

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

Dauto Pivetta Carpes

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MECANISMO
ADAPTÁVEL EM DOSADOR PNEUMÁTICO PARA
INDIVIDUALIZAÇÃO DE SEMENTES DE ARROZ**

Santa Maria, RS
2019

Dauto Pivetta Carpes

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MECANISMO ADAPTÁVEL EM
DOSADOR PNEUMÁTICO PARA INDIVIDUALIZAÇÃO DE SEMENTES DE ARROZ**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço

Santa Maria, RS
2019

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor (a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Carpes, Dauto
DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MECANISMO ADAPTÁVEL
EM DOSADOR PNEUMÁTICO PARA INDIVIDUALIZAÇÃO DE SEMENTES
DE ARROZ / Dauto Carpes.- 2019.
128 p.; 30 cm

Orientador: Airton Alonço
Coorientadores: Catize Brandelero, Márcia Peiter
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2019

1. Semeadura de precisão 2. Ensaio em laboratório 3.
Projeto de Máquinas Agrícolas 4. Mecanismo Dosador de
sementes I. Alonço, Airton II. Brandelero, Catize III.
Peiter, Márcia IV. Título.

© 2019

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

Endereço: Rua Júlio de Castilhos, n. 1445, Bairro Rivera, Jaguari, RS. CEP: 97.760-000. Fone: (55) 9 9983-5583. E-mail: dautocarpes@gmail.com

Dauto Pivetta Carpes

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MECANISMO ADAPTÁVEL EM
DOSADOR PNEUMÁTICO PARA INDIVIDUALIZAÇÃO DE SEMENTES DE ARROZ**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 22 de abril de 2019

**Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Alessandro Dal'Col Lúcio, Dr. Eng. (UFSM)

Mauro Fernando Ferreira, Dr. Eng. (UFPEL)

Paula Machado dos Santos, Dra. Eng. (IFFar)

Tiago Rodrigo Francetto, Dr. Eng. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

*Aos meus pais Amâncio Dauto Flores Carpes e Saráí Pivetta Carpes por todo amor,
carinho, incentivo e apoio em todas as fases da minha vida, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradecer, é o gesto mínimo que podemos fazer para tantos que nos auxiliam a vencer obstáculos com o intuito de alcançarmos nossos objetivos.

Agradeço a Deus pela fé, saúde e sabedoria para contornar momentos de dificuldade, não nos deixando esmorecer.

Aos meus pais Amâncio Dauto Flores Carpes e Saraí Pivetta Carpes pela educação, apoio, carinho e incentivo ao estudo que sempre me transmitiram.

A minha família, irmã, sobrinhas, tios, tias, primos e avós, por toda a energia positiva, incentivo e palavras de apoio, bem como a presença nos momentos de descontração familiar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço, pela amizade, companheirismo, carinho, respeito e convivência nestes quase 10 anos entre o período de iniciação científica, mestrado e doutorado.

As professoras Catize Brandelero e Marcia Peiter, por aceitarem compor meu comitê de orientação.

Ao professor Moacir Eckhardt, responsável pelo laboratório de CNC do Colégio Técnico Industrial da UFSM (CTISM) e ao Técnico administrativo em educação Carlos Benetti, pela recepção e colaboração na usinagem dos discos dosadores utilizados neste trabalho.

Ao Engenheiro Mecânico Gabriel Chagas, pela valiosa ajuda na elaboração e dimensionamento dos leiautes das concepções geradas e utilizadas neste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) por todo conhecimento transmitido e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido no decorrer do curso.

Aos professores Alessandro Dal'Col Lúcio, Mauro Fernando Ferreira, Paula Machado dos Santos e Tiago Rodrigo Francetto, por aceitarem o convite em compor a banca de avaliação e também pelas valiosas contribuições fornecidas.

A secretária executiva do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Luciana Nunes, por sua eficiência e comprometimento para nos auxiliar perante as atividades do programa.

A todos os amigos e colegas do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), Antônio Robson Moreira, Arthur Pires, Bruno Zart, Luana Knierim, Pablo Alonço, Vitor Scherer, Rafael Becker, Gessieli Possebom, Tiago

Lopes, pela amizade, companheirismo, momentos de descontração e auxílio nas etapas de elaboração deste trabalho.

A todas essas pessoas e também a algumas que aqui não foram citadas, mas que, direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão de mais essa importante etapa em minha vida, o meu muito obrigado.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito”.

Marthin Luther King

RESUMO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MECANISMO ADAPTÁVEL EM DOSADOR PNEUMÁTICO PARA INDIVIDUALIZAÇÃO DE SEMENTES DE ARROZ

AUTOR: Dauto Pivetta Carpes

ORIENTADOR: Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço

Este trabalho teve por objetivo desenvolver e avaliar uma concepção composta por disco dosador e mecanismo raspador/exclutor para utilização em dosador apanhador com auxílio pneumático, já existente no mercado agrícola, para realização da individualização de sementes de arroz. As avaliações foram realizadas no laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas, vinculado à Universidade Federal de Santa Maria. Foi utilizado delineamento experimental em blocos ao acaso com arranjo bifatorial em faixas 3x9 em quatro repetições, totalizando cento e oito unidades experimentais. O fator A, é composto por diferentes concepções do dosador desenvolvido, em três níveis; o fator D, é constituído pelas densidades de semeadura, velocidade tangencial dos discos dosadores e diferentes níveis de pressão negativa, em nove níveis. Para realização dos ensaios em condição de laboratório observaram-se as normas ABNT (1994), NBR (1987), ISO 7256/1 (1984) e ABNT 9743 (1987). A avaliação da danificação física das sementes demonstrou que o mecanismo denominado disco 1 proporcionou os menores índices, mantendo um elevado percentual de integridade. Com relação a avaliação das concepções, foi observado que os mecanismos apresentaram diferentes comportamentos de acordo com a variação do nível de pressão negativa e velocidade tangencial do disco dosador para obtenção de um maior número de sementes por metro. Ao aumentar o diâmetro do orifício do disco dosador, juntamente com o nível de pressão negativa, ocorreu o aumento do percentual de espaçamentos múltiplos, porém para o disco 3, que possui o maior diâmetro, esta elevação causou aumento do índice de espaçamentos falhos e danificação mecânica. O disco 1 apresentou o menor índice de danificação e os melhores resultados para a variável espaçamentos aceitáveis, não havendo diferença significativa entre as pressões negativas empregadas, obtendo médias de 42,00; 43,57 e 43,50 para as densidades de 20 e 30 sementes por metro, respectivamente.

Palavras Chave: Semeadura de precisão, Ensaio em laboratório, Projeto de Máquinas Agrícolas, Mecanismo Dosador de sementes.

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF AN ADAPTABLE MECHANISM IN PNEUMATIC METERING FOR THE INDIVIDUALIZATION OF RICE SEEDS

AUTHOR: Dauto Pivetta Carpes

ADVISOR: Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço

The objective of this research was to develop and evaluate a design composed of metering disc and scraper/excluder mechanism for its use in a picking doser with pneumatic aid, already existing in the agricultural market, to perform the individualization of rice seeds. The evaluations were conducted in the Agricultural Machinery Research and Development laboratory, linked to the Federal University of Santa Maria. A randomized block experimental design with bifactorial arrangement in 3x9 bands was used in four replications, totaling one hundred and eight experimental units. Factor A is composed of different conceptions of the developed doser, in three levels; factor D consists of seeding densities, tangential velocity of the metering discs and different levels of negative pressure, in nine levels. For the accomplishment of the tests in laboratory condition, the standards ABNT (1994), NBR (1987), ISO 7256/1 (1984) and ABNT 9743 (1987) were observed. The evaluation of the physical damage of the seeds showed that the mechanism labeled as disc 1 provided the lowest indexes, maintaining a high percentage of integrity. Regarding the evaluation of the conceptions, it was observed that the mechanisms presented different behaviors according to the variation of the negative pressure level and the tangential speed of the metering disc in order to obtain a larger number of seeds per meter. When increasing the diameter of the orifice of the metering disc, along with the negative pressure level, it increased the percentage of multiple spacings, however, for disc 3, which has the largest diameter, this rise caused an increase in the index of faulty spacing and mechanic damaging. Disc 1 presented the lowest damaging index and the best results for the variable acceptable spacings, with no significant difference among the employed negative pressures, obtaining averages of 42.00; 43.57 and 43.50 for the densities of 20 and 30 seeds per meter, respectively.

Key words: Precision Seeding, Laboratory Testing, Agricultural Machinery Design, Seed Metering Mechanism.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Representação esquemática do funcionamento de um dosador pneumático	31
Figura 2 - Adequação da semente ao orifício do disco dosador	39
Figura 3 - Dosador de disco alveolar horizontal	42
Figura 4 - Dosador pneumático a vácuo	43
Figura 5 - Dosador de sementes de cilindro acanalado	44
Figura 6 - Dosador de disco alveolar inclinado.....	45
Figura 7 - Dosador mecânico de disco vertical com dedos prensores	46
Figura 8 - Bancada de ensaio de doadores de sementes (BEDOSA).....	50
Figura 9 - Esteira revestida com feltro.....	51
Figura 10 - Dosador Pneumático.....	52
Figura 11 - Ventilador Centrífugo	53
Figura 12 - Determinação do ângulo de repouso das sementes	54
Figura 13 - Fluxo das fases e processos que envolvem o projeto.....	56
Figura 14 - Fluxograma da sequência de etapas da fase de projeto informacional	57
Figura 15 - Fluxograma da sequência de etapas da fase de projeto conceitual.....	61
Figura 16 - Diagrama de Mudge utilizado para valoração dos requisitos/ necessidades dos clientes	79
Figura 17 - Hierarquização dos requisitos do projeto utilizando o QFD (<i>Quality Function Deployment</i>)	81
Figura 18 - Ilustração das seções do alvéolo e cavidade de alojamento das sementes (Vistas lateral e frontal)	88
Figura 19 - Ilustração do disco dosador e mecanismo raspador/ individualizador de sementes duplas (Perspectiva Frontal).....	89
Figura 20 - Ilustração do disco dosador e mecanismo exclusor de sementes duplas (Perspectiva lateral)	89
Figura 21 - Ilustração do disco dosador e mecanismo exclusor de sementes duplas (Perspectiva inclinada)	90
Figura 22 - Ilustração da concepção do mecanismo exclusor de sementes	90
Figura 23 - Ilustração do mecanismo para fixação rápida.....	92
Figura 24 - Ilustração do disco dosador sem furos (Disco Cego).....	93
Figura 25 - Máquina CNC e fixação do disco para construção do protótipo	93
Figura 26 - Imagem para determinação do ângulo de repouso das sementes	94
Figura 27 - Equações de regressão para as três densidades de semeadura e percentuais de espaçamentos aceitáveis, múltiplos, falhos e precisão para sementes de arroz.	105
Figura 28 - Valores médios percentuais de acurácia das diferentes configurações em função das densidades de semeadura.....	108

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos dos clientes obtidos pela aplicação de questionário	59
Tabela 2 - Espaçamentos e densidade de semeadura para sementes de arroz.....	67
Tabela 3 - Configurações utilizadas nos discos dosadores de acordo com as dimensões das sementes.....	68
Tabela 4 - Configurações utilizadas na bancada de ensaios de dosadores.....	69
Tabela 5 - Classificação do intervalo de espaçamentos entre sementes.....	71
Tabela 6 - Arranjo experimental dos tratamentos executados nas avaliações.....	72
Tabela 7 - Ciclo de vida do mecanismo de individualização para sementes de arroz.	75
Tabela 8 - Requisitos dos clientes, requisitos do projeto, métricas de observação e unidades de medidas.	76
Tabela 9 - Descrição dos princípios de solução para dosagem e sementes.....	85
Tabela 10 - Matriz de decisão para seleção das alternativas existentes para a função de individualização de sementes.....	87
Tabela 11 – Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas.	95
Tabela 12 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável sementes por metro.	96
Tabela 13 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável espaçamentos aceitáveis.	98
Tabela 14 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável espaçamentos múltiplos.	100
Tabela 15 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável espaçamentos falhos.	102
Tabela 16 - Fenômenos observados na avaliação complementar de desempenho dos protótipos.....	110

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
Ac	Área da célula
ANOVA	Análise da variância
Aproj	Área projetada da semente
ASAE	Sociedade Americana de Engenharia Agrícola
Auto Cad	Desenho auxiliado por computador
BEDOSA	Bancada de ensaio de dosadores de sementes
Cs	Comprimento da semente
CV	Coeficiente de variação
Deq	Diâmetro equivalente
Es	Espessura da semente
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
Fc	Força centrífuga
Fs	Força de sucção
ha	Hectare
Hz	Hertz
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
ISO	Internacional Organization for Standardization
kPa	Quilopascal
LASERG	Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
Ls	Largura da semente
N	Newton
Pe	Peso da semente
Ps	Pressão de sucção
RPM	Rotações por minuto
SOSBAI	Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado
V	Volt
Vp	Velocidade periférica ($m s^{-1}$)
W	Watt
XREF	Espaçamento teórico nominal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. HIPÓTESES	18
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE SEMENTES, DENSIDADE DE SEMEADURA E A INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS.....	21
4.2 VELOCIDADE DE SEMEADURA.....	25
4.3 DESEMPENHO DE DOSADORES PNEUMÁTICOS.....	30
4.4 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS MECANISMOS DOSADORES DE SEMENTES.....	41
4.4.1 Dosadores de disco alveolar horizontal.....	41
4.4.2 Dosador Pneumático de disco vertical.....	42
4.4.3 Dosadores de sementes de cilindro acanalado.....	43
4.4.4 Dosadores de disco alveolar inclinado	44
4.4.5 Dosadores de dedos preensores.....	45
4.5 ASPECTOS GERAIS DO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES E MÁQUINAS AGRÍCOLAS.....	46
5. MATERIAL E MÉTODOS	50
5.1. MATERIAL.....	50
5.1.1 Bancada de Ensaios.....	50
5.1.2 Mecanismo dosador de sementes.....	52
5.1.3 Sementes	53
5.1.4 Ângulo de repouso das sementes	54
5.2. METODOLOGIA.....	55
5.2.1 Metodologia do projeto de desenvolvimento da concepção para individualização de sementes de arroz	55
5.2.2 Projeto informacional.....	56
5.2.3 Identificação das necessidades dos clientes	58
5.3.1 Declaração do escopo do projeto	61
5.3.2 Elaboração dos princípios de solução para individualização de sementes.....	62
5.3.3 Detalhamento das características operacionais do mecanismo	63
5.3.4 Determinação da pressão negativa	63
5.3.5 Determinação do diâmetro dos alvéolos.....	65
5.3.6 Metodologia de avaliação dos protótipos.....	66
5.3.7 Delineamento experimental e análise dos dados	71
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
6.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO.....	74
6.1.1 Projeto informacional.....	74
6.1.2 Especificações do projeto do produto.....	82
6.2. PROJETO CONCEITUAL.....	84
6.2.1 Seleção das concepções alternativas para individualização de sementes.....	86
6.2.2 Descrição e justificativa da concepção sugerida para a função de individualização de sementes de arroz	87
6.2.3 Construção dos protótipos.....	92
6.3 AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES.....	94
6.4 AVALIAÇÃO COMPLEMENTAR DE DESEMPENHO.....	110
7. CONCLUSÕES	111

REFERÊNCIAS 112

1. INTRODUÇÃO

É cada vez mais importante a eficiente utilização dos meios de produção, na medida em que está ocorrendo a redução do lucro líquido dos produtores, pressionado pelos altos custos de produção e também pelos baixos preços obtidos através da comercialização dos produtos. Esta eficiência, pode ser atribuída também à distribuição de sementes, que tem sido considerada como uma das principais funções da semeadora, pois possui uma influência direta sobre o rendimento das culturas, tanto pela competitividade entre plantas por água, luz e nutrientes, quanto pelo espaço vital.

Para que as condições ideais de solo, clima, disponibilidade de máquinas e áreas cada vez maiores para diluição de custos sejam alcançadas, diminui-se o espaço de tempo ou janela de semeadura disponível para implantação de uma cultura (LEVIEN et al., 1999). Deste modo, as máquinas que tem por função fazer a deposição de sementes e fertilizantes no solo, trabalham em condições fora das ideais recomendadas pelos fabricantes, como por exemplo, velocidades de deslocamento mais elevadas.

Copetti (2012), afirmou que as semeadoras desempenham um papel de grande importância dentro do processo de produção de uma cultura, principalmente no que se refere a uniformidade de distribuição de sementes na linha de semeadura de modo que, a produtividade, pode ser afetada de forma significativa pelo estande final de plantas.

A importância da distribuição das sementes é tão grande para algumas culturas, caracterizadas por serem sensíveis à população de plantas por unidade de área, que as máquinas que realizam a semeadura dessas são denominadas semeadoras de precisão. Nestas, destaca-se a importância dos mecanismos dosadores de sementes, pois são os responsáveis pela precisão da mesma. Esses mecanismos têm por função individualizar as sementes contidas no reservatório, sem danificá-las, e distribuí-las uniformemente de acordo com a necessidade específica de cada cultura.

Por serem considerados os componentes mais importantes da máquina semeadora, grande parte dos estudos realizados para avaliar o desempenho das mesmas é voltado à avaliação destes mecanismos. Estes trabalhos são realizados

pela observação dos espaçamentos entre sementes para que sejam dimensionados os percentuais de precisão, espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos.

O uso de dosadores pneumáticos surgiu como uma resposta a necessidade dos produtores, de modo a aumentar a tecnologia e precisão na operação de semeadura e reduzindo erros devido a parâmetros como: Dosagem de sementes (sem m^{-1}), velocidade de semeadura e classificação das sementes (tamanho e formato).

De acordo com Balastreire (1987), os dosadores pneumáticos apresentam algumas vantagens em relação ao dosador mecânico como, por exemplo, a maior precisão na individualização das sementes e a ausência de danos físicos durante o processo de dosagem, reduzindo as perdas de sementes e a ocorrência de espaços vazios na linha de semeadura.

A pressão de trabalho destes mecanismos, geralmente é recomendada pelo manual do fabricante da máquina. Porém, o estudo relacionado à influência da pressão sobre a precisão na dosagem e distribuição das sementes, não é muito significativo. Outro parâmetro a ser considerado é a adequação do diâmetro e número de orifícios de dosagem dos discos. Estas condições, quando não dimensionadas corretamente, podem interferir na precisão da distribuição longitudinal de sementes e, conseqüentemente, acarretar na redução na produtividade da cultura.

Para semeadura de culturas cujas sementes são miúdas, como por exemplo arroz, trigo, aveia, azevém, entre outras, o mecanismo mais utilizado para dosagem é o rotor acanalado. Esses, tem por característica a operação com a distribuição de elevada quantidade de sementes por metro linear, de modo que a regulagem é efetuada considerando-se a quantidade de kg ha^{-1} de sementes, diferentemente dos dosadores de disco alveolar horizontal e pneumático, que são aferidos para distribuir um determinado número de sementes por metro linear.

A montagem dos mecanismos dosadores nas semeadoras é realizada de tal forma que dificulta a utilização de espaçamentos inferiores a 35 cm entre linhas. Isto faz com que o produtor tenha que adquirir um equipamento para sementes graúdas e outro para sementes miúdas ou utilizar semeadoras múltiplas, as quais são equipadas com dosadores para os dois tipos de sementes devendo-se fazer a adequação dos mecanismos quando é efetuada a mudança de cultura, o que pode reduzir a viabilidade econômica da atividade ou até mesmo reduzir a vida útil do equipamento pelas constantes manutenções. O desenvolvimento de um sistema de dosagem de precisão, que permita a utilização, tanto para sementes graúdas quanto para miúdas,

poderia ser utilizado através da adaptação de linhas desencontradas, maximizando a utilização da semeadora na propriedade.

Deste modo, considerando-se a busca por uma atividade agrícola que proporcione a utilização dos meios de produção de uma forma econômica e racional, através da correta dosagem e deposição de sementes, o objetivo foi desenvolver e avaliar uma concepção, composta por disco dosador e mecanismos individualizadores/exclusores adaptável em mecanismo dosador apanhador com auxílio pneumático, para realização da dosagem de precisão sementes de arroz.

2. HIPÓTESES

I – Se um mecanismo dosador pneumático permite a adaptação de componentes para o trabalho com diferentes culturas, então, é possível desenvolver um componente adaptativo, a partir de um mecanismo existente para a função de individualização de sementes graúdas (milho, soja), através da alteração de componentes internos objetivando utilizar o mesmo para individualização de sementes miúdas (arroz, trigo, aveia).

II - Se a velocidade tangencial do disco individualizador influencia significativamente a distribuição de sementes realizada por esses mecanismos, então, na medida em que esta for elevada, poderá ocorrer a redução na uniformidade de distribuição e precisão nos espaçamentos entre sementes;

III – Se a conformação dos orifícios de dosagem podem proporcionar redução do percentual de espaçamentos aceitáveis entre sementes e elevação do percentual de falhas, então, orifícios de dosagem com menor diâmetro, aliados a velocidades tangenciais maiores e níveis de pressão negativa mais baixos, poderão causar desuniformidade na distribuição de sementes;

IV – Se orifícios de dosagem com maior diâmetro, aliados a maiores níveis de pressão negativa, possuem capacidade superior de captação de sementes, então, mesmo que em velocidades tangenciais maiores, poderão ser alcançados índices satisfatórios de distribuição de sementes por metro linear;

V – Se orifícios de dosagem com maior diâmetro, aliados a maiores níveis de pressão negativa possuem capacidade superior de captação de sementes, então, em velocidades periféricas mais baixas, poderão contribuir para a elevação do percentual de captação múltipla, limitando a ocorrência de espaçamentos normais entre sementes e, conseqüentemente, reduzindo a precisão da distribuição longitudinal;

VI – Se a massa da semente influencia no requerimento de pressão negativa para captação e retenção das mesmas no disco dosador, então, a pressão negativa

necessária poderá ser relativamente baixa, reduzindo o requerimento de potência para geração da mesma;

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar um mecanismo de individualização para sementes de arroz adaptável em dosador pneumático, reduzindo erros de deposição, elevando a precisão da operação de semeadura.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I – Desenvolver e avaliar concepções, compostas por discos e mecanismos excludores para individualização de sementes de arroz, com baixo custo e adaptável a dosadores pneumáticos;

II - Determinar o nível de acurácia das concepções elaboradas, na manutenção do número de sementes de arroz por metro linear, nas diferentes conformações e combinações dos tratamentos;

III - Determinar a porcentagem de precisão entre espaçamentos aceitáveis para os ensaios com sementes de arroz, nas diferentes concepções e combinações dos tratamentos;

IV - Determinar a porcentagem dos espaçamentos de acordo com a medida na classe de frequência em centímetros, classificando-os como aceitáveis, múltiplos e falhos.

V - Determinar a pressão negativa, diâmetro do orifício de dosagem e velocidade angular dos discos dosadores ideais para obtenção de elevados níveis de precisão, bem como no percentual de espaçamentos aceitáveis, classificando as concepções avaliadas de acordo com o desempenho obtido;

VI - Determinar a porcentagem de danificação mecânica nas sementes após a passagem pelo mecanismo dosador.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE SEMENTES, DENSIDADE DE SEMEADURA E A INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

A produtividade de uma cultura pode estar diretamente relacionada com a qualidade em que é realizado o processo de semeadura. Alguns erros cometidos nesta fase, podem gerar perdas irreversíveis no desenvolvimento, estande de plantas e, conseqüentemente, no rendimento de grãos.

Cada planta possui um espaço ideal para realizar seu desenvolvimento e atingir um nível satisfatório de produtividade e, de acordo com Mialhe (2012), a esse espaço se dá o nome de espaço vital, caracterizado pelo espaçamento de plantio, isto é, distância relativa entre plantas ou sementes.

Conforme Pinheiro Neto et al. (2008), quando a distribuição de sementes não possui uniformidade, ocorre o aparecimento de dois problemas que afetam diretamente a produtividade de uma cultura, os espaçamentos duplos e falhos. No caso dos espaçamentos duplos, a competição intraespecífica é favorecida, ou seja, existe uma competição entre as plantas cultivadas; quando ocorrem espaçamentos falhos, no espaço onde deveria existir uma planta cultivada surgem plantas daninhas que competirão com a cultura principal por luz, água, nutrientes, CO₂ e espaço, em um sistema denominado competição interespecífica.

Ainda em relação aos espaçamentos duplos e ao excesso de plantas por unidade de área Gaudêncio et al. (1990), afirmaram que mesmo nos casos onde não se observa a redução na produtividade de grãos, a alteração no arranjo ideal das plantas pode modificar a arquitetura e o aproveitamento de luz, tornando as mesmas suscetíveis ao acamamento e ocasionar perdas no momento da colheita.

A população de plantas por área é o fator que menos afeta a produtividade de uma cultura, segundo Endres (1996), o parâmetro que tem grande influência sobre o rendimento de grãos é uma distribuição longitudinal de sementes de maneira uniforme.

Mesmo com os avanços tecnológicos, ainda há uma limitação das semeadoras-adubadoras na dosagem e distribuição de sementes miúdas, como o arroz, trigo, aveia e outros. Deste modo, os custos de produção podem ser elevados pela subutilização de sementes por hectare. Devido a estes fatores, pesquisadores já iniciaram trabalhos

de desenvolvimento de dosadores de precisão para sementes miúdas (REIS; FORCELLINI, 2009).

No caso da cultura do arroz, de acordo com Massoni (2009), é preciso fazer uso de práticas de manejo como uma melhor distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura e, também, o espaçamento entre linhas, de modo que se eleve a produtividade da cultura sem que haja aumento dos custos de produção.

Mesmo que a cultura do arroz apresente alta plasticidade de seus componentes de produtividade, Guimarães et al. (2003) afirmaram que não é recomendado a utilização de elevadas populações de plantas, devido a este fator favorecer a competição intra-específica e contribuir para a formação de um microclima no dossel de plantas ocasionando o aparecimento e desenvolvimento de doenças fúngicas.

Rieffel Neto et al. (2000), compararam cultivares de arroz com diferentes densidades e espaçamentos entre linhas, os autores concluíram que a maior produtividade de grãos foi obtida com densidades de semeadura de 30 a 90 kg ha⁻¹.

A emissão de perfilhos é, provavelmente, afetada pela densidade de plantas, segundo Counce et al. (1992); este fator poderá aumentar a produção de perfilhos que interferem na captação de luz e competição por nutrientes.

Peske (2004), afirma que a correta distribuição de sementes na linha, pode proporcionar a obtenção de um estande de plantas com maior aproveitamento de fatores que influenciam na produtividade como os nutrientes do solo e também a radiação solar.

A distribuição longitudinal de sementes, na operação de semeadura, é um dos principais aspectos considerados para a obtenção de altas produtividades, de modo que, após a germinação, as plantas ocupem de maneira eficiente o espaço disponível. Marques et al. (2005) referênciam que, existe a possibilidade da redução drástica da quantidade de sementes por hectare, sem que haja alteração do rendimento de grãos, ocorrendo neste caso um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis como água, nutrientes e radiação solar.

Ainda com relação a densidade de plantas Miller et al (1991) concluíram que, ao aumentar a densidade de plantas de 122 para 458 plantas de arroz m⁻², o perfilhamento aumentou, porém, não houve diferença significativa para a produtividade de grãos, o que pode justificar a redução de sementes por metro linear sem alteração da produtividade da cultura.

Rasool et al. (2013), afirmam que o número de sementes por metro linear intervém, de maneira significativa, na produtividade do arroz, devido a este fator influenciar o perfilhamento, a captação de radiação solar e o processo de fotossíntese e a absorção de nutrientes. Segundo os autores, altas densidades de semeadura aliadas a desuniformidade de distribuição de sementes podem favorecer o aumento de produção de palha ao invés de grãos, resultando no sombreamento das plantas.

De acordo com Oliveira et al. (1996), quando são utilizadas semeadoras com baixo nível de precisão na dosagem de sementes, como por exemplo, as equipadas com rotores acanalados, recomenda-se o aumento de 20% na dosagem além do recomendado, para evitar perdas pelos danos causados nas sementes pelo mecanismo dosador, além do aumento dos custos com sementes, isto poderá implicar em uma densidade inadequada para a cultura em questão, alterando a produtividade de grãos.

As recomendações de densidade de semeadura podem variar de acordo com os fatores climáticos predominantes no momento da implantação da lavoura, temperatura e umidade do solo, profundidade de plantio e também condições técnicas e mecânicas da semeadora. A cultivar IRGA 424, por exemplo, recomenda, no mínimo 41 e no máximo 81 sementes por metro linear no espaçamento entre linhas de 13 cm. Já no espaçamento de 17,5 cm, a recomendação pode ser de 56 a 111 sementes por metro (IRGA, 2008).

Carvalho et al. (2006), avaliaram uma cultivar super precoce de arroz de terras altas. Foram utilizadas densidades de semeadura de 50, 80 e 110 sem m^{-1} com espaçamentos entre linhas de 20, 30 e 40 cm respectivamente e parcelas de 5 m de comprimento. Os autores concluíram que, a densidade de semeadura influencia de maneira pouco significativa a altura de plantas e não afeta características como floração média, percentagem de grãos cheios por panícula e incidência de doenças fúngicas nas folhas e panícula, porém, afeta a quantidade de panículas m^{-2} , número de grãos por panícula e a produtividade de grãos.

Para a cultura do trigo, os componentes de rendimento também podem ser afetados pelo arranjo das sementes na linha de semeadura. Mundstock (1999), afirma que, o número de filhos férteis em uma determinada área, pode ser um fator para determinação do rendimento final de grãos sendo que, o perfilhamento da cultura pode ser influenciado pelo arranjo das plantas na linha de semeadura.

Na mesma linha de pensamento Ozturk et al. (2006), afirma que, a competição entre plantas influencia diretamente o perfilhamento e pode alterar o rendimento de grãos e outros componentes de produtividade.

Silveira et al. (2010), concluíram que, o aumento do rendimento de grãos, pode ser alcançado quando existe uma equidistância entre sementes por unidade de área, sendo observado o potencial de perfilhamento de cada genótipo de trigo.

Zagonel et al. (2002), realizaram ensaios avaliando distintas densidades de semeadura de trigo, os autores concluíram que, o aumento da densidade proporcionou a redução da massa seca e diâmetro de caule, tornando a cultura mais susceptível ao acamamento.

Senger (2013), realizou experimentos com populações de plantas de trigo de 45, 60, 75 e 90 plantas m^{-1} e espaçamento entre linhas de 0,17 cm, a autora concluiu que a elevação da densidade de plantas proporcionou a redução do perfilhamento, diâmetro de caule, número de espiguetas por espiga e diminuição da massa de mil grãos, porém, não causou efeito significativo na produtividade.

De acordo com a Reunião da Comissão Centro Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (2005), a população adequada de plantas no campo é determinada de acordo com a densidade de semeadura empregada, que podem variar de 60 a 80 sementes por metro linear, estas quantidades são estabelecidas em função do ciclo, porte da cultivar e também as características regionais de clima e solo.

Bairrão (1991), avaliou densidades de 30, 60, 90, 120 e 150 sementes por metro linear no estado do Paraná, o autor utilizou diferentes cultivares de trigo e não encontrou diferenças significativas das diferentes densidades sobre o rendimento de grãos.

