SILVA, 2011).

Quanto à semelhança no desempenho da função global, pode-se observar que as partículas caem sobre os discos no sentido axial, sofrendo uma transformação de energia e alterando a direção da sua trajetória para radial. Para Silva (2011), com esta analogia é possível identificar que existem similaridades entre os rotores de máquinas de fluxo e os discos do distribuidor centrífugo.

A partir dessas informações foram desenvolvidos vários protótipos, mas o custo de fabricação e a exigência de calibração experimental dos discos inviabiliza a produção de todos, o que leva a necessidade da simulação. Nesse sentido, Silva (2011) cita que a simulação numérica auxilia a indústria, sendo capaz de realizar diferentes ensaios virtuais que facilitam a compreensão, as respostas e o

aperfeiçoamento do processo. O desenvolvimento de protótipos virtuais tem sido uma ferramenta de grande sucesso e confiabilidade nos últimos anos, em função de oferecer a possibilidade de verificar a viabilidade de um protótipo por meio de simulações, sob certas condições de operações, sem ter que construí-lo, evitando custos com projetos inadequados (OLIVEIRA et al., 2005).

O procedimento de simulação faz uso de técnicas de projeto de máquinas assistido por computador (CAD), de técnicas de programação convencional, com uso de programas de computação simbólica e numérica, e programas computacionais específicos, os quais são utilizados de forma individualizada ou conjuntamente (OLIVEIRA et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A realização da avaliação foi dividida em duas etapas, sendo a primeira com as determinações de campo (de vazão e dos perfis longitudinal e transversal), realizada no município de Não-me-Toque, Rio Grande do Sul (RS), no campo de testes da empresa Stara S.A. (Figura 1), entre 7 e 9 de maio de 2012. A segunda etapa – análises, em laboratório, do insumo utilizado e dos dados obtidos nos testes de campo – foi realizada nos meses subsequentes, em Santa Maria, RS, nas dependências do NEMA da UFSM.



Figura 1 – Área de teste da empresa Stara S.A. onde foi realizada a avaliação de campo.

Mialhe (1996) afirma que as avaliações que devem ser efetuadas sobre o desempenho de equipamentos para a aplicação de fertilizantes e corretivos a lanço referem-se a:

- Ensaios das características dimensionais e ponderais;

- Ensaio do equipamento do ponto de vista de segurança, ergonomia e funcionalidade mecânica;
- Ensaio das características de desempenho em laboratório e campo: regularidade da vazão e faixas de distribuição transversal e longitudinal.

Sendo o objetivo avaliar a distribuição realizada pelos protótipos dos discos e não o equipamento como um todo, foram realizados apenas os ensaios das características de desempenho em laboratório e em campo. O que se propõe, nesse trabalho, é uma comparação direta entre os protótipos e o disco convencional que, hoje, é utilizado nos distribuidores.

A metodologia de avaliação será semelhante à de Molin et al. (2002) e Mialhe (1996), a qual consiste em determinar o perfil de aplicação transversal e longitudinal através da colocação de bandejas coletoras, utilizando, no processamento dos dados, um *software*. Em primeiro momento, os protótipos serão avaliados utilizando apenas ureia, devido suas características de projeto.

3.1 Distribuidor Utilizado

Para os ensaios foi utilizado um distribuidor centrífugo bidisco, autopropelido, marca Stara, modelo Hércules 5.0, cujas especificações técnicas do modelo estão descritas no Quadro 1. Uma visão geral do equipamento é apresentada na Figura 2.

Peso da máquina (vazia)	7640 kg
Comprimento	8,670 m
Largura	2,842 m
Capacidade de Carga e Volume	5.000 kg e 5 m ³
Altura c/ pneu 14.9x26	3,676 m
Altura c/ pneu 12,4x36	3,750 m
Velocidade de trabalho	8 km.h ⁻¹ a 25 km.h ⁻¹
Abertura do rodado	2,7 a 3,3 m
Distância entre eixos	4 m
Tanque de combustível	2 de 210 l
Motor	185 cv MWM turbo diesel 6cil.
Pneus	14,9x26" ou 12,4x36"
Aros	DW 12x26 ou W 10x36
Vazão	13 kg.ha ⁻¹ a 6.000 kg.ha ⁻¹
Discos de distribuição disponível	18-24 / 24-36
Largura da distribuição	Produtos granulados 24 a 36 m
Vão livre do solo c/ pneu 12,4x36	1,350 m
Vão livre do solo c/ pneu 14,9x26	1,276 m
Piloto Automático	
Controlador Topper 4500	
GPS	
Balança Eletrônica	
Opcionais	Base RTK
	Discos 18-24

Quadro 1: Especificações do modelo Hércules 5.0 utilizado nos ensaios de campo.

Fonte: Stara S.A.



Figura 2 – Distribuidor centrífugo autopropelido utilizado nas avaliações.

3.2 Protótipos

A escolha dos protótipos que foram utilizados nos testes se deu após a conclusão da dissertação de mestrado do acadêmico Elton Neves da Silva, no PPGEA. Com base na análise dos gráficos de distribuição obtidos nas simulações, se optou pelos protótipos denominados Cônico 6 Aletas Meio e Plano 6 Aletas Meio, uma vez que apresentaram os melhores resultados.

Devido à abertura de processo de patente dos protótipos, suas características não serão mencionadas nessa dissertação. Informaremos apenas seus aspectos gerais: o Cônico 6 Aletas Meio tem o formato cônico, possuindo, ao total, 6 aletas (3 maiores e 3 menores). O protótipo denominado Plano 6 Aletas Meio tem sua forma plana, também com 6 aletas, sendo 3 maiores e 3 menores.

3.3 Tratamentos

Para essa avaliação, 5 tratamentos foram utilizados, sendo 3 deles com o disco convencional, encontrado em distribuidores centrífugos que estão no mercado, e 2 com os protótipos. Quanto ao disco convencional, a diferença está na variação do curso das aletas, sendo elas 0%, 50% e 100%, que representam, respectivamente, as seguintes posições: atrasada (posicionadas para trás em relação ao raio), radial e adiantada (posicionadas para frente em relação ao raio). Na Figura 3 (Pg.36), temos uma representação de disco que mostra essas posições.

Os tratamentos ficam assim denominados:

- T1: Disco Convencional 0% do curso das aletas (Atrasada);
- T2: Disco Convencional 50% do curso das aletas (Radial);
- T3: Disco Convencional 100% do curso das aletas (Adiantada);
- T4: Disco Cônico 6 Aletas meio;
- T5: Disco Plano 6 Aletas Meio.

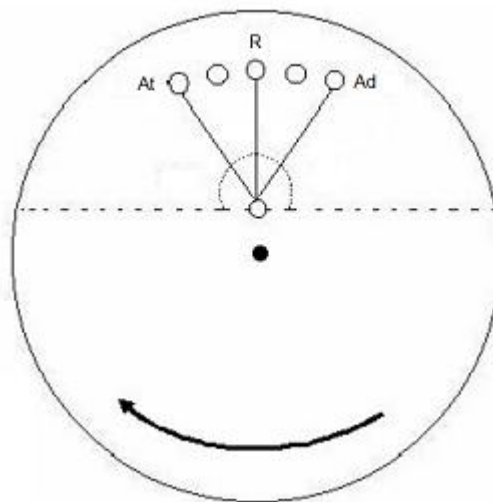


Figura 3 – Esquema representativo da posição das aletas no disco convencional:

At – Atrasado; R – Radial; Ad – Adiantado.

Fonte: Adaptado de Farret (2003)

3.4 Análise Física da Ureia

A caracterização física da ureia foi realizada em laboratório e consistiu na determinação do teor de umidade, peso específico e granulometria. A umidade é a medida gravimétrica desse fator e representa o peso percentual de água presente na amostra, no momento da avaliação. O peso específico representa o peso do volume de um litro do produto. A granulometria é o resultado da passagem do produto por peneiras de diâmetro conhecido e padronizado.

Para as determinações, foi retirado 1 kg de ureia antes de ser passada pelos mecanismos da máquina. O teor de umidade foi obtido a partir de amostras colocadas em estufa à temperatura de 105°C até atingirem peso constante, determinando-o com base na diferença de peso entre antes e após a secagem, através do resultado médio das amostras. A densidade foi obtida colocando-se uma quantidade de ureia em um recipiente de volume conhecido e pesando-se o mesmo. A relação entre a massa obtida e o volume fornecerá a densidade. Para determinar a granulometria, a Norma ISO 5690/1 recomenda utilizar as seguintes malhas de peneiras: 0,125; 0,250; 0,500; 0,710; 1,000; 2,000; 2,800 e 4,000 mm, com um tempo mínimo de 5 minutos de agitação.

3.5 Condições da avaliação

Segundo a norma ISO 5690/1, a realização da avaliação pode ser feita tanto em ambientes fechados quanto abertos, sendo necessário que as condições atmosféricas sejam caracterizadas. Para ambientes abertos existem algumas restrições, tais como: ausência de chuva, umidade relativa do ar inferior a 80% e velocidade do vento inferior a 2 m.s⁻¹ (7,2 km.h⁻¹), não sendo toleradas rajadas de vento. Com isso, evitam-se condições adversas ao ensaio, como a deriva do produto no momento da aplicação, que pode causar diferenças no desempenho do equipamento, independente das suas características físicas e regulagens.

Tanto as determinações estáticas como as dinâmicas devem ser realizadas sobre uma superfície plana e firme, condições necessárias para se evitar saltos e vibrações que possam afetar o desempenho do equipamento. Ainda, nos testes dinâmicos, a velocidade de deslocamento da máquina precisa ser ajustada – levando-se em consideração o padrão exigido de 8 ou 15 km.h⁻¹ –, a qual,

independentemente da escolha, tem de ser mantida constante. Para essa avaliação, optou-se pela velocidade de 15 km.h^{-1} . Um percurso mínimo (Figura 4, Pg. 38) é necessário antes dos coletores, para que ocorra a estabilização, tanto da velocidade linear do equipamento quanto para o fluxo de produto na esteira de transporte.



Figura 4 – Distribuidor Autopropelido em deslocamento para estabilização do fluxo de ureia.

3.6 Testes Estáticos

3.6.1 Teste de Vazão

A regularidade da vazão pode ser verificada para diversas regulagens de abertura do mecanismo dosador e com diferentes produtos (FARRET, 2005). Com o reservatório abastecido, acionou-se o mecanismo e coletou-se o material em um período de tempo igual a trinta segundos, com posterior pesagem e cálculo da vazão. Para facilitar o recolhimento, foram retirados os discos distribuidores e, com o

auxílio de recipientes, coletadas as quantidades de produto aplicadas para cada posição de abertura do mecanismo dosador (comporta).

Nesse trabalho, foram realizados os testes para cinco diferentes aberturas da comporta do equipamento (10, 20, 30, 40 e 50), buscando-se a vazão para cada uma dessas situações.

3.7 Testes Dinâmicos

Para os testes dinâmicos (perfil transversal e longitudinal), o depósito foi abastecido com o produto até a metade de sua capacidade. De acordo com a norma ISO 5690/1, os coletores podem ter duas dimensões padronizadas, de 1000 mm x 250 mm ou 500 mm x 500 mm, com profundidade mínima de 150 mm. Na avaliação em estudo, utilizamos os coletores de 500 x 500 mm. Para evitar o ricochete do material na superfície, é necessária a utilização de algum dispositivo, sendo recomendada a divisão do coletor em células de 50 x 50 mm ou a colocação de filme plástico. Após a passagem do equipamento, o material contido nos coletores foi recolhido e pesado.

Para a determinação dos perfis transversal e longitudinal de distribuição foi escolhida uma vazão correspondente à dosagem próxima à recomendação agrônômica de ureia para a cultura do milho, seguindo o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ROLAS, 2004).

3.7.1 Determinação do Perfil Transversal

Os ensaios de caracterização da faixa de distribuição transversal tratam da mais significativa característica de desempenho de distribuidores a lanço. Segundo Farret (2005), a determinação da faixa de deposição transversal obedece a seguinte sequência:

- Abastecimento e regulagem do mecanismo dosador – o equipamento foi abastecido de acordo com as instruções do fabricante, imediatamente antes do início do teste, de maneira que não tivesse tempo para o material consolidar no reservatório ou mesmo absorver umidade. Os coletores foram colocados lado a lado, paralelos entre si, e perpendiculares ao sentido de deslocamento do equipamento,

cobrindo toda a sua faixa de aplicação durante a avaliação (Figura 5, Pg.40). Para viabilizar a passagem do conjunto mecanizado pela linha formada pelas bandejas, foram retiradas a segunda e terceira bandejas de cada lado (Figura 6, Pg.40), as quais irão assumir o peso de produto da bandeja imediatamente próxima.



