

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de
Produção Agrícola Familiar



Dissertação

**Desenvolvimento de um dosador de fertilizantes com
dupla saída**

Márcia Beatriz Silva Vasconcelos

Pelotas, 2011

MÁRCIA BEATRIZ SILVA VASCONCELOS

Desenvolvimento de um dosador de fertilizantes com dupla saída

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis

Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado

Pelotas, 2011

Dados de catalogação na fonte:
Maria Beatriz Vaghetti Vieira – CRB-10/1032
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

V331d Vasconcelos, Márcia Beatriz Silva
Desenvolvimento de um dosador de fertilizantes com dupla saída / Márcia Beatriz Silva Vasconcelos. – 109f. : il. color. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Pelotas, 2011. – Orientador Ângelo Vieira dos Reis ; co-orientador Ântonio Lilles Tavares Machado.

1.Agricultura familiar. 2.Pó de rocha. 3.Máquinas agrícolas. I.Reis, Ângelo Vieira dos. II.Machado, Ântonio Lilles Tavares. III.Título.

CDD: 631.3

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis (Orientador)

Prof. Dr. Amauri Espírito Santo

Prof. Dr. Mauro Fernando Ferreira

Prof. Dr. Roberto Lilles Tavares Machado

Este trabalho é dedicado ao
meu esposo Victor e a minha
filha Clara.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas, a qual fez parte da minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais Antonio Vasconcelos e Olga Vasconcelos, pela confiança, pelo amor, pela amizade e pela dedicação incondicional pelos cuidados com minha filha.

Ao meu esposo Victor Ratuchenei pelo carinho, amor e compreensão nos meus momentos mais difíceis durante essa trajetória.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento concedido durante o período do curso.

Ao Professor Ângelo Vieira dos Reis, pela orientação, pela atenção, pelos ensinamentos, pelas oportunidades, pela confiança depositada durante todo o percurso.

Aos Professores Antônio Lilles Tavares Machado, Mário Conill Gomes a ao colega Lúcio Neves pela paciência e compreensão durante minha licença maternidade.

Ao Professor Roberto Lilles Tavares Machado pelo apoio e auxilio para a realização de alguns ensaios.

Ao funcionário Paulo do Laboratório de Física dos Solos do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, pelo auxilio durante os ensaios.

Ao bolsista Matheus Cardoso, pelo desenvolvimento dos desenhos e auxilio durante o período de desenvolvimento do projeto.

Aos bolsistas Viviane Gonçalves, César Morais, Nander Hornke, Renan Bernardy, Roberlan Moreira, Tiago Custódio e Tiago Bertoldi pelo auxilio durante os testes.

A todos que participaram e auxiliaram de alguma forma no desenvolvimento desse trabalho.

Resumo

VASCONCELOS, Márcia Beatriz Silva. Projeto de um dosador de fertilizantes para semeadora / adubadora de grãos graúdos de baixa potência para agricultura familiar. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A Agricultura Familiar apresenta uma grande capacidade de reconversão produtiva e de gestão, se adequando às melhores possibilidades econômicas, sociais e culturais, inclusive de mercado de maneira eficaz e dinâmica, porém enfrentam alguns problemas para absorver novas tecnologias para o aumento de sua produtividade. Verifica-se a grande importância de desenvolvimento de tecnologias voltadas a agricultura familiar, que contemple suas necessidade e demandas de forma econômica e eficiente. Com isso o presente trabalho objetivou desenvolver um protótipo de dosador de fertilizante que atende a duas linhas de semeadura simultaneamente, bem como verificar a funcionalidade dos princípios de solução da concepção escolhida. Avaliou-se o desempenho do protótipo com quatro tipos de fertilizantes, três condições de abertura no sistema dosador (430 , 839 e 1.270mm^2) e três rotações ($2,5$; $5,0$ e $7,5$ rpm) do órgão ativo. O desempenho do mecanismo dosador de fertilizante foi julgado satisfatório para os produtos granulados, porém deve ser melhorado para evitar a interrupção do fluxo dos materiais na forma de pó em baixas rotações. Foi possível obter vazões de fertilizantes entre 14 e 100 g/s, as quais atendem às necessidades dos agricultores familiares.

Palavras-chaves: Agricultura familiar, pó de rocha, máquinas agrícolas.

Abstract

VASCONCELOS, Márcia Beatriz Silva. Projeto de um dosador de fertilizantes para semeadora / adubadora de grãos graúdos de baixa potência para agricultura familiar. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The Family Farm has a great capacity for productive conversion and management, fitting the best possible economic, social and cultural rights, including the market in an effective and dynamic, but facing some problems to absorb new technologies to increase productivity. There is the great importance of developing technologies for family farms, covering their needs and demands of economically and efficiently. Therefore this study aimed to develop a prototype feeder fertilizer that meets the two sowing lines simultaneously, and to verify the functionality of the design principles of the chosen solution. We evaluated the performance of the prototype with four types of fertilizer, three conditions for opening the dispenser system (430, 839 and 1.270mm²) and three speeds (2.5, 5.0 and 7.5 rpm) of the active organ. The performance of the fertilizer metering mechanism was judged satisfactory for granulated products, but should be improved to avoid disrupting the flow of materials in powder form at low speeds. It was possible to obtain flow rates of fertilizer between 14 and 100 g / s, which meet the needs of family farmers.

Keywords: Family Farming, rock dust, agricultural machinery.

Lista de Figuras

Figura 1	Dosador helicoidal com rosca oposta.....	21
Figura 2	Dosador de palhetas.....	21
Figura 3	Etapas do projeto informacional.....	23
Figura 4	Etapas do projeto conceitual.....	25
Figura 5	Tarefas e processos envolvidos na análise funcional.....	26
Figura 6	Etapas do projeto preliminar.....	27
Figura 7	Etapas do projeto detalhado.....	28
Figura 8	Esquematização do diagrama de Mudge.....	30
Figura 9	Representação esquemática da casa da qualidade.....	31
Figura 10	Função global do sistema de dosagem de fertilizantes.....	33
Figura 11	Matriz Morfológica.....	34
Figura 12	Matriz de decisão.....	36
Figura 13	Caixa e funil utilizados na determinação do Ang. Repouso.....	40
Figura 14	Determinação do Ang. repouso do fertilizante c/software CAD.....	40
Figura 15	Vista geral da bancada de ensaio com o dosador montado.....	41
Figura 16	Culturas produzidas nas propriedades estudadas.....	44
Figura 17	Culturas que recebem adubação nas propriedades visitadas.....	45
Figura 18	Tipos de fertilizantes utilizados pelos agricultores entrevistados.....	45
Figura 19	Tipos de formulações de fertilizantes utilizados nas lavouras da região.....	46
Figura 20	Quantidades de fertilizantes utilizados por hectare.....	46
Figura 21	Problemas mais freqüentes em sistemas de dosagem de fertilizantes.....	47
Figura 22	Diagrama de Mudge.....	49
Figura 23	Casa da qualidade.....	50
Figura 24	Estrutura de funções.....	51
Figura 25	Concepção 1 (rotor acanalado).....	53
Figura 26	Concepção 2 (dosador helicoidal).....	54
Figura 27	Concepção 3 (dosador de palhetas).....	55
Figura 28	Concepção 4 (dosador de roseta).....	55
Figura 29	Disco de regulagem.....	59
Figura 30	Rotor de palhetas.....	60
Figura 31	Carcaça.....	60
Figura 32	Disco com duas saídas.....	60
Figura 33	Conexão carcaça x disco de duas saídas.....	61
Figura 34	Conexão carcaça x dosador x disco de duas saídas.....	61
Figura 35	Montagem do sistema de dosagem de fertilizante.....	62