Avaliando produtividade em trigo irrigado Fontes (2000), obteve a maior produtividade com o menor espaçamento entre linhas utilizado 16 cm, a densidade de semeadura não influenciou significativamente na produção de grãos, porém, a elevação da mesma de 150 para 450 sementes m^{-2} , ocasionou uma redução na porcentagem de perfilhamento e também na altura de plantas, além de afetar de forma negativa a quantidade de grãos por espiga.

Os componentes de rendimento e a produtividade de grãos podem sofrer interferência devido à falta de uniformidade de distribuição de sementes na linha de semeadura, bem como também falhas na germinação das sementes, segundo (CASÃO JÚNIOR, 1991).

Ball et al. (2000), expõe que, ao aumentar a densidade de indivíduos ha^{-1} reduz-se o rendimento individual por planta, porém, se obtém um aumento no rendimento por unidade de área.

De acordo com Sangoi (2001), a densidade e o arranjo de plantas exercem grande influência na interceptação e eficiência da conversão de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela área foliar da cultura, este efeito se deve as características morfológicas anatômicas e fisiológicas da planta.

4.2 VELOCIDADE DE SEMEADURA

A velocidade de semeadura é um dos fatores mais importantes a ser considerado na implantação de uma cultura, de modo que, poderá afetar diretamente na precisão da distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura.

O aumento da velocidade de deslocamento da máquina afeta diretamente a velocidade periférica do disco dosador de sementes, esta deverá ser aumentada ou diminuída para que se alcance a quantidade recomendada de sementes por metro linear e, deste modo, quando utilizadas velocidades excessivas, o tempo de exposição da sementes ao alvéolo do disco dosador é reduzido, causando erros de dosagem e deposição de sementes na linha de semeadura (KEPNER et al., 1982; FURLANI et al., 1999; MAHL et al., 2004)

Para Delafosse (1986), a velocidade de trabalho é um dos fatores que mais influencia no desempenho de semeadoras adubadoras, reduzindo a precisão da distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura, influenciando, desta forma, a produtividade das culturas.

De acordo com Rocha et al. (1998), as semeadoras equipadas com dosadores pneumáticos de discos verticais, possuem uma maior eficiência na distribuição longitudinal em comparação as equipadas com dosadores de disco alveolar horizontal. O autor comenta ainda que, os mecanismos dosadores de sementes estão dispostos a uma certa distância em relação ao solo e, depois de dosadas, as sementes são liberadas para os tubos condutores em queda livre até o solo. Sendo assim, esta queda pode interferir no desempenho dos mecanismos dosadores.

Queiroz (1975), afirma que a semeadura é uma das fases mais críticas na produção da cultura da soja, sendo os fatores mais importantes a distância entre linhas, a quantidade de sementes, a profundidade de semeadura e o espaçamento

entre sementes no sulco. O resultado destes fatores são a maior necessidade de cultivo, possibilidade de acamamento prejudicando a colheita mecanizada e um baixo vigor das plantas resultando em uma baixa produtividade dentre estes fatores, de acordo com Kurachi et al. (1989), a velocidade de semeadura é citada como uma das mais importantes.

Porém Kepner et al. (1982), concluíram que a velocidade não é o único fator que influencia na distribuição longitudinal de sementes, outro parâmetro como a dimensão e formato das sementes e o orifício do disco dosador também podem influenciar no arranjo das sementes na linha de semeadura.

Pacheco (1994), informa que a desuniformidade no estabelecimento de plantas poderá dificultar operações subsequentes durante o ciclo da cultura como pulverizações, tratos culturais e a colheita.

A correta distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura, proporcionará um correto arranjo de plantas sendo de grande importância na eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelas folhas para a produtividade da cultura. Este efeito é de maior significância no milho, devido a características morfológicas, anatômicas e fisiológicas das plantas (SANGOI, 2001).

Avaliações realizadas por Kurachi et al. (1989), referenciam que a uniformidade de distribuição longitudinal de sementes como sendo uma das características que tem maior contribuição para um correto estande de plantas e conseqüentemente para a melhoria da produtividade das culturas. De acordo com os autores, os parâmetros utilizados para avaliação da eficiência de mecanismos dosadores de sementes são o coeficiente de variação dos espaçamentos e a distribuição longitudinal de sementes, avaliando-se a percentagem de espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos.

Com resultados encontrados por Queiroz (1975) e Rosolem et al. (1983), é possível afirmar que a distribuição longitudinal poderá gerar prejuízos na produtividade da cultura, assim como, prejudicar a operacionalidade da colheita mecanizada. De acordo com Schuch e Peske (2010), em uma lavoura com alto potencial produtivo, as plantas estão sujeitas a competição entre si. Quanto mais próximas umas das outras, maior será o grau de competição e conseqüentemente, menor o rendimento de grãos dessas plantas.

A velocidade de semeadura e a população de plantas de milho possuem uma relação decrescente, conforme citado por Fey e Santos (2000), ocorre uma redução

de produtividade de grãos, número de espigas e quantidade de grãos por espigas, além da redução dos espaçamentos aceitáveis entre as sementes no sulco de semeadura. A velocidade de deslocamento é um dos fatores mais importantes e pode interferir, não somente na qualidade, mas também, no rendimento operacional da semeadura.

De acordo com Oliveira et al. (2000), o incremento de velocidade influencia significativamente no número de sementes por hectare, população final de plantas, profundidade de semeadura e na distribuição longitudinal de sementes.

Jin Chen et al. (2010), avaliaram o desempenho de uma semeadora pneumática através do movimento das sementes. Os autores concluíram que, com o aumento da velocidade angular do disco dosador, ocorre uma redução da captação e aderência das sementes no mesmo.

Fey et al. (2000), afirma que a uniformidade de distribuição longitudinal foi afetada pelo aumento da velocidade de deslocamento, mas a população de plantas e a produtividade de grãos não sofreu influência.

As semeadoras adubadoras são sensíveis ao aumento da velocidade de deslocamento com relação à precisão na distribuição longitudinal de sementes, de acordo com Kurachi et al. (1993), pode ocorrer uma diminuição na quantidade de sementes distribuídas por unidade de área, independentemente do nível de tecnologia, se a máquina é equipada com dosadores do tipo disco horizontal perfurado, inclinado ou pneumático.

Além disso, de acordo com Mattar (2010), um aumento demasiado de velocidade de deslocamento poderá ocasionar o deslizamento junto ao solo da roda motriz que aciona o mecanismo dosador de sementes, devido a não haver pressão de contato suficiente ocasionando falhas na transmissão de movimento para a dosagem e distribuição das sementes e fertilizantes, interferindo negativamente no espaçamento esperado entre as sementes.

Nas semeadoras-adubadoras, segundo Lopes (2012), dentre os dosadores mais utilizados, destacam-se os pneumáticos e os de disco horizontal. Os dosadores pneumáticos apresentam maior precisão e menor nível de danos às sementes, porém, apresentam preço de aquisição mais elevado. Já os dosadores de discos horizontais, que tem uso mais frequente, os mais utilizados são os que possuem discos de alvéolos com linhas duplas, que, possivelmente, proporcionam uma melhor distribuição longitudinal de sementes.

Conforme Portella (1997), dosadores mecânicos de precisão possuem discos alveolares que ao girar captam e alojam sementes até a abertura de saída fazendo a sua liberação. Os dosadores pneumáticos utilizam o ar como forma de captação da semente, possuindo discos verticais perfurados nos quais atuam a sucção do ar fixando as sementes até chegar a um ponto de liberação, onde a sucção é eliminada ocorrendo a liberação da semente.

A avaliação de mecanismos dosadores pneumáticos, ao nível de laboratório segundo Kurachi et al. (1989), considera os principais aspectos como a velocidade de deslocamento da semeadora, que pode ser simulada em bancada de ensaios pela mudança da velocidade periférica do disco dosador, as regulagens básicas do mecanismo dosador e as posições do mecanismo em relação ao solo.

De acordo com Coelho (1996), as semeadoras equipadas com dosadores pneumáticos devem proporcionar uniformidade de espaçamentos em torno de 90% ou mais e, as equipadas com dosadores de discos horizontais, em torno de 60% ou mais.

A alta velocidade de deslocamento, pode ocasionar prejuízos ao desempenho de mecanismos dosadores de sementes, segundo Barmington (1948), fazendo com que estes venham a ocasionar um grande número de alvéolos vazios, já quando em baixa velocidade, pode ocorrer o preenchimento múltiplo dos alvéolos contribuindo para a redução na precisão de dosagem de sementes.

Em avaliações realizadas pela EMBRAPA (1996), alternando-se as velocidades de semeadura de milho, concluiu-se que houve um aumento do percentual de falhas de 7,1% para 24,9%, quando a velocidade passou de 4,5 km h⁻¹ para 8,0 km h⁻¹. Já o percentual de duplos passou de 8,2% para 14,1%, para a mesma variação de velocidade. O percentual de espaçamentos aceitáveis sofreu redução de 84,7%, na velocidade de 4,5 km h⁻¹, para 61,0%, quando a velocidade foi aumentada para 8,0 km h⁻¹.

Nielsen (1995), avaliando a distribuição longitudinal de sementes, concluiu que houve perda de rendimento de grãos de aproximadamente 78 kg ha⁻¹ por km h⁻¹ de incremento na velocidade de deslocamento da semeadora, esta conclusão foi obtida ao elevar de 6,4 para 11,3 km h⁻¹ a velocidade de semeadura.

Para evitar o acontecimento deste tipo de erro Kepner et al. (1978), afirmam que, o diâmetro dos alvéolos dos discos dosadores deve ser de até no máximo 10%

maior que a máxima dimensão das sementes utilizadas, não permitindo assim o preenchimento em duplicidade.

Avaliando mecanismos dosadores, Delafosse (1986), Pacheco et al. (1996), Silva (2000), recomendam que a velocidade periférica do disco dosador de sementes deve ser, no máximo, de $0,29 \text{ m s}^{-1}$, para que não proporcione a redução dos espaçamentos aceitáveis entre sementes na linha de semeadura devido as falhas de deposição.

Wanjura e Hudspeth (1968), realizaram experimentos com semeadoras equipadas com dosadores de discos horizontais e avaliando sementes de algodão e concluíram que a maior uniformidade de distribuição ocorreu com velocidades periféricas do disco dosador menores que $0,12 \text{ m s}^{-1}$.

Ao avaliar um protótipo pneumático para dosagem de sementes de cebola, Shaaban et al. (2009), observaram que os maiores índices de espaçamentos aceitáveis entre sementes, foram obtidos com as velocidades periféricas do disco dosador de $0,14$ e $0,21 \text{ m s}^{-1}$, acima de 80%. Por outro lado, ao utilizarem as velocidades de $0,08$ e $0,28 \text{ m s}^{-1}$, os espaçamentos aceitáveis sofreram uma pequena redução, situando-se em torno de 70 a 80%.

O aumento de densidade de sementes a serem distribuídas por metro linear requer um aumento de velocidade periférica dos discos dosadores. Conforme algumas recomendações, no centro do alvéolo, não devem passar de $0,29 \text{ m s}^{-1}$ (FAO) e $0,31 \text{ m s}^{-1}$ (ASAE).

Em suas avaliações, Dambrós (1998), verificou que houve uma redução na uniformidade de distribuição de plantas quando se aumentou a velocidade de deslocamento em uma semeadora adubadora equipada com dosadores pneumáticos. O autor cita que obteve o maior percentual de espaçamentos aceitáveis e menor coeficiente de variação na menor velocidade avaliada que foi de 5 km h^{-1} .

Em uma comparação entre semeadoras equipadas com dosadores pneumáticos e dosadores mecânicos Melo et al. (2013), concluiu que a semeadora pneumática tende a apresentar o melhor desempenho na uniformidade de distribuição das sementes quando comparada à mecânica quando utilizadas a velocidade de deslocamento de 4 km h^{-1} .

Ao estudar a velocidade de deslocamento ideal para semeadura da cultura do milho, Mello et al. (2003), concluíram que, para o dosador de disco alveolar horizontal,

foi obtido o desempenho mais satisfatório quando utilizada a velocidade de 6,2 km h⁻¹.

Mahl (2008), avaliando a distribuição de sementes de milho por dosador pneumático e de disco alveolar horizontal em diferentes velocidades de deslocamento, obteve maior eficiência para o mecanismo pneumático com 70,33% de espaçamentos aceitáveis, para o dosador mecânico, foi obtido em média 57,74%, os mecanismos foram avaliados com a elevação da velocidade de deslocamento de 4,4 para 9,8 km h⁻¹.

Reis e Alonço (2001), realizaram um estudo comparativo da precisão na distribuição de sementes por diversos mecanismos dosadores, entre os anos de 1989 e 2000 e concluíram que, nas velocidades de semeadura acima de 7,5 km h⁻¹, a precisão na distribuição longitudinal de sementes em dosadores pneumáticos e também de disco horizontal perfurado, é semelhante.

A velocidade de deslocamento da semeadora implica em um aumento da velocidade periférica do disco dosador, para que seja dosada a quantidade de sementes pré-estabelecidas por hectare, Bernacki et al. (1984), afirma que o aumento dessa velocidade periférica ocasiona um preenchimento deficiente dos alvéolos e, conseqüentemente, reduz a uniformidade de deposição destas sementes no solo.

Karayel (2009), avaliou uma semeadora de precisão com modificações nos níveis de pressão negativa para semeadura direta de milho e soja. O autor observou que o incremento de velocidade da semeadora causou a redução de espaçamentos múltiplos e um aumento no índice de espaçamentos falhos.

4.3 DESEMPENHO DE DOSADORES PNEUMÁTICOS

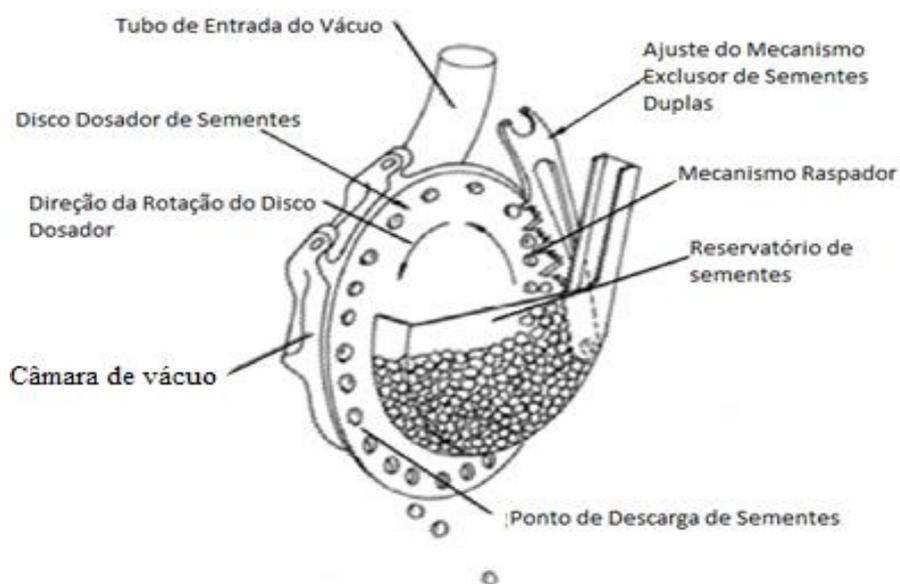
No Brasil, os primeiros modelos de semeadoras equipadas com dosadores pneumáticos, foram fabricados a partir dos anos 60 conforme Portella (1991); a partir disto, os fabricantes começaram a disponibilizar ao mercado modelos de semeadoras pneumáticas por sucção.

O uso de dosadores de sementes pneumáticos vêm sendo empregado em muitas máquinas semeadoras disponíveis no mercado atualmente, dotadas ou não de tecnologia adaptada para agricultura de precisão. Por possuírem maior tecnologia, apresentam alto custo de aquisição e agregam um valor de mercado mais elevado à semeadora. Em função disso, os estudos relacionados a melhores condições de

operação e regulagem das semeadoras pneumáticas tornam-se de fundamental importância para obter-se 100% de eficiência do implemento.

O princípio de funcionamento dos dosadores pneumáticos é baseado em um disco vertical com movimento rotativo, dotado de orifícios, que captam as sementes de um reservatório localizado na base do disco. A pressão negativa do ar, mantém as sementes presas nos orifícios, localizados ao longo da circunferência do disco. Esta pressão pode ser gerada por um ventilador centrífugo, normalmente localizado na região central da máquina. A liberação das sementes é realizada pela supressão da pressão, fazendo com que as mesmas sejam liberadas dos orifícios e escoem por tubos condutores até o fundo do sulco de semeadura (Figura 1).

Figura 1 - Representação esquemática do funcionamento de um dosador pneumático



Fonte: Adaptado de (Murray 2006)

A utilização de mecanismos dosadores pneumáticos, de acordo com Copetti (2015), tem obtido um aumento considerável em várias regiões produtivas do Brasil. O autor relata algumas vantagens que o sistema proporciona como, por exemplo, a alta capacidade de individualização de sementes, dosagem de sementes de formato irregular, melhor adaptação variados tamanhos e formatos, redução de espaçamentos falhos e duplos e redução dos danos mecânicos nas sementes, ainda que possua um custo mais elevado no momento da aquisição, pode apresentar vantagens ao produtor

como por exemplo, o aumento da produtividade das culturas pela elevação da precisão na operação de semeadura.

Os dosadores de precisão pneumáticos de discos verticais são constituídos de discos perfurados, nos quais atuam os efeitos de pressurização ou sucção de ar. Desta forma, quando as sementes são captadas pelo diferencial de pressão criado e mantido até uma abertura de saída. Esse sistema é constituído por um reservatório para o depósito de sementes, o disco dosador normalmente possui alocação vertical com furos dispostos em uma ou mais fileiras concêntricas e uma tampa que realiza o fechamento do sistema, deixando apenas uma saída para as sementes dosadas onde o diferencial de pressão é eliminado, estas são liberadas e conduzidas até o solo por meio de tubos condutores (SILVA, 2005).

Murray et al. (2006), relataram que os dosadores pneumáticos possuem vantagens sob os outros mecanismos de dosagem por não ocasionarem danos às sementes e também possibilitar a operação com sementes sem classificação.

Existem diversos fatores que podem interferir de forma positiva ou negativa no desempenho e precisão de dosadores pneumáticos, Li (2010) e Liu (2007), citam como exemplos, o diâmetro do disco dosador, o diâmetro e número dos orifícios, o vácuo e a velocidade angular do disco dosador de sementes.

Conforme Balastreire (1987), os dosadores pneumáticos têm como principal vantagem a precisão na dosagem de sementes, individualizando as mesmas, conferindo ausência de danos físicos durante o processo de dosagem. O autor comenta ainda que, nos dosadores mecânicos, pode ocorrer um percentual de quebra de sementes de até 7%, deste modo, o autor sugere que, para sementes que possuem uma maior fragilidade sejam utilizados dosadores do tipo pneumático à vácuo, devido a sua alta capacidade de individualização das sementes e redução e/ou ausência de danos físicos. Também de acordo com este autor, sementes com classificação pouco eficiente, ou seja, lotes com dimensões não uniformes, poderão permanecer no reservatório ou ficar expostas ao alvéolo do disco dosador sofrendo ação do limitador/raspador podendo ser lesionadas.

Estes danos físicos, de acordo com França et al. (1984), podem afetar de forma significativa o estande de plantas das culturas. Algumas sementes possuem tegumento com pequena espessura oferecendo pouca proteção às partes vitais como a radícula, hipocótilo e a plúmula. Não só danos grandes e visíveis, assim como, danos pequenos e não visíveis a olho nu, dependendo de sua localização, podem

reduzir o percentual de germinação pela morte da semente ou também pela entrada de micro-organismos patogênicos no seu interior (SILVEIRA, 1989).

Ao avaliar diferentes mecanismos dosadores com duas velocidades de deslocamento Boller et al. (1991), concluíram que, tanto os diferentes mecanismos dosadores quanto as velocidades, influenciaram na porcentagem de danos físicos às sementes de soja.

Conforme Silveira (1989), mecanismos dosadores que possuem estruturas compostas por náilon em comparação a mecanismos que são constituídos exclusivamente por estruturas metálicas, causam danos praticamente desprezíveis às sementes.

Kepner et al. (1982), concluíram que, além da velocidade de deslocamento, outros fatores como a dimensão e forma das sementes e dos orifícios do disco dosador podem alterar a distribuição longitudinal no sulco de semeadura.

De acordo com Segundo (2004), os fatores que afetam a porcentagem de preenchimento dos alvéolos dos discos de dosadores pneumáticos são a dimensão dos orifícios, o tamanho, formato e massa das sementes, o nível de pressão negativa (vácuo) e a velocidade de semeadura.

A pressão de trabalho nos dosadores, geralmente é recomendada pelo manual do fabricante da máquina, pois ainda não existem muitos estudos com relação da influência da pressão sobre a precisão das semeadoras pneumáticas, entretanto, este valor é calculado pelas características das sementes e do disco dosador. Murray (2006), afirma que o nível de pressão negativa no dosador, deve ser ajustado de maneira que mantenha as sementes aderidas ao disco dosador até o ponto onde ocorre a interrupção da pressão e liberação das mesmas, a massa da semente também influencia no nível de vácuo requerido.

Gaspardo (2007), expõe alguns fatores que afetam o desempenho das semeadoras pneumáticas como por exemplo, as concepções utilizadas no disco dosador, tais como a pressão negativa utilizada, o número de orifícios e o diâmetro dos mesmos. O autor cita que alguns fabricantes recomendam as medidas de diâmetro do alvéolo de 1,1 mm para cultura do tomate, 4,5 mm para milho e 3,5 mm para o algodão.

Santos (2006), realizou uma avaliação técnica em diferentes semeadoras, cada uma com sistema de abertura do sulco. O autor obteve os melhores resultados

para uniformidade de distribuição com uma semeadora pneumática à vácuo, utilizando a pressão de trabalho de 2,74 kPa, para sementes de milho.

Harmond, referenciado por Portella (1991), concluiu que, para capturar sementes miúdas de culturas hortícolas, como por exemplo, couve, cenoura e alface, a semeadora apresentou uma demanda de 3 kPa de pressão negativa (vácuo). Já para sementes graúdas como milho e feijão, a demanda foi de 15 kPa.

Realizando avaliações com sementes de soja, milho e feijão, Gomes e Balastreire (1989), obtiveram como resultado da demanda de pressão aproximadamente 16,7 kPa, utilizando rotações de 20 a 50 rpm nos discos dosadores. Os autores concluíram que, mesmo quando se trabalha com sementes de maior massa, o requerimento de pressão positiva é em torno de 2 vezes menor que o sistema de pressão negativa.

Estudando o diâmetro do orifício de dosagem e o diferencial de pressão de ar na dosagem de arroz, Reis et al. (2006), trabalharam com pressões negativas de 3, 17 e 31 kPa, obtendo uma maior precisão combinando o diâmetro do orifício de 1 mm com uma pressão de 17 kPa. De acordo com este mesmo autor, há duas variáveis em um projeto de mecanismo dosador que são de extrema importância quando utilizados dosadores pneumáticos: o diâmetro do orifício do disco dosador e o diferencial de pressão utilizado. Estes fatores estão diretamente ligados à velocidade e ao volume de ar que passa pelo orifício e, conseqüentemente, às forças que irão captar e transportar as sementes.

Com o diâmetro do orifício adequado para cada tipo de semente, Karayel et al. (2004), estudou diferentes pressões de trabalho em um dosador de sementes pneumático sendo que, para o milho a que obteve melhor desempenho foi 4 kPa e 3 kPa para a soja e algodão. O autor estudou ainda a relação de algumas propriedades físicas das sementes como massa de mil sementes, área projetada, massa específica e esfericidade para predição do nível de pressão negativa a ser utilizada nos dosadores pneumáticos e estabelecendo um modelo matemático para estas determinações, com melhores resultados para a relação de pressão negativa com massa de mil sementes.

Önal (1975), Aichinger (1989) e Klüver (1991), referenciam que os fatores mais importantes que influenciam na determinação da acurácia de uma máquina semeadora são: a cultivar da semente, velocidade de deslocamento, velocidade

periférica do disco dosador, o formato dos orifícios do disco dosador e o nível de pressão negativa utilizado.

Segundo Karayel et al. (2006), sementes esféricas e que possuem maior uniformidade, tais como as culturas de soja, milho e feijão, proporcionam uma maior facilidade de dosagem por sistemas de precisão, os autores concluíram que, o índice de espaçamentos aceitáveis diminui e os espaçamentos múltiplos aumentam conforme se aumenta o nível de pressão negativa para todas as sementes avaliadas.

Singh & Saraswat (2005), relataram que, com a elevação da pressão, a porcentagem de falhas foi reduzida, porém, aumentou com a elevação da velocidade. Com a pressão negativa em um nível mais baixo e a velocidade elevada, o disco dosador não possui tempo suficiente para captar as sementes, resultando em um aumento de espaçamentos falhos. O índice de múltiplos é menor em velocidades maiores, porém aumentam com a elevação do vácuo.

Jack et al.(2013), desenvolveram um dosador pneumático para sementes de Sândalo (*Santalum spicatum*), o mecanismo dosador foi modificado para acomodar sementes que possuíam diâmetros variando de 13,5 a 23,5 mm, sob três níveis de vácuo. Os melhores resultados foram obtidos quando utilizados os discos com 10 e 12 mm de diâmetro de orifício combinados com a pressão negativa de 17 kPa.

Yu et al. (2015), avaliaram a distribuição de sementes de milho por um dosador pneumático utilizando diferentes níveis de pressão negativa 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kpa, com a rotação do disco dosador de 20 rpm, os autores obtiveram os melhores resultados com o nível de vácuo no intervalo de 1.0 a 1.5 kPa atingindo 85% de espaçamentos aceitáveis entre sementes. Os pesquisadores concluíram ainda que, o diâmetro do orifício do alvéolo possui influência significativa sob a precisão na captura das sementes no reservatório, de modo que o diâmetro de 4mm proporcionou os melhores resultados.

Schrödl (1987), realizou avaliações de dosadores pneumáticos com sementes de milho, o autor cita que o incremento de vácuo para sucção das sementes deve levar em consideração o peso de mil sementes da cultura, porém, neste trabalho, a pressão do vácuo e o peso de mil sementes não proporcionaram diferença estatística significativa para a uniformidade dos espaçamentos entre sementes.

A forma, tamanho, volume, densidade, porosidade e o coeficiente de arrasto das sementes, segundo Zhang et al. (2010), são características importantes para

estabelecer padrões operacionais em mecanismos pneumáticos de dosagem e transporte de sementes.

A avaliação do desempenho de mecanismos dosadores de sementes pneumáticos, em nível laboratorial, leva em consideração a velocidade de deslocamento da semeadora, simulada em bancada de ensaios pela mudança da rotação do disco dosador, as regulagens básicas do mecanismo dosador e as posições do mesmo em relação ao solo (KURACHI et al., 1989).

Estudando a velocidade angular do disco, a pressão de negativa de trabalho e o formato do orifício de dosagem do disco dosador em nível laboratorial e a campo, Singh et al. (2005), avaliou parâmetros como a média de espaçamentos, coeficiente de variação, porcentagem de aceitáveis, duplos e falhas, encontrando um diâmetro do orifício de 2,5 mm mais apropriado para sementes de algodão com a entrada chanfrada em 120°, como a combinação que obteve melhor desempenho nos ensaios. Foram encontrados 94,7% de aceitáveis e um coeficiente de variação de 8,6 %, com uma pressão negativa de 2 kPa na velocidade periférica de 0,42 m s⁻¹.

Mahl (2001), afirma que a precisão da distribuição longitudinal de sementes sofre pouca influência da velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora, quando são utilizadas máquinas equipadas com dosadores pneumáticos de sementes, ao trabalhar com velocidades de 4,4 ou 9,8 km.h⁻¹, a autora obteve em média 81,77% de espaçamentos aceitáveis em seus experimentos, enquanto que, ao trabalhar com semeadora equipada com dosador de disco alveolar horizontal para as mesmas velocidades, houve um aumento de 66,5% nos espaçamentos falhos.

Garcia et al. (2006), realizou trabalho com dosador pneumático e também com dosador de disco horizontal perfurado com sementes de milho. O autor concluiu que, ao elevar a velocidade de deslocamento, houve aumento do percentual de espaçamentos falhos e múltiplos, reduzindo, portanto, os espaçamentos aceitáveis, ocasionando a redução de espigas por plantas e conseqüentemente a produtividade, porém Mahl et al. (2008), concluíram que não houve diferença significativa para o stand inicial e final de plantas na distribuição realizada por dosador pneumático e de disco horizontal alveolar. Entretanto, houve diferença significativa para a regularidade da distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura. Os autores obtiveram os melhores resultados para espaçamentos na velocidade de 4,4 km h⁻¹. O dosador pneumático apresentou o melhor desempenho, porém, os autores, considerando o

aspecto produtividade, são indiferentes quanto a recomendação de uso de dosador pneumático ou de disco horizontal alveolar.

Short e Huber (1970), recomendam que a dimensão do orifício do disco dosador seja equivalente a 40% da área exposta da semente.

Yazgi e Degirmencioglu (2007), estudaram as variáveis operacionais de uma semeadora com auxílio pneumático para sementes de algodão em parâmetros de nível de pressão negativa, diâmetro do orifício de dosagem e velocidade periférica do disco dosador. Avaliando a uniformidade de distribuição de sementes através da metodologia de superfície de resposta, em porcentagem de espaçamentos aceitáveis, duplos e falhas, os autores encontraram o melhor resultado para a pressão negativa de 5,5 kPa e diâmetro do orifício de 3 mm.

Estes mesmos autores, afirmam que o diâmetro do orifício de dosagem do disco dosador, o nível de vácuo e a velocidade angular do disco interagem influenciando os coeficientes de variação da semeadura, ao reduzir a rotação do disco dosador o desempenho da dosagem de sementes é ampliado.

Weller (1958), realizou avaliações de um sistema de dosagem pneumática com disco vertical, os melhores resultados foram obtidos nas velocidades mais baixas e nos menores níveis de vácuo e, ao elevar a velocidade e o vácuo, houve a captação de mais de uma semente por alvéolo do disco dosador, aumentando o número de espaçamentos duplos entre sementes.

Ao avaliar uma semeadora pneumática para sementes de cebola Shaaban et al. (2009), obtiveram aumento da pressão negativa nos alvéolos do disco dosador de 58%, ao elevar a rotação da turbina pneumática de 4000 para 5500 rpm. O maior valor de pressão negativa foi obtido com o diâmetro de alvéolo de 0,8 mm, ao modificar o diâmetro de 1,0 para 1,2 mm, houve redução do vácuo no orifício, porém, de forma não significativa.

Barut e Özmerzl (2004), obtiveram 91,62% de espaçamentos aceitáveis quando utilizado o tamanho de orifício de 23,76 mm² e pressão de vácuo de 4,0 kPa. Os autores comentaram que o aumento do tamanho do orifício aliado a elevação do nível de pressão, proporcionou uma melhor retenção das sementes no disco dosador mesmo quando utilizadas velocidades periféricas maiores.