Figura 5 – Distribuição das bandejas coletoras para determinação do perfil transversal.



Figura 6 – Detalhe do espaço para passagem dos rodados do equipamento.

- Aplicação do produto - Por se tratar de um equipamento autopropelido, não foi necessária a verificação da velocidade angular da TDP. Após a aplicação do produto, o conteúdo das bandejas foi coletado, como pode ser observado na Figura 7. O material recolhido de cada bandeja fica acondicionado individualmente, em sacos plásticos identificados, para posterior pesagem (Figura 8, Pg.42). Após a pesagem, realizou-se a análise para verificação das características da faixa de deposição.



Figura 7 – Recolhimento do material após a passagem do distribuidor.



Figura 8 – Detalhe do acondicionamento individualizado do material coletado em cada bandeja.

A partir dos dados obtidos na coleta e a pesagem do produto aplicado, é realizada a análise dos dados para a verificação das características da faixa de deposição. O primeiro passo consiste na elaboração de um histograma da distribuição, tendo como referência a posição de cada coletor. O histograma é construído utilizando-se, no eixo das ordenadas, o peso do material coletado, e na abscissa à distância.

A faixa de deposição efetiva, que vem a ser a largura de trabalho recomendada na aplicação, pode ser estabelecida de duas maneiras. Na primeira, a faixa considerada é aquela na qual a distribuição do fertilizante ou corretivo a lanço obtiver, nos coletores adjacentes, valor equivalente ou maior que 50% do máximo obtido ao longo do perfil transversal. Os coletores dispostos à esquerda e à direita da posição central de passagem da máquina, nos quais a deposição atingiu o valor de referência de 50%, determinam os limites de largura de trabalho ou a faixa de deposição efetiva. Com base no valor da largura efetiva assim obtida, traça-se o gráfico de regularidade da faixa de deposição cumulativa. A deposição cumulativa representa a soma da quantidade de produto lançado num mesmo ponto (mesmo coletor) em duas passadas adjacentes da máquina. Trata-se de fazer um

recobrimento, entre as faixas de deposição de passadas adjacentes, de forma que a deposição cumulativa torne a dosagem de aplicação uniforme em cada ponto de toda a extensão do terreno.

A avaliação da deposição cumulativa em uma aplicação de campo, evidentemente, depende do tipo de percurso adotado durante a aplicação com o equipamento. No circuito contínuo, o lado esquerdo da faixa de deposição de uma passada recobre o lado direito da faixa de deposição da passada anterior. No circuito alternado, o lado direito da faixa de deposição de uma passada recobre o lado direito da faixa de deposição da passada anterior, e, o mesmo, acontece com o lado esquerdo (Figura 9). Assim, nesse último caso, diz-se que o recobrimento se faz por “translação de imagem invertida” da faixa de deposição determinada no ensaio da máquina distribuidora.

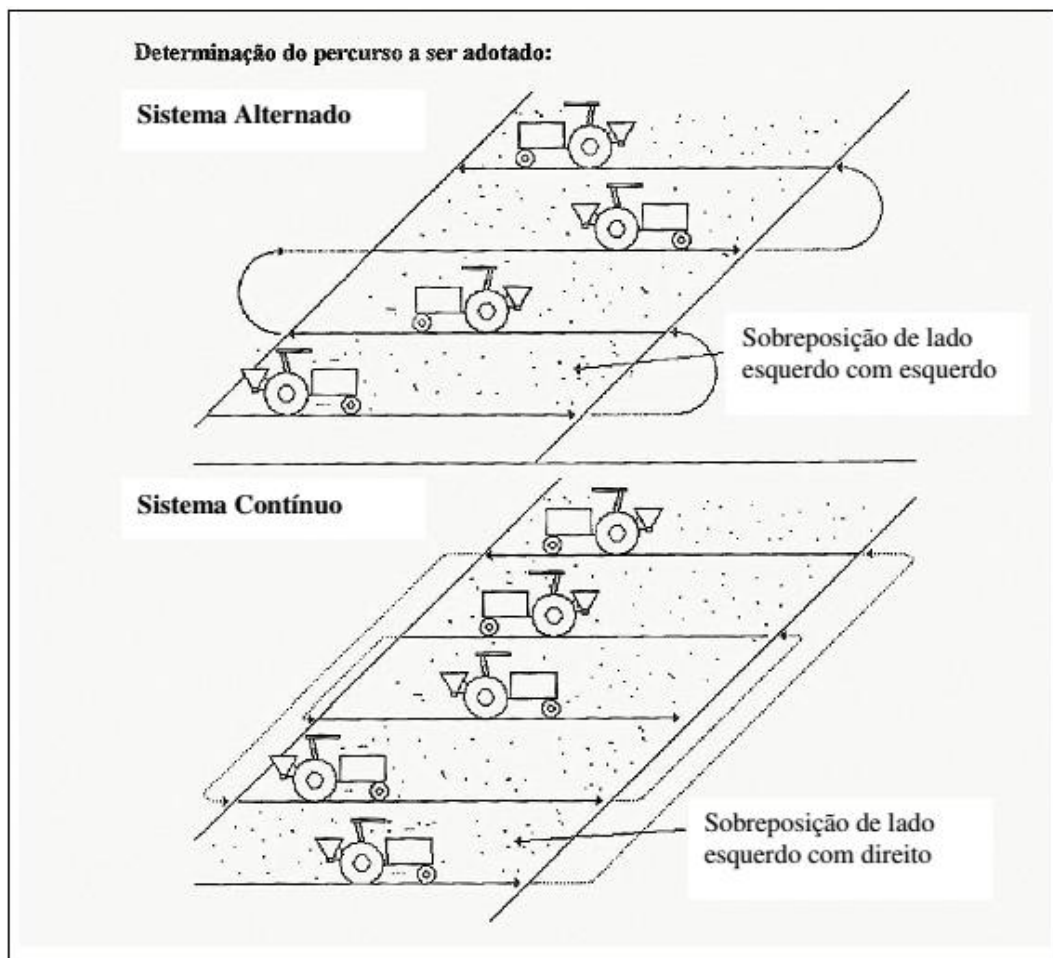


Figura 9 – Sistemas de trabalho na aplicação de insumos a lanço.

Fonte: Molin et al, 1992.

O segundo procedimento para determinação da faixa de deposição efetiva, que vem a ser a largura de trabalho recomendada na aplicação, é com base no coeficiente de variação (CV), expresso em porcentagem (%). Para tanto, realiza-se a simulação de recobrimentos sucessivos, com os valores obtidos nos coletores, e calcula-se o CV (%) para cada situação de recobrimento. O menor valor determina a largura que, efetivamente, será utilizada no campo, quer seja para o circuito alternado ou contínuo. De modo padrão, o circuito contínuo apresenta tendência para “corrigir” as imperfeições, enquanto o circuito alternado as amplifica.

Molin et al. (1992) desenvolveram um programa computacional (Adulanço[®]) para a análise de distribuição transversal em aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço nos diferentes sistemas de percurso. Nesse projeto, foi utilizada a versão 3.0 para a elaboração dos histogramas de aplicação, determinação do CV e da largura de trabalho. O programa é intuitivo e tem aplicação prática na execução de ensaios de máquinas aplicadoras de fertilizantes e corretivos sólidos a lanço. A opção “gráfico”, contida no programa, permite ao usuário uma visão do comportamento dos valores de CV para cada largura de trabalho e método de percurso (GONÇALVES et al., 2001).

Conforme mencionado anteriormente, para esse trabalho, foi determinada uma vazão de aplicação a partir de uma recomendação agrônômica. Posteriormente, foi realizada a passagem do equipamento pelos coletores utilizando-se os protótipos e, também, os discos convencionais, com três repetições e, após a análise dos dados, esses foram comparados.

3.7.2 Determinação do Perfil Longitudinal

O ensaio de caracterização da distribuição longitudinal tem, como finalidade, determinar as características da distribuição do equipamento, ao longo da linha de deslocamento da máquina. Conforme Hachuy (2008), as características do perfil longitudinal não despertam o mesmo interesse e a importância do perfil transversal. O motivo disso é que, geralmente, a variação na vazão e, conseqüentemente, na uniformidade do perfil longitudinal, é bem menor do que a observada no perfil transversal. Outro fator é que a largura efetiva de trabalho independe do grau de uniformidade do perfil longitudinal. Porém, deve-se lembrar que diferentes níveis de

fertilizantes no depósito podem afetar a vazão do mecanismo dosador e, conseqüentemente, o perfil longitudinal.

A alteração em relação à metodologia da distribuição transversal refere-se à disposição dos coletores. Na distribuição longitudinal, os coletores foram dispostos no sentido de deslocamento da máquina, em linha simples, distantes 5 metros do equipamento, como pode ser observado na Figura 10. Para essa avaliação, foi realizada uma repetição tanto para os protótipos como para o disco convencional.



Figura 10 – Distribuição das bandejas coletoras para determinação do perfil longitudinal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Física da Ureia

Para caracterização da ureia utilizada na avaliação, foram feitas as seguintes determinações: granulometria, densidade e umidade. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização física da ureia utilizada na avaliação.

Granulometria		Porcentagem que passa na peneira (%)	
> 4,75 mm		0,17 %	
4,75 a 2,00 mm		89,95 %	
2,00 mm a 1,18 mm		9,86 %	
< 1,18 mm		0,12 %	
Densidade	0,78 g.cm ⁻³	Umidade	0,78 %

Analisando os resultados obtidos para granulometria da ureia, observa-se que ela é relativamente uniforme, apresentando praticamente 90% de sua constituição entre os diâmetros de 4,75 mm e 2 mm. Com essa granulometria de elevada homogeneidade, a tendência é que a distribuição desse produto seja mais uniforme.

O valor encontrado para a densidade foi de 0,78 g.cm⁻³, semelhante ao obtido por Hachuy (2008), o qual representa uma densidade razoável e que facilita o lançamento, possibilitando uma maior largura de distribuição, sem muita interferência de sua trajetória.

O resultado encontrado para o teor de umidade foi de 0,78%, valor considerado baixo. Porém, do ponto de vista da distribuição, é satisfatório, pois, conforme citam Luz et al. (2010), a absorção de água pelo fertilizante leva à formação de agregados (empedramento), o que terá reflexos negativos no momento de distribuí-los no campo.

4.2 Condições da Avaliação

Como o ensaio foi realizado em ambiente aberto, foram seguidas as determinações da norma ISO 5690/1, que traz algumas restrições, como ausência de chuva, umidade relativa do ar inferior a 80% e velocidade do vento inferior a 2 m.s^{-1} ($7,2 \text{ km.h}^{-1}$), não sendo toleradas rajadas de vento.

A velocidade do vento foi medida por um anemômetro em cada uma das repetições, conforme pode ser observado na Figura 11, tanto na avaliação do perfil transversal quanto longitudinal.



Figura 11 – Determinação da velocidade do vento durante as repetições.

Os resultados obtidos para as condições atmosféricas estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 (Pg. 48). Com relação à interferência do vento, em alguns momentos ela foi zero e, em outros, a interferência foi mínima. Destacamos que algumas repetições foram abortadas e até mesmo descartadas, devido a rajadas de vento no momento da avaliação. Para as demais condições atmosféricas, durante a realização da avaliação, em nenhuma das repetições os valores estiveram fora dos padrões estabelecidos.

As variações de valor apresentadas, nas condições atmosféricas, podem ser explicadas devido ao experimento não ter sido realizado completamente no mesmo dia.

Tabela 2 - Condições atmosféricas durante as repetições da avaliação do perfil transversal.

Disco	Velocidade Vento (m.s ⁻¹)	Umidade do Ar (%)
Convencional 0% do curso das aletas (Atrasado)	0,8	44,0
	1,3	
	2,0	
Convencional 50% do curso das aletas (Radial)	2,0	44,0
	0,1	
	0,5	
Convencional 100% do curso das aletas (Adiantado)	0,0	52,0
	0,0	
	0,2	
Protótipo Cônico 6 Aletas Meio	1,6	61,1
	0,0	
	0,0	
Protótipo Plano 6 Aletas Meio	2,0	44,0
	1,8	
	1,8	

Tabela 3 - Condições atmosféricas durante as repetições da avaliação do perfil longitudinal.