Figura 36	Vista superior da conexão cônica do dosador ao reservatório.....	64
Figura 37	Rotor de palhetas montado na carcaça.....	65
Figura 38	Disco de regulagem.....	65
Figura 39	Regulagem com maior área de abertura (1.270mm ²).....	66
Figura 40	Regulagem intermediária (839mm ²).....	66
Figura 41	Regulagem com menor área (430mm ²).....	66
Figura 42	Carcaça.....	67
Figura 43	Disco com duas saídas.....	67
Figura 44	Aspecto do fertilizante NPK 05-20-10 no interior do dosador após a retirada do reservatório.....	69
Figura 45	Aspecto do fertilizante NPK 10-10-07 no interior do dosador após a retirada do reservatório.....	70
Figura 46	Aspecto do calcário no interior do dosador após retirada do reservatório.....	70
Figura 47	Aspecto do pó de rocha no interior do dosador após retirada do reservatório.....	71
Figura 48	Efeito do erro angular entre as palhetas do rotor e o fundo do dosador.....	72
Figura 49	Curva vazão mássica x velocidade angular para o fertilizante NPK.....	72
Figura 50	Vazão mássica x Abertura de entrada de fertilizante NPK.....	73
Figura 51	Curva vazão mássica x velocidade angular para o fertilizante NPK 10-10-07 NR1.....	75
Figura 52	Vazão mássica x Abertura de entrada de fertilizante NPK 10-10-07 NR1.....	75
Figura 53	Vazão mássica x velocidade angular para calcário.....	77
Figura 54	Comportamento do calcário dentro do sistema de armazenagem.....	78
Figura 55	Vazão mássica x abertura de entrada de fertilizante.....	78
Figura 56	Vazão mássica x velocidade angular para o fertilizante pó de rocha.....	80
Figura 57	Vazão mássica x abertura de entrada de fertilizante pó de rocha.....	80

Lista de Quadros

Quadro 1	Principais conceitos da etapa de análise funcional.....	26
Quadro 2	Classificação do escore.....	36
Quadro 3	Necessidades dos clientes x fases do ciclo de vida.....	47
Quadro 4	Requisitos dos clientes x ciclo de vida do produto.....	48
Quadro 5	Valores meta do projeto.....	51
Quadro 6	Princípio de solução para concepção 1.....	52
Quadro 7	Princípio de solução para concepção 2.....	53
Quadro 8	Princípio de solução para concepção 3.....	54
Quadro 9	Princípio de solução para concepção 4.....	55
Quadro 10	Resultados da aplicação da técnica do julgamento da viabilidade.....	56
Quadro 11	Resultados da aplicação da técnica da disponibilidade tecnológica.....	57
Quadro 12	Resultados da aplicação da técnica do exame Passa/Não passa.....	58

Lista de tabelas

Tabela 1	Pontuação dos escores.....	37
Tabela 2	Grupo de peneiras para diferentes naturezas físicas de Fertilizantes	38
Tabela 3	Pesos referentes a valoração dos requisitos.....	49
Tabela 4	Valoração dos escores.....	58
Tabela 5	Características granulométricas NPK 05-20-10 e NPK 10-10-07	62
Tabela 6	Características granulométricas Pó de Rocha e calcário.....	62
Tabela 7	Umidade média em base seca de diferentes fertilizantes.....	63
Tabela 8	Densidade dos fertilizantes em g cm ⁻³	63
Tabela 9	Variáveis do ângulo de repouso de 4 fertilizantes.....	64
Tabela 10	Dados de vazão (NPK 05-20-10).....	68
Tabela 11	Dados de vazão (NPK 10-10-07 NR1).....	69
Tabela 12	Dados de vazão (Calcário).....	70
Tabela 13	Dados de vazão (Pó de rocha).....	71
Tabela 14	Quadro de análise de variância(NPK de formulação 05-20-10).....	73
Tabela 15	Médias de interação (rpm x mm ²).....	74
Tabela 16	Quadro de análise de variância (NPK 10-10-07 NR1).....	74
Tabela 17	Médias de interação (rpm x mm ²).....	76
Tabela 18	Quadro de análise de variância (Calcário).....	78
Tabela 19	Médias de vazão mássica do calcário	79
Tabela 20	Quadro de análise de variância (Pó de rocha).....	81
Tabela 21	Médias de interação (rpm x mm ²).....	81

Lista de abreviaturas e siglas

CAD	Computer-aided design
C1	Concepção 1
C2	Concepção 2
C3	Concepção 3
C4	Concepção 4
DER	Departamento de Engenharia Rural
FAEM	Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
MAPA	Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB	Produto interno bruto
QFD	Quality Function Deployment
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas

Sumário

1	Introdução.....	14
2	Revisão bibliográfica.....	17
2.1	Fertilizantes.....	17
2.2	Importância do uso do fertilizante.....	18
2.3	Sistemas dosadores de fertilizantes sólidos.....	18
2.4	Metodologia de projeto.....	21
3	Material e métodos.....	29
3.1	Projeto informacional.....	29
3.1.1	Pesquisa explanatória.....	29
3.1.2	Pesquisa de campo.....	29
3.1.3	Valoração dos requisitos de clientes.....	30
3.1.4	Hierarquização dos requisitos de projeto.....	31
3.1.5	Especificação de projeto.....	32
3.2	Projeto conceitual.....	32
3.2.1	Definição da função global.....	32
3.2.2	Criação da estrutura de funções.....	33
3.2.3	Pesquisa por princípios de solução.....	33
3.3	Projeto preliminar.....	37
3.4	Caracterização física dos fertilizantes.....	38
3.4.1	Granulometria.....	38
3.4.2	Teor de água nos fertilizantes.....	38
3.4.3	Densidade.....	39
3.4.4	Ângulo de repouso.....	39
3.5.1	Construção do protótipo.....	40
3.5.2	Testes e ensaios.....	41
3.5.3	Verificação de existência de diferença estatisticamente significativa entre vazão.....	42
4	Resultados e discussão.....	44
4.1	Projeto informacional.....	44
4.1.1	Pesquisa de campo.....	44
4.1.2	Valoração dos requisitos.....	49
4.1.3	Hierarquização dos requisitos de projeto.....	49