De acordo com Reis (2003), a relação entre pressão negativa e o diâmetro do orifício, possuem grande influência na captação e apreensão das sementes no disco dosador, de modo que, em seus experimentos, o autor observou que orifícios com

menor diâmetro necessitaram um nível mais baixo de pressão negativa para retenção das sementes quando comparado com os orifícios de maior dimensão.

Ao avaliar um protótipo pneumático para dosagem de sementes de soja, milho e trigo, Casão Jr. (1996), obteve melhores resultados quando foi elevada a rotação do disco dosador e utilizaram-se diâmetros menores dos orifícios. Também foi observado que existe a tendência de elevação do percentual de espaçamentos múltiplos com pressões negativas elevadas e maiores diâmetros de alvéolo, por outro lado, a redução do diâmetro do orifício ocasionou o aumento de espaçamentos falhos.

Ghafori et al. (2011), avaliaram dosadores pneumáticos com pressão positiva, os autores concluíram que a velocidade do ar é um fator crítico para determinação do consumo de energia para geração da pressão e também para a mensuração do nível de dano mecânico ocasionado às sementes.

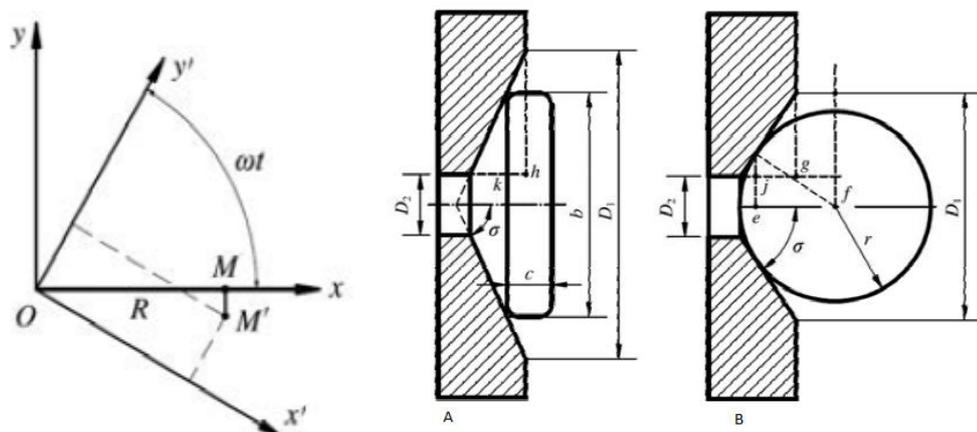
Helmy et al. (2002), realizando experimentos com sementes de beterraba açucareira, concluíram que as propriedades físicas das sementes são fatores importantes para determinação das dimensões e projeto de discos, para dosadores pneumáticos.

Casão Jr. (1996), cita que o diâmetro do orifício de dosagem para sementes de trigo deve ser limitado pelo menor diâmetro da semente, devido ao seu formato pontiagudo poder favorecer a entrada da semente no interior do orifício não ocasionando a liberação da mesma no ponto de queda.

Ibrahim (1992), cita que o tamanho, formato, densidade, o peso específico e o ângulo de repouso são propriedades importantes que auxiliam no desenvolvimento e design de mecanismos dosadores pneumáticos.

A interação da semente com o orifício de dosagem foi estudada por Song et al. (2014), os autores concluíram que uma baixa relação entre o orifício e a semente pode ocasionar um maior número de falhas em velocidades maiores do disco dosador. Como exemplo, a Figura 2 apresenta a relação do alvéolo com sementes planas e esféricas, bem como as forças que agem sob as mesmas, onde y é a força do sentido do movimento; M é a semente na posição original; M' é a posição da semente no momento t_1 , R é o raio do círculo base evolvente, ω é a velocidade angular do movimento; (A) semente plana ou chata. (B) Semente esférica.

Figura 2 - Adequação da semente ao orifício do disco dosador



Fonte: Adaptado de (Song et al. 2014)

Carpes et. al. (2013), avaliaram um dosador pneumático equipado com mecanismo ejetor de sementes, os autores concluíram que o aumento da pressão de trabalho de 2 para 6 kPa, proporcionou elevação do percentual de espaçamentos aceitáveis e redução de falhos, a velocidade periférica do disco dosador não interferiu significativamente nos espaçamentos aceitáveis. A uniformidade de distribuição de sementes pode ser influenciada por diferentes fatores tais como: mecanismos de deposição das sementes (tubo condutor) e dosagem de sementes, a velocidade periférica, o tamanho e formato dos orifícios, o nível de sementes no reservatório, para os dosadores mecânicos de disco horizontal, assim como, a velocidade periférica e a pressão de trabalho para dosadores pneumático à vácuo ou de pressurização.

Satti et al. (2013), avaliaram os fatores que afetam o nível de pressão negativa em uma semeadora com sementes de trigo, os autores concluíram que o índice de qualidade de alimentação do dosador aumentou com o aumento de pressão negativa, porém foi reduzido ao aumentar a velocidade angular do disco dosador. Outro fator que pode contribuir para elevar a eficácia da sucção das sementes pelo mecanismo dosador pneumático, é o ângulo de atrito e tamanho do orifício do disco dosador de sementes.

A inclinação de trabalho em relação ao solo é uma característica comum à todos os tipos de mecanismos dosadores, pois está submetida à todo o conjunto da

semeadora; esta pode ser simulada em laboratório através de bancada de ensaios e representada a campo pela declividade do terreno.

Os ensaios laboratoriais são regidos pelas normas da ABNT (1994), que instrui sobre todas as medidas que devem ser tomadas para uma avaliação segura e confiável de semeadoras, como por exemplo, a inclinação longitudinal (ascendente e descendente) e transversal (para direita e para a esquerda) que deve ser de 11° , assim como totalmente nivelada. A velocidade de deslocamento da semeadora de tração mecânica deve ser testada nas velocidades $5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $7,0 \text{ km h}^{-1}$ e na máxima velocidade admissível de operação de campo, recomendada pelo fabricante.

Estudando a influência da inclinação transversal de trabalho em dosadores pneumáticos Alonço et al. (2014) concluíram que, a inclinação transversal de trabalho interferiu negativamente no desempenho dos mecanismos estudados, sendo que os piores resultados foram encontrados quando a inclinação do reservatório favoreceu a deposição das sementes de soja sob o disco dosador.

Ao avaliar o efeito da velocidade de deslocamento e inclinação transversal de trabalho em três dosadores pneumáticos, com sementes de algodão e girassol, Alonço et. al. (2015), obtiveram diferenças significativas para o aumento da velocidade e também para a alteração da inclinação. Os piores resultados foram encontrados quando os dosadores estavam inclinados de forma a favorecer a deposição das sementes sob o disco dosador, ou seja, houve a redução dos espaçamentos aceitáveis na inclinação positiva de 11° para o lado esquerdo visto da parte traseira da semeadora, esta redução também foi observada quando a velocidade foi elevada de $7,5$ para 10 km h^{-1} .

Ao avaliar o efeito da velocidade angular do disco e da inclinação de trabalho do mecanismo dosador com sementes miúdas, Reis e Forcellini (2009) concluíram que, a menor ocorrência de espaçamentos falhos foi obtida na velocidade mais baixa e com o dosador nivelado (0°). Já os piores resultados encontrados foram com velocidades de $0,25 \text{ m s}^{-1}$ e inclinação de 11° .

Reis (2003), desenvolveu um protótipo para dosagem de sementes miúdas, ao avaliar o mesmo com inclinação de 11° , observou que existe uma maior ocorrência de falhas no preenchimento dos alvéolos do disco dosador. O autor comenta que, devido a força da gravidade, as sementes possuem tendência de se desprender do alvéolo, e que, este fator poderia ter sua influência reduzida ao modificar a geometria do alvéolo para favorecer a retenção das sementes no mesmo.

4.4 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS MECANISMOS DOSADORES DE SEMENTES

Os dosadores de sementes são mecanismos de alta relevância ao funcionamento e desempenho de uma semeadora adubadora. Portella (2001), Balastreire (2005) e Machado et al. (2005), elaboraram uma lista com os principais modelos utilizados e destacaram os de disco alveolar horizontal e os pneumáticos para dosagem de sementes graúdas como milho e soja, e os dosadores de rotor acanalado para dosagem de sementes miúdas como arroz. A seguir serão apresentadas as concepções de mecanismos dosadores, não só referentes a citação acima, abordando as características relativas ao funcionamento e componentes com o objetivo de adquirir bases para a determinação de uma nova concepção para o processo de dosagem de sementes miúdas.

4.4.1 Dosadores de disco alveolar horizontal

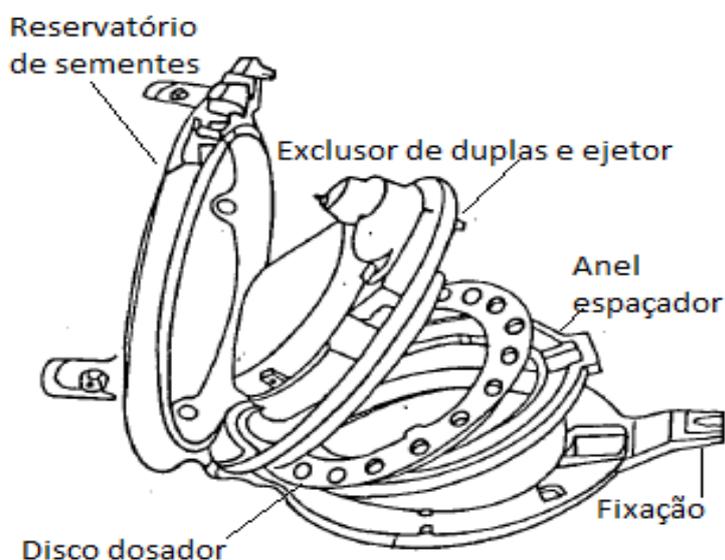
Os mecanismos dosadores de discos horizontais equipam, segundo Francetto et al. (2015), aproximadamente, 79,57% das semeadoras comercializadas no Brasil.

O princípio de funcionamento do mecanismo ilustrado na Figura 3, consiste na rotação do disco dosador que está coberto por sementes, ocorrendo o preenchimento dos alvéolos e individualização das mesmas. Estas permanecem alocadas nos alvéolos até o ponto em que o mecanismo raspador efetua a exclusão das sementes em excesso sob o alvéolo, e, o mecanismo de rolete, realiza a expulsão das previamente individualizadas, sendo liberadas em um ponto de saída presente no anel espaçador e conduzidas pela ação da gravidade até o solo por meio de tubos condutores.

Estes mecanismos, apresentam uma alta sensibilidade ao ser elevada a velocidade periférica do disco dosador. Dias et al. (2014), observou que, ao elevar a mesma, houve redução no percentual de espaçamentos aceitáveis em um experimento utilizando sementes de milho e soja.

De acordo com Coelho (1996), semeadoras equipadas com dosadores de discos horizontais, devem proporcionar em torno de 60% ou mais de espaçamentos aceitáveis.

Figura 3 - Dosador de disco alveolar horizontal



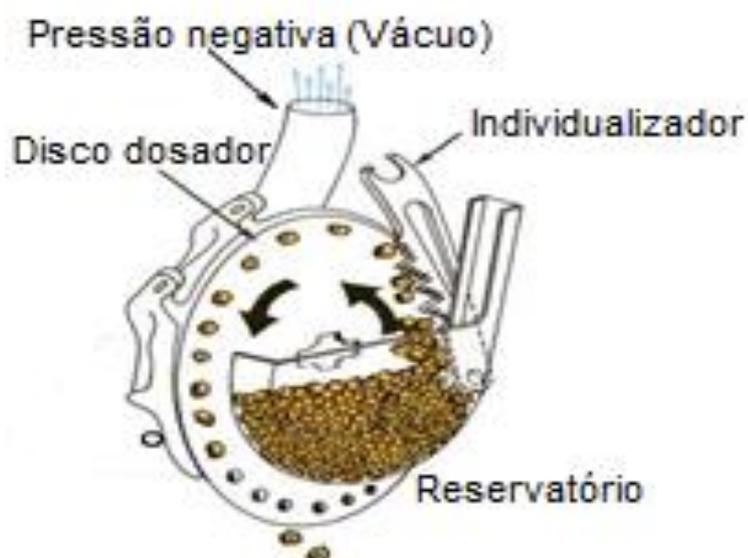
Fonte: Adaptado de (Ogliari 1990).

4.4.2 Dosador Pneumático de disco vertical

O princípio de funcionamento dos dosadores pneumáticos, é baseado em um disco vertical com orifícios, que rotaciona apanhando a semente em um reservatório localizado na base do disco (Figura 4). A pressão negativa do ar, mantém as sementes aderidas aos orifícios, localizados ao longo da circunferência do disco. Esta pressão pode ser gerada por um ventilador centrífugo, normalmente localizado na região central da máquina. A liberação das sementes é realizada por um dispositivo que suprime a pressão ou ao final da câmara de vácuo, fazendo com que as mesmas escoem por tubos condutores até o fundo do sulco de semeadura.

Conforme Coelho (1996), as semeadoras equipadas com dosadores pneumáticos, devem proporcionar uniformidade de espaçamentos aceitáveis em torno de 90% ou mais. Lopes (2012), afirma que os dosadores pneumáticos proporcionam maior precisão na distribuição longitudinal e menor nível de danos físicos às sementes.

Figura 4 – Dosador apanhador com auxílio pneumático

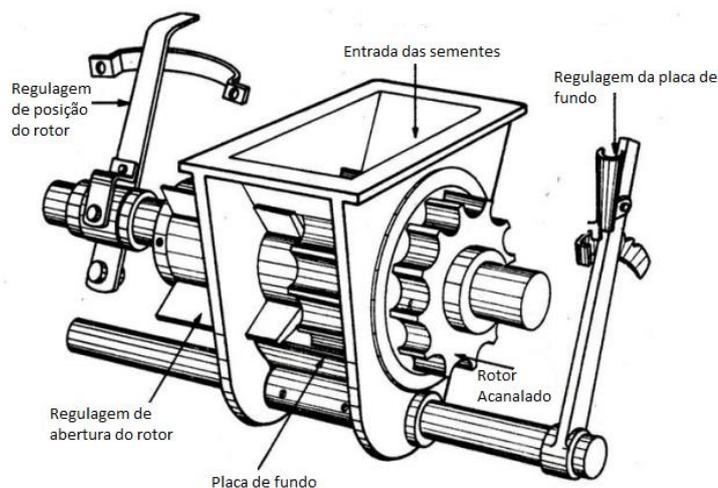


Fonte: Adaptado de (Cañavate 2003).

4.4.3 Dosadores de sementes de cilindro acanalado

Os mecanismos dosadores de rotor acanalado Figura 5, podem ser utilizados tanto para dosagem de sementes como também para dosagem de fertilizantes, sua utilização é feita, principalmente, em semeadoras de fluxo contínuo realizando a dosagem de grãos miúdos. O princípio de funcionamento se dá pela regulação da rotação do eixo que movimenta o rotor para que seja alterada a vazão de material (sementes ou fertilizantes); a regulação mais utilizada é feita aumentando-se ou diminuindo-se a área de contato do cilindro. Outra forma de se efetuar a regulação, é através da abertura ou fechamento da comporta localizada abaixo do rotor, controlando o fluxo de material para o tubo condutor.

Figura 5 - Dosador de sementes de cilindro acanalado



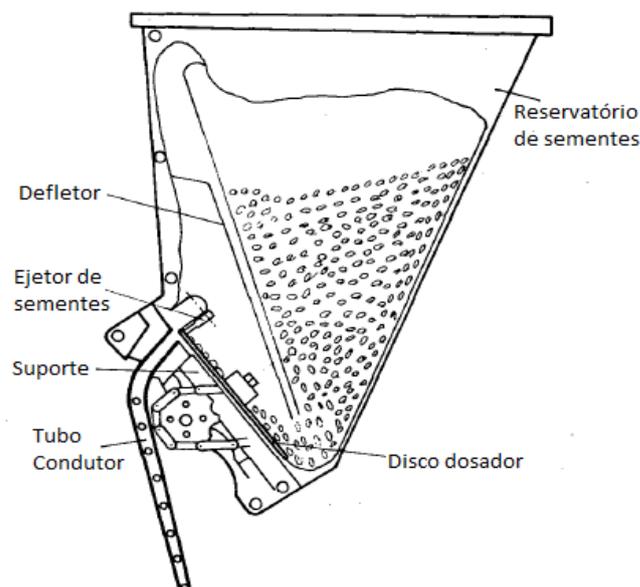
Fonte: Adaptado de (Mialhe 2012)

4.4.4 Dosadores de disco alveolar inclinado

O funcionamento de dosadores de disco horizontal e de disco inclinado é muito semelhante, a diferença está na inclinação do disco e, por este tipo de mecanismo, dispensar o uso de raspadores de sementes em excesso depositadas sob os alvéolos, estas são dispensadas por meio da ação da gravidade. O princípio de funcionamento do mecanismo ilustrado na Figura 6, consiste na rotação do disco dosador que capta as sementes no reservatório através dos alvéolos fazendo a condução até a parte superior, onde fica localizada a saída das sementes para o tubo condutor, que faz a condução das sementes até o solo.

Ao avaliar o desempenho de dosadores de disco horizontal e de disco inclinado Balastreire (1990), concluiu que o desempenho das semeadoras foi semelhante, apresentando baixa eficiência quanto a distribuição longitudinal e o número de sementes por metro.

Figura 6 - Dosador de disco alveolar inclinado



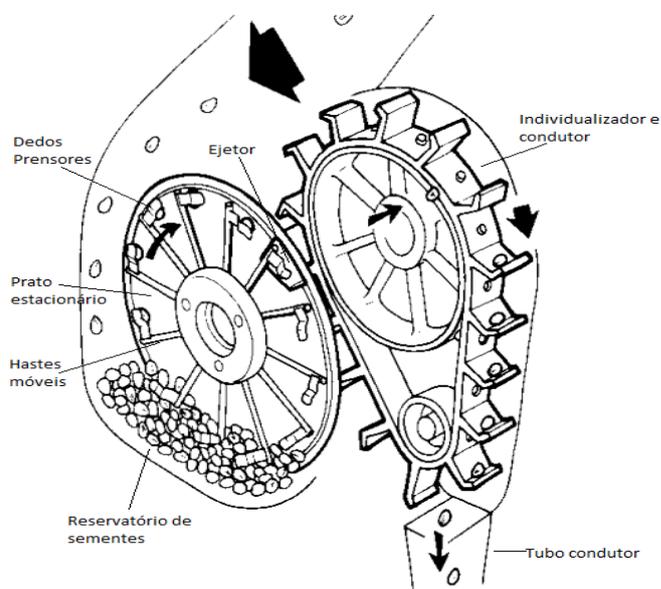
Fonte: Adaptado de (Ogliari 1990).

4.4.5 Dosadores de dedos preensores

O mecanismo dosador de dedos preensores possui em torno de doze dedos ou hastas pressionadas por molas, ao passo que os mesmos giram, são abertos ou pressionados contra a estrutura do dosador através de ressaltos. Ao passar pelo reservatório de sementes, os dedos se fecham e prendem a semente entre o dedo e um prato metálico estacionário. As sementes aprisionadas nos dedos, são conduzidas até chegarem em uma abertura no prato estacionário ocorrendo a liberação para a correia transportadora que direciona as mesmas para o tubo condutor (Figura 7).

Liu et al. (2004), realizaram avaliações com três tipos de semeadoras: pneumática com pressão negativa, dedos preensores e semeadora a ar com pressão positiva. Os autores concluíram que, a elevação da velocidade de deslocamento foi prejudicial ao desempenho de todos os mecanismos avaliados, porém o dosador pneumático à vácuo, obteve os melhores resultados, seguido pelo mecanismo de dedos preensores.

Figura 7 - Dosador mecânico de disco vertical com dedos prensores



Fonte: Adaptado de (Breece, et al. 1975).

4.5 ASPECTOS GERAIS DO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES E MÁQUINAS AGRÍCOLAS

A atividade agrícola está cada vez mais exigente em informações que auxiliam o produtor na tomada de decisão sobre a realização de processos. Com relação às máquinas, a capacidade de realização de um determinado trabalho e o seu desempenho para tal, podem ser fatores de extrema importância para definir e corrigir alguns parâmetros do projeto.

O desenvolvimento de um produto obedece uma série de fatores e requisitos, entre eles, a necessidade da evolução de mecanismos baseados em outros já existentes, de modo a criar novas concepções que venham ao encontro do avanço tecnológico, adequação de valores, segurança e precisão no desempenho de tarefas.

Estes requisitos, muitas vezes são obtidos junto à clientes, os quais são os consumidores finais dos produtos elaborados. Dentre as ferramentas utilizadas na metodologia de projeto, o QFD (Quality Function Deployment) possui por característica, facilitar a interpretação das necessidades dos clientes transformando-as em requisitos do projeto, proporcionando a elaboração de um produto ou até mesmo a melhoria de produtos ou serviços já existentes (AKAO, 1996).

Ainda com relação ao QFD Bacelar et al. (2001), afirma que esta ferramenta contribui para que o projeto alcance a máxima satisfação do cliente, observando algumas características métricas, como por exemplo, os retornos.

De acordo com Ullman (1992) as necessidades dos clientes, após serem transformadas em requisitos, devem ser comparados aos pares, de modo que seja possível estabelecer a importância relativa de cada fator, uma das principais ferramentas utilizada para isto é o diagrama de Mudge.

Amaral (2006), descreve que o diagrama de Mudge é composto por uma matriz onde são comparados os requisitos das linhas com os das colunas, exceto os iguais. Primeiramente a equipe de projeto determina qual dos dois requisitos em questão é mais importante, após isto, é atribuído um nível de importância ao requisito pontuado. A obtenção do valor relativo de cada requisito é realizada pelo somatório dos valores observados no diagrama.

A metodologia de elaboração do projeto de componentes e de máquinas agrícolas, auxilia o projetista no direcionamento das atividades que compõe as diversas fases da pesquisa para elaboração de um produto. Este direcionamento, tem por finalidade reduzir e solucionar eventuais problemas que possam interferir de maneira negativa na condução do projeto.

Definições incorretas, podem causar uma ineficiência no aproveitamento do tempo de condução das fases do projeto e no desenvolvimento de máquinas agrícolas. Conforme Christianson e Rohrbach (1986), uma série de informações devem ser coletadas de modo que possibilitem a visualização de soluções que atendam os atributos operacionais e de desempenho dos equipamentos.

Fonseca (2000), afirma que as definições utilizadas para a elaboração e condução do projeto, são semelhantes às utilizadas na fase do projeto informacional. A prescrição de metas, no que se refere à concepção e desempenho do produto poderá utilizar como base o levantamento das necessidades dos usuários.

De acordo com Alonço (2004a), os fluxogramas de atividades são importantes ferramentas que colaboram para o desenvolvimento das tarefas que contemplam, desde o levantamento de dados para determinação do objeto de estudo até a elaboração dos documentos para finalização do processo.

Kepner et al. (1972), estudando novas concepções para uma máquina agrícola e buscando facilitar o trabalho, utilizaram o modelo dividido em seis passos: reconhecimento e avaliação do problema, determinação dos requisitos funcionais,

projeto e desenvolvimento de uma máquina experimental, projeto do protótipo da máquina, construção e teste de protótipos da máquina e manufatura do modelo de produção. Esta metodologia caracteriza, de certo modo, uma relação entre teoria e prática, alternando atividades de projeção e avaliações do protótipo.

Por outro lado, Mialhe (1974), apresenta a caracterização do processo de desenvolvimento de uma máquina agrícola. Dentre os passos citados pelo autor, destacam-se: obtenção das características físicas da operação, estudo teórico da operação, levantamento de informações de mecanismos existentes e possíveis associações, seleção de sistemas tecnicamente viáveis, escolha da concepção, elaborar o projeto e um protótipo experimental.

A metodologia para o projeto de máquinas seguras desenvolvida por Alonço (2004b), apresenta a fase informacional, onde são delimitadas as restrições do projeto e os requerimentos para segurança embasadas em normas e legislação vigente. Na fase conceitual são estabelecidas as concepções do projeto, incluindo os princípios de solução para segurança.

A metodologia proposta por Romano (2003), apresenta o processo de desenvolvimento de um produto englobando três macrofases: planejamento, projeção e implementação. Estas apresentam uma divisão em fases: planejamento do projeto, projeto informacional, conceitual, preliminar, detalhado, preparação da produção, lançamento e validação.

A fase considerada mais importante de acordo com Novaes (2005), é a de projeto conceitual, nesta etapa ocorre a elaboração de soluções físicas que atenderão às necessidades obtidas por meio dos requisitos dos clientes.

O projeto conceitual, pode ser visto como a união da criatividade com a pouca utilização de metodologias. Esta fase exige do autor a utilização de várias linhas de raciocínio e informações interdisciplinares, inclusive oriundas do pensamento do próprio projetista, não estando formalizadas (DURKIN e DURKIN, 1998).

A concepção, segundo Pahl (2005), procura apresentar uma solução preliminar através da apresentação de princípios de funcionamento e suas possíveis combinações, baseadas na elucidação de um problema alvo.

As metodologias do projeto podem ser caracterizadas como um conjunto de ferramentas proporcionando embasamento aos processos do projeto, de acordo com Maribondo (2000), o propósito é assessorar a equipe de projeto para auxiliar nas decisões com vistas a obter melhores resultados, fazendo uso de métodos de

avaliação e inserção de dados, de modo que se encontrem as melhores soluções para os problemas ocorridos.

Segundo Marini et al. (2006), um conjunto de informações fazem parte dos fatores de influência no projeto. Os mesmos são divididos de acordo com os fundamentos que lhe originam, sendo o escopo do projeto, máquinas existentes, normas de homologação e características da operação.

Os projetos possuem finalidades que vão além do desenvolvimento de novos produtos, muitas vezes podem ser elaborados com a finalidade de auxiliar na melhoria de produtos já existentes, como por exemplo, o desenvolvimento de softwares, reengenharia de processos, entre outros. (SHENHAR & DVIR, 2007)

Conforme Pahl e Beitz (1996), a classificação dos projetos pode ser efetuada de três formas: original, adaptativo e de variantes. Na forma original, aborda o princípio original de solução para um determinado sistema; na forma adaptativa, projetos já desenvolvidos e conhecidos são alterados com a intenção de adaptar os mesmos as tarefas para os quais foram inicialmente desenvolvidos; o projeto na forma variante, pode sofrer variações conforme características do sistema em que está inserido, porém, a função original e o princípio de solução não são alterados.

Uma ferramenta muito utilizada para elaboração de soluções coletivas é a matriz morfológica, de acordo com Pahl et al. (2005), esta ferramenta permite o processamento de informações que poderão servir de embasamento para a confecção de uma nova concepção de produto. Na primeira coluna da matriz, são inseridas as funções relevantes advindas da estrutura selecionada, nas restantes, são inseridos os princípios propostos, com o objetivo de permitir a combinação de soluções para uma nova concepção de produto.

Portanto, o desenvolvimento de um novo produto, necessita a observação de uma série de fatores que, somados ou separados podem originar uma nova concepção atendendo a demanda de um determinado setor. As fases de organização do projeto auxiliam o executor para que a tarefa apresente o mínimo de erros e seja conduzida de maneira ordenada, desde o surgimento de ideias até a elaboração e avaliação do produto final.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas instalações do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), vinculado à Universidade Federal de Santa Maria, posicionada geograficamente na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul/Brasil, cujo centro geográfico corresponde às seguintes coordenadas: Latitude Sul 29°72'05", Longitude Oeste -53°70'32" e altitude média de 99 m (Santa Maria/RS).

5.1. MATERIAL

5.1.1 Bancada de Ensaio

A bancada de ensaio de dosadores, foi desenvolvida por Silveira et al. (2010) e Alonço et al. (2010). Consiste em uma estrutura que permite o acoplamento de diversos modelos de mecanismos dosadores de sementes (Figura 8). O controle da rotação dos discos dosadores foi realizado com auxílio de um inversor de frequência CFW – 08 com entrada monofásica de 200 a 240 V, sendo que a movimentação dos discos foi realizada com um motor elétrico de indução assíncrono com potência de 736 W e rotação de 1720 rpm.

Figura 8 - Bancada de ensaio de doadores de sementes (BEDOSA)



Fonte: Autor

A transmissão do movimento do motor para o dosador é feita através de uma correia ligada a um par de polias (motora e movida). A redução da rotação é feita através de um redutor de engrenagens.

Também foi utilizada uma esteira revestida com feltro, a qual possui o formato em V, simulando a linha de semeadura devido a ação de rolos inclinados dispostos na saída do tubo condutor de sementes, conforme a Figura 9, medindo 17,5 m de comprimento e 15 cm de largura onde são depositadas as sementes. Ao movimentar-se sob o mecanismo dosador de sementes, ocorre a simulação da velocidade de avanço horizontal da semeadora no solo. Seu acionamento é realizado por um motor elétrico trifásico de indução assíncrono de 2208 W (3 CV), acionado por um inversor de frequência CFW – 10, com entrada monofásica de 200 a 240 V, descrito por SILVEIRA et al. (2010).

Figura 9 - Esteira revestida com feltro



Fonte: Autor

5.1.2 Mecanismo dosador de sementes

Para a execução dos ensaios, foi utilizado um mecanismo dosador pneumático de sementes da marca comercial *John Deere*¹ ilustrado na Figura 10, que utiliza a pressão negativa do ar como forma de separação e retenção de sementes no disco alveolar vertical até o local de liberação da semente, onde a pressão do ar é suprimida e as sementes são liberadas para o tubo condutor. A seleção do mecanismo dosador considerou a existência de discos sem furação (Cegos) fabricados para este modelo.

Figura 10 - Dosador Pneumático



Fonte: Autor

O mecanismo apresenta um sistema de escovas que atuam como raspador/individualizador de sementes no disco dosador.

A ligação do movimento rotacional transmitido do motor através do redutor até o eixo do dosador é realizada por meio de um cardan com juntas universais.

Para a geração da pressão negativa necessária ao dosador pneumático de sementes, foi utilizado um ventilador centrífugo *Matermacc* ilustrado na Figura 11, acionado por motor elétrico trifásico de 3677,5 W de potência, rotação de 3510 rpm, através de polias e correia permite uma rotação de 5400 rpm no eixo do ventilador. O controle do vácuo foi aferido pela visualização de um manômetro, possibilitando a

¹ A citação de marcas e modelos comerciais, não representam a recomendação dos mesmos por parte do autor.

verificação da pressão de trabalho e adequação conforme pré-estabelecido no dimensionamento do sistema.

A alteração da pressão foi realizada através da utilização de um inversor de frequência, alterando a rotação do motor elétrico trifásico que aciona o ventilador, deste modo, este dispositivo permitirá a utilização de diferentes níveis de pressão de trabalho. O ar aspirado, que gera a pressão negativa para os dosadores, é conduzido por uma mangueira flexível com 50 mm de diâmetro.

Figura 11 - Ventilador Centrífugo



Fonte: Autor

5.1.3 Sementes

Para as avaliações, foram utilizadas sementes de arroz (*Oryza sativa L.*) cultivar híbrida Arize QM 1010, Bayer Crop Science. A área projetada das sementes, foi definida através das principais dimensões como comprimento, diâmetro e espessura sendo determinadas com auxílio de um paquímetro digital, com amostras compostas por 50 sementes (VIEIRA JUNIOR 1998).