Disco	Velocidade Vento (m.s ⁻¹)	Umidade do Ar (%)
Convencional 0% do curso das aletas (Atrasado)	0,0	60,0
Convencional 50% do curso das aletas (Radial)	0,0	61,8
Convencional 100% do curso das aletas (Adiantado)	0,4	64,0
Protótipo Cônico 6 Aletas Meio	0,0	63,8
Protótipo Plano 6 Aletas Meio	0,0	65,0

4.3 Determinação da Vazão

O equipamento utilizado nas avaliações tem, como característica, uma ampla faixa de dosagens que pode aplicar, bem como uma velocidade de deslocamento durante a aplicação maior. Para determinar a abertura de comporta utilizada nas avaliações dos perfis de distribuição, foram analisados os resultados obtidos da vazão ($\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$) da ureia nas aberturas de comporta nº 10, 20, 30, 40 e 50 (Figura 12).



Figura 12 – Vista do distribuidor durante determinação da vazão.

Os resultados apresentados, na Figura 13 (Pg. 50), refletem as características do equipamento, mostrando a alta vazão que pode ser aplicada. Com base nos resultados obtidos e tendo uma largura projetada de 22 m, obtida em outras avaliações realizadas com ureia, definiu-se a abertura nº 10 para ser utilizada na avaliação dos protótipos.

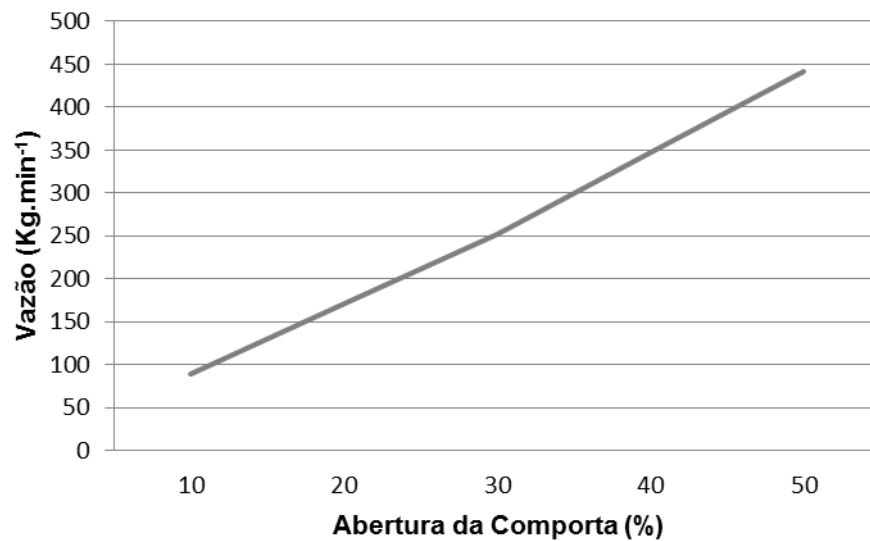


Figura 13 – Vazão de ureia (Kg.min⁻¹) para as diferentes posições de abertura da comporta dosadora.

4.4 Avaliação dos Discos

No Quadro 2, estão os valores médios obtidos nas bandejas coletoras após as 3 repetições de cada tratamento. Como o objetivo é a determinação do perfil transversal, a quantidade de bandejas coletoras para os diferentes tratamentos não foi definida. Sendo assim, para facilitar a visualização, os valores encontrados foram “igualados” ao tratamento que obteve maior utilização de bandejas coletoras.

Coletores	Valores médios obtidos - peso (g)				
	T1	T2	T3	T4	T5
LE 40	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
LE 39	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
LE 38	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
LE 37	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
LE 36	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00
LE 35	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
LE 34	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
LE 33	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00
LE 32	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00
LE 31	0,00	0,10	1,00	0,00	0,00
LE 30	0,00	0,13	1,20	0,00	0,00
LE 29	0,00	0,07	1,30	0,00	0,00
LE 28	0,00	0,20	1,70	0,00	0,00

(continua)

(continuação)

Coletores	Valores médios obtidos - peso (g)				
	T1	T2	T3	T4	T5
LE 27	0,10	0,27	1,80	0,00	0,00
LE 26	0,13	0,20	1,90	0,00	0,00
LE 25	0,17	0,30	1,83	0,10	0,00
LE 24	0,20	0,33	2,10	0,17	0,00
LE 23	0,30	0,43	1,97	0,23	0,17
LE 22	0,33	0,57	2,10	0,30	0,23
LE 21	0,33	0,70	2,00	0,33	0,27
LE 20	0,37	0,77	2,07	0,33	0,30
LE 19	0,57	0,83	1,60	0,47	0,30
LE 18	0,77	0,97	1,57	0,70	0,43
LE 17	0,87	1,10	1,37	0,80	0,57
LE 16	1,07	1,23	1,63	1,00	0,83
LE 15	1,43	1,33	1,20	1,00	0,80
LE 14	1,43	1,27	1,17	1,17	0,97
LE 13	1,60	1,53	1,03	1,43	1,37
LE 12	2,03	1,73	0,90	1,50	1,40
LE 11	1,77	1,73	1,07	1,70	1,40
LE 10	2,30	2,00	0,80	1,83	1,67
LE 9	2,23	1,90	0,83	2,07	1,77
LE 8	2,37	1,70	0,80	2,23	2,07
LE 7	2,70	2,10	0,70	2,87	2,20
LE 6	2,80	2,03	0,63	2,93	2,67
LE 5	2,57	2,13	0,53	3,10	2,90
LE 4	3,00	2,03	0,70	3,30	3,07
LE 3	3,00	2,03	0,70	3,30	3,07
LE 2	3,17	2,03	0,63	4,83	4,63
LE 1	3,17	2,03	0,63	4,83	4,63
BC	3,07	2,03	0,70	5,20	4,90
LD 1	3,13	1,80	0,73	4,23	4,83
LD 2	3,13	1,80	0,73	4,23	4,83
LD 3	2,70	1,87	0,57	3,47	3,17
LD 4	2,70	1,87	0,57	3,47	3,17
LD 5	2,63	1,83	0,70	3,03	2,90
LD 6	2,37	1,70	0,67	2,90	2,47
LD 7	2,47	1,83	0,70	2,40	2,20
LD 8	2,17	1,80	0,70	2,10	1,90
LD 9	2,07	1,87	0,77	1,90	1,47
LD 10	1,83	1,73	0,80	1,57	1,37
LD 11	1,73	1,67	0,90	1,33	1,30
LD 12	1,37	1,80	0,83	1,23	1,07
LD 13	1,40	1,63	1,00	1,03	1,03
LD 14	1,27	1,63	1,07	0,83	0,93
LD 15	1,23	1,63	1,23	0,83	0,77

(continua)

(conclusão)

Coletores	Valores médios obtidos - peso (g)				
	T1	T2	T3	T4	T5
LD 16	0,83	1,40	1,27	0,63	0,43
LD 17	0,80	1,37	1,53	0,50	0,43
LD 18	0,60	1,67	1,63	0,40	0,33
LD 19	0,53	1,27	1,90	0,33	0,33
LD 20	0,37	1,20	2,07	0,20	0,20
LD 21	0,37	1,10	2,03	0,17	0,13
LD 22	0,20	0,87	2,23	0,13	0,10
LD 23	0,13	0,90	2,30	0,10	0,13
LD 24	0,13	0,73	2,17	0,00	0,07
LD 25	0,13	0,87	2,10	0,00	0,00
LD 26	0,07	0,53	1,97	0,00	0,00
LD 27	0,07	0,43	1,70	0,00	0,00
LD 28	0,00	0,47	1,57	0,00	0,00
LD 29	0,00	0,20	1,43	0,00	0,00
LD 30	0,00	0,17	1,17	0,00	0,00
LD 31	0,00	0,17	1,00	0,00	0,00
LD 32	0,00	0,13	0,77	0,00	0,00
LD 33	0,00	0,10	0,63	0,00	0,00
LD 34	0,00	0,07	0,43	0,00	0,00
LD 35	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
LD 36	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00
LD 37	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
LD 38	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
LD 39	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
LD 40	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00

Quadro 2 - Valores médios coletados na avaliação em cada tratamento. T1 – Disco Convencional 0% do curso das aletas, T2 – Disco Convencional 50% do curso das aletas, T3 – Disco Convencional 100% do curso das aletas, T4 – Disco Cônico 6 Aletas Meio, T5 – Disco Plano 6 Aletas Meio.

Analisando os resultados, o que podemos observar é a maior quantidade de produto nas bandejas coletoras mais próximas à faixa central em comparação com as mais distantes, sendo uma característica marcante da aplicação com distribuidores centrífugos. O disco convencional com 100% do curso das aletas é o único que não apresenta essa característica. Outro ponto que podemos analisar é com relação à largura de distribuição, que, aparentemente, pela maior utilização de bandejas coletoras, é maior nos discos convencionais, dado que só poderá ser comprovado com a análise da distribuição transversal, apresentada a seguir.

4.4.1 Distribuição Transversal

A determinação do perfil de distribuição transversal para o disco convencional em três posições diferentes tem como finalidade a escolha de seu melhor resultado para uma comparação com o perfil de distribuição obtido pelos protótipos. Na Figura 14, temos uma visão do momento da realização da avaliação. Todas as repetições ocorreram nesse mesmo sentido de deslocamento do equipamento.



Figura 14 – Vista do distribuidor durante avaliação do perfil transversal.

Para analisar o perfil transversal, são apresentados dois gráficos para cada disco avaliado (Convencional em 3 posições e os 2 Protótipos Cônico e Plano), os quais são representativos do comportamento do perfil de distribuição transversal e do CV. Os gráficos do comportamento do perfil permitem uma fácil visualização da distribuição em toda a largura da faixa de deposição, porém, sem a contribuição da sobreposição de passadas adjacentes. Por outro lado, os gráficos representativos do

CV permitem visualizar as variações de volume de produto ocorridas em toda a largura da faixa de distribuição, com a contribuição da sobreposição de passadas adjacentes, que buscam corrigir as diferenças de quantidade de produto aplicado em cada segmento da faixa de distribuição, segundo o sistema de trabalho adotado – contínuo ou alternado (FARRET, 2005).

4.4.1.1 Disco Convencional

As Figuras 15, 16 (Pg.55) e 17 (Pg. 55), apresentam o perfil de distribuição de ureia para o disco convencional nas três posições avaliadas. O gráfico é gerado a partir do *software* Adulanço® e apresenta, no eixo das ordenadas, o peso em gramas que cada coletor recebeu, e, no eixo das abscissas, a distância entre os coletores extremos, onde houve deposição de produto.

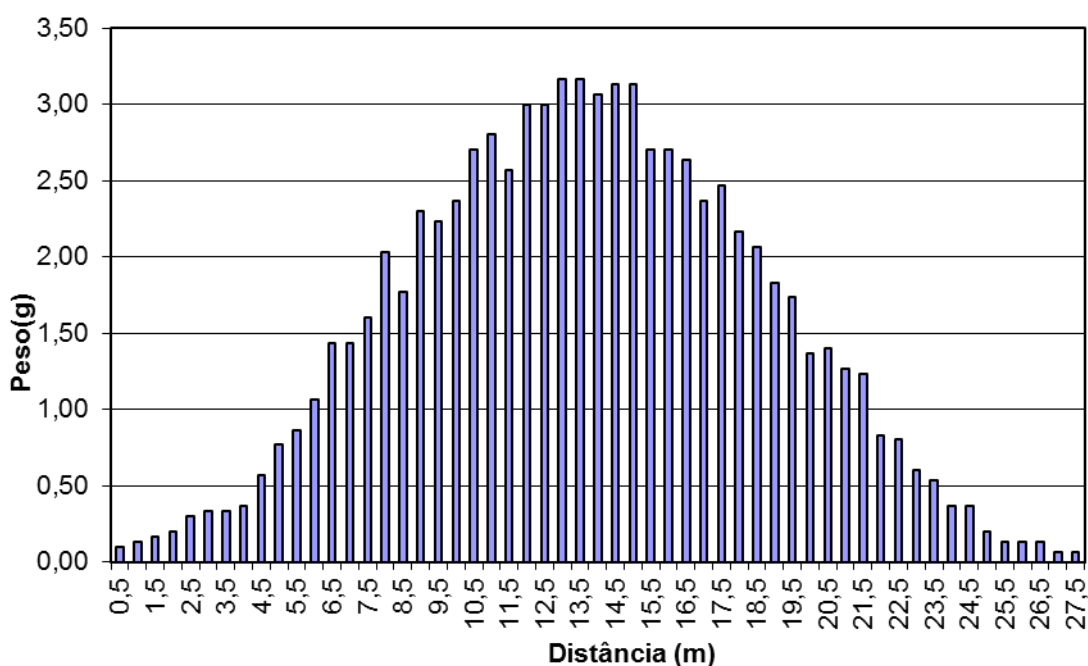


Figura 15 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 0% do curso das aletas.