4.1.4	Especificações de projeto.....	51
4.2	Projeto conceitual.....	51
4.2.1	Definição da estruturas de funções.....	51
4.2.2	Definição da concepção.....	52
4.2.3	Seleção de concepção.....	56
4.3	Projeto preliminar.....	59
4.4	Caracterização física dos fertilizantes.....	62
4.4.1	Granulometria.....	62
4.4.2	Teor de água nos fertilizantes.....	62
4.4.3	Densidade.....	63
4.4.4	Ângulo de repouso.....	63
4.5	Construção e avaliação do protótipo.....	64
4.5.1	Construção do protótipo.....	64
4.5.2	Testes e ensaios.....	68
4.5.3	Curva vazão x velocidade angular e análise de variância	72
5	CONCLUSÕES.....	83
	REFERÊNCIAS.....	84
	APÊNDICES.....	89

1 Introdução

A Agricultura Familiar apresenta uma grande capacidade de reconversão produtiva e de gestão, se adequando às melhores possibilidades econômicas, sociais e culturais, inclusive de mercado de maneira eficaz e dinâmica. No entanto, observam-se alguns empecilhos no que diz respeito à modernização e investimentos em máquinas que tragam ganhos tanto na qualidade de vida dos agricultores como também na produtividade de suas culturas.

Para que o agricultor obtenha alta produtividade, necessita ampliar sua área de plantio, o que se torna difícil por ser um núcleo familiar com poucos recursos financeiros como também de mão-de-obra que é essencialmente da própria família.

Porém, a falta de maquinário e equipamentos que se adaptem as reais condições do produtor torna mais difícil o processo de modernização e, consequentemente, o aumento de sua produtividade e ingresso no mercado competidor.

Entretanto a agricultura familiar brasileira tem grande importância na geração de riquezas no país, pois é responsável por 10,1% do PIB nacional. De acordo com os dados fornecidos pelo Censo Agropecuário (2006), a mesma é capaz de produzir mais em menor área, sendo a principal fornecedora de alimentos básicos, mostrando assim sua grande capacidade e representatividade no setor econômico do país, representando 84,4% do total de estabelecimentos rurais, ocupando uma área total de 24,3% e responsáveis por 38% do valor bruto da produção agropecuária nacional.

Ainda que para Graziano Silva (2002) *apud* Soto (2002) diga que a modernização da agricultura brasileira seja ainda apenas parcial, pois não atingiu todas as fases do ciclo produtivo e porque se restringiu a algumas zonas do país, esse paradigma deve ser quebrado, atingindo em sua plena amplitude a todas as regiões brasileiras com o desenvolvimento de novos projetos voltados ao perfil do pequeno produtor familiar.

Para Menegatti (2004) a agricultura brasileira atual está visando, além do aumento da produtividade, também a qualidade de produtos e a redução de custos. Portanto, há a necessidade de se desenvolver equipamentos adequados às condições específicas de produção, que sejam apropriados ao universo da agricultura familiar. Por essas razões, identifica-se a necessidade de desenvolver projetos de máquinas adequadas às condições financeiras dos agricultores familiares e que contemplem, de forma satisfatória, as demandas de trabalho com melhor rendimento nas culturas produzidas.

Dessa forma, pensando na problemática vivenciada pelo agricultor familiar, verificou-se a grande importância que uma semeadora-adubadora de precisão para grãos graúdos (milho e feijão) de plantio direto possui, em virtude da demanda de trabalho exigida pelas semeadoras manuais no plantio dessas culturas. Assim, constatou-se a necessidade de uma semeadora-adubadora que possibilitasse aumento de produtividade, maior agilidade, facilidade de regulagem e manutenção, baixo custo e baixo desperdício na adubação.

Com isso, chega-se a proposta de contribuir com o projeto desenvolvido por Teixeira (2008), de uma semeadora em linha, a ser adaptável em tratores de baixa potência para agricultura ecológica, onde a mesma contempla todos os requisitos já mencionados, com exceção do sistema de dosagem de adubo.

Logo este trabalho tem o objetivo de desenvolver um protótipo de um dosador de fertilizantes que seja adaptável à máquina em questão, ou seja, um dosador de fertilizantes para semeadora / adubadora para grãos graúdos (milho, feijão), com saída de fertilizante para duas linhas de semeadura, adequado às condições dos agricultores familiares.

Esse protótipo não será um produto acabado e sim servirá para testar o funcionamento dos princípios de solução que compõe a concepção escolhida, verificando a sensibilidade da dose em função das variações dos parâmetros operativos.

A dissertação está dividida em seis capítulos. O primeiro já exposto acima, apresentando o cenário da agricultura familiar no Brasil, bem como as problemáticas enfrentadas para implantação de tecnologias e os objetivos deste trabalho. O segundo capítulo está subdividido em quatro assuntos, onde é realizada uma revisão bibliográfica sobre: importância do uso de fertilizante, tipos de fertilizantes

usados pela agricultura familiar, sistemas dosadores de fertilizantes e metodologia de projeto.

O capítulo 3 trata dos materiais e métodos utilizados no trabalho, o qual apresentará os métodos utilizados para a execução do projeto e do processo construtivo do protótipo do dosador de fertilizantes que atenda a duas linhas de semeadura simultaneamente e os métodos utilizados para a realização dos testes e ensaios do mesmo, ou seja, serão apresentadas de forma detalhada todas as fases realizadas para se chegar as especificações do projeto através da identificação dos clientes, como também estabelecer a estrutura funcional do produto até a geração da concepção do produto. No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos com os testes em laboratório do protótipo, para identificação dos parâmetros de funcionamento, regulagens e acuidade na distribuição de fertilizantes. O capítulo 5 apresentará as conclusões do referido trabalho.

Espera-se que no final deste trabalho seja possível concluir que o protótipo esteja adequado às condições da semeadora de baixa potência, tanto no que se refere ao funcionamento da máquina como também no incentivo a implantar na propriedade rural a tecnologia projetada. Também se espera que o protótipo atinja um baixo custo de produção, tenha uma boa funcionalidade e precisão na dosagem, bem como disposição dos principais tipos de fertilizantes sólidos utilizados pelos agricultores familiares.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Fertilizantes

De acordo com a norma NBR 5779/94, o termo utilizado para fertilizante corresponde a todo produto que possui um ou mais nutrientes. Os nutrientes são elementos químicos essenciais às plantas, podendo ser classificados como macronutrientes primários (N, P e K), macronutrientes secundários (Ca, Mg e S), micronutrientes (B, Co, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), além de C, O e H.

Os fertilizantes são empregados para suprir as deficiências nutricionais das plantas e para isso deve apresentar algumas características desejáveis. De acordo com Alcarde et al. (1989) essas características de qualidade dos fertilizantes podem ser classificadas quanto a sua natureza, que por sua vez pode ser classificada em física, química e físico química.

A utilização de fertilizantes depende de vários fatores, os quais devem ser recomendados de acordo com aos aspectos agronômicos e econômicos.