5.1.4 Ângulo de repouso das sementes

O procedimento para determinação do ângulo de repouso foi realizado utilizando-se um dispositivo que dispõem de uma estrutura plana onde são depositadas as sementes que escoam através de um funil, descrito por (ALTMANN et al., 2010). A determinação do ângulo de repouso foi realizada através da análise das imagens obtidas com uma câmera fotográfica digital, modelo SONY DSC-W30, no software AutoCAD (*computer aided design*), após a liberação das sementes na estrutura citada anteriormente, conforme ilustra a Figura 12, mesmo método utilizado por Altmann et al. (2010).

Foram realizadas 4 repetições, utilizando-se 4 Kg de sementes da cultura utilizada neste trabalho.

Figura 12 - Determinação do ângulo de repouso das sementes



Fonte: Autor

5.2. METODOLOGIA

5.2.1 Metodologia do projeto de desenvolvimento da concepção para individualização de sementes de arroz

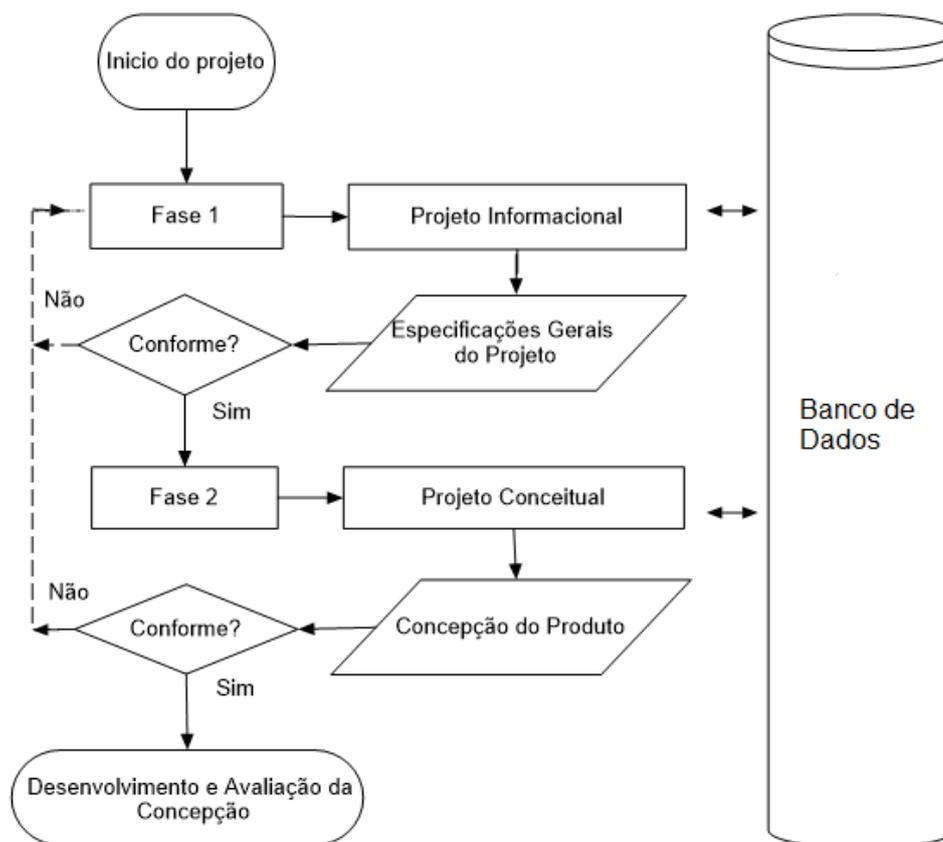
O desenvolvimento do projeto da concepção para individualização de sementes miúdas, adaptável a dosadores pneumáticos, foi elaborado em fases tendo como referência as metodologias de projeto descritas por Ogliari (1990), Romano (2003), Reis (2003), Alonço (2004).

A utilização destes métodos visou facilitar a visualização das tarefas de cada fase, auxiliando o planejamento de todas as atividades inerentes ao projeto contribuindo para a redução dos erros ou riscos que possam afetar de forma negativa o prosseguimento do projeto. O fluxo das atividades foi realizado de forma que existiu uma dependência entre as fases, demarcando também o ciclo de vida do projeto.

Neste trabalho, foram utilizadas as fases de projeto informacional e projeto conceitual contemplando a etapa de avaliação da concepção elaborada, conforme pode ser visualizado na (Figura 13). A justificativa para tal escolha, deve-se ao fato de que, o trabalho foi realizado, primeiramente, em ambiente acadêmico, e não possuiu até o momento, indústrias parceiras para o financiamento e desenvolvimento do produto, além de considerar a restrição do tempo disponível para realização das diferentes etapas que contemplam a elaboração e avaliação proposta por esse trabalho.

Todas as fases e processos que envolvem o desenvolvimento do projeto, foram executadas com o apoio e suporte de um banco de dados elaborado através de pesquisa bibliográfica, consulta técnica em materiais direcionados à área de mecanização e também com auxílio dos componentes da equipe de projeto. O objetivo deste trabalho foi, realizando o levantamento de informações sobre mecanismos existentes no mercado agrícola, sugerir o desenvolvimento de uma nova concepção para individualização de sementes miúdas, confeccionar o produto e realizar as avaliações em laboratório.

Figura 13 - Fluxo das fases e processos que envolvem o projeto

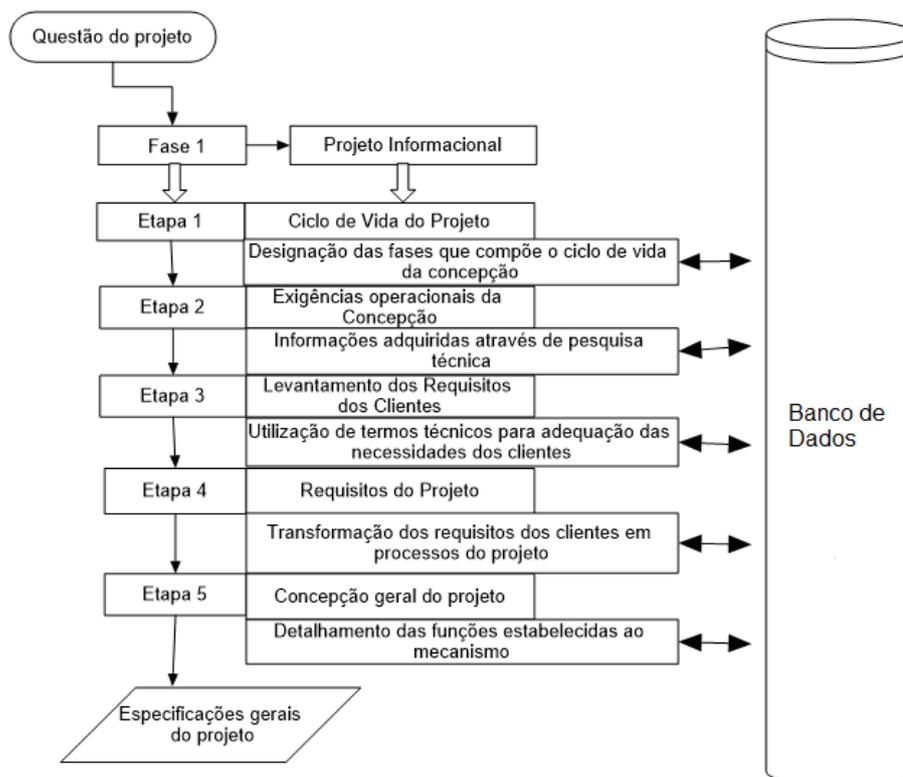


Fonte: Autor

5.2.2 Projeto informacional

Nesta fase, realizou-se a aquisição de informações que serviram para embasamento da especificação do produto. Através da análise do funcionamento e características dos mecanismos dosadores, assim como avaliar as exigências operacionais para o mecanismo, foi possível adquirir informações sobre possíveis características desejáveis e indesejáveis no desenvolvimento do projeto estabelecendo desta forma os principais requisitos para o produto. Na Figura 14 é apresentado o ciclo de vida do produto, caracterizado resumidamente pelas etapas que compõe a fase de projeto informacional do presente trabalho.

Figura 14 - Fluxograma da sequência de etapas da fase de projeto informacional



Fonte: Autor

Reis e Forcellini (2006) afirmam que é de extrema importância a observação e análise do ciclo de vida para que os requisitos do projeto possam ser contemplados, durante esta fase, diferentes tipos de clientes poderão influenciar na tomada de decisões no projeto. Estas influências serviram como embasamento técnico para as diferentes etapas de produção, contribuindo para a fixação de diferentes características ao mecanismo projetado.

Devido às concepções individualizadoras estarem classificadas como projeto adaptativo, o qual é conceituado por Pahl e Beitz (1996) como, inserção de um mecanismo a um sistema já conhecido com o objetivo de alterar a função para a qual foi inicialmente projetado, foram observadas características comuns aos diferentes mecanismos dosadores pneumáticos disponíveis no mercado, através do acesso à catálogos técnicos e também por avaliações em feiras de máquinas agrícolas. Estas características auxiliaram na interpretação e reflexão das necessidades no desenvolvimento do produto, sendo transformadas em requisitos dos clientes e do projeto.

5.2.3 Identificação das necessidades dos clientes

Uma das fases do desenvolvimento do projeto de um produto, é a pesquisa sobre as necessidades e requisitos dos consumidores, clientes ou usuários finais deste produto. Este estudo foi realizado com o intuito de distinguir os parâmetros que influenciaram na tomada de decisão sobre a concepção do projeto. Reis (2003), desenvolveu um protótipo de dosador pneumático utilizando sementes de arroz, através de um questionário aos produtores; o autor realizou um levantamento sobre as características requeridas pelos mesmos para a utilização de um dosador de sementes.

No processo de projeto e desenvolvimento de máquinas agrícolas, as informações necessárias para o estabelecimento de concepções advêm de áreas multidisciplinares, sendo de grande relevância conforme Bellé (2012), atribuir uma especial atenção às informações oriundas do campo, ou seja, dos usuários finais destas máquinas, auxiliando a equipe de projeto na visualização das reais condições de utilização destes equipamentos.

Para facilitar a visualização e entendimento, os requisitos foram resumidos e agrupados, classificando-os em uma linguagem que permita expressar as características qualitativas do produto.

O desenvolvimento da concepção adaptativa para utilização em dosadores pneumáticos já existentes no mercado agrícola, considerou, através de consulta às bases bibliográficas, reunião com os componentes da equipe de projeto e aplicação de um questionário para agricultores, acadêmicos e técnicos ligados à área agrícola, apenas os parâmetros requeridos quanto a operacionalidade dos mecanismos dosadores de precisão.

A metodologia empregada foi a da Escala Likert, ao responder esta escala, o entrevistado especificou o seu nível de concordância com a afirmação realizada sobre um determinado fator, os quais foram utilizados em cinco níveis: (1) Não concordo totalmente; (2) Não concordo parcialmente; (3) Indiferente; (4) Concordo parcialmente; (5) Concordo totalmente.

Os requisitos e necessidades dos clientes para o projeto foram listados de modo que o entrevistado atribuísse o nível de importância para cada fator, também foi possibilitado aos participantes inserir requisitos como sugestão. A Tabela 1 apresenta

os requisitos obtidos através da aplicação do questionário e considerados conforme o nível de exigência de cada entrevistado.

Tabela 1 – Requisitos dos clientes obtidos pela aplicação de questionário

Fase do ciclo de vida do Projeto	Requisitos
Projeto	1. Ter projeto simples e de fácil fabricação
	2. Ser capaz de individualizar sementes de arroz
	3. Ter baixa influência do nível de sementes no reservatório
	4. Ter baixo custo de fabricação
	5. Ser capaz de dosar mais de uma espécie de semente (Arroz, trigo, aveia)
	6. Ter resistência e durabilidade dos mecanismos
Comercialização	7. Ter baixo custo de Aquisição
Operacionalidade (Uso, regulagens Manutenção)	7. Ter montagem sem o uso de ferramentas
	8. Ter baixo custo de Manutenção
	9. Ter fácil adequação dos espaçamentos entre linhas
	10. Ter adequação e montagem dos mecanismos em tempo reduzido
	11. Ser preciso propiciando economia de sementes distribuídas por área de semeadura
	12. Ter desempenho não influenciado pela elevação da velocidade de semeadura
	13. Ter precisão na individualização de sementes não classificadas
	14. Ter fácil limpeza e manutenção
	15. Ter acurácia na distribuição de sementes
	16. Ter regularidade na distância entre sementes distribuídas
	17. Ser capaz de propiciar ampla faixa de densidade de semeadura
	18. Ter regulagens manuais
	19. Ter quantidade reduzida de componentes para montagem
	20. Ter engates rápidos para fixação dos componentes
	21. Ter baixo índice de danificação física nas sementes (quebras, trincas)
	22. Ter baixa influência no desempenho pela elevação da velocidade angular do disco dosador

Fonte: Autor

O questionário, para respostas online, apresentado no apêndice A, foi enviado para grupos de pesquisa por meio de endereços eletrônicos, enviado diretamente a colaboradores e divulgado em site de notícias agrícolas. Foi obtido um total de trinta

e uma respostas, as quais 22,6% dos entrevistados são pesquisadores e/ou professores, 6,5% trabalham na área comercial agrícola, 16,1% são agricultores, outros 16,1% possuem atividade não especificada e, 38,7% são estudantes e filhos de agricultores.

Dentre o número total de entrevistados, 64,5% considerou um fator muito importante para a produtividade da cultura, o desenvolvimento de um mecanismo para dosagem e individualização de sementes de arroz, outros 35,5% consideraram importante.

Os requisitos e necessidades dos clientes, foram observados de modo que possibilitaram definir as funções e sub funções do mecanismo, permitindo assim, a elaboração dos requisitos do projeto que atenderam às exigências realizadas pelos clientes. Com base em critérios técnicos, a equipe de projeto buscou alternativas e soluções existentes na engenharia de produtos para satisfazer os princípios técnicos e econômicos estabelecidos.

5.3 PROJETO CONCEITUAL

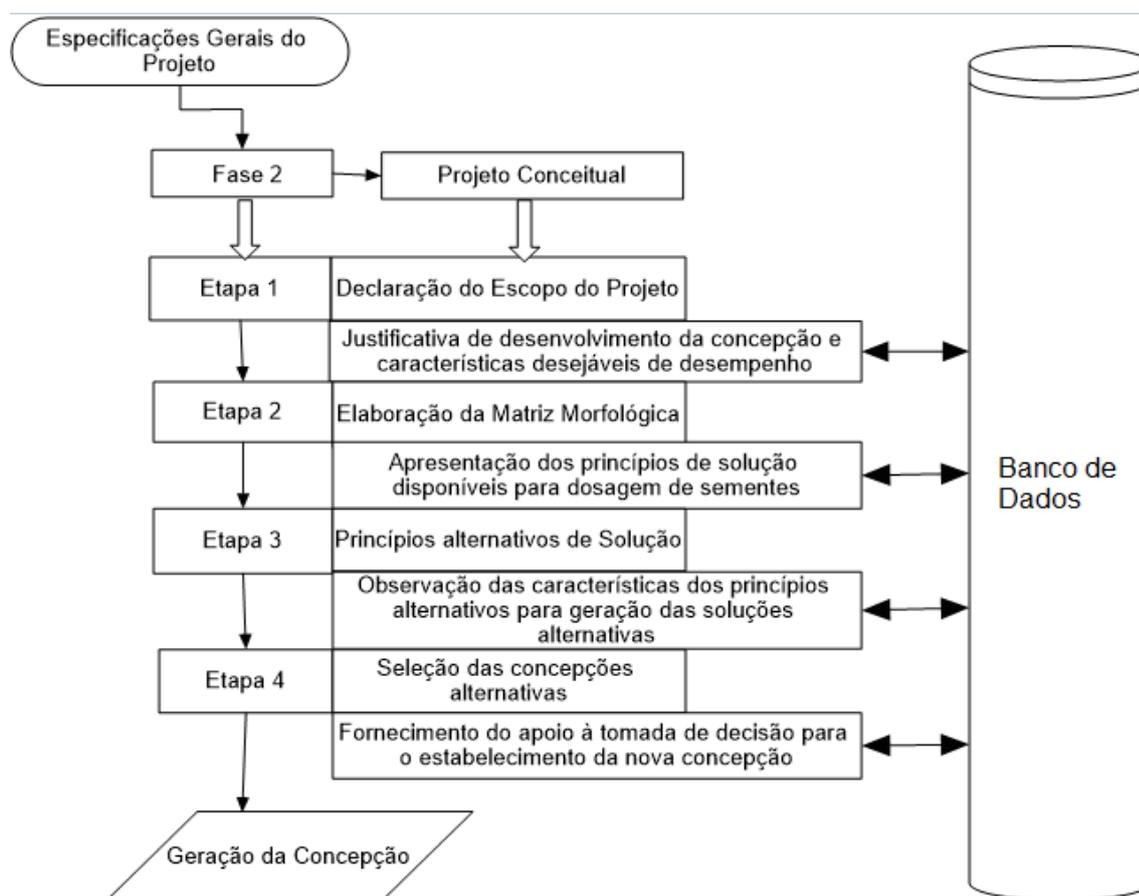
De acordo com a metodologia do Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas proposto por Romano (2003), o projeto conceitual é a segunda etapa da macrofase de projeção. O principal objetivo desta fase é criar respostas para satisfazer as exigências operacionais e necessidades dos clientes, bem como, fornecer ferramentas para elaboração do projeto detalhado do produto.

Nesta fase do projeto conforme Durkin & Durkin (1998), são utilizadas e discutidas informações diversas que, em grande parte, são originárias do raciocínio do idealizador do projeto tendo um baixo grau de formalidade, tornando necessário o uso de diversas linhas de raciocínio e uma grande quantidade de informações interdisciplinares.

Na fase de projeto conceitual foram agrupadas as concepções existentes para dosagem e individualização de sementes, objetivando a obtenção de informações que possibilitaram o desenvolvimento de uma nova concepção para utilização em individualização de sementes miúdas e, que permita a adaptabilidade em dosador pneumático de precisão. Através da análise das especificações já existentes, em conjunto com as interfaces dos sistemas e o ambiente de utilização dos mesmos, foi

possível determinar a real função global do kit individualizador para sementes miúdas. Na Figura 15, são expostos os itens que compõe a sequência do projeto conceitual.

Figura 15 - Fluxograma da sequência de etapas da fase de projeto conceitual



Fonte: Autor

5.3.1 Declaração do escopo do projeto

A tese apresenta o seguinte escopo: Desenvolver um mecanismo de individualização para sementes de arroz adaptável em dosadores pneumáticos já existentes no mercado com o objetivo de:

- Reduzir erros de deposição de sementes;
- Reduzir a danificação física e perda de sementes;
- Elevar a precisão da operação de semeadura da cultura do arroz;
- Através dos fatores citados anteriormente, proporcionar a redução de custos na implantação da cultura, através da utilização precisa de insumos bem como

disponibilizar uma alternativa simples e de baixo custo para elevar a precisão da operação de semeadura.

5.3.2 Elaboração dos princípios de solução para individualização de sementes

Dentre as funções de uma semeadora, Siqueira e Casão Jr. (2002) citam que a mesma deve cortar a palha, abrir o sulco com um pequeno revolvimento de solo e palha, individualizando e depositando no solo fertilizantes e sementes em profundidades uniformes e adequadas, cobrir o sulco de semeadura e as sementes com solo e palha, pressionar e compactar o solo lateralmente proporcionando o contato adequado semente/solo favorecendo a germinação.

Com relação aos dosadores de sementes, a função global inerente a estes mecanismos são, dosar e individualizar as sementes sem causar danificação física às mesmas, liberando-as para os tubos condutores possibilitando a distribuição de quantidades pré-determinadas de sementes por metro linear.

Inserida na função global dos dosadores, aparecem outras funções que podem ser caracterizadas como funções elementares. Estas funções podem ser executadas por mecanismos distintos que fazem parte da composição dos mecanismos dosadores sendo as principais: armazenamento das sementes em pequenos reservatórios realizando a alimentação dos discos dosadores, individualização das sementes através de discos alveolares horizontais em dosadores puramente mecânicos ou verticais em dosadores pneumáticos, raspagem das sementes em duplicidade aderidas nos alvéolos, ejeção das sementes liberando-as para o mecanismo de condução até o fundo do sulco de semeadura.

Cada mecanismo, em função de suas características, possui atributos com a finalidade de desempenhar a dosagem de sementes como visto no item 4.4, a partir disto foram esboçados mecanismos alternativos possibilitando a adaptação em dosadores de precisão para utilização com sementes miúdas. É de extrema importância o conhecimento do funcionamento dos mecanismos alternativos selecionados para composição dos princípios alternativos para individualização de sementes, deste modo, houve a contribuição para o alcance do sucesso na determinação da solução apresentada.

5.3.3 Detalhamento das características operacionais do mecanismo

Nesta fase foi elaborada uma metodologia para verificação do desempenho do produto e realizada a conclusão das especificações, foram executados testes com o propósito de avaliar a funcionalidade e corrigir possíveis erros ou realizar as possíveis modificações e/ou adaptações antes das avaliações finais. Após realizadas as adequações necessárias para o correto funcionamento do mecanismo, foram executados os ensaios para avaliação do desempenho do produto quanto a dosagem e distribuição de sementes de arroz.

5.3.4 Determinação da pressão negativa

Alguns fatores afetam a porcentagem de preenchimento dos alvéolos dos discos de dosadores pneumáticos, conforme Segundo (2004), a dimensão dos orifícios, o tamanho, formato e massa das sementes, o nível de pressão negativa (vácuo) e a velocidade de semeadura podem influenciar de maneira significativa o desempenho dos mecanismos dosadores.

Reis (2003), desenvolveu equações para determinação da pressão negativa necessária para aprisionar uma semente no alvéolo de dosagem, bem como determinar a dimensão do orifício. O autor utilizou variáveis como a velocidade do ar necessária para captar e aprisionar sementes no alvéolo, a massa e a dimensão das sementes e as forças que atuam nas mesmas durante o processo de dosagem. O mesmo adotou equações para dimensionar a captação de sementes com mecanismos de bicos pneumáticos, que captam as sementes a uma certa distância em relação ao orifício.

O desenvolvimento das concepções de discos dosadores para sementes miúdas, considerou a situação onde a semente está próxima ao orifício de dosagem, ou seja, o disco dosador está em contato com a massa de sementes no reservatório do mecanismo dosador. Através da metodologia utilizada por Mohsenin (1970), que considerou as características físicas das sementes como comprimento, largura e espessura, foi realizado o dimensionamento dos orifícios de dosagem pneumática do disco dosador, utilizando as concepções de diâmetro equivalente e área projetada.

Os alvéolos foram dimensionados de acordo com a metodologia utilizada por Short e Huber (1970), os autores recomendam que a dimensão do orifício de dosagem

tenha uma proporção de aproximadamente 40% da área exposta ou projetada da semente, de modo que proporcione um correto acondicionamento e posteriormente liberação da semente para a deposição na linha de semeadura. Deste modo, foram utilizadas as equações para determinação do diâmetro equivalente e área projetada das sementes, conforme descrito na metodologia desta tese.

O nível de pressão negativa necessária para capturar e aprisionar a semente no alvéolo do disco dosador próximo ao ponto de liberação da semente é um ponto considerado crítico de acordo com Monteiro (1989), o dimensionamento deste fator pode interferir de maneira positiva se efetuado de maneira correta liberando as sementes para o tubo condutor ou de maneira negativa, aprisionando as mesmas e ocasionando a falha na deposição da semente.

O ajuste do nível de pressão negativa necessário para a dosagem das sementes foi realizado utilizando-se as equações descritas por (MONTEIRO, 1989):

$$F_s = F_c + P_e \quad (1)$$

Onde:

F_s – Força de sucção (N)

F_c - Força Centrífuga (N)

P_e – Peso da semente (N)

$$F_c = \frac{m_s \times V_p^2}{R} \quad (2)$$

Onde:

F_c – Força Centrífuga (N)

m_s – Massa da semente (kg)

V_p – Velocidade Periférica ($m\ s^{-1}$)

R – Raio (m)

Equação para determinação da força de sucção considerando-se o coeficiente de atrito da semente com o disco dosador:

$$F_a = F_s \times f_a \quad (3)$$

Onde:

Fa – Força de atrito (N)

Fs – Força de sucção (N)

$$F_s = \frac{m_s \times g}{f_a} \quad (4)$$

Onde:

ms – Massa das sementes (kg)

g - Aceleração da gravidade (m s⁻²)

fa – Coeficiente de atrito

Equação para determinação da pressão negativa para fixar as sementes no alvéolo:

$$P_s = \frac{F_s}{A_c} \quad (5)$$

Onde:

Ps – Pressão de sucção (N m⁻²)

Fs – Força de sucção (N)

Ac – Área da célula (orifício) (m²)

Após realizado o dimensionamento do nível de pressão negativa, e de posse do protótipo do disco dosador, foram realizados testes preliminares que possibilitaram observar o comportamento das concepções conforme os diferentes níveis de pressão negativa estabelecidos, bem como visualizar a adequação dos discos e escovas raspadoras a estrutura do mecanismo dosador corrigindo possíveis falhas.

5.3.5 Determinação do diâmetro dos alvéolos

Utilizando as dimensões das sementes, foi realizada a determinação do diâmetro dos orifícios dos discos dosadores empregados nos ensaios, o dimensionamento dos orifícios foi realizado utilizando-se como parâmetro a metodologia descrita por Short e Huber (1970), sendo recomendado o uso de 40% da área projetada da semente, calculada pelas equações abaixo. Para a verificação da

significância ou não do diâmetro do orifício, aliado a variação de pressão negativa e velocidade de periférica do disco dosador na captação e dosagem de sementes, foi adotado um valor inferior de 20% e um superior de 60% desta área.

A área projetada das sementes foi calculada através das equações descritas por (REIS, 2003):

$$Deq = \sqrt[3]{Cs \times Ls \times Es} \quad (6)$$

Onde:

Deq - Diâmetro equivalente (m)

Cs - Comprimento da semente (m);

Ls - Largura da semente (m);

Es - Espessura da semente (m);

$$Aproj = \frac{\pi \times Deq^2}{4} \quad (7)$$

Onde:

Aproj - Área projetada (m²);

π - Constante matemática. Valor adotado 3.14;

Deq - Diâmetro equivalente (mm)

5.3.6 Metodologia de avaliação dos protótipos

Foram realizados ensaios com três velocidades periféricas do disco dosador de sementes, estas, resultaram em densidades de semeadura conforme descrito na (Tabela 2). As taxas de semeadura foram definidas de acordo com as Informações para Reunião técnica da cultura do arroz irrigado – SOSBAI (2014), sendo a recomendação para a maioria das cultivares híbridas, populações que variam de 100 a 150 plantas m⁻². Para obtenção destas populações, recomenda-se a utilização de 40 a 50 kg de semente ha⁻¹. A determinação do número de sementes por metro e da quantidade de sementes por hectare foi calculada pelas das equações 8 e 9, método desenvolvido por Canova et al. (2003) para regulagem de semeadoras para grãos miúdos.

Determinação da densidade de semeadura, sementes m^{-1} :

$$L = \frac{100 \times S \times E}{V} \quad (8)$$

Onde:

L - Número de sementes (m^{-1})

S - Estande de sementes (m^{-2})

E - Espaçamento entre linhas (m)

V - Poder germinativo (%)

Determinação da quantidade de sementes em Kg/ha:

$$D = \frac{(1/E \times L \times M)}{100} \quad (9)$$

Onde:

D – Quantidade de sementes ($kg\ ha^{-1}$)

E – Espaçamento entre linhas (m)

L – Número de sementes (m^{-1})

M – Massa de 1000 sementes (g)

Tabela 2 - Espaçamentos e densidade de semeadura para sementes de arroz

Sementes	Densidade de sementes			Espaçamento	
	$kg\ ha^{-1}$	Sem m^{-2}	Sem m^{-1}	Entre linhas (m)	Nominal (Xref) (m)
Arroz	20	115	20	0,17	0,050
	30	175	30	0,17	0,033
	40	230	40	0,17	0,025

Considerar peso de 1000 sementes de arroz 26,5 gramas.

PG (%) Poder germinativo das sementes 97%.

Considerar espaçamento entre linhas 0,17m.

Fonte: Autor

A densidade de semeadura estabelecida em $kg\ ha^{-1}$ está próxima aos valores permitidos pela norma ABNT 9743 (1987), a qual cita a possibilidade de utilização de densidades de até 20% menores que a mínima recomendada e até 20% maiores que a máxima recomendada.

Os tratamentos também foram compostos por três diferentes concepções do mecanismo individualizador, representados por diferentes diâmetros dos orifícios do disco dosador com seus respectivos níveis de pressão negativa previamente dimensionados, isto foi realizado considerando-se as dimensões médias das sementes em milímetros, (C) comprimento 9,6, (L) largura 2,3 e (E) espessura 1,9. Deste modo, cada tratamento foi composto por Concepção do disco dosador x densidade de semeadura em quatro repetições.

A estimativa de tamanho dos orifícios do disco dosador, bem como nível de pressão negativa necessária para fixação das sementes está apresentada na (Tabela 3). As pressões necessárias para o funcionamento da dosagem pneumática foram aferidas com os orifícios dos discos vedados fazendo-se a simulação do preenchimento dos mesmos com sementes. Para o cálculo da pressão de sucção, foi considerado o tamanho do alvéolo de 20, 40 e 60% da área projetada das sementes utilizadas, o dimensionamento das concepções comparativas considerou o limite de 20% inferior e 20% superior a porcentagem estimada pela área projetada das sementes, os valores obtidos para área da célula, velocidade periférica e pressão de sucção estão apresentados na (Tabela 3).

Tabela 3 - Configurações utilizadas nos discos dosadores de acordo com as dimensões das sementes

Área da célula (alvéolo) (mm)	Velocidade Tangencial ($m s^{-1}$)	Pressão de Sucção (kPa)	Pressão de Sucção (Bar)
1,6 (20%)	0,09	P1 22,97	0,22
	0,15	P2 34,75	0,34
	0,19	P3 48,97	0,48
2,2 (40%)	0,09	P1 11,51	0,11
	0,15	P2 17,42	0,17
	0,19	P3 24,55	0,24
2,7 (60%)	0,09	P1 7,67	0,07
	0,15	P2 11,60	0,11
	0,19	P3 16,35	0,16

Área projetada das sementes 9,48 mm²

Pressão de sucção calculada com base área do alvéolo e velocidade periférica

Porcentagem do tamanho de alvéolo calculada com base na área projetada das sementes

Fonte: Autor

A determinação do número de alvéolos, foi realizada de acordo com a metodologia utilizada por Zhang et al. (2013), os autores afirmam que o espaçamento entre os orifícios do disco dosador, deve ser igual ou maior que a medida do comprimento da semente, de modo que não efetue a captação de uma semente por dois orifícios consecutivos. Devido a circunferência do disco ser reduzida da borda para o centro houve a necessidade de redução do espaçamento entre alvéolos da fileira externa para a interna.

Os orifícios foram projetados de modo que não estejam sobrepostos no momento da liberação da semente para o tubo condutor, realizando a dosagem ordenada de cada semente. Foram inseridas 4 fileiras contendo 36 alvéolos cada. Os espaçamentos entre as cavidades de alojamento das sementes foram de 10 mm para a primeira fileira, 8 mm para a segunda, 6 mm para a terceira e 4 mm para a quarta.