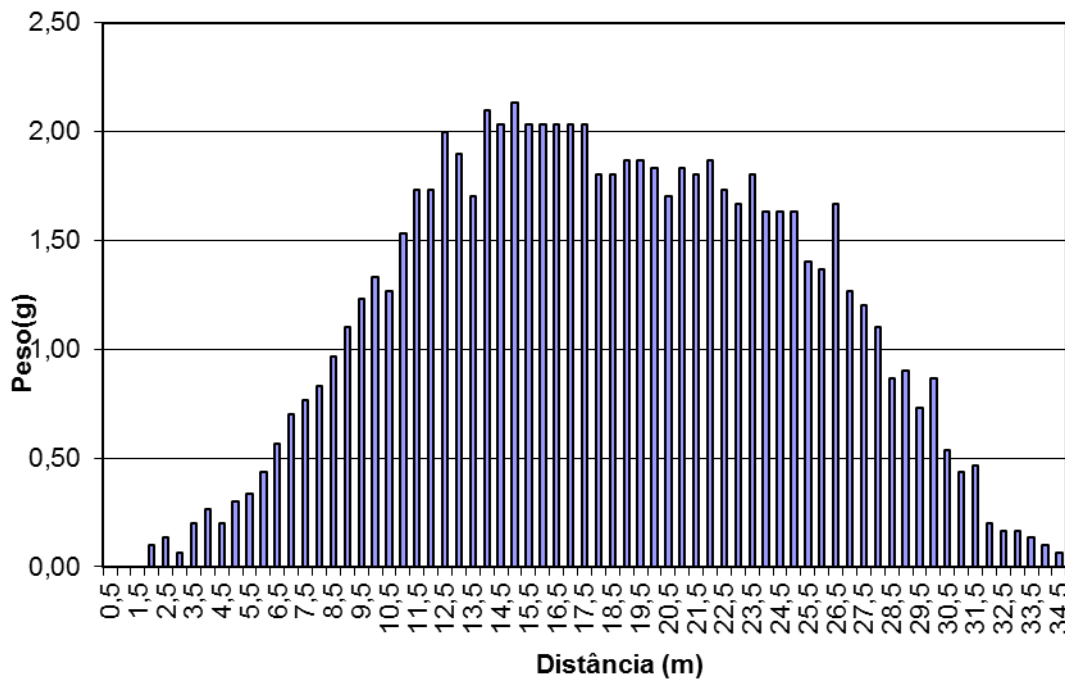


Figura 16 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 50% do curso das aletas.

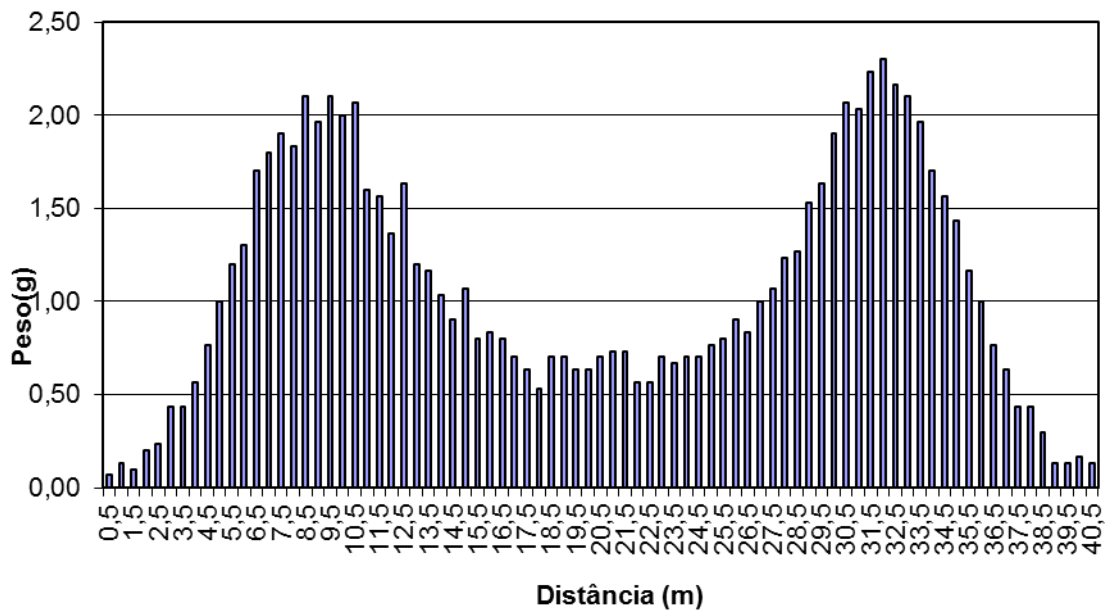


Figura 17 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 100% do curso das aletas.

Analisando os gráficos do perfil de distribuição, percebe-se que as três posições utilizadas para o disco convencional apresentaram características diferentes.

Na posição de 0% do curso das aletas, houve uma distribuição mais simétrica, com os lados direito e esquerdo apresentando características semelhantes. Para o disco convencional com 50% do curso das aletas, ocorreu uma maior uniformidade da aplicação ao longo da distribuição, porém, apresentando assimetria na distribuição, com maior deposição de ureia no lado direito do distribuidor.

No caso da posição de 100% do curso das aletas, é característica desse posicionamento a maior deposição de produto fora da faixa central, apresentando o formato de perfil de distribuição transversal diferente do que foi visualizado na Figura 17 (Pg. 55).

Os resultados obtidos para o coeficiente de variação (%), em função da largura de trabalho (m) para a ureia, nos diferentes métodos (Sistemas Alternado Direito, Alternado Esquerdo e Contínuo), estão apresentados nas Figuras 18, 19 (Pg. 57) e 20 (Pg.57).

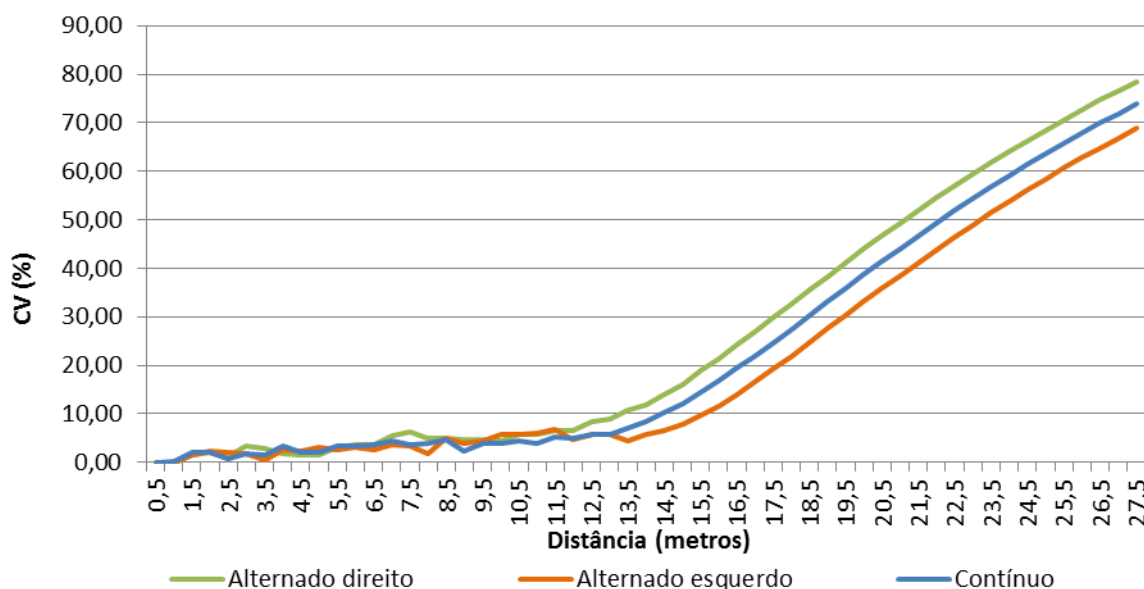


Figura 18 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 0% do curso das aletas.

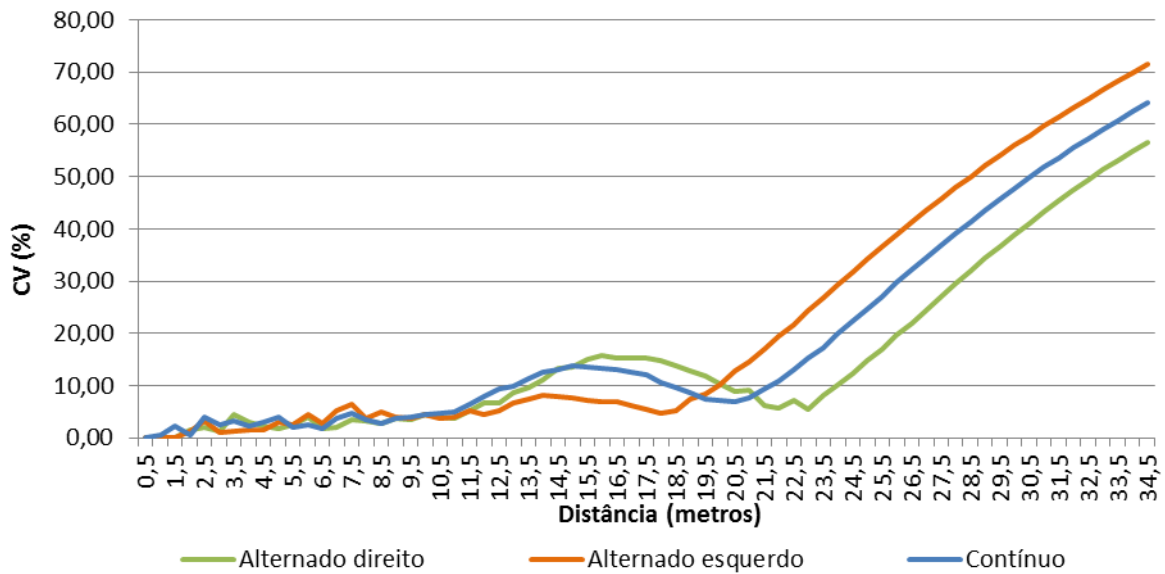


Figura 19 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 50% do curso das aletas.

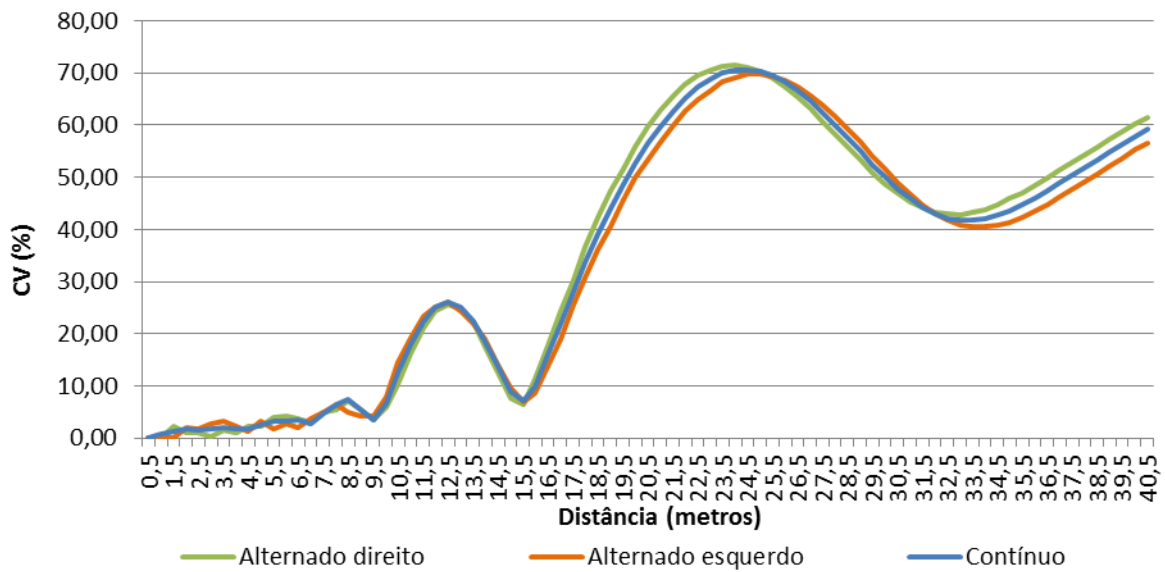


Figura 20 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco convencional na posição 100% do curso das aletas.