De acordo com algumas recomendações da EMPRAPA, a adubação depende da análise cuidadosa de fatores, mas que não existe uma regra geral à seguir nas recomendações de adubação. Esses fatores se fundamentam nos seguintes aspectos:

- a. Resultados de análises de solo complementados pela análise de planta;
- b. Análise do histórico da área;
- c. Conhecimento agronômico da cultura;
- d. Comportamento ou tipo da cultivar;
- e. Comportamento dos fertilizantes no solo;
- f. Disponibilidade de capital do agricultor para aquisição de fertilizantes; e
- g. Expectativa de produtividade.

Para a cultura do milho, por exemplo, que é uma das culturas que poderá receber a dosagem de fertilizante através do dosador a ser projetado no presente

trabalho, as recomendações de adubação, segundo o técnico da EMATER/Pelotas, é feita em duas fases, a primeira, a adubação básica NPK é aplicada na linha de plantio, sendo que é depositada a dose total recomendada de fósforo e potássio e apenas 1/3 a 1/4 da dose total de nitrogênio, e a segunda fase de adubação trata da aplicação de uma adubação nitrogenada em cobertura. A quantidade média de NPK utilizada na região sul do Rio Grande do Sul está entre 5 a 6 sacos de 50kg por hectare, na agricultura patronal, a qual visa comercialização em larga escala do milho produzido e entre 1 a 3 sacos de fertilizante na agricultura familiar.

2.2 Importância do uso do fertilizante

A agricultura familiar no Brasil é a principal produtora de alimentos básicos como a mandioca, feijão, milho, café e soja. Também se apresenta como a principal fornecedora de leite, aves, suínos e bovinos segundo o Censo Agropecuário (2006).

Para Garcia (2007) o processo produtivo da agricultura funciona como um sistema aberto, onde há perdas de nutrientes e os mesmos só podem ser repostos através da aplicação de corretivos e fertilizantes. Sendo assim é de suma importância a utilização de fertilizantes químicos, quando se vive em um cenário competitivo e em crescimento como o atual, onde o aumento de produtividade e qualidade de produtos são os principais objetivos do mercado agrícola. Vale salientar que não somente os fertilizantes químicos são importantes para o aumento de produtividade, pois a adubação verde e o uso de insumos locais vêm crescendo cada vez mais na agricultura familiar, visando a sustentabilidade da propriedade rural.

Sendo assim Lopes et al (2000) afirmam que adubação e práticas de calagem tem grande importância, pois são responsáveis por 50% do aumento de produtividade das culturas.

2.3 Sistemas dosadores de fertilizantes sólidos

Para aplicação de fertilizante em culturas de grãos utilizam-se, segundo Umez (2003), máquinas denominadas de semeadoras-adubadoras que tem por função colocar semente e fertilizante no solo em uma única operação.

Essas adubadoras estão divididas em dois grupos de acordo com a forma em que realizam a aplicação de fertilizante. Elas podem ser adubadoras ou distribuidores a lança ou então adubadoras em linha.

Como o presente trabalho visa apenas o sistema de dosagem de fertilizantes sólidos, a seguir será descrito apenas os mecanismos referentes à adubadoras com sistemas dosadores para este tipo de produto e os mecanismos destinados à adubação na linha de semeadura.

Segundo Balastreire (1987) os sistemas dosadores de fertilizantes classificam-se de acordo com a sua construção, ou seja, pelas suas diferenças construtivas, sendo eles de disco horizontal rotativo, dosador helicoidal, de correia, rotor dentado e cilindros canelados. Seguindo como base a descrição do autor, a seguir se conceitua cada tipo de sistema dosador.

- **Dosador de adubo de disco horizontal rotativo**

Utilizados quando se tem para cada linha de semeadura um depósito e um dosador de adubo, geralmente em semeadoras para grãos graúdos. Esse tipo de dosador apresenta um disco rotativo acoplado em uma engrenagem (coroa), girando contra uma anteparo raspador e esta por sua vez orienta o fertilizante para o tubo de saída. A quantidade de fertilizante a ser aplicada é alterada em função de uma janela de saída variável com o depósito de fertilizante.

- **Dosador helicoidal**

Apresenta uma construção simples onde se tem um parafuso (helicóide) sob o depósito de fertilizante. A quantidade de fertilizante é variada através da mudança de velocidade angular do eixo de acionamento ou do passo do helicóide empregado.

- **Dosador de fertilizante de correia**

O sistema é constituído por uma correia ou corrente localizada na parte inferior do depósito de fertilizante. A quantidade de fertilizante a ser dosada é feita pelo transporte através de uma abertura regulável.

- **Dosador de rotor dentado**

São de construção simples, basicamente dotado de um rotor dentado horizontal no fundo do depósito de fertilizante. O rotor gira sobre uma placa, a qual possui um orifício para saída de fertilizante. O rotor se movimenta, uma vez que é ligado a um eixo e este gira através das rodas de sustentação da máquina. A quantidade de adubo colocada pelo rotor no orifício de saída é regulada através de

um anteparo ajustável, que controla a espessura da camada de adubo. Também são conhecidos pelo nome de dosador tipo roseta.

- **Eixo com palhetas**

Para Machado et al (1996) esse eixo situa-se na parte inferior do reservatório de fertilizante. O eixo é dotado de palhetas, produzindo um movimento giratório, onde essas palhetas movimentam a massa de fertilizante empurrando-o para os orifícios, com uma maior ou menor velocidade de giro do eixo, a qual permite o controle da quantidade de fertilizante.

Diversos autores pesquisaram o funcionamento de mecanismos dosadores de fertilizantes e dentre eles pode-se citar as considerações realizadas por Menegatti (2004) quando analisou diferentes concepções de dosadores de fertilizantes.

Este autor apresenta em seu trabalho um mecanismo dosador acanalado helicoidal, onde todo fertilizante entra no dosador pela ação da gravidade, pois este dosador é conectado na parte inferior do reservatório.

Uma vez que o rotor acanalado gira, seus sulcos são preenchidos por fertilizante. A descarga de fertilizante neste tipo de mecanismo se dá sob a ação da gravidade, onde o mesmo é conduzido ao solo através de uma mangueira. A quantidade de fertilizante a ser aplicada varia de acordo com a rotação de um motor de passo. Quando testado, este mecanismo dosador a relação *vazão x velocidade angular* apresentou uma curva linear, ou seja, quando a velocidade angular é aumentada também se aumenta a vazão de fertilizante a ser depositada.

Menegatti (2004) também menciona outro tipo de mecanismo dosador helicoidal, mas em vez conter um rotor acanalado, possui um eixo com roscas opostas. Este tipo de mecanismo é bastante utilizado em semadoras-adubadoras disponíveis no mercado, na qual o fertilizante entra no sistema de dosagem pela ação da gravidade preenchendo o volume entre o eixo e a carcaça tubular. O fertilizante é direcionado axialmente até as duas saídas. A quantidade de produto a ser dosado é proporcional a velocidade do eixo. A Fig. 1 apresenta um dosador helicoidal de rosca oposta.