Na Tabela 4, encontram-se as configurações utilizadas no inversor de frequência que realizou o controle de rotação do disco dosador. A velocidade da esteira revestida com feltro para deposição de sementes foi mantida em 4 km h^{-1} ($1,11 \text{ m s}^{-1}$), intermediária às recomendadas pela norma ISO 7256/1, a qual cita as velocidades de $3,6 \text{ km h}^{-1}$ (1 m s^{-1}); $5,4 \text{ km h}^{-1}$ ($1,5 \text{ m s}^{-1}$); $7,2 \text{ km h}^{-1}$ (2 m s^{-1}); 9 km h^{-1} ($2,5 \text{ m s}^{-1}$) e $10,8 \text{ km h}^{-1}$ (3 m s^{-1}). Foram variadas as velocidades tangenciais do disco dosador para obtenção das densidades de semeadura, os níveis de pressão negativa e as conformações dos discos dosadores, com o objetivo de avaliar a influência na individualização e distribuição longitudinal de sementes de arroz.

Tabela 4 - Configurações utilizadas na bancada de ensaios de dosadores

Densidade de Semeadura (sem m^{-1})	Rotação (rpm)	Frequência (Hz)	Velocidade Tangencial (m s^{-1})
20	7,50	60,00	0,09
30	11,30	115,20	0,15
40	14,80	158,70	0,19

Fonte: Autor

Os experimentos foram realizados obedecendo a classificação proposta pelas normas ISO 7256/1 e ABNT (1994), para mecanismos dosadores de precisão, relacionando os espaçamentos entre sementes em aceitáveis ($0,5 X_{ref} < X_i < 1,5$

Xref.), múltiplos ($X_i < 0,5 X_{ref.}$) e falhos ($X_i > 1,5 X_{ref.}$), possibilitando a identificação do nível de precisão do protótipo e a capacidade de dosagem de sementes obedecendo o espaçamento nominal (X_{ref}). Também foi determinado o nível de acurácia do mecanismo individualizador verificando a capacidade de manutenção do número de sementes de arroz por metro linear. Para determinação destas variáveis foram utilizadas as equações 10 e 11.

Determinação do nível de precisão:

$$Precisão = \left(\frac{DP}{X_{ref}} \right) * 100 \quad (10)$$

Onde:

Precisão (%) - Nível em obtido em porcentagem

DP - Desvio Padrão dos espaçamentos aceitáveis

X_{ref} é o espaçamento teórico nominal

Determinação do nível de acurácia:

$$Acurácia = \left(\frac{Sem.m^{-1}UE - Sem.m^{-1}teorico}{sem.m^{-1}teorico} \right) * 100 \quad (11)$$

Onde:

Acurácia (%) - Nível em obtido em porcentagem

Sem m^{-1} UE – Número de sementes obtido após um ciclo de rolagem da esteira

Sem m^{-1} Teórico – Número de sementes por metro de acordo com a recomendação de semeadura

A classificação dos espaçamentos, foi realizada pelas médias que contemplaram a ocorrência de sementes dentro de cada classe de frequência, essas classes, fazem referência ao intervalo em centímetros que determina a classificação em espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos de acordo com os X_{ref} expostos na (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação do intervalo de espaçamentos entre sementes

Densidade (sem m ⁻¹)	Classes de Frequência		
	Xref Espaçamentos Aceitáveis (m) (Tolerância admissível)	Xref Espaçamentos Múltiplos (m) (Tolerância admissível)	Xref Espaçamentos Falhos (m)
20	0,025 < A < 0,075	0,001 – 0,025	> 0,075
30	0,016 < A < 0,049	0,001 - 0,016	> 0,049
40	0,012 < A < 0,037	0,001 - 0,012	> 0,037

Fonte: Autor

O procedimento para mensurar os espaçamentos entre sementes, iniciou após a finalização de cada ciclo completo de rolagem da esteira, ou seja, uma passada completa da mesma sob o tubo condutor que conduz as sementes liberadas pelo mecanismo dosador até a esteira para simulação de deslocamento da semeadora. Para coleta dos espaçamentos, foi observada a estabilização do funcionamento do mecanismo dosador e esteira para deposição das sementes, com aproximadamente 60 segundos de funcionamento para cada rolagem de esteira.

Para observação das posições dos espaçamentos, foi considerada a parte mediana da semente confrontada com a fita métrica, não houve reutilização de sementes após cada rolagem da esteira.

A determinação da danificação física das sementes foi realizada pelo método de separação manual de sementes, fazendo-se o uso de 3 repetições por tratamento compostas por amostras de 100 gramas. O cálculo foi efetuado pela diferença entre os percentuais de sementes quebradas obtidas nas amostras coletadas antes e após a passagem pelo mecanismo dosador conforme recomendações da ABNT (1994) e NBR 9743 (1987).

5.3.7 Delineamento experimental e análise dos dados

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso em um arranjo bifatorial em faixas 3x9 em quatro repetições, totalizando cento e oito unidades experimentais. O fator A (F1), foi composto pelas diferentes concepções físicas desenvolvidas, em três níveis; o fator D (F2), é constituído pelas densidades de semeadura, velocidade periférica dos discos dosadores e níveis de pressão negativa,

em nove níveis. O arranjo experimental foi executado conforme apresentado na (Tabela 6).

Tabela 6 - Arranjo experimental dos tratamentos executados nas avaliações

Disco 1		Disco 2		Disco 3	
Configurações		Configurações		Configurações	
Densidade 1	Pressão1	Densidade 1	Pressão1	Densidade 1	Pressão1
	Pressão2		Pressão2		Pressão2
	Pressão3		Pressão3		Pressão3
Densidade 2	Pressão1	Densidade 2	Pressão1	Densidade 2	Pressão1
	Pressão2		Pressão2		Pressão2
	Pressão3		Pressão3		Pressão3
Densidade 3	Pressão1	Densidade 3	Pressão1	Densidade 3	Pressão1
	Pressão2		Pressão2		Pressão2
	Pressão3		Pressão3		Pressão3

Densidade 1, 20 sementes por metro; densidade 2, 30 sementes por metro; densidade 3, 40 sementes por metro.

A tabulação e análise dos dados das variáveis observadas e danificação mecânica foram executados com auxílio dos softwares Microsoft Excel e SISVAR (FERREIRA, 2010).

Para verificação de normalidade, os erros foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov com ($P < 0,05$) para verificação de atendimento ao pressuposto, e ao teste de Bartlett ($P < 0,05$), para verificar a homogeneidade das variâncias. Atendidos os pressupostos de normalidade e homogeneidade, as médias dos dados coletados de precisão, sementes por metro, espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos, foram submetidas à análise de variância (ANOVA com $P < 0,05$), quando encontradas diferenças significativas pelo teste F, as médias das configurações e discos dosadores foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ambas em nível de 5 % de probabilidade de erro.

5.3.8 Avaliação complementar de desempenho e adequação.

Anteriormente a execução dos ensaios com os protótipos para coleta de dados, foram realizados testes para avaliação complementar do desempenho, registrando informações oriundas da observação direta do funcionamento do mecanismo. Neste

momento também foram realizadas as adequações dos mecanismos auxiliares utilizados para o funcionamento do dosador de sementes, como por exemplo, o ventilador centrífugo para geração da pressão negativa necessária à captação de sementes, a aferição da velocidade de deslocamento da esteira emborrachada revestida com feltro para deposição das sementes e também a conferência das velocidades periféricas do disco dosador para proporcionar o número preestabelecido de sementes por metro.

A observação direta intensiva do funcionamento inicial dos protótipos visou o levantamento de informações qualitativas, de acordo com Marconi e Lakatos (2007), este método possibilita a visualização de características que possibilitam o exame de fenômenos ocorridos durante o funcionamento de produtos desenvolvidos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir deste tópico, estão apresentados os processos que englobaram as fases de desenvolvimento do mecanismo adaptável ao dosador pneumático para individualização de sementes de arroz, expondo as fases de planejamento, aquisição das necessidades dos clientes, elaboração dos requisitos do projeto, elaboração das concepções e os resultados obtidos nas avaliações dos protótipos.

6.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO

O planejamento do projeto foi organizado e dividido em fases contemplando o escopo, as fases de desenvolvimento que contemplam o ciclo de vida do mesmo e os possíveis riscos e custos para desenvolvimento e elaboração do projeto. O escopo delimitado foi o desenvolvimento de um mecanismo de individualização para sementes de arroz adaptável em dosador apanhador com auxílio pneumático, com o objetivo de reduzir erros de deposição de sementes; reduzir danificação física e perda de sementes; elevar a precisão da operação de semeadura da cultura do arroz; através dos fatores citados anteriormente, proporcionar a redução de custos na implantação da cultura, através da utilização precisa de insumos bem como disponibilizar uma alternativa simples e de baixo custo para elevar a precisão da operação de semeadura.

6.1.1 Projeto informacional

Na Tabela 7 estão expostas as fases que integraram o ciclo de vida do produto, com os diferentes agentes que estão envolvidos no desenvolvimento do projeto do produto, obedecendo a sistematização de fases, clientes e usuários e objetivos de cada fase.

Tabela 7 - Ciclo de vida do mecanismo de individualização para sementes de arroz

Fases do ciclo de vida do	Clientes e usuários	Objetivos
Projeto do produto	Equipe multidisciplinar de projeto	Desenvolver um produto observando as necessidades adquiridas pelo levantamento de informações junto à clientes e usuários, de forma que o desempenho do produto elaborado seja de elevada precisão
Operacionalidade (uso, regulagens, manutenção)	Equipe multidisciplinar de projeto/ pesquisadores do LASERG	Obedecer aos requisitos de desempenho, operacionalidade e segurança ao operador
Operacionalidade (uso, regulagens, manutenção)	Equipe multidisciplinar de projeto/ pesquisadores do LASERG	Através de experimentos científicos, obter resultados satisfatórios para a função do mecanismo, colaborando para elevação da precisão de semeadura da cultura do arroz.
Operacionalidade/ Comercialização	Equipe multidisciplinar de projeto/ pesquisadores do LASERG	Manutenção simplificada, baixo custo para substituição de peças com desgaste, ausência de riscos ao operador
Comercialização	Equipe multidisciplinar de projeto/ laboratório de CNC - UFSM	Elaboração de um mecanismo de baixo custo, de simples fabricação, montagem e manutenção

Fonte: Autor

A identificação dos riscos que podem interferir no projeto, considerou a atual conjuntura econômica do Brasil, a redução de incentivos financeiros para pesquisa acarretando na dificuldade de obtenção de materiais para execução de trabalhos científicos para levantamento de informações. Também foi considerado como risco, a escassez de estudos que apresentem o efeito da distribuição longitudinal de sementes, sobre a produtividade final da cultura do arroz. Outro fator observado foi atual valor pago ao produtor pela saca de arroz, o que poderá influenciar na decisão dos mesmos sobre a aquisição ou não de novas tecnologias para semeadura e produção.

Deste modo, o custo preliminar do mecanismo individualização para sementes de arroz, adaptável em dosador pneumático, foi estimado próximo à R\$ 150,00 por unidade (Disco, escovas de raspagem e individualização de sementes, mecanismo de fixação).

O levantamento dos requisitos dos clientes proporcionou a visualização de características que tornam este projeto diferenciado. Por ser caracterizado como projeto adaptativo, o mesmo poderá possibilitar ao produtor, um mecanismo de baixo custo e que possibilite a realização da semeadura de mais de uma cultura apenas com a substituição de peças internas, dispondo uma semeadora múltipla de precisão para culturas de inverno e verão, com sementes de variados tamanhos. Através do levantamento dos requisitos dos clientes foram definidos os requisitos do projeto, possibilitando a elaboração das métricas e respectivas unidades de medidas, conforme pode ser visualizada na (Tabela 8).

Tabela 8 - Requisitos dos clientes, requisitos do projeto, métricas de observação e unidades de medidas.

Requisitos dos clientes	Requisitos do projeto	Métrica	Unidade de medida
Ter projeto simples e de fácil fabricação	Fabricação acessível	Número de componentes	Unidade física
Ser capaz de individualizar sementes de arroz	Distribuição longitudinal de sementes	Espaçamentos Aceitáveis, múltiplos, falhos	%
Ter baixa influência do nível de sementes no reservatório	Preenchimento dos alvéolos	Presença ou ausência de semente	%
Ser capaz de dosar mais de uma espécie de semente	Multiuso da semeadora	Avaliação de funcionamento	Distância entre sementes
Ter resistência e durabilidade dos mecanismos	Peças de reposição	Durabilidade	Horas
Ter baixo custo de aquisição	Valor de mercado	Custo	R\$
Ter montagem sem o uso de ferramentas	Facilidade de montagem	Avaliação prática	Presença/ ausência
Ter baixo custo de manutenção	Peças de reposição	Custo	R\$
Ter fácil adequação dos espaçamentos entre linhas	Espaçamento entre linhas	Distância	Centímetros
Ter adequação e montagem dos mecanismos em tempo reduzido	Manutenção Fácil	Tempo	Minutos

Ser preciso propiciando economia de sementes distribuídas por área de semeadura	Número de sementes por metro	Densidade de semeadura	Semente m ⁻¹
Ter precisão na individualização de sementes não classificadas	Número de sementes por metro	Distância entre sementes	Centímetros
Ter fácil limpeza e manutenção	Baixo número de componentes	Quantidade de componentes	Presença/ ausência
Ter acurácia na distribuição de sementes	Regularidade de distribuição	Número de sementes por metro	Centímetros
Ter regularidade na distância entre sementes distribuídas	Equidistância entre sementes	Espaçamento entre sementes	Centímetros
Ser capaz de propiciar ampla faixa de densidade de semeadura	Ampla faixa de densidade de semeadura	Número de sementes por metro	Sementes m ⁻¹
Ter regulagens manuais	Montagem manual	Avaliação prática	Presença/ ausência
Ter quantidade reduzida de componentes para montagem	Facilidade/ rapidez de regulagens	Frequência	Ocorrência/ tempo
Ter engates rápidos para fixação dos componentes	Fácil montagem	Frequência	Ocorrência/ Tempo
Ter baixo índice de danificação física nas sementes	Manutenção da integridade física das sementes	Índice de danificação física	%
Ter baixa influência no desempenho pela elevação da velocidade angular do disco dosador.	Velocidade periférica do disco	Distância entre sementes	Centímetros

Fonte: Autor

Os requisitos dos clientes foram contemplados durante o ciclo de vida do projeto, de modo que, todos os processos realizados durante a execução do projeto do produto e, que impliquem em adição ou subtração de características ao mesmo, acabam por incidir nos consumidores finais deste produto através dos custos e também de características operacionais.

Para que seja possível a visualização da importância de um requisito em relação ao outro Ullman (1992), recomenda que os requisitos dos clientes deverão ser comparados aos pares, sendo possível assim, conhecer a importância pertinente a cada requisito. Reis (2003), descreveu a metodologia de aplicação do diagrama de Mudge, conforme o autor, a comparação é realizada com o requisito das linhas com

os requisitos de cada coluna, salvo os iguais. A equipe do projeto decidiu qual o requisito é mais importante em relação ao outro, após isto, foi atribuído um nível de importância a este requisito, utilizando-se letras A, B, e C, as quais tem o peso de 5, 3 e 2 respectivamente. O valor referente a cada requisito foi alcançado pela soma dos valores atribuídos no diagrama.

Na Figura 16 é apresentado o diagrama de Mudge com o confronto dos requisitos dos clientes para o mecanismo de individualização para sementes de arroz, obtidos através da aplicação de questionário.

Figura 16 - Diagrama de Mudge utilizado para valoração dos requisitos/ necessidades dos clientes

	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	S	%
01	2C	1B	1B	5C	6C	7C	8B	9C	10A	11B	12C	13C	14C	15C	16C	17C	18C	19C	20A	21C	22C	23C	6	0,72
	02	2C	2C	5B	2C	7A	2C	2C	2C	2B	2B	2C	2C	16C	2B	2C	2C	2C	2C	2C	2B	2B	85	10,27
		03	4B	5C	6C	7B	3A	9B	10A	11A	12C	13C	14B	15A	16C	17C	18C	19A	3B	21A	22C	23B	4	0,48
			04	5B	6B	7C	8C	9C	10C	11C	12C	13C	14C	15C	16B	17C	18C	19C	20C	21C	22C	23C	3	0,36
				05	5A	5A	5C	5A	5B	5B	5A	5A	14A	5B	16A	17B	5A	5B	5C	5C	5A	5B	53	6,40
					06	7A	6B	6A	10A	6B	12B	13A	14A	15A	16A	17B	18A	6B	6B	6B	22B	23B	29	3,50
						07	7C	9A	10A	7B	12A	13A	14A	7B	16B	17B	7A	7B	7C	7B	22B	23A	38	4,59
							08	9B	10B	11A	12B	13B	14C	9B	16B	17B	18A	9B	8A	21B	22A	23B	9	1,09
								09	10A	9A	12B	13B	14C	9B	16B	17B	18A	9B	9B	9B	22A	23B	30	3,62
									10	10B	12B	13B	14C	10B	16C	17C	18A	10B	10B	10A	22B	23B	26	3,14
										11	12C	13A	14C	11A	16C	17C	18C	11B	11A	21B	22C	23C	15	1,81
											12	13A	14B	12B	16C	17C	18C	12C	12C	22B	23C	56	6,78	
												13	14A	13B	16C	17C	13B	13C	13C	22A	13B	50	6,04	
													14	14B	16C	17A	14A	14C	14C	22A	14C	64	7,73	
														15	16C	17B	18B	15B	15B	15B	22C	24C	21	2,54
															16	16C	16B	16C	16A	22A	16C	83	10,02	
																17	17B	17C	17C	22A	17B	73	8,82	
																	18	18B	18B	18B	22B	23A	36	4,35
																		19	19A	21B	22C	23A	12	1,45
																			20	21B	22C	23C	6	0,72
																				21	22B	23B	23	2,78
																					22	22A	60	7,25
																						23	46	5,56
																							828	100

Fase do ciclo de vida do Projeto	Requisitos
Projeto	1. Ter projeto simples e de fácil fabricação
	2. Ser capaz de individualizar sementes de arroz
	3. Ter baixa influência do nível de sementes no reservatório
	4. Ter baixo custo de fabricação
	5. Ser capaz de dosar mais de uma espécie de semente (Arroz, trigo , aveia)
	6. Ter resistência e durabilidade dos mecanismos
Comercialização	7. Ter baixo custo de Aquisição
Operacionalidade (Uso, regulagens Manutenção)	8. Ter montagem sem o uso de ferramentas
	9. Ter baixo custo de Manutenção
	10. Ter fácil adequação dos espaçamentos entre linhas
	11. Ter adequação e montagem dos mecanismos em tempo reduzido
	12. Ser preciso propiciando economia de sementes distribuídas por área de semeadura
	13. Ter desempenho não influenciado pela elevação da velocidade de semeadura
	14. Ter precisão na individualização de sementes não classificadas
	15. Ter fácil limpeza e manutenção
	16. Ter acurácia na distribuição de sementes
	17. Ter regularidade na distância entre sementes distribuídas
	18. Ser capaz de propiciar ampla faixa de densidade de semeadura
	19. Ter regulagens manuais
	20. Ter quantidade reduzida de componentes para montagem
	21. Ter engates rápidos para fixação dos componentes
	22. Ter baixo índice de danificação físicos nas sementes (quebras, trincas)
	23. Ter baixa influência no desempenho pela elevação da velocidade angular do disco dosador

Fonte: Autor

Os requisitos que apresentaram maior expressividade na pontuação total pela valoração do diagrama de Mudge foram: ser capaz de individualizar sementes de arroz (10,27%), ter acurácia na distribuição de sementes (10,02%), ter regularidade na distância entre sementes distribuídas (8,82%), ter precisão na individualização de sementes não classificadas (7,73%), ter baixo índice de danificação física nas sementes (quebras, trincas, descascamento) (7,25%), ser preciso propiciando economia de sementes distribuídas por área de semeadura (6,76%), Ser capaz de dosar mais de uma espécie de semente (Arroz, trigo, aveia) (6,40%), ter baixa influência no desempenho influenciado pela elevação da velocidade de semeadura (6,04%), ter baixa influência no desempenho pela elevação da velocidade angular do disco dosador (5,56%), ter baixo custo de aquisição (4,59%).

Os requisitos que alcançaram as maiores porcentagens contemplaram todas as fases do ciclo de vida do projeto, com destaque para as funções principais desejáveis ao mecanismo, individualizar sementes de arroz e proporcionar acurácia na distribuição de sementes.

Os valores conferidos aos requisitos dos clientes foram dispostos em uma escala com o objetivo de facilitar o entendimento, utilizando para isso a ferramenta QFD (*Quality Function Deployment*) (Figura 17). Deste modo, foi possível realizar o relacionamento dos requisitos dos clientes com os requisitos do projeto hierarquizando os requisitos do projeto.

Figura 17 - Hierarquização dos requisitos do projeto utilizando o QFD (Quality Function Deployment)

Nível de Importância do requis	Fabricação acessível	Distrib. Longitudinal de sementes	Preenchimento dos alvéolos	Valor de mercado	Facilidade de montagem	Peças de reposição	Multiuso da semeadora	Espaçamento entre linhas	Densidade de semeadura	Alta capacidade operacional	Regularidade de distribuição	Manutenção fácil	Número de sementes por metro	Equidistância entre sementes	Ampla faixa de densidade de semeadura	Facilidade/ rapidez de regulagens	Baixo número de componentes	Montagem manual	Velocidade Periférica do disco	Manut. da integridade física das sementes	Pontuação do mudge	Número da linha	
																							0 - Não possui relação
																							1 - Relação fraca
																							3 - Relação Média
																							5 - Relação forte
Projeto simples e de fácil fabricação	5	0	1	5	5	5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	5	5	0	0	6	1	
Individualizar sementes de arroz	0	5	5	1	0	0	5	1	5	5	5	3	5	5	5	3	1	0	5	5	85	2	
Baixa influência do nível do reserv. de sementes	0	5	5	0	0	0	0	0	5	3	5	0	5	5	5	0	0	0	5	3	4	3	
Baixo custo de fabricação	4	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	3	4	
Dosar mais de uma espécie de sementes	5	5	5	1	3	1	5	3	5	5	5	3	5	5	5	3	3	3	3	5	53	5	
Resistência e durabilidade dos mecanismos	1	0	0	3	3	3	1	3	0	3	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	29	6	
Baixo custo de aquisição	3	0	0	5	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	38	7	
Montagem sem uso de ferramentas	3	0	0	0	5	1	0	3	0	5	0	5	0	0	0	5	5	5	0	0	9	8	
Baixo custo de manutenção	1	0	0	3	1	5	5	3	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	30	9	
Adequação dos espaçamentos entre linhas	0	1	0	0	5	0	5	5	0	0	3	5	1	0	0	3	3	3	0	0	26	10	
Adequação e montagem dos mecanismos (tempo)	0	0	0	0	5	0	1	3	0	5	0	5	0	0	0	5	5	5	0	0	15	11	
Economia de sementes dist. na área de semeadura	0	5	0	0	0	0	3	0	5	0	5	0	5	5	3	0	0	0	0	5	56	12	
Desempenho inf. Em vel deslocamento elevada	0	5	5	0	0	0	3	0	0	5	5	0	5	5	3	0	0	0	5	3	50	13	
Precisão na individualização de sem. não classificadas	0	5	5	0	0	0	3	0	5	3	5	0	5	5	3	0	0	0	3	0	64	14	
Facilidade de limpeza e manutenção	0	0	0	0	3	3	1	3	0	0	0	5	0	0	0	0	5	5	0	0	21	15	
Proporcionar precisão na distribuição de sementes	0	5	5	0	0	0	5	0	5	5	5	0	5	5	5	0	0	0	5	0	83	16	
Regularidade na distância entre sementes distribuídas	0	5	5	0	0	0	5	0	5	0	5	0	5	5	5	0	0	0	5	0	73	17	
Ampla faixa de densidade de semeadura	0	5	5	0	0	0	5	0	5	3	5	0	5	5	5	0	0	0	5	0	36	18	
Possibilitar regulagens manuais	1	1	0	0	5	0	0	3	5	0	0	5	5	0	5	5	3	5	0	0	12	19	
Quantidade de componentes para montagem	1	0	0	3	5	0	0	3	0	3	0	5	0	0	0	5	5	3	0	0	6	20	
Utilizar engates rápidos p/ fixação de componentes	1	0	0	0	5	3	1	3	0	3	0	5	0	0	0	5	3	5	0	0	23	21	
Não ocasionar danos físicos nas sementes	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	5	0	5	5	5	0	0	0	3	5	60	22	
Sofrer baixa influência da vel. Periférica do disco	0	5	5	0	0	0	3	0	5	5	5	0	5	5	5	0	0	0	5	3	46	23	
Número da coluna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
Pontuação da coluna	548	2968	2476	568	824	590	2960	809	2560	2371	3128	1229	3136	3050	2770	864	1014	688	2416	1570	36539		
Importância (%)	1,50%	8,12%	6,78%	1,55%	2,26%	1,61%	8,10%	2,21%	7,01%	6,49%	8,56%	3,36%	8,58%	8,35%	7,58%	2,36%	2,78%	1,88%	6,61%	4,30%	100,0%		
Importância do requisito	20	4	8	19	15	18	5	16	7	10	2	12	1	3	6	14	13	17	9	11	Total		

Fonte: Autor

Na matriz QFD foi realizada a confrontação dos requisitos dos clientes com os requisitos do projeto, fazendo o aproveitamento dos valores obtidos com o Diagrama de Mudge. A hierarquização dos requisitos ocorreu conforme o grau de importância e foi possível observar que, os principais requisitos do projeto e que auxiliaram na definição das principais funções e desempenho do mecanismo para individualização de sementes de arroz foram: Número de sementes por metro, regularidade na distribuição, equidistância entre sementes.

As recomendações agronômicas para as cultivares de alto potencial produtivo, de acordo com SOSBAI (2014), fazem referência para a redução do número de sementes por metro e, mesmo em baixas densidades de semeadura, a produtividade final da cultura poderá depender diretamente da distribuição espacial entre as sementes por unidade de área.

Aos requisitos do projeto, foram atribuídas metas de valores que auxiliaram no estabelecimento das especificações. Estas metas foram estabelecidas e embasadas em normas específicas utilizadas para avaliação de semeadoras e mecanismos dosadores, consulta a bibliografia específica e também a recomendações técnicas para a cultura do arroz. As avaliações da concepção gerada, permitiram a visualização de aspectos positivos e negativos quanto ao desenvolvimento do produto, possibilitando a correção e descrição de possíveis falhas do mecanismo.

Como pode ser observado, os requisitos que apresentaram as maiores pontuações e significância, fazem referência as principais funções da concepção desenvolvida, ou seja, individualização e distribuição de sementes.

6.1.2 Especificações do projeto do produto

Com relação a classificação dos requisitos, no Quadro 1 pode ser visualizada a ordem de importância adquirida conforme a hierarquização das exigências que regem o objeto de estudo dessa tese, que é o desenvolvimento e avaliação de um mecanismo para individualização de sementes de arroz.

As especificações do projeto do produto possuem o objetivo de detalhar a forma funcional da concepção, quantitativa e qualitativamente, fornecendo métodos e ferramentas para propiciar o detalhamento, embasamento e entendimento da tarefa a ser executada pelo produto. Em resumo, as especificações do projeto apresentam o

ponto de partida para verificação do atendimento ou não das necessidades apresentadas pelos usuários.

Quadro 1 - Especificações do projeto do produto estabelecidos em ordem de importância, obtidas através da pontuação do QFD

Ordem	Requisito do projeto	Valor Meta	Forma de avaliação
1	Número de sementes por metro	20; 30; 40 sem m ⁻¹	Recomendações agrônômicas para a cultivar em estudo
2	Regularidade na distribuição	% Acurácia	Avaliação em laboratório com base no projeto de norma ABNT e ISO 7256/1
3	Equidistância entre as sementes	% Precisão	Avaliação em laboratório com base no projeto de norma ABNT e ISO 7256/1
4	Distribuição long. de sementes	Espaçamentos Aceitáveis $\geq 75\%$; Múltiplos $\leq 12,5\%$; Falhos $\leq 12,5\%$	Classificação de acordo com o Xref para a densidade de semeadura
5	Multiuso da semeadora	≥ 4	Possibilidade de avaliação com sementes de Aveia, Azevém, Trigo
6	Ampla faixa de densidade de semeadura	De 30 a 70 sem m ⁻¹	Contagem e observação do número de sementes por metro
7	Densidade de semeadura	Mínima e máxima	Contagem e observação do número de sementes por metro
8	Preenchimento dos alvéolos	$> 90\%$	Visualização do mecanismo em funcionamento
9	Velocidade Periférica do disco	0,17 a 0,28 m s ⁻¹	Avaliação em funcionamento e correlação com a distribuição longitudinal de sementes
10	Alta capacidade operacional	$> \text{sementes s}^{-1}$	Avaliação da distribuição longitudinal em esteira
11	Manutenção da integridade física das sementes	$\geq 99\%$	Retirada de amostras de sementes, teste de germinação
12	Manutenção fácil	$\leq 15 \text{ min.}$	Substituição de peças com tempo reduzido
13	Baixo número de componentes	≤ 3	Mecanismos de dosagem e fixação
14	Facilidade e rapidez nas regulagens	$\leq 15 \text{ min.}$	Regulagem da pressão negativa e mecanismos raspadores/individualizadores
15	Facilidade de montagem	$\leq 15 \text{ min.}$	Montagem com encaixe de peças

16	Espaçamento entre linhas	$\geq 0,17$ m	Espaçamento recomendado para cultivar
17	Montagem manual	$\geq 90\%$	Montagem dispensa uso de ferramentas
18	Peças de reposição	\leq R\$ 120,00	Valor do kit de dosagem
19	Valor de mercado	\leq R\$ 150,00	Valor do kit de dosagem
20	Fabricação acessível	$\geq 90\%$	Componentes adaptativos

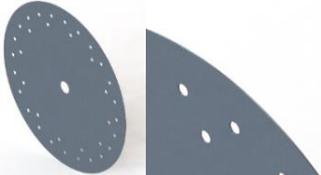
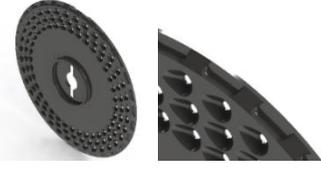
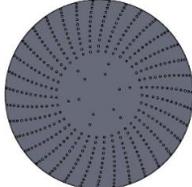
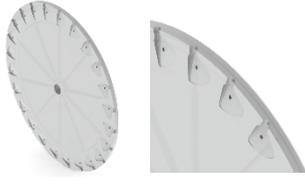
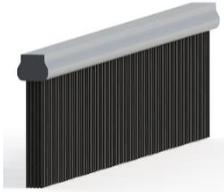
Fonte: Autor

6.2. PROJETO CONCEITUAL

Na fase de projeto conceitual, foram observadas as características que contemplam a função global do mecanismo, ou seja, a individualização das sementes de arroz. Para isso, uma das alternativas utilizadas, foi a matriz morfológica com o preenchimento de alguns princípios alternativos de solução que desempenham tal função com outros tipos de sementes, através das opiniões da equipe de projeto, com relação as características desejáveis ao protótipo, foi realizada a pontuação dos princípios alternativos.