Adotando como pré-estabelecido um coeficiente de variação máximo de 15%, pode-se observar que a largura de trabalho para o disco convencional, na posição 0% do curso das aletas, foi de aproximadamente 15 metros, considerando o método de trabalho que obteve a menor distância, chegando próximo aos 17 metros, no sistema alternado esquerdo.

A largura de trabalho para o disco convencional, na posição 50% do curso das aletas, foi a que apresentou maior valor, chegando aos 25 metros no sistema alternado direito. Analisando a disponibilidade dos 3 métodos de trabalho, temos, ainda, 21 metros de largura de trabalho para um CV abaixo de 15%.

No caso do disco convencional 100% do curso das aletas, o resultado de um perfil de distribuição, como o apresentado na Figura 17, traz, como consequência, essa grande variação no CV, que pôde ser observado na Figura 20. Examinando o gráfico, temos duas possibilidades de análise: na primeira, a largura de trabalho é de 16 metros com o CV de 15%, independente das variações anteriores na distribuição e, na segunda, aponta uma largura de trabalho de 10 metros, valor onde o CV máximo de 15% é ultrapassado pela primeira vez. Os resultados completos para esse ensaio estão apresentados no apêndice A.

Após apresentar os resultados da avaliação para o disco convencional nas 3 posições, determinou-se que a posição de 50% do curso das aletas, mesmo apresentando assimetria no perfil de distribuição, será a utilizada para fazer o comparativo com o resultado obtido nas avaliações dos protótipos, visto que foi a posição que apresentou melhores resultados quanto a largura de trabalho, dentro do coeficiente de variação de até 15%. No entanto, não significa que essa escolha seja a melhor distribuição realizada pelo equipamento, pois, outras regulagens, em posições intermediárias, poderiam apresentar melhores resultados.

4.4.1.2 Protótipo Cônico 6 Aletas Meio

As Figuras 21 e 22 (Pg. 59) apresentam, respectivamente, o perfil de distribuição e o coeficiente de variação, em função da largura de trabalho, obtidos para o protótipo Cônico 6 Aletas Meio.

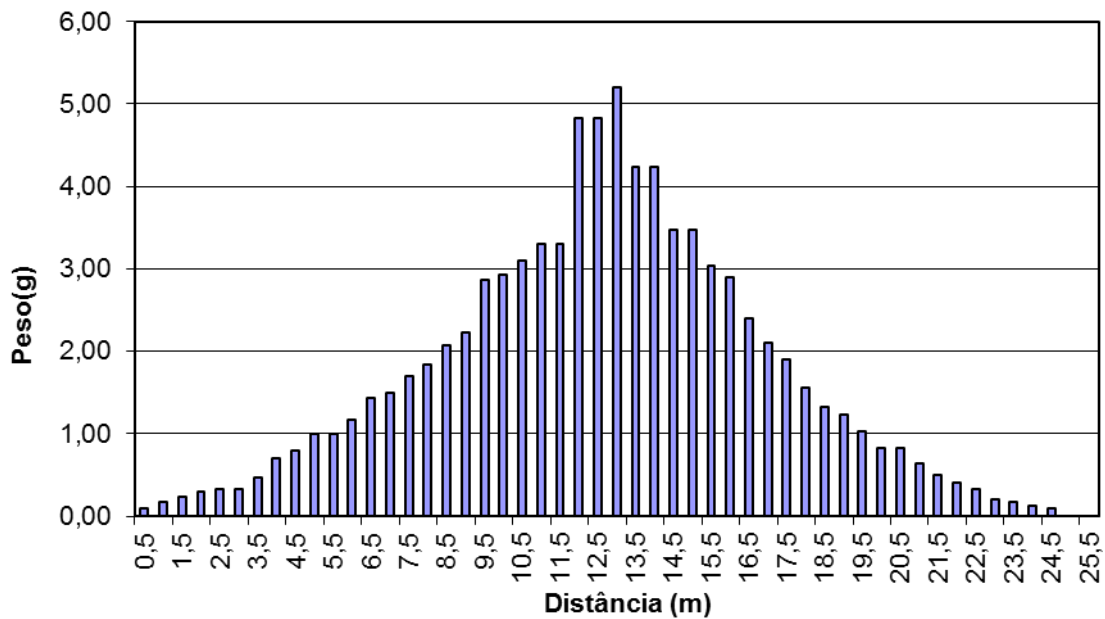


Figura 21 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco Cônico 6 Aletas Meio.

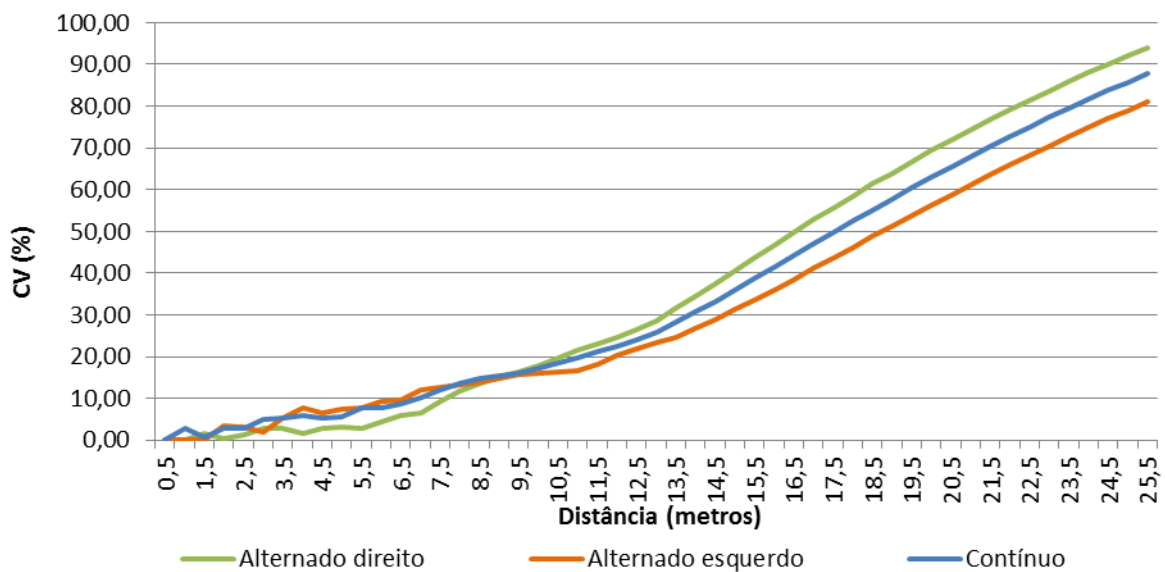


Figura 22 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco Cônico 6 Aletas Meio.

Como observado na Figura 21, o perfil de distribuição transversal de ureia para o protótipo cônico tem, como característica marcante, a maior quantidade de produto que foi depositada na região central dos coletores. Principalmente, no que diz respeito ao peso obtido nos coletores, visto que, em uma distância de 4 metros, o peso chegou a um valor de menos da metade do inicial.

No que diz respeito ao resultado obtido para a largura de trabalho, o protótipo cônico apresentou, para o CV de 15%, uma largura inferior aos 10 metros, independente do método de trabalho utilizado, como pôde ser visualizado na Figura 22. O apêndice A apresenta o resultado completo do ensaio.

4.4.1.3 Protótipo Plano 6 Aletas Meio

O perfil de distribuição transversal para o protótipo plano (Figura 23) mostrou a mesma característica de concentração de produto, na região central da distribuição, que o protótipo cônico visto anteriormente, porém, de forma mais acentuada, nos coletores centrais. Na distribuição, destaca-se a simetria apresentada no perfil.

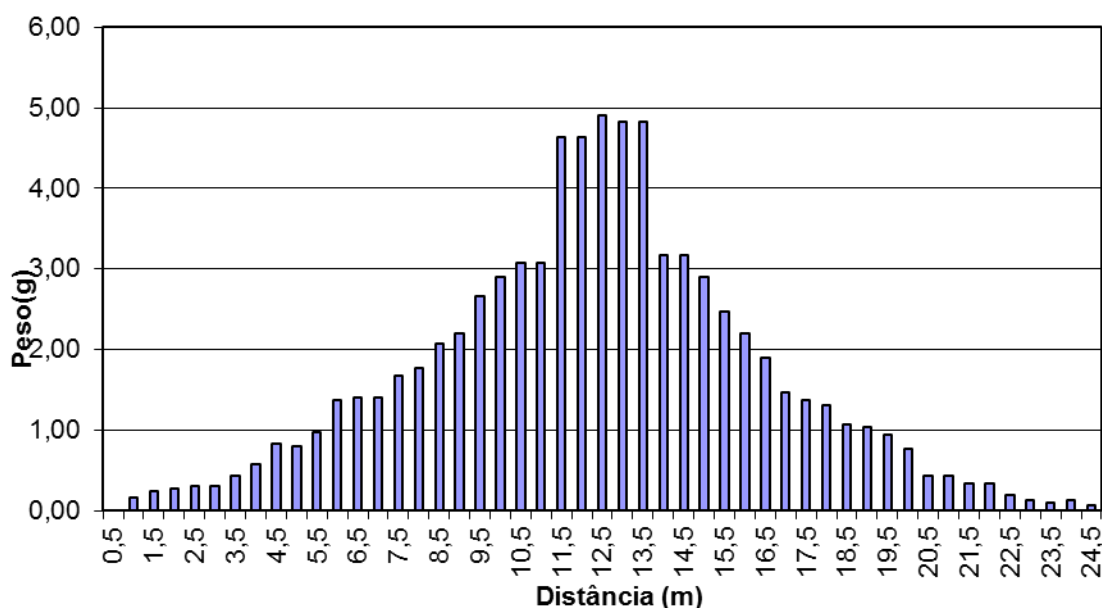


Figura 23 – Perfil de distribuição transversal de ureia com o disco Plano 6 Aletas Meio.

O perfil transversal de distribuição do protótipo Plano 6 Aletas Meio está apresentado na Figura 24 (Pg.61). Pode-se observar que, os resultados da largura de trabalho, em todos os métodos de aplicação, obtiveram valor semelhante, sendo esse disco o que apresentou menor valor de largura de trabalho, chegando a, no máximo, 7,5 metros para o CV estipulado de 15%. O apêndice A traz o resultado completo desse ensaio.

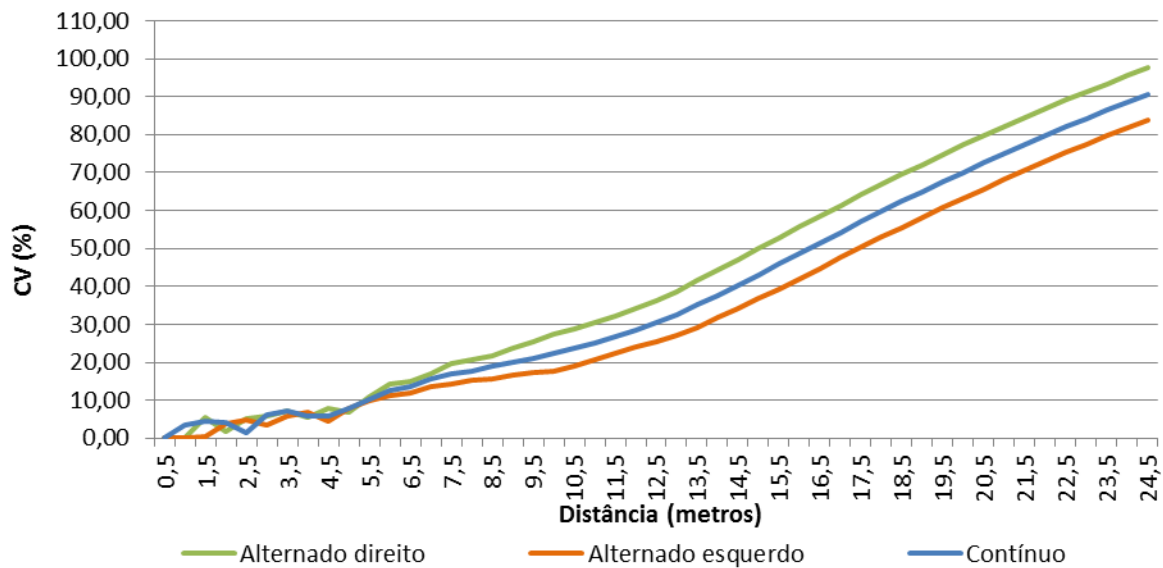


Figura 24 – Coeficiente de variação na distribuição transversal de ureia com o disco Plano 6 Aletas Meio.