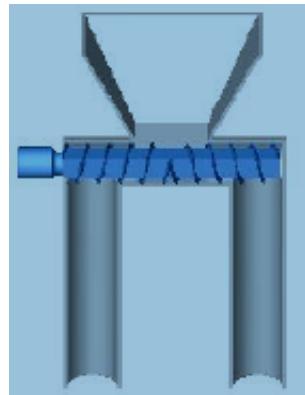


Figura 1: Dosador helicoidal com rosca oposta
Fonte: Menegatti (2004)

Outra concepção mencionada por Menegatti (2004) é composta de um dosador de palhetas, o qual seu sistema de dosagem funciona através do preenchimento com produto nos espaços vazios, chamados de células de dosagem. Neste sistema nota-se também que a vazão aumenta com o aumento de rotação. A Fig. 2 mostra em detalhe um dosador de palhetas apresentado por Menegatti (2004).



Figura 2: Dosador de palhetas
Fonte: Menegatti (2004)

2.4 Metodologia de projeto

Para que as metas sejam atingidas ao final do projeto de um sistema técnico, o mesmo deve ser dividido em algumas etapas importantes, que identificam a importância do projeto, os problemas observados pelos produtores, o próprio processo de projeto e se o futuro produto irá cumprir de forma satisfatória as demandas levantadas.

A metodologia de projeto empregada por Reis (2003) para o projeto de sistemas mecânicos se divide em quatro fases. A primeira fase trata-se do projeto informacional, no qual é mostrado o processo de obtenção das especificações de projeto. Nela é feita a identificação dos clientes do produto, das necessidades dos

mesmos e a fixação dos requisitos de projeto. Ao final dessa fase são obtidas as chamadas “especificações do projeto”, que é uma lista de objetivos que o produto a ser desenvolvido deve atender.

Para Romano (2003), ao estabelecer as especificações do projeto deve-se primeiramente identificar os clientes/usuários e suas necessidades, para isto, há a necessidade de identificar quem são os clientes/usuários ao longo do ciclo de vida do produto. Para o autor os clientes externos se classificam como sendo pessoas que compram e utilizam o produto, os clientes internos as pessoas envolvidas no projeto e na implementação do produto e por fim os clientes intermediários, como sendo as pessoas responsáveis pela distribuição, *marketing* e pós-venda do produto.

De acordo com Flores (2008) ao identificar as necessidades dos diferentes tipos de clientes do produto e transformá-las em objetivos e metas que o produto deve alcançar é estar gerando, a partir desses dois parâmetros, as especificações de projeto.

Para identificar as necessidades dos clientes REIS et al. (2003) propõe, para o levantamento de dados, o uso de questionários, essa proposta é utilizada para reduzir os riscos de obterem-se informações sem utilidade, ou deixar de considerar algum dado relevante ao projeto.

Para elaborar o projeto do questionário REIS et al (2003) sugerem que se divida o projeto deste em quatro etapas: (a) estabelecer as fases do ciclo de vida do produto; (b) definir os clientes do projeto; (c) elaborar questões para cada cliente do projeto; (d) formatar o questionário.

Sendo o projeto informacional uma fase que busca informações, identifica as necessidades dos clientes e transforma-as em requisitos de clientes e chegando às especificações de projetos, o mesmo deve seguir algumas etapas. Essas etapas se apresentam na Fig. 3, conforme citado por Fonseca (2000).

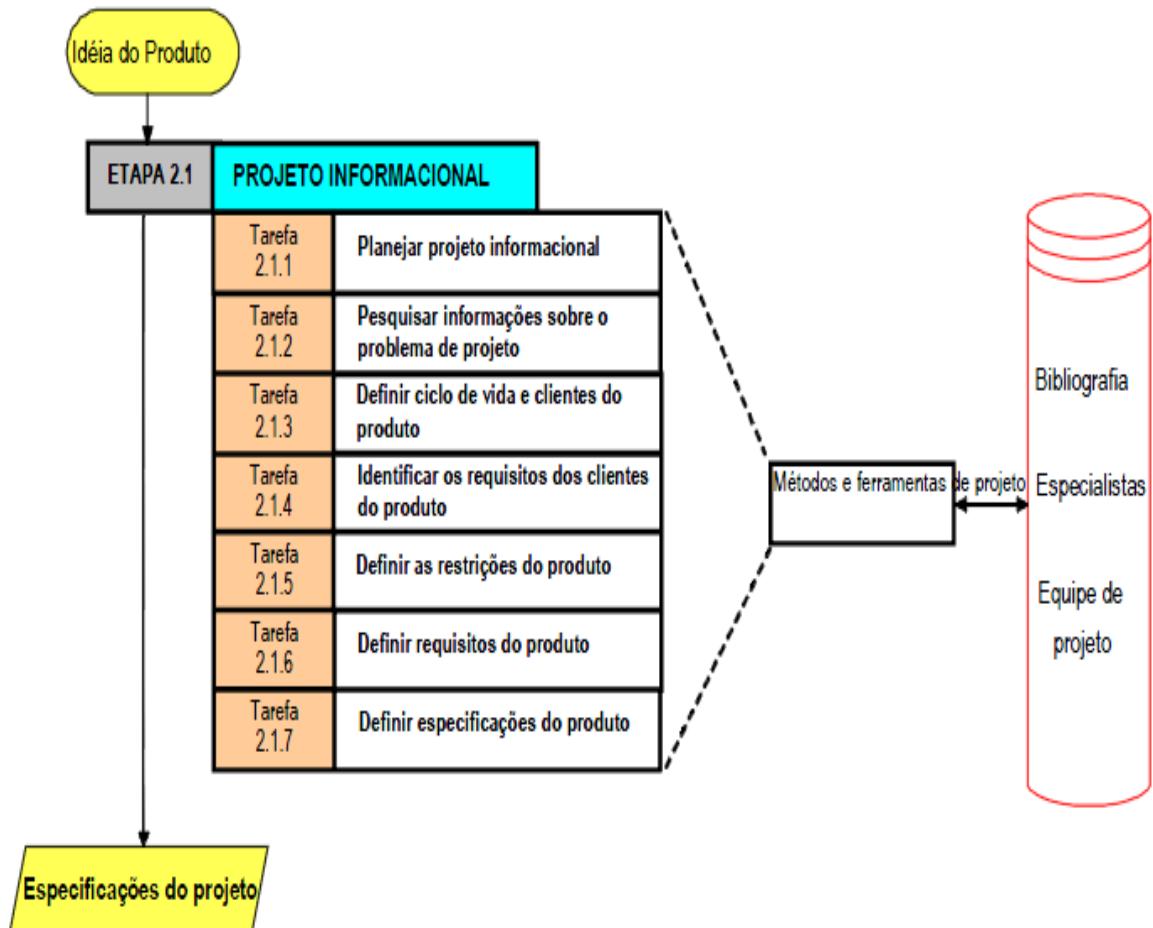


Figura 3: Etapas do projeto informacional
Fonte: Fonseca (2000)

Depois de identificar as necessidades dos clientes, estas são transformadas em requisitos dos clientes, ou seja, ocorre uma transformação da linguagem bruta em uma linguagem técnica.