Devido ao objetivo principal do projeto ser a elaboração de um mecanismo adaptável a dosadores pneumáticos já existentes no mercado agrícola, foram selecionadas concepções de mecanismos, exclusivos, discos dosadores e fixação, conforme a (Tabela 9).

Tabela 9 - Descrição dos princípios de solução para dosagem e sementes

Função Principal	Função requerida ao Mecanismo	Princípio alternativo de Solução 1	Princípio alternativo de Solução 2	Princípio alternativo de Solução 3	Princípio alternativo de Solução 4
Individualizar sementes	Capturar e individualizar as sementes contidas no reservatório do mecanismo dosador	 (Disco Alveolar Plano)	 (Disco Alveolar Com Cavidade)	 (Disco Alveolar Plano)	 (Disco Alveolar Com Cavidade)
Acoplamento/ Montagem	Encaixe do disco no mecanismo dosador	 (Pino de Fixação)	 (Parafuso de Fixação)	 (Contra Pino)	 Parafuso de fixação
Mecanismo excludor	Individualizar/ raspar sementes em excesso no alvéolo	 (Mecanismo Excludor Guilhotina)	 (Escova Raspagem/ Excludor)	 (Mecanismo raspador)	 (Escova de cerdas)

Fonte: Autor

6.2.1 Seleção das concepções alternativas para individualização de sementes

A conclusão da matriz morfológica permitiu realizar a representação dos princípios de solução que caracterizam ferramentas potenciais para a tarefa de individualização de sementes. A tabela 10, apresenta a matriz de decisão com a pontuação dos princípios de solução alternativos que forneceram embasamento para a nova concepção de mecanismo dosador de sementes de arroz. Foram estabelecidos pesos atribuindo valores para cada critério, individualizar sementes, acoplamento e montagem, mecanismo raspador e individualizador de sementes. Também foram atribuídas notas para cada critério, de acordo com a observação do potencial de cada princípio de solução.

Outro fator considerado, foram os aspectos relativos a pontuação do QFD, com as respectivas funções e características requeridas ao mecanismo além da observação aos critérios recomendados por Pahl & Beitz (1996) para a seleção das concepções mais adequadas. De acordo com os autores, o primeiro é observar a compatibilidade das subfunções com os princípios de solução, o segundo é obter soluções que procurem atender a critérios do projeto e limitações do orçamento e o terceiro, observar a associação de combinações mais relevantes justificando os motivos que determinaram tais escolhas.

A avaliação das características e conformações das diferentes ferramentas e mecanismos existentes para a realização da tarefa de individualização de sementes, permitiu, por meio da aplicação da ferramenta Brainstorming, a seleção de alguns princípios alternativos de solução. Foram considerados aspectos relativos às características do mecanismo que será utilizado para adaptação do disco dosador e mecanismos excludores, bem como, viabilidade técnica, financeira e possíveis fatores que possam interferir na precisão da operação e desempenho dos mecanismos.

Na Tabela 10, são apresentadas as alternativas que foram consideradas de maior potencial para o fornecimento de embasamento técnico necessário a tomada de decisão para elaboração da estrutura funcional do mecanismo individualizador de sementes.

Tabela 10 - Matriz de decisão para seleção das alternativas existentes para a função de individualização de sementes.

Critérios de decisão	Princípio alternativo de solução 1			Princípio alternativo de solução 2			Princípio alternativo de solução 3			Princípio alternativo de solução 4		
	Peso	Nota	Ponderação									
Individualizar sementes	5	1	5	5	5	25	5	3	15	5	4	20
Acoplamento/ Montagem	4	2	8	4	5	20	4	1	4	4	1	4
Mecanismo Raspador/exclutor	5	1	5	5	4	20	5	1	5	5	3	15
Total			18			65			24			39

Ponderação = peso * nota

Fonte: Autor

6.2.2 Descrição e justificativa da concepção sugerida para a função de individualização de sementes de arroz

Para seleção da concepção foram consideradas particularidades de mecanismos de individualização de sementes já existentes no mercado agrícola. Algumas características relevantes foram, por exemplo, a disposição e formato do alvéolo e também algumas particularidades com relação a liberação da semente.

A determinação do modelo foi obtida através de reuniões com a equipe de projeto, foram apresentadas algumas possibilidades disponíveis para a função de individualização de sementes bem como suas características relevantes, posteriormente a isso, foi aplicada a técnica de “*brainstorming*”, as ideias e opiniões dos colaboradores foram somadas as concepções existentes, contribuindo para a atribuição de pesos e notas com valor numérico de 1 a 5 para cada critério, possibilitando alcançar um valor total que determinou um princípio de solução modelo para a concepção.

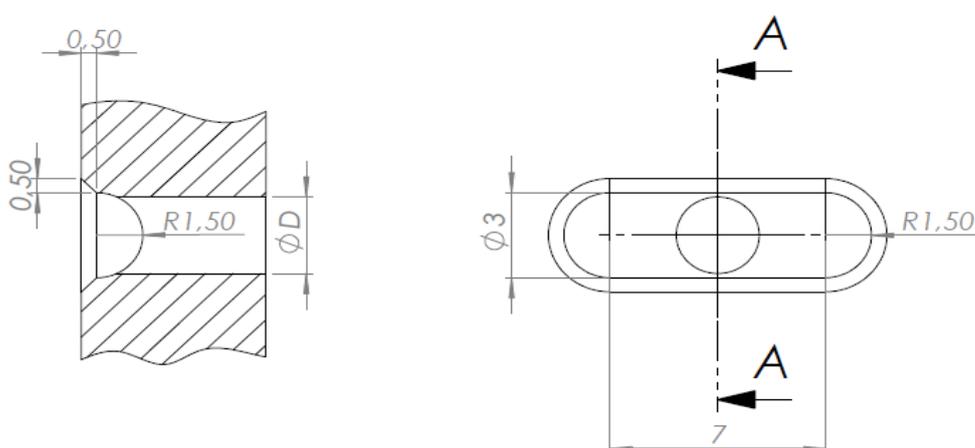
Outros fatores considerados foram os requisitos dos clientes, listados em ordem de importância pelos colaboradores que responderam o questionário, atribuindo, entre outras características, a facilidade de operação e manutenção, facilidade de montagem e troca de componentes, resistência dos materiais, fácil regulagem e capacidade de dosagem de diferentes densidades de semeadura.

A concepção de disco individualizador elaborada (Figuras 18, 19, 20 e 21), considerou as características do princípio alternativo de solução 2, que obteve a maior

pontuação na matriz de decisão para as características avaliadas, possuindo alvéolos dimensionados de acordo com a máxima área projetada das sementes, além de apresentar uma cavidade chanfrada com rampa com baixo ângulo de atrito de modo a facilitar o desprendimento da semente ao suprimir a pressão negativa, a mesma foi desenvolvida considerando-se as dimensões da semente, como comprimento e espessura com o intuito de facilitar o alojamento das mesmas no momento da individualização bem como a liberação para o tubo condutor (Figura 18). A montagem do disco dosador é realizada através do mecanismo de encaixe rápido com trava, dispensando o uso de ferramentas e reduzindo o tempo para substituição ou manutenção de componentes.

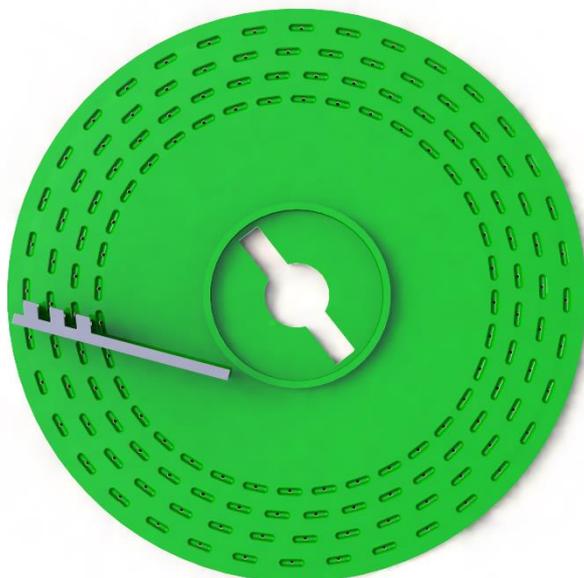
Foram elaboradas três concepções compostas por discos dosadores com diferentes tamanhos de alvéolo e mecanismos exclusivos de sementes. Através da avaliação dos mecanismos foi possível determinar a concepção ideal bem como, as condições de operação ideais para proporcionar precisão na individualização e distribuição longitudinal de sementes de arroz. Na Figura 18 está exposta a conformação do alvéolo, bem como o formato da seção de alojamento das sementes onde, \varnothing são os diferentes diâmetros dos orifícios, possuindo as dimensões de 1,6; 2,2; 2,7 mm.

Figura 18 - Ilustração das seções do alvéolo e cavidade de alojamento das sementes (Vistas lateral e frontal)



Fonte: Autor

Figura 19 - Ilustração do disco dosador e mecanismo raspador/ individualizador de sementes duplas (Perspectiva Frontal)



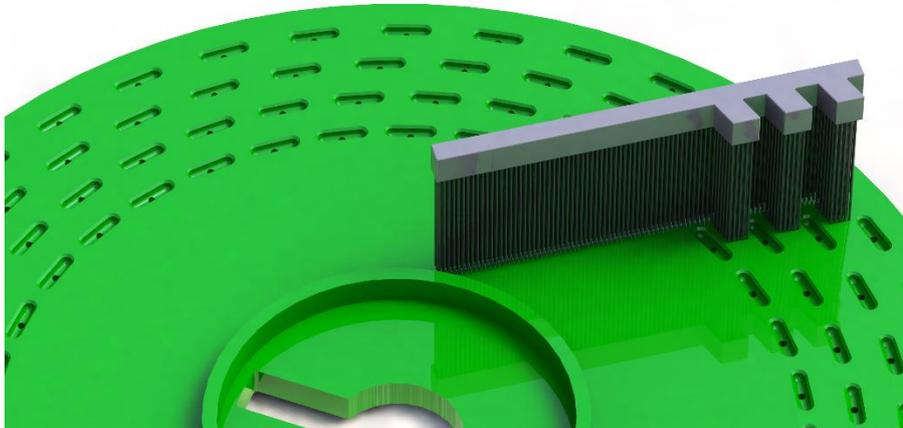
Fonte: Autor

Figura 20 - Ilustração do disco dosador e mecanismo excluidor de sementes duplas (Perspectiva lateral)



Fonte: Autor

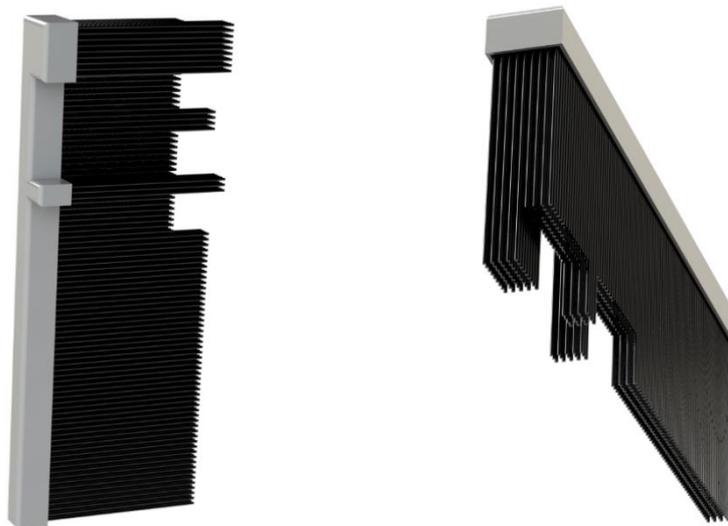
Figura 21 - Ilustração do disco dosador e mecanismo excludor de sementes duplas (Perspectiva inclinada)



Fonte: Autor

Com relação ao mecanismo de exclusão ou individualização de sementes, foram consideradas as características de um mecanismo que além de poder efetuar a atividade com eficiência, não ocasione danos físicos às sementes como descascamento, quebras ou trincas (Figura 22).

Figura 22 - Ilustração da concepção do mecanismo excludor de sementes



Fonte: Autor

A alternativa disponível para efetuar esta função é constituída de cerdas em material acrílico. O objetivo desta escolha foi fazer com que as sementes que ficassem alojadas dentro do alvéolo não sofram o efeito de cisalhamento que poderia ser ocasionado por materiais metálicos.

O formato alternado de cerdas da concepção sugerida, possui como objetivo fazer com que as sementes sejam alocadas ao alvéolo de forma longitudinal, deste modo, quando dispostas transversalmente ao mecanismo raspador, a primeira face de cerdas em contato com a sementes tem o objetivo de fazer com que as mesmas assumam a posição correta dentro da cavidade do alvéolo.

Este fator contribui para uma melhor aderência das sementes ao orifício, mesmo que em condições onde a máquina sofra vibrações durante o deslocamento. Se o mecanismo fosse desenhado com faces não alternadas, sementes dispostas de forma transversal ao alvéolo poderiam ser eliminadas pelo contato com as mesmas ou até mesmo ocorrer o desprendimento em situações onde a pressão negativa é insuficiente para fixação ao orifício, podendo ocasionar falha de preenchimento do mesmo.

As cerdas foram desenhadas com formato alternado de altura em relação ao alvéolo, a altura foi determinada considerando a espessura de uma semente alojada no orifício, objetivando-se que as sementes duplas aderidas a periferia do alvéolo sejam excluídas. A fixação deste componente é realizada por encaixe na estrutura física do dosador, estando em contato direto com o disco individualizador de sementes.

Com relação a fixação do disco no dosador, a alternativa selecionada considerou as características do dosador a ser utilizado e também a facilidade e rapidez para montagem e substituição de componentes, dispensando o uso de ferramentas para realização de alterações ou manutenções, realizando a fixação de forma rápida e segura através do mecanismo de travamento (Figura 23).

Figura 23 - Ilustração do mecanismo para fixação rápida



Fonte: Autor

6.2.3 Construção dos protótipos.

A aplicação dos princípios elaborados na metodologia do projeto para as concepções para dosagem das sementes de arroz, gerou a necessidade da construção de 3 protótipos físicos. Isto possibilitou a avaliação do desempenho dos mesmos quando aplicados os requerimentos operacionais como densidade, velocidade periférica e pressão negativa para captura e fixação das sementes no disco dosador.

Os três protótipos dos discos dosadores apresentam as mesmas dimensões, sendo alterado somente o diâmetro do orifício, também denominado de furo passante, o qual possibilita a passagem do ar para captação das sementes. A cavidade de alojamento da semente, possui a mesma medida de profundidade, comprimento e largura para os três discos.

O material utilizado foi 3 discos dosadores sem furação, conforme ilustrado na Figura 24, denominados como discos cegos, que são fabricados para o modelo do dosador utilizado nos ensaios. Os mesmos têm sua composição em polímero termoplástico, característica que possibilita a sua usinagem para moldagem de características desejáveis.

Figura 24 - Ilustração do disco dosador sem furos (Disco Cego)



Fonte: Autor

Para a construção das cavidades de alojamento e furos passantes para captação das sementes, foram utilizadas ferramentas denominadas brocas de aço rápido com as dimensões requeridas para o diâmetro dos furos passantes, sendo de 1,6; 2,2; 2,7mm. Para a construção das cavidades de alojamento foram utilizadas fresas de aço rápido topo esférica de 2 mm. O equipamento empregado para construção dos protótipos foi uma máquina CNC (Computer Numeric Control - Comando numérico computadorizado) modelo ROMI D 600, ilustrado na Figura 25, pertencente ao Laboratório de CNC do Colégio Técnico Industrial (CTISM – UFSM).

Figura 25 - Máquina CNC e fixação do disco para construção do protótipo



Fonte: Autor

6.3 AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES

Anteriormente a apresentação dos resultados obtidos para as variáveis de desempenho analisadas com os discos dosadores, está exposto a seguir o valor obtido do ângulo de repouso para a cultivar utilizada nos ensaios (Figura 26). Para este fator, foi encontrado, em média para as quatro repetições, um ângulo de 32° com desvio padrão de 1,61. Este valor é próximo ao encontrado por Silva e Corrêa (2000) que foi de 34° , e inferior ao encontrado por Mir et al. (2013), ao estudar propriedades físicas de variedades de arroz, os autores obtiveram um valor de ângulo de repouso de $41,1^\circ$.

Esta propriedade pode influenciar diretamente no escoamento das sementes, ao assumir maiores valores devido a abrasividade das mesmas, aliado ao formato do reservatório do mecanismo dosador, as sementes podem permanecer estáticas havendo dificuldade de captação das mesmas pelos orifícios do disco dosador.

Figura 26 - Imagem para determinação do ângulo de repouso das sementes



Fonte: Autor

Com relação a avaliação de desempenho do mecanismo desenvolvido, através da construção dos protótipos e geração de uma metodologia de ensaio, foi possível realizar um experimento para a coleta de dados observando variáveis de desempenho, possibilitando a visualização do comportamento do mecanismo quando submetido as configurações dimensionadas para o mesmo. A significância do teste F para as variáveis espaçamentos aceitáveis, múltiplos, falhos, precisão e danificação

física das sementes, bem como as interações entre os fatores estão apresentados na (Tabela 11).

Tabela 11 – Resumo da análise de variância para as variáveis analisadas.

		Variáveis					
		Precisão (%)	Semente (m ⁻¹)	Aceitáveis (%)	Múltiplos (%)	Falhos (%)	Danificação (%)
Discos F1							
Disco 1		28,63 A	32,80 B	39,92 C	36,77 B	23,29 A	0,18 A
Disco 2		28,32 A	31,98 B	33,39 B	42,42 C	24,17 A	0,24 A
Disco 3		29,29 B	6,12 A	20,50 A	15,11 A	64,38 B	0,40 B
Configurações (F2)							
Densidade 1	P1	30,95 B	9,85 A	30,28 B	23,33 A	46,38 D	0,47 A
	P2	29,22 B	11,55 B	35,00 C	25,35 A	39,64 C	0,23 A
	P3	29,23 B	12,66 B	31,59 C	26,33 A	42,07 C	0,25 A
Densidade 2	P1	30,06 B	18,98 C	32,07 C	29,81 B	38,11 C	0,19 A
	P2	29,88 B	18,47 C	34,00 C	30,88 B	35,12 B	0,25 A
	P3	27,76 A	23,59 D	32,92 C	32,80 B	34,26 B	0,27 A
Densidade 3	P1	26,40 A	30,95 E	29,88 B	31,21 B	38,90 C	0,32 A
	P2	28,93 B	38,83 F	29,59 B	38,07 C	32,33 B	0,18 A
	P3	26,27 A	47,84 G	26,11 A	45,14 D	28,73 A	0,31 A
Fatores							
Bloco		0,2125 ^{ns}	0,1266 ^{ns}	0,3424 ^{ns}	0,3521 ^{ns}	0,3357 ^{ns}	0,1119 ^{ns}
F1		0,0389*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0143 ^{ns}
Erro 1							
F2		0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0431*
Erro 2							
F1 x F2		0,0734 ^{ns}	0,0000*	0,0001*	0,0000*	0,0000*	0,0510 ^{ns}
Erro 3							
Média Geral (%) CV de faixa para disco		28,74	23,63	31,27	31,43	37,28	0,27
(%) CV Configurações		4,27	9,55	14,54	13,73	22,36	55,35
(%) CV Parcelas		6,17	10,76	10,41	13,02	12,40	57,40
		7,39	9,18	10,46	9,48	11,25	70,26

Significativo em nível de 5% de probabilidade. ns não significativo. Densidade 1 - 20; Densidade 2 - 30; Densidade 3 - 40 sem m⁻¹. P1, Pressão 1; P2 Pressão 2; P3 Pressão 3.

Fonte: Autor

Os dados das variáveis espaçamentos aceitáveis, múltiplos, precisão e danificação física obedeceram ao pressuposto de normalidade. Para os dados das

variáveis espaçamentos falhos e sementes por metro, houve a necessidade de realização de transformação utilizando-se a expressão: $xf = \arcsen \sqrt{x}/100$, onde xf é o dado que sofreu a transformação e x , o dado coletado original.

O coeficiente de variação nas variáveis precisão, semente por metro, espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos manteve-se abaixo do valor limite para avaliação de dosadores pneumáticos proposto por Coelho (1996). O mesmo cita que é desejável a manutenção do CV em aproximadamente 30%, porém, a variável danificação física das sementes apresentou um elevado coeficiente, estando acima dos valores encontrados por Almeida et al. (2003). Os autores avaliaram danos físicos em sementes de milho, soja, feijão e arroz, submetidos a diferentes sistemas de dosagem obtendo um CV de 14,36% e, abaixo do obtido por Reis e Forcelini (2009) para esta mesma variável, o CV apresentado pelos autores foi de 129,13%.

Na Tabela 12 são expostas as médias do número de sementes por metro obtidos nos ensaios, a configuração do disco 2 proporcionou os valores mais aproximados ao requisito.

Tabela 12 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável sementes por metro.

Configurações		Semente por metro (Sem m ⁻¹)		
		Disco dosador		
		1	2	3
Densidade 1	P1	13,62 Ab	12,66 Ab	3,27 Aa
	P2	13,16 Ab	15,27 Bb	6,22 Aa
	P3	16,96 Bb	15,63 Bb	5,40 Aa
Densidade 2	P1	27,38 Cb	21,15 Cb	8,42 Ba
	P2	27,40 Cb	22,41 Cb	5,59 Aa
	P3	31,95 Db	30,00 Db	8,84 Ba
Densidade 3	P1	45,53 Eb	41,48 Eb	5,84 Aa
	P2	60,66 Gc	50,33 Fb	5,50 Aa
	P3	58,53 Fb	78,94 Gc	6,05 Ab

NMS 0,05. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Nomenclatura: Disco 1 - 20%, Disco 2 - 40%, Disco 3 - 60%; P1 pressão negativa 1; P2 Pressão negativa 2; P3 Pressão negativa 3; Densidade 1 - 20 sem m⁻¹, Densidade 2 - 30 sem m⁻¹, Densidade 3 - 40 sem m⁻¹.

Fonte: Autor

Na densidade de 20 sementes por metro, as três configurações utilizadas não alcançaram o número de sementes por metro pré-estabelecido. Para os discos 1 e 2 o provável fator para esta ocorrência pode ter sido ocasionado pela baixa pressão de sucção não fixar as sementes de maneira adequada a cavidade do alvéolo. Porém, nas mesmas configurações citadas anteriormente, pode ser observado que, mesmo não havendo diferença significativa, o aumento do nível de pressão ocasionou a elevação do número de sementes sendo provável que, devido a características das sementes, ao se elevar a um nível adequado, o mecanismo poderia proporcionar a correta quantidade de sementes requerida.

Nos ensaios foi observada a captação de grupos de sementes em cada alvéolo, após passarem pelo mecanismo de raspagem de sementes duplas ocorreu a queda das que não se encontravam perfeitamente encaixadas na cavidade. Isso favoreceu a ocorrência de falhas na deposição de sementes, estes resultados vão de encontro aos obtidos por Singh et al. (2005), utilizando sementes de algodão, os autores concluíram que pressões inferiores a 2 kPa as sementes não ficam aderidas ao alvéolo de captação. Porém, quando a pressão é superior a 2 kPa ocorre a fixação de grupos de sementes, ocasionando um aumento de distribuição das mesmas por unidade de área.

Quando utilizado o disco 3, foi observada uma redução acentuada no número de sementes por metro para todos os tratamentos. Este fato ocorreu devido ao diâmetro do orifício de dosagem ser superior a espessura das sementes, a ocorrência de sementes não uniformes proporcionou a passagem das mesmas pelos orifícios, ocasionando a sucção pelo ventilador centrífugo gerador da pressão da pressão negativa. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Guozhong et al. (2015), avaliando um sistema pneumático para dosagem de sementes de arroz para semeadura em grupos de sementes, os autores observaram que diâmetros dos orifícios de captação superiores a 1,6 mm fazem com que as sementes sejam sugadas para o sistema de ventilação centrífuga.

Outro fator visualizado foi a obstrução dos orifícios de dosagem, sementes que possuíam espessura em um valor próximo ao diâmetro do orifício, ocasionaram o bloqueio dos mesmos, fazendo com que a captação e fixação das sementes nas cavidades e orifícios ficasse impossibilitada gerando um alto número de falhas de preenchimento.

A configuração do disco 2 com a pressão 3 na densidade de 30 sementes por metro, bem como o disco 2 combinado com a pressão 1 na densidade de 40, proporcionaram o número de sementes por metro pré-estabelecido demonstrando que, provavelmente, nestas combinações de configurações, houve a melhor adequação do mecanismo. Estes resultados corroboram as conclusões obtidas por Reis et al. (2006), os autores observaram a interação entre o diâmetro do orifício e a pressão de sucção em um cilindro pneumático para o número de sementes captadas.

Com relação a porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre sementes, foi observado que, ao elevar o nível da pressão negativa houve aumento do percentual de espaçamentos para o disco 1 nas densidades de 20 e 30 sementes por metro. Porém, a configuração disco 1 nas pressões 1, 2 e 3, apresentou sensibilidade a elevação da velocidade periférica do disco dosador reduzindo o percentual de aceitáveis para obtenção da densidade de 40 sementes por metro, conforme exposto na (Tabela 13).

Tabela 13 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável espaçamentos aceitáveis.

Configurações		(%) Espaçamentos Aceitáveis		
		Disco dosador		
		1	2	3
Densidade 1	P1	37,35 Ab	35,07 Bb	18,42 Aa
	P2	42,00 Ba	36,21 Ba	26,78 Ba
	P3	43,57 Bb	34,35 Bb	16,85 Aa
Densidade 2	P1	38,57 Aa	32,21 Ba	25,42 Ba
	P2	38,71 Aa	36,85 Ba	26,43 Ba
	P3	43,50 Bb	34,64 Bb	20,64 Aa
Densidade 3	P1	39,85 Ab	35,78 Bb	14,00 Aa
	P2	38,78 Ab	31,00 Bb	19,00 Aa
	P3	37,00 Ab	24,42 Aa	16,93 Aa

NMS 0,05. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Nomenclatura: Disco 1 - 20%, Disco 2 - 40%, Disco 3 - 60%; P1 pressão negativa 1; P2 Pressão negativa 2; P3 Pressão negativa 3; Densidade 1 - 20 sem m⁻¹, Densidade 2 - 30 sem m⁻¹, Densidade 3 - 40 sem m⁻¹.

Fonte: Autor

Dosadores de precisão, na maioria dos casos, apresentam esta característica quando utilizados para semeadura em velocidades de deslocamento superiores às

recomendadas, o que conseqüentemente, exige uma elevação da velocidade tangencial do disco dosador para obtenção de maiores densidades de sementeira por hectare. Este fator ocasiona a redução do tempo de exposição da semente ao alvéolo de captação proporcionando erros na deposição das mesmas, informação esta que é corroborada por Tourino (1993), Oliveira et al. (2000), Nielsen (2005) e Carpes et al. (2014).

Outro fator que pode ser somado a este comportamento é o nível de pressão negativa empregado, de modo que, quando em um nível abaixo do ideal, poderá não haver a correta captação das sementes do reservatório, bem como, não as fixar na cavidade do alvéolo até o ponto de liberação para o tubo condutor. Estes resultados vão de encontro aos obtidos por Zhan et al. (2010), os autores observaram a desuniformidade nos espaçamentos entre sementes ao modificar o nível de pressão utilizando um cilindro de precisão à vácuo para dosagem de sementes.

O desempenho do mecanismo avaliado pode ser considerado como regular, haja vista que, as configurações dos discos 1 e 2 proporcionaram, em algumas situações, um valor muito próximo ao requerido de sementes por metro e também um bom índice de espaçamentos aceitáveis quando comparados a mecanismos dosadores de precisão para sementes graúdas.

Carpes et al. (2016) obtiveram, em média, 57,31% de espaçamentos aceitáveis com sementes de soja utilizando um dosador pneumático de precisão. Ainda que abaixo dos 50%, a configuração disco 1 pressão 3 alcançou resultados superiores aos encontrados por Reis e Forcellini (2009), os autores obtiveram média geral de espaçamentos aceitáveis de 37,6%.

As configurações dos discos 2 e 3, ocasionaram a redução dos percentuais de espaçamentos aceitáveis, o aumento do diâmetro dos orifícios de captação das sementes fez com que, no caso do disco 2, quando alojadas de forma incorreta, as mesmas causassem entupimento dos orifícios causando a falha de captação de sementes no reservatório.

No caso do disco 3, devido ao diâmetro do orifício permitir a passagem das sementes e a sucção das mesmas pelo ventilador centrífugo, houve a redução conjunta das variáveis número de sementes por metro e porcentagem de espaçamentos aceitáveis. Estes resultados podem ser corroborados pelos encontrados por Shaaban et al. (2009) os autores concluíram que, o aumento do

diâmetro do orifício de 0,8 para 1,2 mm causou redução da uniformidade de espaçamentos entre sementes de cebola.

Com relação aos espaçamentos múltiplos foi observado que a elevação do nível de pressão negativa e da velocidade periférica do disco dosador, ocasionaram o aumento da porcentagem de múltiplos, conforme exposto na (Tabela 14).

Tabela 14 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável espaçamentos múltiplos.

Configurações		(%) Espaçamentos Múltiplos		
		Disco dosador		
		1	2	3
Densidade 1	P1	25,71 Ba	29,28 Aa	15,00 Ba
	P2	21,21 Aa	32,93 Aa	21,93 Da
	P3	28,50 Bb	38,21 Bb	12,28 Ba
Densidade 2	P1	35,57 Cb	36,71 Bb	17,14 Ca
	P2	35,64 Cb	34,92 Bb	22,07 Da
	P3	37,92 Cb	43,71 Cb	16,78 Ca
Densidade 3	P1	41,57 Db	44,14 Cb	7,93 Aa
	P2	51,92 Eb	52,92 Db	9,35 Aa
	P3	52,92 Eb	69,00 Ec	13,50 Ba

NMS 0,05. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Nomenclatura: Disco 1 - 20%, Disco 2 - 40%, Disco 3 - 60%; P1 pressão negativa 1; P2 Pressão negativa 2; P3 Pressão negativa 3; Densidade 1 - 20 sem m⁻¹, Densidade 2 - 30 sem m⁻¹, Densidade 3 - 40 sem m⁻¹.

Fonte: Autor

A elevação do nível de pressão negativa para captação das sementes juntamente com o aumento do diâmetro do orifício do alvéolo, ocasionou a fixação de grupos de sementes nas cavidades de alojamento, ocasionando a elevação do percentual de espaçamentos múltiplos, exceto para o disco 3. Esta informação vai de encontro as conclusões obtidas por Guarella et al (1996), ao avaliar bicos dosadores pneumáticos, os autores observaram que poderá haver captação múltipla pelos orifícios que não são fechados completamente por uma semente, bem como, a elevação do nível de pressão negativa, poderá reduzir a ocorrência de espaçamentos falhos, porém, pode elevar o percentual de espaçamentos múltiplos.