4.4.2 Distribuição Longitudinal

A avaliação do perfil longitudinal mostra a uniformidade da distribuição ao longo do deslocamento do distribuidor (Figura 25, Pg. 62). Para o perfil longitudinal, os gráficos foram feitos considerando, no eixo das abscissas, os coletores e, no eixo das ordenadas, o peso obtido em cada um desses coletores.

Nas Figuras 26 (Pg. 62), 27 (Pg. 63), 28 (Pg. 32), 29 (Pg. 64) e 30 (Pg. 64), são apresentados os perfis longitudinais para os discos convencionais nas 3 posições (0%, 50% e 100% do curso das aletas) e para os 2 protótipos (Cônico 6 Aletas Meio e Plano 6 Aletas Meio).



Figura 25 – Vista do distribuidor durante perfil longitudinal.

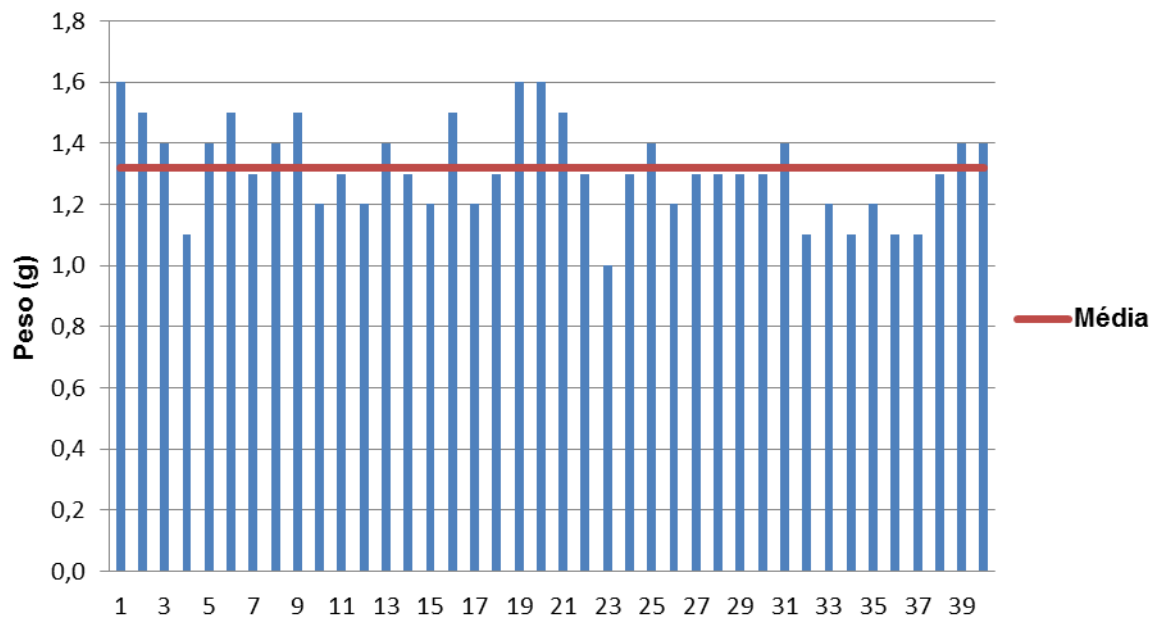


Figura 26 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco convencional na posição 0% do curso das aletas.

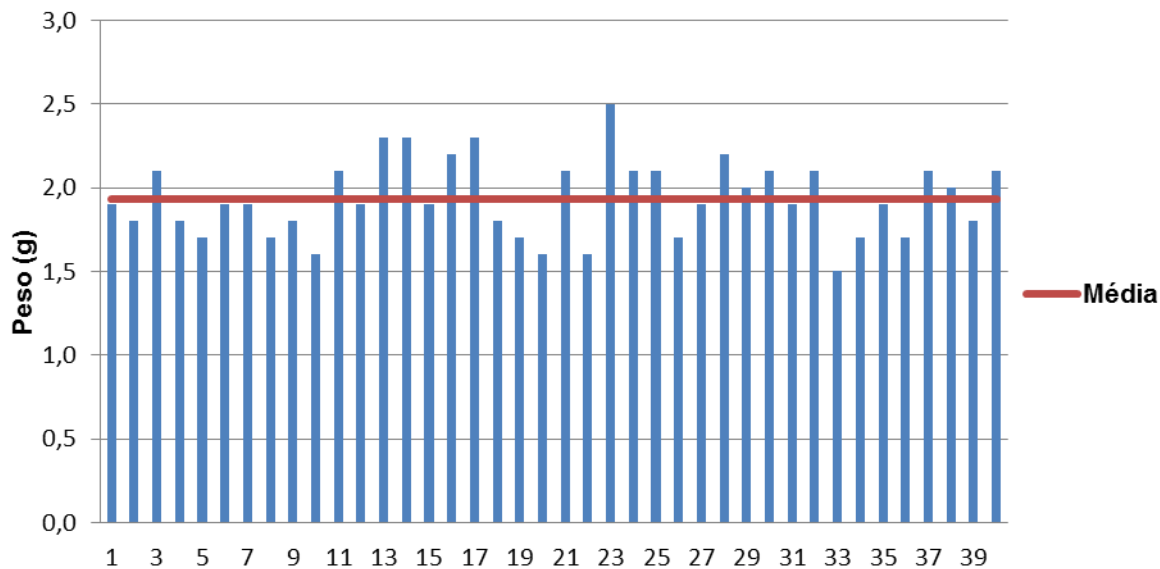


Figura 27 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco convencional na posição 50% do curso das aletas.

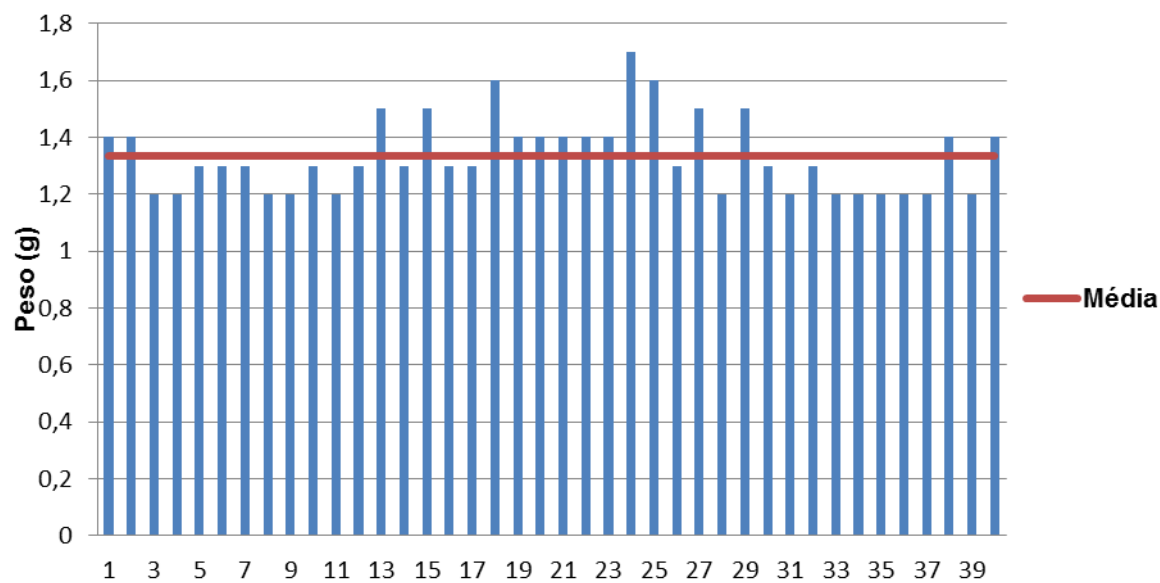


Figura 28 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco convencional na posição 100% do curso das aletas.

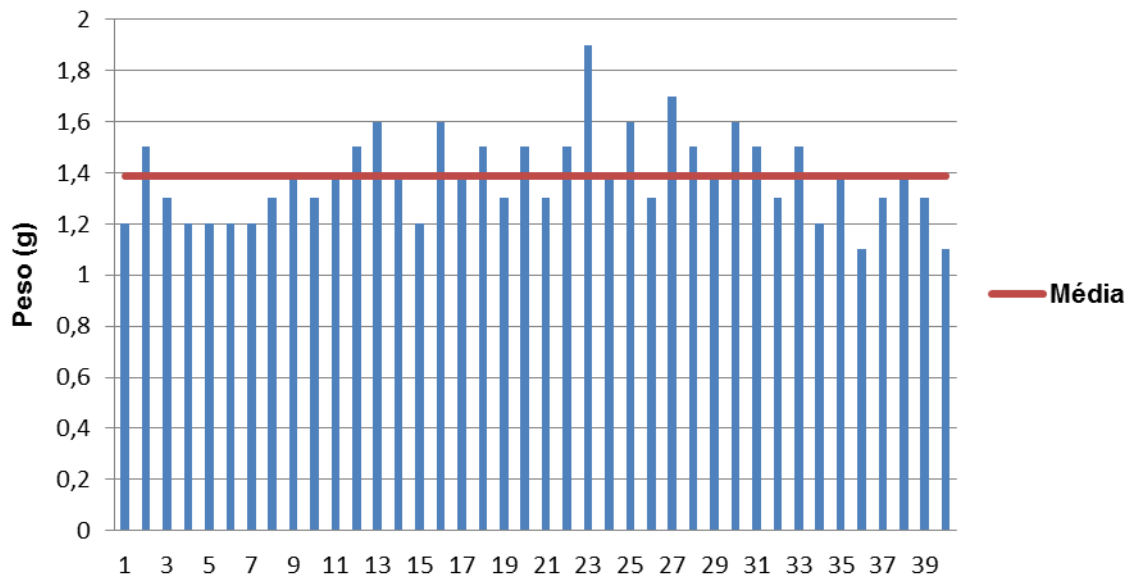


Figura 29 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco Cônico 6 Aletas Meio.

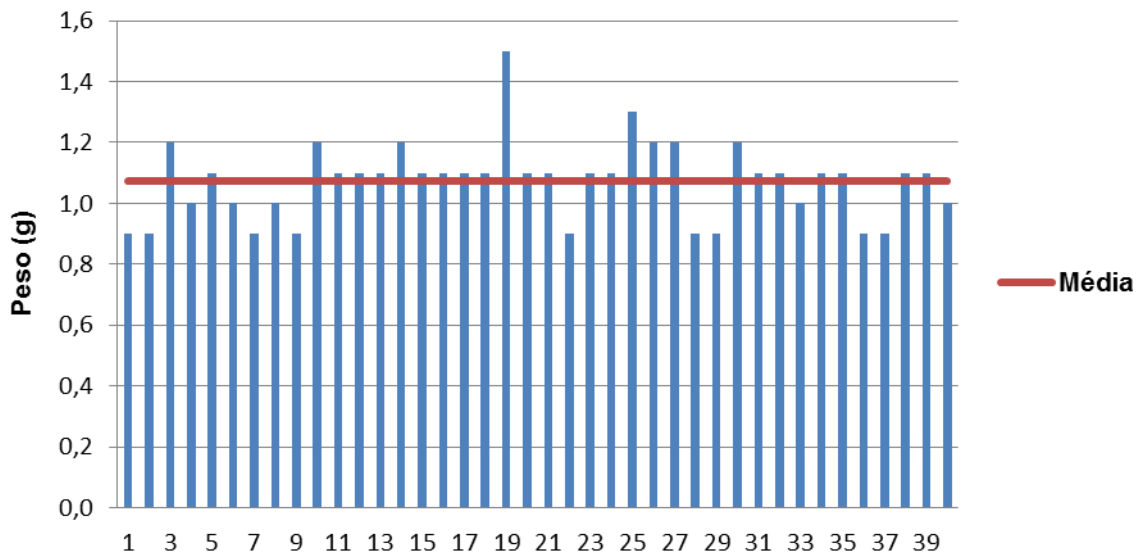


Figura 30 – Perfil de distribuição longitudinal de ureia com o disco Plano 6 Aletas Meio.