Segundo Fonseca (2000) todo requisito do cliente é:

- Uma frase curta composta pelos verbos ser, estar ou ter seguidos por um ou mais substantivos;
- Uma frase composta por um verbo que não seja ser, estar ou ter seguidos por um ou mais substantivos, sendo neste caso colocado uma possível função do produto.

As necessidades dos clientes são transformadas em requisitos e estes são valorados podendo ser definidos pela equipe de projeto ou utilizar alguns métodos de valoração de requisitos.

Reis et al (2002) apresenta uma ferramenta computacional que sistematiza o processo, o qual valoriza os requisitos, o diagrama de Mudge. Neste diagrama os requisitos são comparados aos pares e a pontuação é dividida em intervalos, pois a mesma apresenta um grande número de valores dificultando o entendimento da valoração.

De posse da valoração dos requisitos dos clientes o próximo passo é a criação e a hierarquização dos requisitos do projeto, podendo ser utilizado como ferramenta a matriz da casa da qualidade QFD (*Quality Function Deployment - Desdobramento da Função Qualidade*) que segundo Flores (2008) é uma técnica que pode ser utilizada durante todo processo de desenvolvimento do produto.

Santana (2005) afirma que a partir da hierarquização dos requisitos de projeto as especificações do projeto são constituídas com seus valores metas, formas de avaliação e aspectos indesejáveis.

Na segunda fase da metodologia é realizado o projeto Conceitual, a partir de uma necessidade detectada e esclarecida gera uma concepção para um produto que atenda da melhor maneira possível esta necessidade, sujeita às limitações de recursos e suas restrições. Ao final dessa fase obtém-se a “concepção do produto”. Para Forcellini (2003) esta fase é a mais importante na elaboração de um projeto de um produto, pois as decisões nesta etapa influenciam na próxima etapa.

A Fig. 4 mostra o modelo utilizado por Forcellini (2003), onde o projeto conceitual é dividido em conjunto de tarefas e atividades com o objetivo de obter uma melhor concepção.

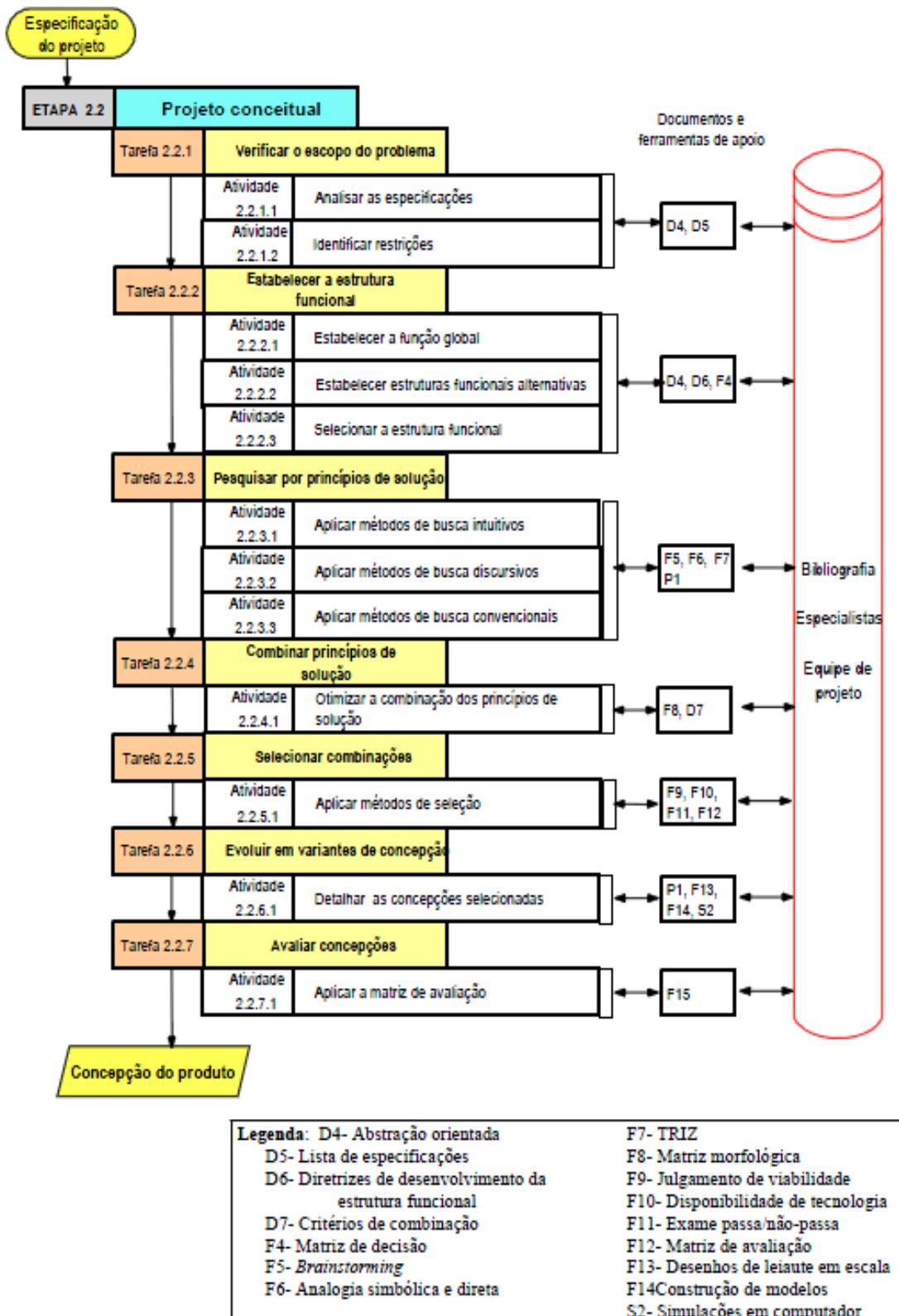


Figura 4: Etapas do Projeto conceitual
Fonte: Forcellini (2003)

Após a verificação do escopo do problema, se estabeleceu a estrutura funcional do produto, partiu-se então, estabelecendo-se as funções do produto e buscando as possíveis combinações dos princípios de solução para estas funções.

Santana (2005) diz que a estrutura funcional do produto auxilia na busca de princípios de solução e para isso se divide esta etapa em duas fases, a fase de estabelecer a função global e a outra fase em estabelecer a estrutura funcional.

Forcellini (2003) modela as etapas da análise funcional em diferentes processos, conforme a Fig. 5.