Com a maior aderência das sementes aos orifícios, o mecanismo individualizador de sementes duplas não desempenhou corretamente sua função, permitindo a passagem e deposição de mais de uma semente por alvéolo.

A redução do intervalo entre os grupos de cerdas do mecanismo poderia, provavelmente, fazer com que o mesmo realizasse a sua função com maior precisão. Resultados semelhantes foram encontrados por Singh et al. (2005) e Liao et al. (2009), ao elevar o nível de pressão negativa e velocidade periférica do disco dosador os autores observaram elevação dos índices de espaçamentos múltiplos.

Na cultura do arroz os estudos sobre o efeito da distribuição longitudinal de sementes ainda são escassos, porém, KEPNER et al., (1982) afirmam que a utilização de uma ampla faixa de densidade de semeadura não afeta de forma significativa a produtividade, deste modo, determinados índices de espaçamentos múltiplos podem ser menos prejudiciais do que espaçamentos falhos.

O disco 3, proporcionou menores índices de espaçamentos múltiplos quando comparado aos outros dois mecanismos. Porém, devido ao maior diâmetro do orifício de captação, o mesmo ocasionou um elevado índice de espaçamentos falhos por possibilitar a sucção e passagem das sementes para o ventilador centrífugo.

A maior densidade de semeadura, que conseqüentemente requer uma maior velocidade tangencial do disco dosador, pode ter ocasionado um maior revolvimento das sementes dentro do reservatório. Este fato pode ter favorecido a entrada das mesmas de forma horizontal na cavidade de alojamento das sementes, fazendo com que fossem succionadas acarretando em falhas de deposição.

Para a variável espaçamentos falhos, o mesmo disco citado anteriormente propiciou os maiores índices, conforme é apresentado na (Tabela 15).

Tabela 15 - Desdobramento de médias entre os fatores densidade de semeadura e configurações dos protótipos para a variável espaçamentos falhos.

Configurações		(%) Espaçamentos Falhos		
		Disco dosador		
		1	2	3
Densidade 1	P1	36,92 Da	35,64 Ca	66,57 Cb
	P2	36,78 Da	30,85 Ca	51,28 Aa
	P3	27,92 Ca	27,42 Ca	70,85 Cb
Densidade 2	P1	25,85 Ca	31,07 Ca	57,43 Bb
	P2	25,64 Ca	28,21 Ca	51,50 Ab
	P3	18,57 Ba	21,64 Ba	62,57 Bb
Densidade 3	P1	18,57 Ba	20,06 Ba	78,07 Cb
	P2	9,28 Aa	16,07 Ba	71,64 Cb
	P3	10,07 Aa	6,57 Aa	69,57 Cb

NMS 0,05. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo teste de Scott-Knott, considerando o valor nominal de 5% de significância. Nomenclatura: Disco 1 - 20%, Disco 2 - 40%, Disco 3 - 60%; P1 pressão negativa 1; P2 Pressão negativa 2; P3 Pressão negativa 3; Densidade 1 - 20 sem m⁻¹, Densidade 2 - 30 sem m⁻¹, Densidade 3 - 40 sem m⁻¹.

Fonte: Autor

Por possuir o maior diâmetro do orifício de sucção quando comparado aos discos 1 e 2, o disco 3, permite que sementes de menores dimensões sejam succionadas pelo sistema gerador de pressão negativa para o dosador, deste modo, ocorre a falha de preenchimento do alvéolo consequentemente proporcionando espaçamentos falhos na linha de semeadura. Estes resultados divergem dos obtidos por Reis et al. (2006), os autores observaram o aumento do número de sementes captadas quando o diâmetro do orifício de dosagem foi aumentado de 1,5 para 2,0 mm.

Os discos 1 e 2, na maioria das configurações, proporcionaram índices de espaçamentos falhos que podem ser considerados baixos quando comparados a mecanismos dosadores de precisão para sementes graúdas. Carpes et al. (2016) encontraram valores de aproximadamente 20% com sementes de soja avaliando um dosador pneumático com diferentes configurações de tubos condutores.

Os resultados também podem ser comparados aos encontrados por Reis et al (2007), os autores obtiveram índices de 15,4% em média, para espaçamentos falhos na avaliação de um dosador do tipo rotor acanalado helicoidal, 16,2% para um rotor acanalado reto e 17,7% para dosador do tipo rotor dentado.

Outra característica que pode ter contribuído para a manutenção destes índices é a conformação do orifício de dosagem juntamente com a cavidade de alojamento das sementes. Isso permite uma melhor fixação da semente até o ponto de liberação para o tubo condutor, evitando que a mesma se desprenda pela vibração ocasionada com o acionamento do mecanismo dosador, assim como, possibilitar a manutenção da semente após a ação do mecanismo individualizador/exclusor de sementes duplas.

Miller et al. (2012) obtiveram os melhores resultados para distribuição longitudinal de sementes de milho, utilizando um disco dosador com cavidade de alojamento para as sementes. De acordo com os autores, discos planos, que não possuem esta cavidade, demandam um maior nível de vácuo para a fixação das sementes até o ponto de liberação, além da vibração pelo deslocamento da máquina ocasionar o desprendimento das sementes antes do ponto correto.

A variável danificação mecânica de sementes foi enumerada como um dos principais requisitos dos clientes para o projeto. As avaliações do índice de danificação das sementes consideraram características como quebras, descascamento total ou parcial.

De acordo com os resultados obtidos, foi observado que o aumento do diâmetro do orifício de dosagem ocasionou o aumento do índice de danificação, de modo que, o disco 3 ocasionou o maior valor médio encontrado.

Os valores obtidos, na média geral, para a testemunha, que foi composta pela amostra anterior a passagem pelo mecanismo de dosagem, apresentou um percentual de 0,13% de sementes com danificação física. A amostra coletada após a passagem das mesmas pelo mecanismo dosador, apresentou uma média geral de 0,27%. Dessa forma, o acréscimo de danificação física ao lote de sementes utilizado nos ensaios foi, em média, de 0,14%.

O aumento do diâmetro do orifício possibilitou que sementes de menor espessura, pudessem ficar aderidas de forma perpendicular ao orifício. Deste modo, as mesmas foram fixadas na extremidade mediana proporcionando o efeito de cisalhamento acarretando em um maior percentual de quebras.

Para o disco dosador 2, foi observado que o diâmetro do orifício de dosagem permitiu a aderência das sementes pela extremidade da ponta, ocasionando, além de quebras o descascamento de sementes.

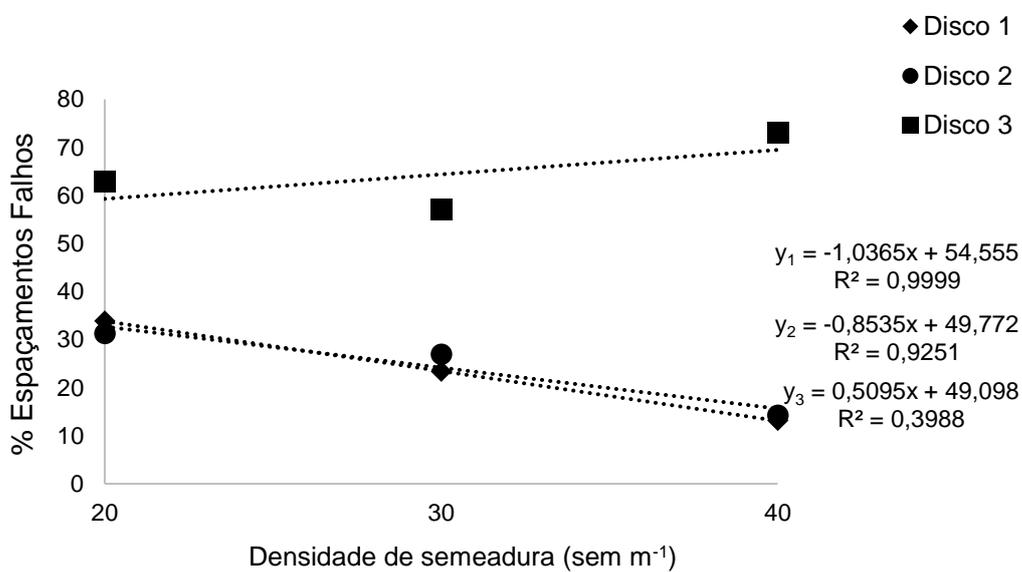
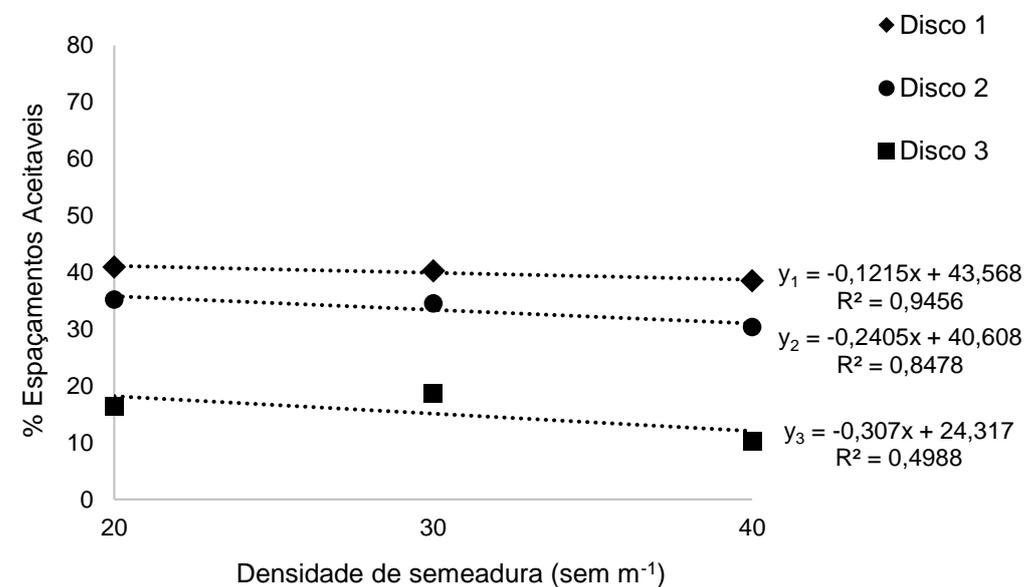
O disco 1 proporcionou os menores índices não havendo diferença significativa entre os três níveis de pressão avaliados. O menor diâmetro do orifício não permitiu a entrada das sementes de forma perpendicular ao mesmo, fazendo com que as sementes fossem fixadas paralelamente ao orifício, reduzindo a ocorrência de danificação.

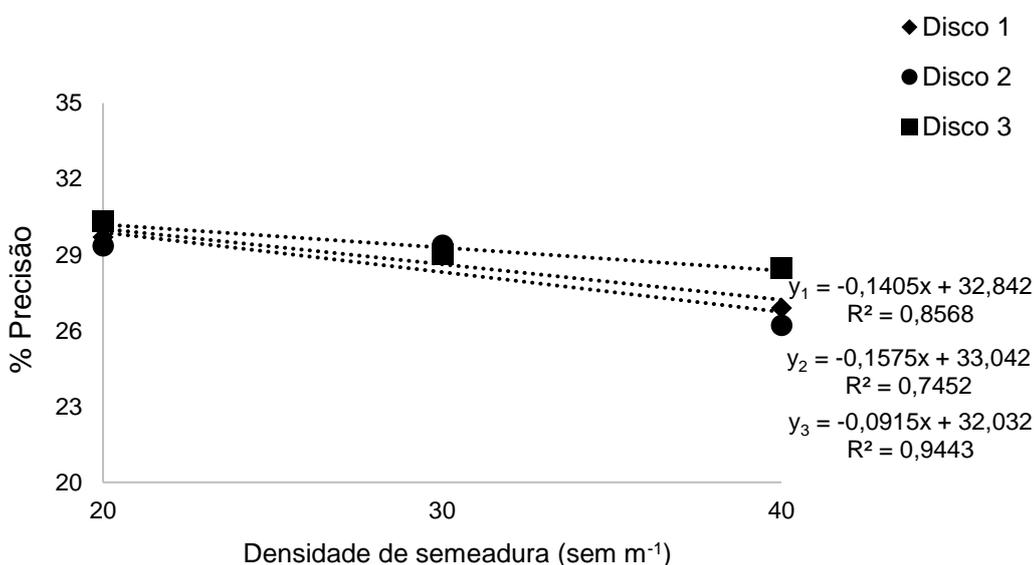
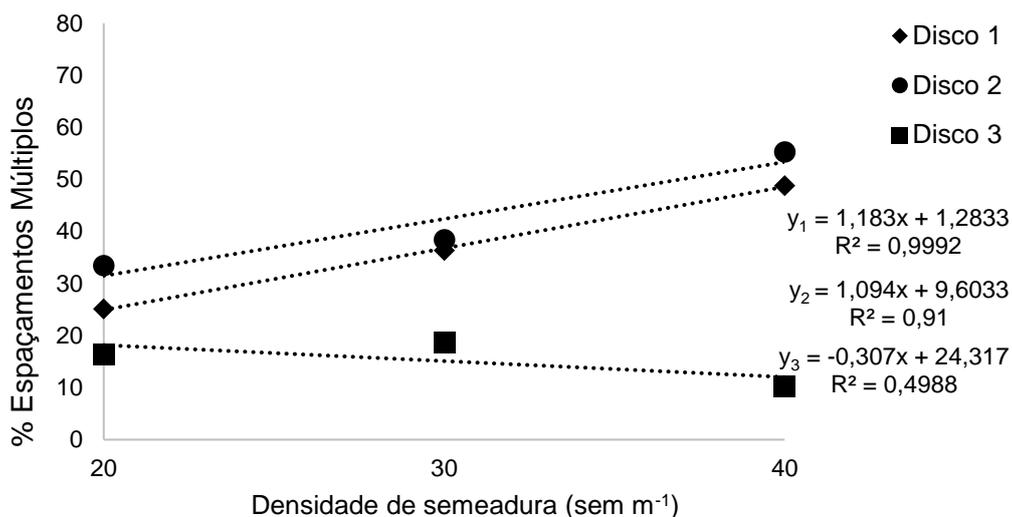
Os valores estão abaixo dos obtidos por Guner (2007), avaliando um sistema de dosagem pneumática por pressão positiva, o autor obteve valores com variação de 0,39 a 4,14% para sementes de trigo, 0,96 a 3,60% para cevada, 10,17 a 20,27% para sementes de girassol e cevada. Também são inferiores aos encontrados por Reis et al. (2009), o autor apresentou uma média geral de danos mecânicos em sementes de arroz, observados após a saída do tubo condutor, de 1,8%.

Com relação ao requisito do projeto de não ocasionar danificação mecânica, pode-se concluir que o protótipo obteve desempenho satisfatório, proporcionando índices abaixo dos encontrados na literatura.

Na figura 27 são apresentadas as equações de regressão entre as médias dos percentuais de espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos, bem como para a variável precisão, para observação do efeito do aumento de densidade de semeadura aliado a elevação da velocidade tangencial do disco dosador de sementes sobre as variáveis.

Figura 27 - Equações de regressão para as três densidades de semeadura e percentuais de espaçamentos aceitáveis, múltiplos, falhos e precisão para sementes de arroz.





Fonte: Autor

A elevação da velocidade tangencial do disco dosador para obtenção de maiores densidades de semeadura demonstrou a tendência de redução da uniformidade de distribuição longitudinal de sementes.

Foi observada a redução dos percentuais de espaçamentos aceitáveis para todos os discos avaliados e elevação dos índices de múltiplos para os discos 1 e 2. Estes resultados são corroborados pelos obtidos por Yazgi e Degirmencioglu (2014), avaliando discos dosadores com diferentes números de alvéolos, os autores observaram a redução da qualidade de distribuição de sementes de algodão em dosador pneumático. Porém, contraditam os obtidos por Reis et al. (2007), que não obtiveram resposta linear na regularidade de distribuição longitudinal de sementes,

encontrando os maiores percentuais de espaçamentos aceitáveis nas velocidades intermediárias entre as estudadas.

O disco 3 apresentou comportamento inverso aos demais mecanismos, apresentando redução dos espaçamentos múltiplos conforme a velocidade tangencial do disco dosador foi elevada para a obtenção da densidade de 40 sementes por metro. Tal comportamento, pode ser explicado devido as características de dimensionamento do nível de pressão negativa, de modo que, para maiores velocidades periféricas do disco, o mesmo requer um maior nível de pressão negativa para captar as sementes, aliado ao maior diâmetro do orifício. Isso ocasionou a sucção das sementes para o sistema de ventilação centrífuga, ocasionando a elevação das falhas de deposição de sementes.

Esta elevação do nível de pressão negativa favoreceu a captação de grupos de sementes para os orifícios de menor diâmetro, os mesmos não permitiam a passagem das sementes para o sistema de geração de vácuo. Deste modo, acarretou o aumento do percentual de espaçamentos múltiplos para os discos 1 e 2, estes resultados são corroborados pelos encontrados por Guarella et al (1996), Singh et al. (2005) e Liao et al. (2009), ao elevar o nível de vácuo e velocidade periférica do disco dosador, os autores observaram elevação dos índices de espaçamentos múltiplos.

Com relação a variável precisão foi observado que, ao elevar o número de sementes por metro, houve um ligeiro aumento do nível de precisão para os discos 1 e 2, permanecendo dentro do limite proposto por Kachman e Smith (1995) que é de 29%.

A elevação da velocidade tangencial do disco dosador para obtenção de um maior número de sementes por metro, pode ter proporcionado uma maior adaptabilidade do mecanismo a uma determinada faixa de operacionalidade.

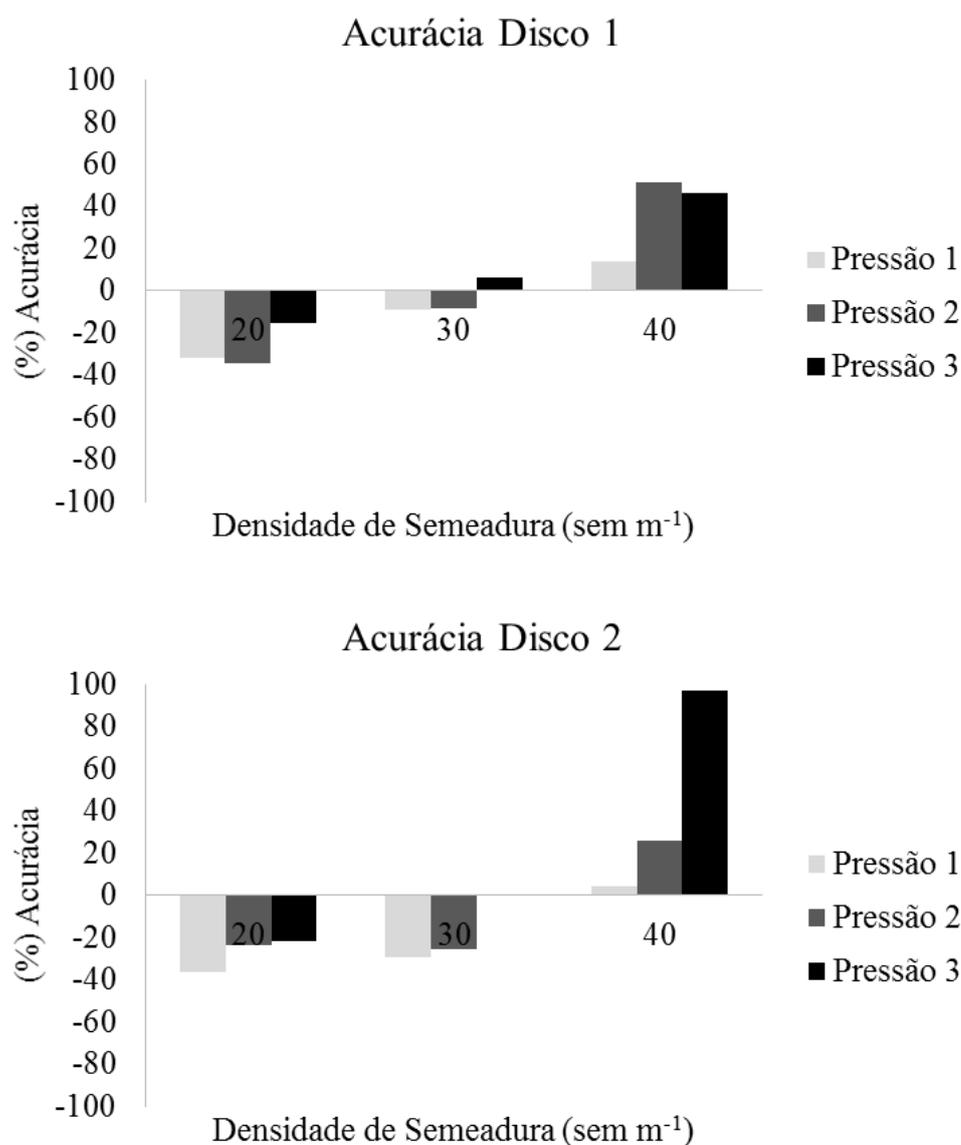
Isso ocasionou a dosagem e deposição de sementes com uma menor variabilidade dos espaçamentos. Estes resultados divergem dos obtidos por Önal et al. (2012), avaliando discos dosadores com diferentes números de orifícios com sementes de algodão e milho, os autores observaram a redução do percentual de precisão conforme o espaçamento entre sementes foi diminuído.

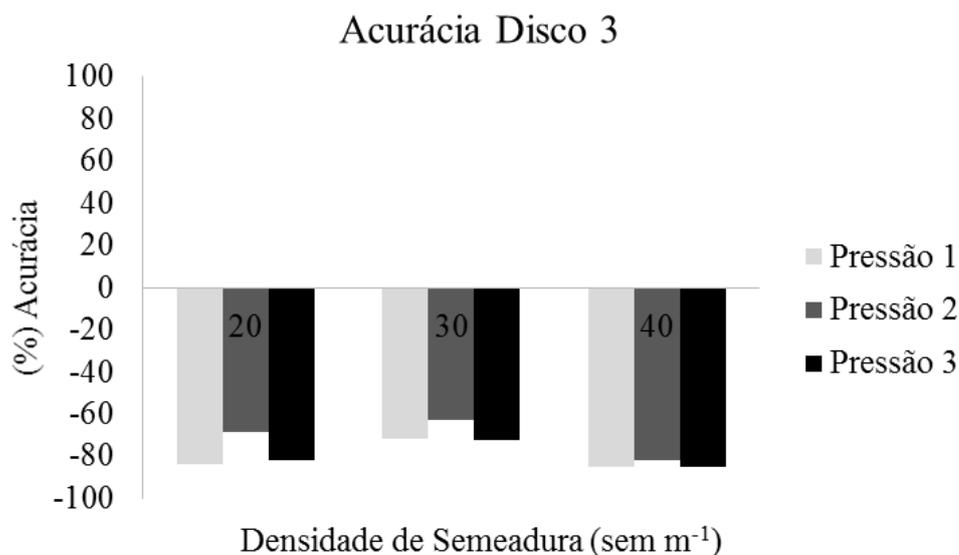
Com relação a variável acurácia, ilustrada na Figura 28, a porcentagem mensurada para as configurações do protótipo utilizado, faz referência a obediência do mecanismo ao alcance do número de sementes prescrito por metro e o obtido após o funcionamento do mesmo.

Deste modo, a interpretação dos resultados obtidos é realizada de maneira que as porcentagens negativas, demonstram o quanto o mecanismo dosou de sementes à menos em relação à quantidade prescrita. Já para os valores positivos, demonstram o quanto o mecanismo dosou de sementes à mais em relação à quantidade prescrita.

Para esta variável, Cerri (2001) recomendou que a variação máxima seja de 3%, demonstrando o nível de atendimento do protótipo ao requisito número de sementes por metro.

Figura 28 - Valores médios percentuais de acurácia das diferentes configurações em função das densidades de semeadura.





Pode-se observar que na menor densidade, os três protótipos em todas as pressões avaliadas, obtiveram valores negativos, ou seja, dosaram quantidades de sementes abaixo da prescrita. Fato que foi mais acentuado para o protótipo 3, devido ao maior diâmetro do orifício de sucção permitir a passagem das sementes para o mecanismo gerador de vácuo.

Na densidade de 30 sementes por metro, a elevação do nível de pressão negativa ocasionou melhoria no percentual de acurácia para os protótipos 1 e 2, sendo que, o protótipo 2 na pressão 3 proporcionou em média o número exato de sementes por metro prescrita. Possivelmente houve uma melhor adaptabilidade do mecanismo a esta faixa de operação, obedecendo ao nível recomendado por CERRI (2001). Resultados semelhantes foram encontrados por Alonço et al. (2018) utilizando um dosador pneumático, os autores avaliaram a distribuição longitudinal de sementes de soja com diferentes tratamentos fitossanitários, onde foram obtidos os melhores percentuais para a variável acurácia nas densidades intermediárias avaliadas.

As configurações do disco 1 com a pressão 3 na densidade de 30 sementes por metro e o disco 2 com a pressão 1 na densidade de 40 sementes por metro proporcionaram níveis muito próximos ao recomendado. Os resultados foram semelhantes aos obtidos por Hörbe et al. (2013), avaliando uma semeadora operando em taxa variável de distribuição de sementes de milho, os autores obtiveram uma amplitude de 2,55 a 5,30% para a variável acurácia.

6.4 AVALIAÇÃO COMPLEMENTAR DE DESEMPENHO

Após serem realizadas as observações complementares de desempenho, através da observação direta sistemática, o responsável e a equipe de projeto, realizaram a enumeração de alguns fenômenos que ocorreram durante o funcionamento do protótipo, os mesmos estão destacados na (Tabela 16).

Tabela 16 - Fenômenos observados na avaliação complementar de desempenho dos protótipos.

Protótipo	Observações
Disco 1	Proporcionou os menores índices de danificação mecânica de sementes. Obteve valores próximos aos desejáveis para o número de sementes por metro. Apresentou os maiores índices de espaçamentos aceitáveis, proporcionou um baixo percentual de falhas de deposição de sementes.
Disco 2	Apresentou uma pequena elevação do índice de danificação física das sementes, devido aos orifícios permitirem com que as sementes fossem alojadas e fixadas pelas pontas, sofrendo a ação do mecanismo raspador e proporcionando quebras nas mesmas. Em duas combinações de configurações, obteve os valores mais próximos aos desejáveis de sementes por metro pré-determinado, porém, ocasionou uma maior desuniformidade de distância entre sementes, gerando maiores percentuais de espaçamentos múltiplos.
Disco 3	Por apresentar maior diâmetro do orifício de dosagem o protótipo permitiu a passagem de sementes para o mecanismo gerador de vácuo. Foi verificado também que grande parte das sementes ficaram aprisionadas aos orifícios causando entupimento dos mesmos além de elevar os índices de danificação física por ação dos mecanismos raspadores e individualizadores de sementes. Estes fatores fizeram com que o protótipo 3 apresentasse a maior ocorrência de falhas de deposição de sementes, não cumprindo com o requisito do projeto de distribuir um adequado número de sementes por metro linear.

7. CONCLUSÕES

Para o índice de danificação mecânica, as concepções 1 e 2 não apresentaram diferença significativa, porém, a concepção 1 proporcionou os menores índices para a variável, permanecendo abaixo dos valores referenciados pela literatura.

Os melhores índices para a variável precisão foram em média, com as concepções 1 e 2, demonstrando uma maior regularidade dos espaçamentos aceitáveis entre sementes nesta faixa de operação.

Para a variável sementes por metro, as concepções 1 e 2 obtiveram valores muito próximos aos pré-determinados, porém a elevação do nível de pressão negativa proporcionou maior número de sementes por metro, elevando o índice de espaçamentos múltiplos.

A concepção 1 apresentou os maiores índices de espaçamentos aceitáveis entre sementes para as três densidades de semeadura avaliadas, porém, foi observado que mesmo não havendo diferença significativa, o mecanismo apresentou sensibilidade a elevação da velocidade periférica do disco dosador.

O aumento do diâmetro do orifício de dosagem bem como o nível de pressão negativa para captação de sementes, ocasionou a elevação do índice de espaçamentos múltiplos.

A concepção 3 proporcionou os maiores índices de espaçamentos falhos, de modo que, o diâmetro do orifício de dosagem permitiu a passagem das sementes para o ventilador centrífugo.

De modo geral, o disco 1 apresentou melhor desempenho na maioria das variáveis analisadas. O mecanismo demonstrou capacidade de cumprir com os requisitos do projeto, dentre os principais, destacam-se a individualização e distribuição ordenada de sementes e a baixa danificação mecânica.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma 04: 015.06 – 004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio**. São Paulo, 26 p. 1994.

AICHINGER, R. **Vergleichsuntersuchung von Pneumatischen**. Einzelkornsamaschinen mit, Pferdebohnen, Puffbohnen und Sonnenblumen, Forschungsberichte der Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg, Heft 21. 1989.

AKAO, Y. Introdução ao Desdobramento da Qualidade. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, UFMG, 187 p., 1996.

AIMEIDA, R., A.; BARCELLOS, L., C.; XIMENES, P., A. Danos mecânicos ocasionados por sistemas dosadores de sementes. Pesquisa Agropecuária Tropical. 33 (1): 17-22, 2003

ALONÇO, A. dos S. **Metodologia de projeto para concepção de máquinas agrícolas seguras**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC. Santa Catarina, SC. 207p. 2004.

ALONÇO, A. dos S.; SILVEIRA, H. A. T.; ZOTTIS, J.; BEDIN, P. R.; DIAS, V. de O. Projeto de uma bancada para ensaios de dosadores pneumáticos de sementes: fase informacional e conceitual. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 39, 2010, Vitória, **Anais...** Jaboticabal: SBEA, CD-rom. 2010.

ALONÇO, A. dos S.; SILVEIRA H., A. T., BELLÉ, M. P., CARPES, D. P., MACHADO, O. D. da C. Influência da inclinação transversal e velocidade de operação sobre o desempenho de dosadores pneumáticos com semente de soja. **Revista Engenharia na agricultura**, Viçosa – Minas Gerais, V.22 N.2, p. 119-127. Março/Abril, 2014.

ALONÇO, A. dos S.; SILVEIRA H., A. T., CARDINAL, K. M., RIST, G. P. Distribuição longitudinal de sementes de algodão e girassol com diferentes velocidades e inclinações em dosadores pneumáticos. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v.16, n.2, p.63-70, Mar/Abril, 2015.

ALONCO, P. A.; ALONÇO, A. dos S.; MOREIRA, A. R.; CARPES, D. P.; PIRES, A. L. Distribuição longitudinal de sementes de soja com diferentes tratamentos fitossanitários e densidades de semeadura. **Engenharia na Agricultura**, v. 26, p. 58, 2018.

ALTMANN, A.; ALONÇO, A. dos S.; BEDIN, P. R.; BONOTTO, G. J.; SILVEIRA, H. A. T.; DIAS, V. de O.; CARPES, D. P.; MONTEMEZZO, L. Determinação do ângulo de repouso de fertilizantes e sementes através da análise de imagens. In: Simpósio de ensino, pesquisa e extensão. 2010. Santa Maria, **Anais...**, Santa Maria: UNIFRA, CD-Rom. 2010.

AMARAL et al. Gestão de desenvolvimento de produtos. São Paulo: Saraiva, 2006.