Analisando os gráficos, percebeu-se que, independente do disco avaliado, seja ele o convencional nas 3 posições ou os protótipos cônico e plano, a característica do perfil longitudinal demonstra uma uniformidade da distribuição ao longo do deslocamento do distribuidor. Os valores distanciam-se pouco, em relação a média, sendo que, as variações encontradas nos perfis longitudinais são normais e não apresentam problemas para a distribuição. Todavia, deve ser lembrado que o

nível de fertilizante no depósito pode afetar a vazão do mecanismo dosador e, por consequência, a distribuição longitudinal (HACHUY, 2008).

4.4.3 Comparativo entre Disco Convencional e Protótipos

Com as avaliações do perfil transversal realizadas, comparou-se o disco convencional 50% do curso das aletas e os protótipos Cônico 6 Aletas Meio e Plano 6 Aletas Meio, cujo resultado pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo nos diferentes sistemas de trabalho entre a largura de aplicação obtida pelo disco convencional 50% do curso das aletas e pelos protótipos cônico e plano, com CV máximo de 15%.

Sistema	Disco Convencional	Disco Cônico 6		Disco Plano 6 Aletas	
	50% curso das aletas	Aletas Meio		Meio	
	Largura (m)	Largura (m)	Variação (%)	Largura (m)	Variação (%)
Alternado Direito	25,0	9,0	- 64,00	6,5	- 74,00
Alternado Esquerdo	21,0	9,0	- 57,14	7,5	- 64,29
Continuo	23,0	8,5	- 63,04	7,0	- 69,57

O que se observou foi um melhor resultado do disco convencional, na posição de 50% do curso das aletas, independente do método de trabalho que possa ser utilizado. Tomando como referência a maior largura obtida pelo disco convencional, de 25 metros, tanto o protótipo cônico quanto o protótipo plano apresentaram larguras inferiores – 64% e 74%, respectivamente.

Outra característica que se percebeu, durante a avaliação, foi a maior deposição de produto pelos protótipos no centro da faixa de deposição. Porém, uma grande quantidade desse produto não estava mais na forma granular e, sim, em pó, devido ao choque com a chapa defletora na hora do lançamento.

4.4.4 Comparativo entre discos cônico e plano

Na Tabela 5 (Pg. 67), está apresentado o comparativo entre os protótipos, com o objetivo de analisar o desempenho das formas de disco – cônico ou plano.

Tabela 5 - Comparativo nos diferentes sistemas de trabalho entre a largura de aplicação obtida pelo protótipo Cônico 6 Aletas Meio e pelo protótipo Plano 6 Aletas Meio, com CV máximo de 15%.

Sistema	Disco Cônico 6 Aletas Meio	Disco Plano 6 Aletas Meio	
	Largura (m)	Largura (m)	Variação (%)
Alternado Direito	9,0	6,5	- 27,78
Alternado Esquerdo	9,0	7,5	- 16,67
Contínuo	8,5	7,0	- 17,65

Na análise do resultado obtido quanto ao desempenho da forma do disco, o formato cônico apresentou, em sua melhor situação (método de trabalho alternado direito), 9 metros de largura de trabalho, valor quase 28% superior à forma plana. Na melhor situação da forma plana (método alternado esquerdo), com 7,5 metros de largura de trabalho, o resultado foi 16,67% menor que o disco na forma cônica. Os resultados obtidos por Dallmeyer (1985) evidenciam a mesma tendência, já que, ao avaliar discos cônicos e planos com calcário, obteve resultados semelhantes.

5. CONCLUSÕES

Entre as posições avaliadas para o disco convencional, a de 50% do curso das aletas foi a que apresentou o melhor perfil de distribuição transversal, chegando a 25 metros no sistema alternado direito, sendo a utilizada no comparativo com os protótipos.

Quanto ao perfil de distribuição transversal, o protótipo cônico apresentou 9 metros de largura de trabalho para os sistemas alternado direito e esquerdo. Já o protótipo plano, apresentou como melhor resultado 7,5 metros, no sistema alternado esquerdo.

Na avaliação do perfil de distribuição longitudinal, tanto o disco convencional nas 3 posições quanto os protótipos cônico e plano mostraram uma distribuição uniforme.

Na comparação entre o disco convencional e os protótipos, o disco convencional mostrou melhores resultados para todos os métodos de trabalho.

Entre os protótipos, na avaliação da forma do disco, o cônico apresentou melhor desempenho.

6. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se a realização da avaliação para os demais tipos de produto que a norma ISSO 5690/1 recomenda, principalmente em pó.

Modificar o local da queda do produto nos protótipos. A largura de distribuição alcançada por eles pode ser maior se essa mudança for aplicada, pois as partículas terão a possibilidade de atingir mais velocidade e alcançar distâncias maiores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. R. **Utilização de Métodos Estatísticos na Fiscalização do Comércio de Fertilizantes no Estado do Paraná.** 2004. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC. 2004.

BALASTREIRE, L.A. COELHO, J.L.D. **Boletim Técnico Nº 7: Aplicação Mecanizada de Fertilizantes e Corretivos.** 2ª ed. ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo – SP. 2000.

DALLMEYER, A. U. **Desenvolvimento de um rotor cônico para distribuição de calcário seco.** 1985. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1985.

DORNELLES, M. E. **Inspeção técnica de pulverizadores agrícolas no Rio Grande do Sul.** 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DURIGON, R. **Aplicação de Técnicas de Manejo Localizado na Cultura do Arroz Irrigado (*Oryza sativa* L.)** 2007. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FARRET, I. S.. **Efeito da variação da regulação no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos.** 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FARRET, I. S., SCHLOSSER, J. F., DURIGON, R., WERNER, V., KNOB, M. **Variação da regulação no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos.** Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.7, p.1886-1892, out, 2008.

GONÇALVES, A.O.; MOLIN, J.P.; MENEGATTI, I. A.A. **Adulção 2.0 – Software para análise de distribuição transversal** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. CD-ROM

HACHUY, L. **Desempenho de uma distribuidora a lanço com dois tipos de produtos aplicados com diferentes posições de aletas nos discos.** 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP. 2008.

HENN, E. L. **Máquinas de fluxo.** Santa Maria RS, Editora UFSM, 2001.

ISO. International Standard Organization. ISO 5690/1. **Equipment for distributing fertilizers – Test methods – Part 1 : Full width fertilizers distributors.** ISO Standards handbook 13. Agricultural machinery. 1983, p373-385.

LUZ, P. H. C., OTTO, R., VITTI, G. C., QUINTINHO, T. A., ALTRAN, W. S., IKEDA, R. **Otimização da aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes.** IPNI International Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas. nº 129. março 2010.

MARINI, V. K. **Fatores de Influência e Funções Técnicas no Projeto de Máquinas Agrícolas: Uma Contribuição Teórica.** 2007. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2007.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria para la preparación del suelo, la implantación de los cultivos y la fertilización.** Madrid: Blake y Helsey España S.L., Editores, 2001. 496 p.

MATAIX, C. **Turbomaquinas Hidráulicas.** Madri: Ed. ICAI, 1975.

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

MILAN, M.; GADANHA JUNIOR, C. D. Ensaio & Certificação das máquinas para aplicação de adubos e corretivos. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba – SP. Fundação de Estudos Agrários Luis de Queirós, 1996. 722 p.

MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; VASARHELYI, A. **Programa computacional para análise de distribuição transversal em aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL,1, 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. v.4.

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

MOLIN, J.P.; MENEGATTI, L.A.A.; PEREIRA, L.L.; CREMONINI, L.C.; EVANGELISTA, M. **Testing a Fertilizer Spreader with VRT**. IN: PROCEEDINGS OF THE WORLD CONGRESS OF COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 2002, Foz do Iguaçu. Proceedings of the World Congress in Agriculture and Natural Resources. St. Joseph : ASAE, 2002. p. 232-237.

MOLIN, J. P. . **Adubo no lugar certo**. Cultivar Máquinas, Pelotas, , v. 13, p. 12 - 15, julho. 2002.

MOLIN, J. P., MACHADO, T. M., MAGALHÃES, R. P., FAULIN, G. D. C. **Segregação de fertilizantes aplicados a lanço**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.29, n.4, p.614-622, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, C.A.A.; BRAUNBECK, O.A.; VOLPATO, C.E.S. **Simulação da varredura da superfície por um cortador de base segmentado**. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.25, n.3, p.774-782, 2005.

OLIVEIRA, C. A. A., BRAUNBECK, O. A., VOLPATO, C. E. S. **Análise do movimento e desenvolvimento de um protótipo de cortador basal com discos bi-articulados.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.11, n.2, p.230-234, 2007.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HERNANZ, J.L. **Tecnica de La Mecanizacion Agraria.** Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1989. 654 p.

PRIMO, M. A. **Coletores alternativos para a determinação da largura de trabalho de distribuidores de fertilizantes sólidos.** 2007. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon – PR. 2007.

PRIMO, M. A.; FEY, E.; KUNZ, V. L.; POLETTI, L. D.; FURLAN, L. **Avaliação da distribuição transversal de distribuidores de fertilizantes sólidos com variação de doses de ureia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. Anais... Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. CD-ROM.

ROLAS – Rede oficial de laboratórios de análise de solo e de tecido vegetal. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas.** 2003. 266f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2003.

SALDANHA, E. C. M. **Boletim Informativo: Qualidade na Aplicação a Lanço de Fertilizantes.** 2008. Disponível em: <<http://www.serrana.com.br/boletim-informativo/novembrodezembro-2008---qualidade-na-aplicacao-a-lanco-de-fertilizantes.aspx>>. Acesso em: 27/10/2011.

SERRANO, J. M., PEÇA, J. O., MENDES, J. & SERRAZINA, H. 2005. **Novas perspectivas na utilização de distribuidores de adubo: inovação e avaliação.** Revista da Associação Portuguesa de Mecanização Agrária, Nº 2: 40-44, 46.

SILVA, E. N. da. **Projeto Preliminar de um disco centrífugo para distribuição de ureia.** 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2011.

SILVA, P. E. H. **Capacidade de trabalho e uniformidade de distribuição de dois distribuidores centrífugos de fertilizantes.** 1982. 182 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 1982.

SOUZA, J.M. **Desempenho de um distribuidor centrífugo de disco na semeadura de arroz.** 1984. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 1984.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering Principles of Agricultural Machines.** Michigan : American Society of Agricultural Engineers, 1993. 601 p.

VALDEZ, E. **Determinacion y estudio de los perfiles de distribucion de superfosfato, hiperfosfato y urea granulados, aplicados com la fertilizadora centrifuga.** 2A-E-400. Agrinter 14 (4): 01-42, 1978.

8 APÊNDICE

8.1 Apêndice A - Resultados do Coeficiente de Variação na distribuição da uréia com o disco convencional nas 3 posições e os 2 protótipos para os 3 sistemas de trabalho.