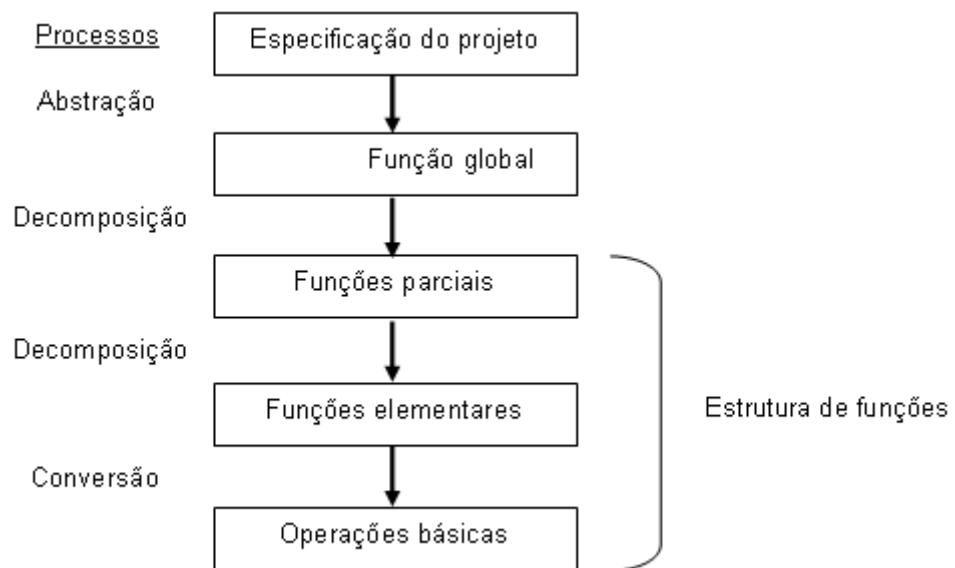


Figura 5: Tarefas e processos envolvidos na análise funcional

Fonte: Forcellini (2003)

O quadro 1 define cada um dos termos utilizados na etapa de análise funcional, segundo os conceitos utilizados por Forcellini (2003).

Quadro 1: Principais conceitos da etapa de análise funcional.

TERMO	SIGNIFICADO
Função	Relação entre as entradas e as saídas (em termos de material, energia e sinal) de um sistema que tem o propósito de desempenhar uma tarefa.
Função global	Expressa a relação entre as entradas e as saídas de todas as quantidades envolvidas assim como as suas propriedades. É a função última do sistema técnico.
Função parcial	Ou subfunção, divisão da função global. Apresenta menor grau de complexidade.
Função auxiliar	Contribui para a função global de uma forma indireta. Tem caráter complementar ou de apoio.
Função elementar	Último nível de desdobramento da função global, não admitindo subdivisão. Deve existir pelo menos um princípio de solução no campo físico capaz de atender a essa função.
Estrutura funcional	Combinação de funções parciais representativas da função global do sistema.

Estabelecidas todas as funções do produto e obtendo-se a concepção do mesmo, o projeto evolui para a fase seguinte, chamada de Projeto Preliminar, o qual segundo Pahl & Beitz (1996) é uma fase onde o processo de projeto parte da concepção do produto e passa a ser desenvolvido de acordo com critérios técnicos e econômicos até o ponto em que o Projeto Detalhado subsequente possa conduzir diretamente à produção. Nessa fase o modelo do produto evolui da *concepção* ao leiaute definitivo. As Fig. 6 e 7 apresentam as etapas do projeto preliminar e detalhado de acordo com o modelo sugerido por Forcellini (2003).

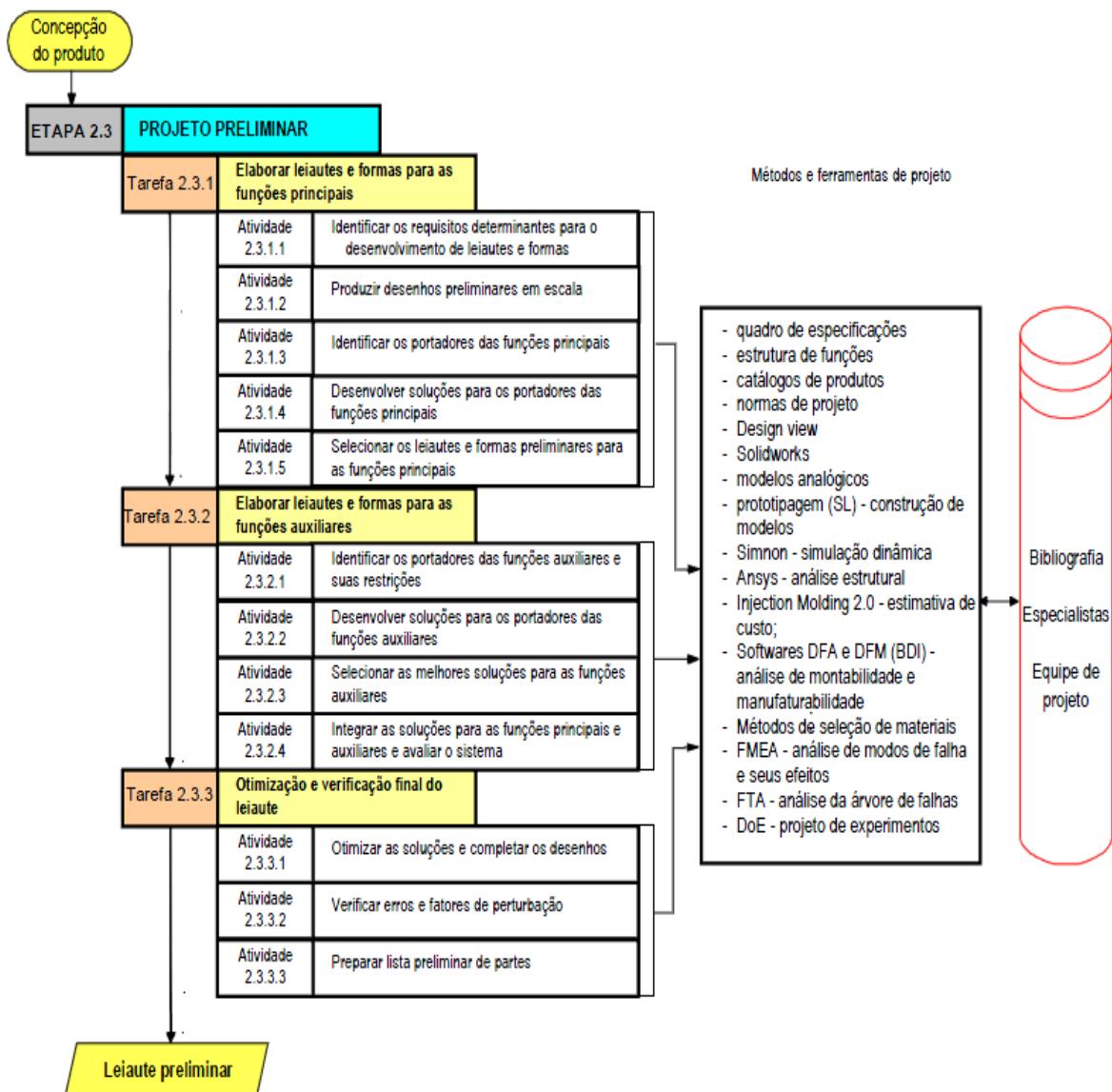


Figura 6: Etapas do projeto preliminar
Fonte: Forcellini (2003)