BACELAR, S. R. B.; CABEL B, G. M. & CARVALHO, M. M. QFD: Estudo de Caso em uma Empresa Prestadora de Serviço de Apoio à Construção Civil. CD-ROM. Anais do XXI Enegep – XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador: 2001.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Editora Manole LTDA, 307p. 1987.

BALASTREIRE, L.A. Máquinas Agrícolas. São Paulo: Manole, 1990.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 2005.

BALL, R. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Short-season soybean yield compensation in response to population and water regime. *Crop Science*, Madison, 40, p. 1070-1078, 2000.

BAIRRÃO, L. J. F. M. Efeito das densidades de semeadura de trigo (*Triticum aestivum* L.) e Triticale (*Triticosecale* Wittmack) sobre algumas características agrônômicas e rendimento de grão. In: REUNIÃO, p. 41. 1991.

BARMINGTON, R.D. The relation of seed, cell size and speed to beet planter performance. **Agricultural Engineering**, St Joseph, v.28, n.2, p.49-54, 1948.

BARUT, Z. B.; ÖZMERZÜ, A. Effect of Different Operating Parameters on Seed Holding in the Single Seed Metering Unit of a Pneumatic Planter. **Turk J Agric For**. 28. 435-441. 2004.

BELLÉ, M. P.; MACHADO, O D. da C.; BRONDANI, L. B.; ROMANO, L. N.; ALONÇO, A dos S. Fatores de influência no projeto de máquinas para tratamento de Semente. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola CLIA/CONBEA, 41, Londrina, PR, 2012, Anais... Londrina: SBEA, CD-ROM, 2012.

BENEDETTI, B. C. **Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade estadual de Campinas. Campinas, SP. 125f. 1987.

BERNACKI, H., HAMAN, I., KANAFOJSKI, C. **Agricultural machines theory and construction**, 1. ed. Warszawa: Deslocamento sobre características operacionais de semeadoras. Campinas: Instituto Agrônomo. 13 p. n. 97. 1984.

BOLLER, W.; GAZOLA, O.; SEVERO, J, L.; BERBER, D, C.; SQUILLJEE, E. Avaliação dos efeitos de mecanismos dosadores de semeadoras sobre danos mecânicos e fisiológicos em sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill). In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 20, 1991**, Londrina. Trabalhos apresentados... Londrina: SBEA, 1181-1192p. 1991.

BREECE, H. E.; HANSEN, H. V.; HOERNER, T. A. **Planting**: fundamental of machinery operation. Moline: John Deere Service Training, 171 p. 1975

CANOVA, A. D.; TRINDADE, M. da G. **Densidade de Semeadura de Trigo – Uma Questão de Economia**. Comunicado Técnico – EMBRAPA - Santo Antônio de Goiás, GO. Setembro, 2003.

CARPES, D. P.; ALONÇO, A. dos S.; VEIT, A. A.; FRANK, C. J.; FRANCETTO, T. R. Influência da velocidade tangencial do disco dosador e da pressão de trabalho na distribuição longitudinal de sementes de soja por um dosador pneumático (a vácuo). **XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013**, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2013.

CARPES, D. P.; ALONÇO, A. dos S.; FRANCETTO, T. R.; FRANCK, C. J.; BELLÉ, M. P.; MACHADO, O. D. da C. Effect of different conductor tubes on the longitudinal distribution of soybean seeds. *Australian Journal of Crop Science*, v.10, p.1144-1150, 2016.

CARVALHO, J. A. **Espaçamento e densidade de sementeira para arroz de terras altas de ciclo superprecoce**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras. 2006.

CASÃO JUNIOR, R. **Implantação da cultura**: A cultura do milho no Paraná. Londrina – PR: IAPAR, 271 p. (Circular Técnica 68) 1991.

CASÃO JUNIOR, R. Desenvolvimento de sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, SP. 1996.

CERRI, D. G. P. **Desenvolvimento de um sistema de aplicação localizada de calcário a taxas variáveis**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 2001.

COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. Ed. 3. New York: John Wiley & Sons, 428p. 1977.

CHRISTIANSON, L. L.; ROHRBACH, R. P. **Design in agricultural Engineering**. St. Joseph> ASABE, 310p. 1986.

COELHO, J.L.D. Ensaio & certificação das máquinas para a sementeira. In MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaio & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p. 551-569. 1996.

COUNCE, P. A.; WELLS, B.R.; GRAVOIS, K. A. Yield and harvest-index responses to pre-flood nitrogen fertilization at low rice plant population. **Journal of Production Agriculture**, Madison, 5: 492-497. 1992.

COPETTI, E. Qualidade na sementeira das culturas de inverno. **Revista Plantio Direto**. Passo Fundo, n. 127, jan-fev. 2012. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=1089>. Acesso em: 27 jul. 2015.

COPETTI, E. Os desafios da semeadura. **Revista SEED News**. Ano XIX n.1. jan/fev 2015. Disponível em:
http://seednews.inf.br/_html/site/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=212
Acesso em 27 jul 2015.

DAMBRÓS, R.M. **Avaliação do desempenho de semeadoras-adubadoras de milho com diferentes mecanismos dosadores**. 1998. 86 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

DELAFOSSÉ, R. M. **Máquinas semeadoras de grano grueso**. Santiago: FAO, 48 p. 1986.

DIAS, V. de O. **Tamanho amostral para ensaios em esteira de distribuição longitudinal de sementes de milho e soja**. 2012. 110 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

DIAS, V. de O.; ALONÇO, A. dos S.; CARPES, D., P.; VEIT, A., A.; SOUZA, L., B. **Velocidade periférica do disco em mecanismos dosadores de sementes de milho e soja**. *Ciência Rural*, v. 44, n.11, p. 1973-1979, 2014.

DIAS, V. de O.; ALONÇO, A. dos S.; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO, G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. *Ciência Rural*, v. 39, n. 6, p. 1721-1728, 2009.

DURKIN, J. & DURKIN, J. **Expert Systems – design and development**. New York, Prentice Hall, 1998.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (Pelotas,RS). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Pelotas: 87p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 3). 1993.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Embrapa/CNPMS). **Recomendações técnicas para o cultivo de milho**. 2. ed. Brasília: Serviço de Produção e Informação. 48 p. 1996.

ENDRES, V. C. Espaçamento, densidade e época de semeadura. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). **Soja: recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso**. Dourados, p. 82-85. (Circular Técnica, 3). 1996.

FEY, E.; SANTOS, S. R. **Efeito da velocidade de semeadura sobre a população de plantas, distribuição longitudinal e produção de grãos de milho (*Zea mays* L.)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, (editado em cd-rom). 2000

FERREIRA, D. F. SISVAR - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; ABRAHÃO, F. Z.; LEITE, M. A. S. Características da cultura do milho (*Zea mays* L.) em função do tipo de prepare do solo e da velocidade de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n.2, p.177-186, 1999.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FONTES, J. R. M.; CARDOSO, A. A.; SOUZA, M. A. de CRUZ, C. D. Relação do espaçamento e da densidade de semeadura com o rendimento de grãos e outras características agrônômicas do trigo. *Ceres*, Viçosa, v. 4, n. 269, p. 61-73, 2000.

FRANCETTO, T. R.; DAGIOS, R. F.; LEINDECKER, J. A.; ALONÇO, A. dos S.; FERREIRA, M. F. **Características dimensionais e ponderais das semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil**. *TECNO-LÓGICA*, Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 1, p. 18-24, jan./jun. 2015.

FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA – CNPSo, 39p. (Circular Técnica) 1984.

GAUDÊNCIO, C.; GAZZIERO, D., L. P.; JASTER, F., GARCIA, A., WOBETO, C. População de plantas de soja no Sistema de semeadura direta para o centro-sul do Estado do Paraná. **Comunicado Técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Soja**, n. 47, p. 1 -4, 1990.

GARCIA, L.C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A.J.; BLUM, J. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.2, p. 520-527, 2006.

GHAFORI, H.; HEMMAT, A.; BORGHAEE, A. M.; MINAEI, S. Design and development of a dense-phase suction pneumatic system for conveying granular materials in agriculture. *Journal of Agricultural Machinery Science*. 7(3): 283-288. 2011.

GUARELLA, P.; PELLERANO, A.; PASCUZZI, S. Experimental and theoretical performance of a vacuum seeder nozzle for vegetable seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*., London. v. 64, p.29-36, 1996.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; SILVA, F. X. Espaçamento entre linhas para o arroz de terras altas com arquitetura de planta moderna. **Comunicado técnico 67** Embrapa Arroz e Feijão, Goiás (GO), p.1-4, 2003.

GUNER, M. Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds. *Journal of Food Engineering*. n. 80, 904-913. 2007.

GUOZHONG, Z. YING, Z. XIWEN, L. ZAIMAN, W. QIANG, Z. SHASHA, Z. Design and indoor simulated experiment of pneumatic rice seed metering device. *Int J Agric & Biol Eng*. v 8 n 4. P 11-18. 2015.

GOMES, E. S.; BALASTREIRE, L. A. Ensaio de um dosador de sementes pneumático a vácuo. *Maquinaria Agrícola*, v 4 , n. 1, p. 4 – 6, 1989.

HELMY, M. A. The determination of porosity rate on the diferente moisture content of several crops. *Misr J. of Ag. Eng.* 5(11):216–222. 2002.

HÖRBE, T. de A. N; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. J.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, New York. v. 14, p.450-465. 2013.

IBRAHIM, M. A. Design an apparatus suitable for winnowing and separating wheat products from stationery threshers. M.Sc., Thesis, Faculty of Agric. Univ. 1992. Instituto Riograndense do Arroz. Informe Técnico, Multiplicando com Qualidade. 2008. Disponível em www.sementessimao.com.br. Acesso em 10/12/2015.

ISO. INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR ESTANDARDIZATION. **ISO 7256/1**: Sowing equipment – Methods of test – Part 1: Single seed drills (precision drills). 16p. 1984.

JACK, D.C.; HESTERMAN, A. GUZZOMI, Precision metering of *Santalum spicatum* (Australian Sandalwood) seeds, *Biosyst. Eng.* 115.2. p. 171–183. 2013.

JIN CHEN., J. L. WANG, B. JIANG, Y. M. Li; Z., Zhao. Dynamic Analysis of Seeds Motion during the Sucking Process on Vacuum Precision Seeder. A paper presented on World Automation Congress (WAC), ISSN: 2154-4824, P-133-117. 2010.

KARAYEL, D.; BARUT, Z.B.; ÖZMERZI, A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. **Biosystems Engineering**, Silsoe, v.87, n.4, p. 437-444, 2004.

KARAYEL, D.; WIESEHOFF, M.; ÖZMERZI, A.; MÜLLER, J. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. **Computers and Electronics in Agriculture**, 50 (2): 89-96. 2006.

KARAYEL, D. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. **Soil & Tillage Research**, 104 (1): 121-125. 2009.

KEPNER, R. A.; BAINER, R.; BARGER, E. L. **Principles of farm machinery**. 3.ed. Westport: Avi, 527p. 1982.

KEPNER, R. A.; BAYNER, R.; BARGER, E. L. **Principles of farm machinery**. New York: John Wiley, 57p. 1978.

KEPNER, R. A.; BAINER, R.; BARGER, E. L. **Principles os farm machinery**. Connecticut: The avi publishing company, 1972.

KLÜVER, B. Ablagegenauigkeit von Einzelkornsamaschinen für Körnerleguminosen. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth- Gesellschaft (MEG), Nr. 215, Kiel. 1991.

KURACHI, A. H.; COSTA, J. A. de S.; BERNARDI, J. A.; SILVEIRA, G. M. da; COELHO, J. L. D. **Avaliação tecnológica:** resultados de ensaios de mecanismos dosadores de sementes de semeadoras e/ou adubadoras de precisão. Campinas: IAC, (Boletim científico, 28). 1993.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. O.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-62, 1989.

LEVIEN, R.; MARQUES, J. P.; BENEZ, S. H. Desempenho de uma semeadora adubadora de precisão, em semeadura de milho (*Zea mays* L.), sob diferentes formas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1 CD-ROM. 1999.

LI Y Q, LIU J, ZHOU G X; JINLONG, F. Motion simulation design of suction seed metering device base on solidworks [J]. **Journal of Agricultural Mechanization Research**, (6): 28–30. 2010.

LI L. A preliminary study on the theory and experimentation of the suction-type metering device for precision drill. *Transactions of the CSAM*, 10(3): 56–63. 1979.

Liao, Q. X., Li J. B., Qin, G. L. Experiment of pneumatic precision metering device for rapeseed. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 40(8): 44-48. 2009.

LIU, H. X.; WANG, F. L. The choice and analysis of factors in seed-metering device experimental study [J]. **Journal of Agricultural Mechanization Research**, (5): 77–79. 2007.

LIU, W.; TOLLENAAR, M.; STEWART, G.; DEEN, W. **Impact of Planter Type, Planting Speed, and Tillage on Stand Uniformity and Yield of Corn.** *American Society of Agronomy*. 96:1668–1672. 2004.

LOPES, D. Plantio de Soja: Garanta um cultivo de maior produtividade. **Revista Investir Dinheiro**. No Campo. 2012.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para Preparo do Solo, Semeadura, Adubação e Tratamentos Culturais.** Editora UFPel: Pelotas, 2005.

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; LEITE, M. A. S.; SILVA, A. R. B.; PONTES, J. R. V.; MARQUES, J. P.; GREGO, C. R.; COSTA, A. M. **Distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função da velocidade e mecanismo sulcador.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do

Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. (editado em cd-rom). 2001.

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S. H.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, A. R. B. Demanda energética e eficiência de distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.150-157, 2004.

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

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa:** planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6ª edição. São Paulo: editora Atlas S.A., 289p. 2007.

MARIBONDO, L. de F. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 277p. 2000.

MARINI, V. K.; ROMANO, L. N.; DALLMEYER, A. U. Considerações fundamentais para sistematização dos fatores de influência no projeto da máquina agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006. Anais...João Pessoa: UF – Campina Grande/ Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. CD-ROM. 2006.

MARQUES, J. B. B.; BATISTA, J. **Qualidade fisiológica da semente e densidade de semeadura em relação à produtividade do arroz em Uruguaiana.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., Santa Maria, 2005. Anais... Santa Maria: [s.n.]. p.397-399. 2005.

MASSONI, P. F. S.; MARCHESAN, E.; LÚCIO, A. D.; GROHS, M.; ROSSATO, T.; NETO, F. P. M. **Efeito do espaçamento entre linhas e densidade de semeadura na produtividade do arroz irrigado.** VI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Porto Alegre. 2009.

MATTAR, D. M. P. **Influência do deslizamento da roda motriz de uma semeadora/adubadora de plantio direto no espaçamento longitudinal de sementes de milho.** 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. H. **Distribuição de sementes e produtividade de grãos da cultura do milho em função da velocidade de semeadura.** *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.3, p.563-567. 2003.

MELO, R.P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L.A.; SOUZA, F.H.; SILVA, J.G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 94-101, jan-mar, 2013.

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

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium, 337 p. 2012.

MILLER, E., RASCON, J., KOLLER, A., RAUN, W., & KOCHENOWER, R. Evaluation of corn seed vacuum metering systems. In Proceedings of an ASABE meeting presentation, paper no. 12-1337167. 2012.

MILLER, B.C.; HILL, J.E.; ROBERTS, S.R. Plant population effects on growth and yield in water-seeded rice. **Agronomy Journal**, Madison. 83: 291-297. 1991.

MIR S.A., BOSCO S.J.D., SUNOOJ, K.V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. *International Food Research Journal*, 20:1521-1527. 2013.

MURRAY, J. R., TULLBERG, J. N.; BASNET, B. B. Planters and their components, types, attributes, functional requirements, classification and description. **School of Agronomy and Horticulture**, University of Queensland, Australia, 135-137. 2006.

MUNDSTOCK, C.M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Ed. do Autor. 228p. 1999.

MONTEIRO, L. R. **Desenvolvimento e análise de uma semeadora pneumática de grãos**. Dissertação de Mestrado. Campinas: UNICAMP – Faculdade de Engenharia Agrícola. 122 p. 1989.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science. v1, 734 p. 1970.

NIELSEN, R. L. **Planting speed effects on stand establishment and grain yield of corn**. *J. Prod. Agric.* 8 (3): 391–393. 1995.

NIELSEN, R. L. **Stand establishment variability in corn**. West Lafayette, Ind.: Purdue University Department of Agronomy. 2001. Disponível em: http://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/AGRY-91-01_v5.pdf. Acesso em 30 de Setembro de 2015.

NOVAES, A. L. T. **Desenvolvimento de um sistema mecânico para limpeza e classificação de ostras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 220f. 2005.

OGLIARI, A. Estudo e Desenvolvimento de Mecanismos Dosadores de Precisão de máquinas semeadoras. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, S.C., Brasil, 165 p. 1990.

OLIVEIRA, I. P. de.; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOHAMA, L. P.; DUTRA, L. G.; PORTES, T. de A.; SILVA, A. E. da.; PINHEIRO, B. da S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. da M. de.; GUIMARÃES, C. M.; GOMIDE, J. de C.; BALBINO, L. C. **Sistema Barreirão: recuperação e renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais.** Goiânia, GO: Embrapa Arroz e Feijão. 87 p. 1996.

OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, L. B.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, C. M. de.; DIAS, G. P. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1455-1463, 2000.

Onal İ.; Yazgi, A.; Değirmencioğlu, A. An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments. *Turk J Agric For.* n 36, p. 133-144, 2012.

ÖNAL, Ü. **Bir pnömatik hassas ekim makinesi ile misir tohumunun ekim olanakları üzerinde bir araştırma.** TÜBÜTAK V. Bilim Kongresi TOAG Tebligleri, 29 Eylül-2 Ekim, İzmir, pp. 253-273. 1975.

Operation Manual. GASPARDO SP, ST, SI. 12 2007.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación.**6.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 528p. 2003.

OZTURK, A.; CAGLAR, O.; BILUT, S.; Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. **Journal of Agronomy and Crop Science,** v.192, p.10-16, 2006.

PACHECO, E.P. **Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão com modificações no tubo condutor de sementes.** 61 p. 1994.

PACHECO, E. P.; MANTOVANI, E. C.; MARTYN, P. J.; OLIVEIRA, A. C. de. Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão. **Revista da Pesquisa Agropecuária.** Brasília, v. 31, n. 03, p. 209-214. 1996.

PAHL, G. BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach.* 2nd. Ed. Berlin: Springer – Verlag, 1996.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** São Paulo: E. Blucher, 2005.

PESKE, S.T., SCHUCH, L.O.B., BARROS, A.C.S.A.; **Produção de arroz irrigado,** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. Editora Universitária. 2004.

PINHEIRO NETO, R.; LUCCA E BRACCINI, A.; SCAPIM, C. A.; BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO, A. C. Desempenho de mecanismos dosadores de sementes em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. **Acta Scientiarum Agronomy,** v.30, p. 611-617, 2008.

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

PORTELLA, J. A. **Mecanismos dosadores de sementes e de fertilizantes em máquinas agrícolas**. *Doc. Cent. Nac. Pesqui. Trigo/EMBRAPA*, n. 41, p. 1-40, 1997.

PORTELLA, J. A. **Transporte unitário de grãos agrícolas**. Campinas: UNICAMP, 156p. Tese de Doutorado. 1991.

QUEIROZ, E. F. **Efeito da época de plantio e população sobre o rendimento e outras características agrônômicas de quatro cultivares de soja**. Santa Maria: UFSM, 1975, 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1975.

REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO-SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 20. 2005, Londrina. **Informações Técnicas da Comissão Centro-Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale para a Safra de 2005**. Londrina: Embrapa soja, 234p. 2005.

Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil / XXX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**, 06 a 08 de agosto de 2014, Bento Gonçalves, RS, Brasil. Sociedade Sul- Brasileira de Arroz Irrigado. Santa Maria. 192 p. 2014.

REIS, A. V.; MACHADO, A. L. T.; BISOGNIN, A. Avaliação do desempenho de três mecanismos dosadores de sementes de arroz com vistas à semeadura de precisão. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v.13, n.3, p. 393-398, jul-set, 2007.

REIS, A. V. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. UFSC, 2003, 152 p. (Doutorado em Engenharia Mecânica) Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Santa Catarina, 2003.

REIS, A.V.; ALONÇO, A. dos S. Comparativo sobre a precisão funcional de vários mecanismos dosadores estudados no Brasil entre os anos de 1989 e 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1 CD-ROM. 2001.

REIS, A. V. dos; FORCELLINI, F. A.; RAMOS, U. A. P. Avaliação do diâmetro do orifício e da pressão de ar na dosagem pneumática de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 191 – 197, abr./jun. 2006.

REIS, A.V.; FORCELLINI, F.A. Desempenho e características construtivas de um protótipo de dosador pneumático para sementes de arroz. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP. v.29, n.2. 2009.

REIS, A. V.; FORCELLINI, F. A. Dosador mecânico de precisão para sementes miúdas: Testes funcionais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.5, p.651–656, 2009.

RIEFFEL NETO, S.; SILVA, P. R. F.; MENEZES, V. G.; MARIOT, C. H. P. Resposta de genótipos de arroz irrigado ao arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.35, n.12, p. 2383-2390, 2000.

ROCHA, F. E. de C.; CUNHA, J. P. A. da; FRANZ, C. A. B.; FOLLE, S. M. Avaliação de três mecanismos de distribuição de sementes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 3, p. 331-337, 1998.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 321f. 2003.

ROSOLEM, C. A.; SILVÉRIO, J. C. O.; NAKAGAWA, I. Densidade de plantas na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 18, n. 9, p. 977-984, 1983.

RASOOL, F.; HABIB, R.; BHAT, M. I. **Agronomic evaluation of rice (*Oryza sativa* L.) for plant spacings and seedlings per hill under temperate conditions.** African Journal Of Agricultural Research. p.4650 – 4653, 2013.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 31, p. 159-168, 2001.

SANGÓI, L.; ALMEIDA, M. L. de.; SILVA, P. R. F. da.; ARGENTA, A. Bases morfológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 6, p. 861-869, jun. 2001.

SANTOS, A. P. **Avaliação técnica de semeadoras adubadoras para plantio direto de milho no estado de Minas Gerais.** 123 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

SATTI Y. H.; Q. X. LIAO; J. J. YU; D. He. **Dynamic analysis for kernel picking up and transporting on a pneumatic precision metering device for wheat.** Agric. Eng. Int: CIGR Journal, v. 15, n. 2, p. 95–100. 2013.

SCHUCH, L. O.; PESKE S. T. Falhas e duplos na produtividade. **Revista SEED News**. v. 12 n 6. 2010.

SCHRÖDL, J. **Einzelkornsamaschinen Konkskilde Preci-Sem Modell 06-40RH zur Maisaussaat mit Reihendüngerstreuer und Modell 06-30-RR zur Ackerbohnen und Sonnenblumenaussaat.** DLG Pr.fbericht, Nr.3946. DLG-Prüfungsabteilung, Frankfurt a Main. 1987.

SEARLE, C. L.; KOCHER, M. F.; SMITH, J. A.; BLANKENSHIP E. E. Field slope effects on uniformity of corn seed spacing for three precision planter metering systems. **Applied Engineering in Agriculture**. Vol. 24(5): 581 - 586. 2008.

SEGUNDO, R. G. **Diseño de un sistema inteligente dosificador de semilla, basado en el uso de microcontroladores (Fase I: Evaluación de dosificadores**

neumáticos Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coahuila; México. 2004.

SENGER, M. **Arranjo e populações de plantas e sua influência em características agrônomicas e na produtividade de trigo e cevada.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, PR. 2013.

SHAABAN, U.A.; AFIFY, M. T.; HASSAN, G. E.; EI-HADDAD, Z.A.; **Development of a vacuum precision seeder prototype for onion seeds.** Farm machinery and power. *Misr J. Ag. Eng.*, 26(4): 1751 – 1775, 2009.

SHENHAR, A. J.; DVIR, D. **Project management research-the challenge and opportunity.** *Project management Journal*, p. 93; 38, 2, June, 2007.

SHORT, T. H.; HUBER, S. G. **The development of a planetary-vacuum seed metering device.** *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, p.803-805, 1970.

SINGH R. C.; SINGH, G.; SARASWAT D. C. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 92, n. 4, p. 429–438, abr. 2005.

SILVA, J.S., CORRÊA, P.C. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: Silva, J.S. Secagem e armazenamento de produtos agrícolas. Juiz de Fora: Instituto Maria, cap. 2. p. 19-35. 2000.

SILVA, P. R. F. Densidade e arranjo de plantas em milho. CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19, 1992. Porto Alegre - RS, **Anais...** Porto Alegre – RS: SAA; SCT; ABMS; EMATER – RS, Peixoto p. 291-294. 1992.

SILVA, S. L. **Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento.** 2000. 123f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista Botucatu, 2000.

SILVEIRA, G. M. Semeadoras, p. 87-153. In Silveira, G. M. **As máquinas de plantar: aplicadoras, distribuidoras, semeadoras, plantadoras, cultivadoras.** Globo, Rio de Janeiro. 257 p. (Coleção do Agricultor). 1989.

SILVEIRA, H. A. T. da.; ZOTTIS, J.; DIAS, V. de O.; BAUNHARDT, U. B.; ALONÇO, A dos S. **Projeto e desenvolvimento de uma bancada de ensaios de dosadores pneumáticos: fase preliminar e detalhada.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 39, 2010, Vitória, **Anais...** Jaboticabal: SBEA, CD-rom. 2010.

SILVEIRA, G.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VALÉRIO, I. P.; BENIN, G.; RIBEIRO, G.; CRESTANI, M.; LUCHE, H. de S.; DA SILVA, J. A. G. **Efeito da densidade de semeadura e potencial de afilhamento sobre a adaptabilidade e estabilidade em trigo.** *Bragantia*, Campinas, v.69, n.1, p.63-70, 2010.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JR, R.; ARAÚJO, A.G. Plantadoras, plantio direto: Ângulo ideal. **Cultivar Máquinas**. Pelotas-RS, p. 30- 32, julho-agosto, 2002.

SONG S.; DONGXING Z.; LI, Y. **Design and experiment of pneumatic maize precision seed-metering device with combined holes**. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 30(5): 10—18. 2014.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **XXX Reunião técnica da cultura do arroz irrigado**. Bento Gonçalves - RS – Brasil. 2014.

TOURINO, M.C.C. **Influência na velocidade tangencial dos discos de distribuição e dos condutores de sementes de soja, na precisão de semeadoras**. 1993. 114 f. Dissertação (Mestrado) – UNICAMP, Campinas. 1993.

ULLMAN, D. G. The Mechanical design process. Singapore: McGraw-Hill, 1992.

VIEIRA JUNIOR, P. A. **Emprego da técnica de análise de imagens na determinação do comprimento e da largura de sementes de milho**. Piracicaba. 153p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 1998.

YANG, S., ZHANG S. M. Design and parameter optimization of flexible comb-type grass seed metering device. *Int J Agric & Biol Eng.* 8(1): 9–16. 2015.

YAZGI, A.; DEGIRMENCIOGLU, A. Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. **Biosystems Engineering**, 97(3), 347 e 356. 2007.

YAZGI, A.; DEGIRMENCIOGLU, A. Optimization of the Seed Spacing Uniformity of a Vacuum Type Precision Seeder using Spherical Materials. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 52 (3): 277-286. 2015.

YU H.; ZHAO X.; LIU Z.; TIAN X. D. C. **Study on Negative-pressure Precision Millet Seed-metering Device** *Advance Journal of Food Science and Technology* 7(2): 139-143, 2015.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R.P. Efeito de regulador de crescimento na cultura do trigo submetido a diferentes doses de nitrogênio e densidades de plantas. *Planta Daninha*, Viçosa, V.20, n.3, p.471-476, 2002.

ZHANG, ChX; ZHANG, Y.; MCGLINCHEY, D.; DU, Y; WEI, X; MA, L.; GUAN, Ch. Sh. **Experimental and numerical study on power consumptions in a double-tube-socket pneumatic conveying system**. *Powder Technol.*, 204: 268-272, 2010.

ZHANG, G. Z; ZANG, Y; LUO, X. W; WANG, Z. M.; ZENG, S.; ZHOU, Z. Y. **Design and experiment of oriented seed churning device on pneumatic seed metering device for rice**. Transactions of the CSAE, 29(12): 1–8. 2013.

WANJURA, D.F.; HUDSPETH, J. E.B. **Metering seed-pattern characteristics of a horizontal edge-drop plate planter.** Transactions of the Asae, St. Joseph, 11(4): p.468-469,473, 1968.

WELLER, K. **Sowing with pneumatically operated equipment.** Landtechnische Forschung. 1 p. 1958.

APÊNDICE A – PONTUAÇÃO DO QUESTIONÁRIO APLICADO COM A METODOLOGIA DE ESCALA LIKERT.

Nº	Fatores de influência do projeto	Nível de importância atribuído (%)				
		1	2	3	4	5
1.	Baixo custo de fabricação	3,2	3,2	22,6	35,5	35,5
2.	Baixo custo de Aquisição	3,2	3,2	12,9	29	51,6
3.	Baixo custo de Manutenção	3,2	0	3,2	29	64,5
4.	Projeto simples e de fácil fabricação	3,2	16,1	19,4	22,6	38,7
5.	Montagem dos componentes exige o uso de ferramentas	16,1	16,1	29	22,6	16,1
6.	Difícil adequação para os espaçamentos entre linhas	41,9	19,4	6,5	19,4	12,9
7.	Fácil adequação e montagem dos mecanismos (tempo reduzido)	0	6,5	6,5	38,7	48,4
8.	Resistência e durabilidade dos mecanismos	0	3,2	6,5	16,1	74,2
9.	Economia de sementes distribuídas por área de semeadura	0	0	9,7	9,7	80,6
10.	Desempenho influenciado pela elevação da velocidade de semeadura	12,9	16,1	12,9	16,1	41,9
11.	Redução da precisão na individualização de sementes devido ao uso de sementes não classificadas	29	12,9	22,6	16,1	19,4
12.	Facilidade de limpeza e manutenção	0	3,2	3,2	38,7	54,8
13.	Individualizar sementes de arroz	0	6,5	6,5	32,3	54,8
14.	Proporcionar precisão na distribuição de sementes	0	0	0	25,8	74,2
15.	Regularidade na distância entre sementes distribuídas	0	0	0	29	71
16.	Flexibilidade possibilitando uma ampla faixa de densidade de semeadura	0	3,2	0	25,8	71
17.	Dosar mais de uma espécie de semente (Arroz, trigo, aveia)	6,7	0	0	26,7	66,7
18.	Possibilitar regulagens manuais	3,2	0	6,5	32,3	58,1
19.	Possuir grande quantidade de componentes para montagem	25,8	25,8	29	12,9	6,5
20.	Utilização de engates rápidos para fixação dos componentes	0	0	9,7	19,4	71
21.	Capacidade de dosagem de elevadas densidades de semeadura	0	6,5	3,2	32,3	58,1
22.	Não ocasionar danos físicos nas sementes (quebras, trincas)	0	0	0	12,9	87,1
23.	Sofrer pouca influência no desempenho pela elevação da velocidade angular do disco dosador	0	0	9,7	32,3	58,1
24.	Sofrer pouca influência no desempenho pelo nível de sementes no reservatório	0	0	9,7	25,8	64,5