Disco Convencional 0% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
1	0,5	0,00	0,00	0,00
2	1	0,00	0,00	0,23
3	1,5	1,50	1,38	1,90
4	2	1,92	2,30	1,94
5	2,5	1,12	1,95	0,67
6	3	3,26	1,69	1,86
7	3,5	2,84	0,53	1,38
8	4	1,69	2,48	3,29
9	4,5	1,38	2,17	2,02
10	5	1,40	3,14	2,06
11	5,5	3,08	2,60	3,33
12	6	3,57	3,10	3,40
13	6,5	3,72	2,51	3,60
14	7	5,47	3,72	4,30
15	7,5	6,19	3,38	3,67
16	8	5,02	1,76	3,81
17	8,5	5,05	5,06	4,76
18	9	4,79	3,77	2,37
19	9,5	4,73	4,33	3,92
20	10	4,34	5,69	3,99
21	10,5	5,79	5,82	4,44
22	11	5,73	6,07	3,94
23	11,5	6,52	6,82	5,17
24	12	6,60	4,73	4,81
25	12,5	8,35	5,74	5,86
26	13	8,87	5,77	5,74
27	13,5	10,70	4,38	7,18
28	14	11,73	5,70	8,26
29	14,5	13,97	6,45	10,15
30	15	16,10	7,77	11,99
31	15,5	18,94	9,65	14,38
32	16	21,33	11,62	16,72
33	16,5	24,28	13,82	19,37
34	17	26,97	16,59	21,96
35	17,5	29,87	19,14	24,62
36	18	32,58	21,84	27,52
37	18,5	35,54	24,67	30,36
38	19	38,37	27,56	33,14

(continua)

(conclusão)

Disco Convencional 0% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
39	19,5	41,25	30,32	35,98
40	20	43,97	33,13	38,78
41	20,5	46,72	35,84	41,49
42	21	49,35	38,56	44,19
43	21,5	51,98	41,20	46,81
44	22	54,53	43,78	49,40
45	22,5	57,03	46,37	51,91
46	23	59,44	48,90	54,38
47	23,5	61,80	51,36	56,79
48	24	64,09	53,76	59,14
49	24,5	66,32	56,12	61,40
50	25	68,49	58,39	63,62
51	25,5	70,60	60,59	65,77
52	26	72,65	62,72	67,86
53	26,5	74,65	64,80	69,89
54	27	76,59	66,82	71,88
55	27,5	78,50	68,79	73,81

Disco Convencional 50% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
1	0,5	0,00	0,00	0,00
2	1	0,00	0,00	0,60
3	1,5	0,00	0,15	2,18
4	2	1,66	1,30	0,53
5	2,5	1,93	3,28	4,03
6	3	1,39	1,14	2,63
7	3,5	4,49	1,39	3,15
8	4	3,02	1,43	2,34
9	4,5	2,33	1,54	2,97
10	5	1,81	2,99	4,05
11	5,5	2,63	2,53	1,99
12	6	4,10	4,54	2,60
13	6,5	1,77	2,85	1,76
14	7	2,05	5,20	3,71
15	7,5	3,61	6,55	4,64
16	8	3,21	3,81	3,44
17	8,5	2,66	5,05	2,66
18	9	3,74	4,10	3,72
19	9,5	3,57	3,76	4,06

(continua)

(continuação)

Disco Convencional 50% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
20	10	4,38	4,58	4,48
21	10,5	3,93	3,75	4,86
22	11	3,76	4,09	5,06
23	11,5	5,19	5,15	6,36
24	12	6,73	4,41	8,00
25	12,5	6,64	5,25	9,49
26	13	8,78	6,77	9,84
27	13,5	9,74	7,51	11,37
28	14	11,04	8,25	12,65
29	14,5	13,25	8,03	12,96
30	15	13,54	7,60	13,94
31	15,5	15,10	7,31	13,70
32	16	15,77	6,98	13,36
33	16,5	15,28	6,85	13,00
34	17	15,34	6,12	12,57
35	17,5	15,39	5,51	12,06
36	18	14,81	4,69	10,59
37	18,5	13,89	5,13	9,73
38	19	12,92	7,52	8,69
39	19,5	11,78	8,50	7,41
40	20	10,37	10,11	7,29
41	20,5	8,86	12,74	6,96
42	21	9,06	14,64	7,67
43	21,5	6,30	16,99	9,38
44	22	5,78	19,54	10,83
45	22,5	7,11	21,79	13,15
46	23	5,57	24,28	15,30
47	23,5	8,14	26,85	17,36
48	24	10,09	29,32	19,97
49	24,5	12,44	31,79	22,36
50	25	14,82	34,19	24,74
51	25,5	17,11	36,56	27,18
52	26	19,67	38,91	29,67
53	26,5	21,87	41,23	32,12
54	27	24,45	43,46	34,44
55	27,5	27,09	45,67	36,87
56	28	29,52	47,86	39,13
57	28,5	31,98	49,94	41,29
58	29	34,40	52,01	43,54
59	29,5	36,67	54,04	45,69
60	30	38,96	55,95	47,75
61	30,5	41,17	57,84	49,80
62	31	43,31	59,71	51,77

(continua)

(conclusão)

Disco Convencional 50% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
63	31,5	45,42	61,50	53,68
64	32	47,45	63,24	55,54
65	32,5	49,40	64,96	57,34
66	33	51,29	66,63	59,10
67	33,5	53,12	68,26	60,82
68	34	54,90	69,86	62,49
69	34,5	56,63	71,41	64,11

Disco Convencional 100% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
1	0,5	0,00	0,00	0,00
2	1	0,00	0,00	0,87
3	1,5	2,33	0,13	1,30
4	2	0,98	2,05	1,70
5	2,5	1,08	1,74	1,53
6	3	0,32	2,88	1,84
7	3,5	1,63	3,18	2,12
8	4	1,12	2,24	1,72
9	4,5	2,16	1,32	1,90
10	5	2,24	3,17	2,53
11	5,5	4,05	1,81	3,24
12	6	4,14	2,71	3,29
13	6,5	3,74	2,08	3,60
14	7	3,08	3,72	2,80
15	7,5	4,90	5,10	4,64
16	8	5,38	6,57	6,43
17	8,5	7,31	5,06	7,47
18	9	5,58	4,36	5,48
19	9,5	3,46	4,17	3,50
20	10	5,90	7,83	6,81
21	10,5	10,50	14,51	12,47
22	11	16,23	19,18	17,97
23	11,5	21,23	23,38	22,36
24	12	24,39	25,20	25,11
25	12,5	25,53	26,16	26,08
26	13	24,97	24,41	25,12
27	13,5	22,20	22,00	22,45
28	14	17,59	19,07	18,55
29	14,5	12,47	14,04	13,71

(continua)

(continuação)

Disco Convencional 100% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
30	15	7,76	9,74	8,85
31	15,5	6,55	7,00	7,14
32	16	11,42	8,75	9,93
33	16,5	17,76	13,82	16,14
34	17	24,38	19,08	21,96
35	17,5	30,34	25,60	28,06
36	18	36,53	30,80	33,65
37	18,5	42,18	36,06	39,08
38	19	47,40	40,70	43,99
39	19,5	51,73	45,73	48,64
40	20	55,78	49,79	52,72
41	20,5	59,69	53,46	56,47
42	21	62,84	56,79	59,82
43	21,5	65,57	60,04	62,73
44	22	67,80	62,60	65,23
45	22,5	69,50	64,98	67,26
46	23	70,61	66,56	68,85
47	23,5	71,31	68,20	69,93
48	24	71,43	69,09	70,48
49	24,5	71,05	69,77	70,64
50	25	70,21	69,67	70,30
51	25,5	68,94	69,40	69,50
52	26	67,32	68,62	68,22
53	26,5	65,37	67,34	66,60
54	27	63,18	65,73	64,65
55	27,5	60,72	63,83	62,50
56	28	58,25	61,78	60,09
57	28,5	55,78	59,29	57,53
58	29	53,30	56,74	54,94
59	29,5	50,90	54,13	52,48
60	30	48,77	51,64	50,06
61	30,5	46,92	49,03	47,81
62	31	45,33	46,79	45,86
63	31,5	44,17	44,73	44,25
64	32	43,35	43,11	42,98
65	32,5	42,92	41,69	42,13
66	33	42,88	40,90	41,79
67	33,5	43,26	40,47	41,75
68	34	43,89	40,45	42,07
69	34,5	44,76	40,71	42,67
70	35	45,86	41,37	43,64
71	35,5	47,05	42,37	44,72
72	36	48,40	43,47	45,96

(continua)

(conclusão)

Disco Convencional 100% curso das aletas				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
73	36,5	49,85	44,78	47,34
74	37	51,35	46,17	48,81
75	37,5	52,79	47,69	50,31
76	38	54,27	49,17	51,78
77	38,5	55,80	50,69	53,29
78	39	57,28	52,20	54,79
79	39,5	58,71	53,71	56,27
80	40	60,11	55,19	57,71
81	40,5	61,52	56,63	59,13

Protótipo Cônico 6 Aletas Meio				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
1	0,5	0,00	0,00	0,00
2	1	0,00	0,00	2,72
3	1,5	1,49	0,13	0,67
4	2	0,47	3,55	2,75
5	2,5	1,31	3,07	2,92
6	3	2,74	2,07	4,99
7	3,5	2,97	5,35	5,41
8	4	1,65	7,79	5,90
9	4,5	2,76	6,54	5,28
10	5	3,01	7,53	5,61
11	5,5	2,87	7,61	7,66
12	6	4,45	9,31	7,74
13	6,5	6,01	9,71	8,63
14	7	6,54	11,98	10,23
15	7,5	9,34	12,58	12,05
16	8	11,87	13,21	13,58
17	8,5	13,46	13,86	14,75
18	9	15,07	14,68	15,37
19	9,5	16,27	15,67	16,20
20	10	17,98	15,90	17,24
21	10,5	19,66	16,25	18,46
22	11	21,45	16,81	19,85
23	11,5	23,13	18,22	21,25
24	12	24,65	20,21	22,54
25	12,5	26,33	21,76	24,16
26	13	28,74	23,34	26,01
27	13,5	31,58	24,78	28,32

(continua)

(conclusão)

Protótipo Cônico 6 Aletas Meio				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
28	14	34,52	26,65	30,78
29	14,5	37,54	28,79	33,34
30	15	40,62	31,26	35,96
31	15,5	43,68	33,63	38,65
32	16	46,72	36,07	41,39
33	16,5	49,77	38,55	44,17
34	17	52,74	41,06	46,94
35	17,5	55,65	43,68	49,69
36	18	58,52	46,24	52,43
37	18,5	61,34	48,79	55,13
38	19	64,06	51,32	57,79
39	19,5	66,74	53,85	60,41
40	20	69,35	56,35	62,98
41	20,5	71,90	58,81	65,49
42	21	74,38	61,22	67,95
43	21,5	76,81	63,58	70,38
44	22	79,17	65,92	72,74
45	22,5	81,46	68,22	75,05
46	23	83,70	70,49	77,31
47	23,5	85,89	72,71	79,50
48	24	88,02	74,87	81,65
49	24,5	90,10	76,97	83,75
50	25	92,14	79,04	85,81
51	25,5	94,12	81,06	87,81

Protótipo Plano 6 Aletas Meio				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
1	0,5	0,00	0,00	0,00
2	1	0,00	0,00	3,44
3	1,5	5,54	0,36	4,38
4	2	1,88	3,72	4,06
5	2,5	5,19	4,71	1,40
6	3	5,96	3,54	6,20
7	3,5	7,17	5,77	7,20
8	4	5,66	6,80	5,86
9	4,5	7,91	4,40	5,98
10	5	6,86	7,86	8,00
11	5,5	10,98	9,98	10,25
12	6	14,19	11,29	12,45
13	6,5	14,89	12,05	13,66

(continua)

(conclusão)

Protótipo Plano 6 Aletas Meio				
Coletores Sobrepostos	Largura de Aplicação	Coeficiente de Variação		
		Alternado Direito	Alternado Esquerdo	Contínuo
14	7	16,87	13,52	15,53
15	7,5	19,76	14,30	16,93
16	8	20,82	15,45	17,61
17	8,5	21,80	15,78	18,88
18	9	23,61	16,77	19,96
19	9,5	25,31	17,46	20,91
20	10	27,39	17,74	22,27
21	10,5	28,85	19,04	23,89
22	11	30,56	20,65	25,18
23	11,5	32,19	22,37	26,85
24	12	34,02	23,93	28,55
25	12,5	36,17	25,43	30,45
26	13	38,66	27,20	32,50
27	13,5	41,46	29,23	35,10
28	14	44,22	31,69	37,69
29	14,5	47,05	34,28	40,34
30	15	49,90	36,88	43,09
31	15,5	52,81	39,41	45,88
32	16	55,68	42,08	48,65
33	16,5	58,56	44,81	51,47
34	17	61,34	47,55	54,26
35	17,5	64,13	50,25	57,04
36	18	66,88	52,92	59,75
37	18,5	69,55	55,55	62,38
38	19	72,13	58,12	64,98
39	19,5	74,71	60,72	67,57
40	20	77,25	63,26	70,13
41	20,5	79,73	65,72	72,61
42	21	82,14	68,18	75,04
43	21,5	84,48	70,60	77,41
44	22	86,79	72,97	79,75
45	22,5	89,05	75,26	82,02
46	23	91,25	77,50	84,24
47	23,5	93,40	79,68	86,40
48	24	95,51	81,82	88,52
49	24,5	97,57	83,93	90,60