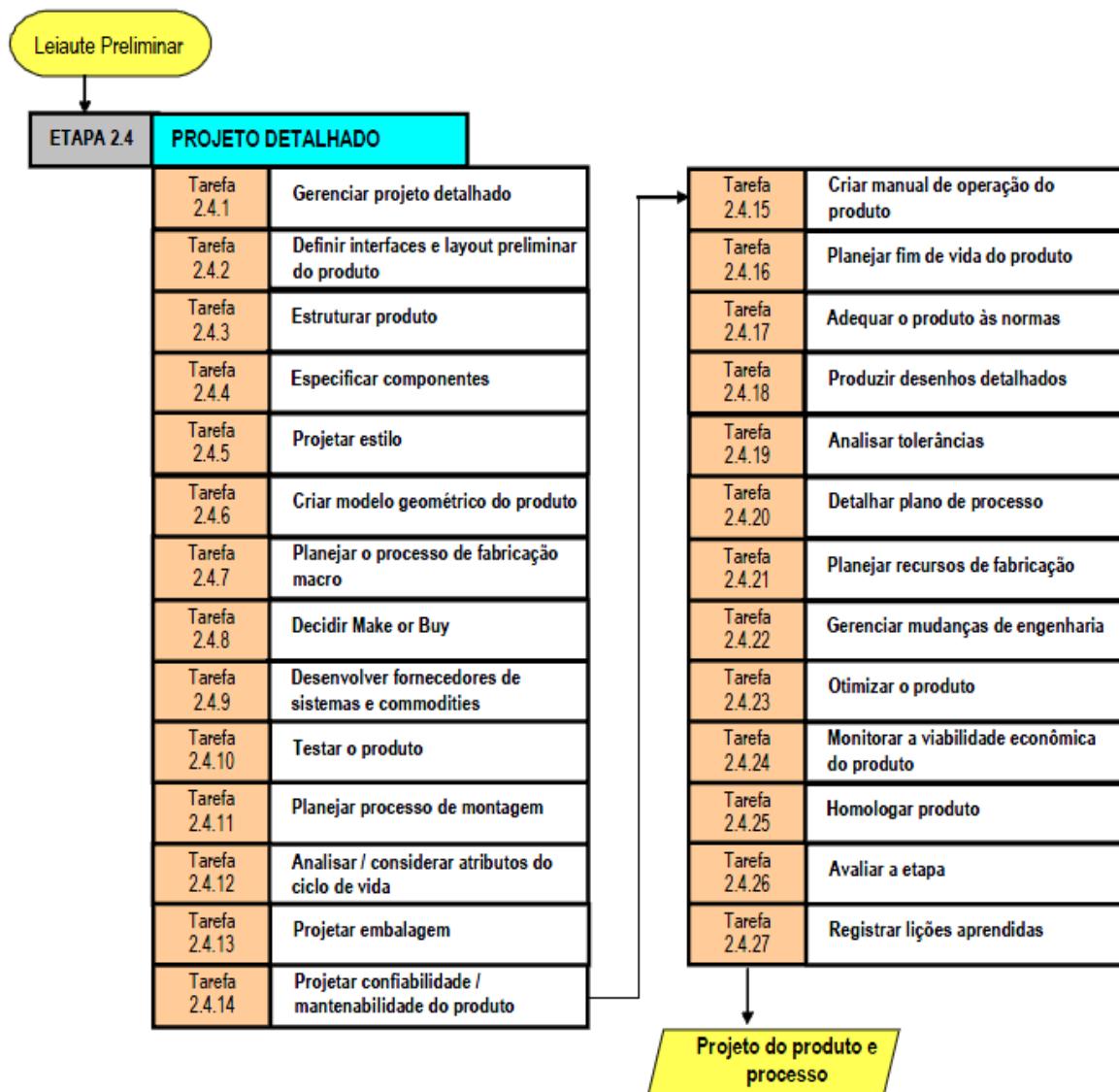


Figura 7: Etapas do projeto detalhado
Fonte: Forcellini (2003)

Concluindo as etapas de projeto, inicia-se a fase de construção do protótipo. Para Ulrich e Eppinger (1995) apud Reis (2003), um protótipo é uma aproximação do produto ao longo de uma ou mais dimensões de interesse.

3 Material e métodos

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados neste trabalho, bem como suas fases até a construção do protótipo do dosador de fertilizantes, assim como os ensaios de caracterização das amostras de fertilizantes e nos ensaios de verificação do funcionamento do protótipo.

A metodologia de projeto apresentada tem como referência aquela empregada por REIS (2003) para o desenvolvimento de concepções para a dosagem de precisão de sementes miúdas, a qual se caracteriza por uma abordagem sistemática tanto do problema de projeto quanto das possíveis soluções encontradas. As principais etapas das fases da metodologia são apresentadas a seguir.

3.1 Projeto informacional

Nesta primeira fase foi realizada uma pesquisa para tomar conhecimento dos temas que abordam o projeto, bem como o levantamento das necessidades dos clientes até a definição dos requisitos de projeto.

3.1.1 Pesquisa exploratória

Foi feito um estudo através de artigos científicos, dissertações, livros e folhetos sobre fertilizantes, sua utilização, sua importância, bem como, os mecanismos dosadores existentes para realizar a função principal deste projeto.

3.1.2 Pesquisa de campo

A pesquisa de campo foi realizada com o objetivo de coletar informações e demandas relativas a operações agrícolas mecanizadas.

Essa pesquisa foi realizada através da elaboração e distribuição de questionários objetivos na zona rural da região sul do Rio Grande do Sul, mais especificamente nos municípios de Canguçu, Monte Bonito, Arroio do Padre, Morro Redondo e Pelotas. Esses questionários foram confeccionados segundo as

recomendações de REIS *et al* (2003) e se encontra no Apêndice A.

Após a definição das necessidades dos clientes, com o auxílio das respostas dos questionários, as mesmas foram transformadas em requisitos dos clientes, os quais foram valorados.

3.1.3 Valoração dos requisitos de clientes

A valoração dos requisitos dos clientes foi realizada através de uma planilha eletrônica, formando o diagrama de Mudge, no qual se fez a comparação dos requisitos aos pares, ou seja, cada requisito é comparado com cada um dos outros requisitos.

Na comparação dos requisitos se fez duas perguntas:

- qual requisito é mais importante para o sucesso do produto?
- quanto mais importante é esse requisito?

Para responder à segunda pergunta utilizou-se a seguinte escala de valoração:

Muito mais importante (valor cinco – letra A).

Medianamente mais importante (valor três – letra B).

Um pouco mais importante (valor um – letra C).

Na Fig. 8 é demonstrado como se forma o diagrama de Mudge, bem como a comparação aos pares e suas disposições no diagrama.

Requisitos							Soma	Percentual
Requisitos	1	2	3	4	5	6		
1	1	R _v	Nº	%				
	2		R _v	R _v	R _v	R _v	Nº	%
	3			R _v	R _v	R _v	Nº	%
	4				R _v	R _v	Nº	%
	5					R _v	Nº	%
	6						Nº	%

Figura 8: Esquematização do diagrama de Mudge

R = Nº do requisito com maior importância

v = Grau de importância conforme a escala de valoração, letras A, B ou C.

Nº = total de pontos

% = porcentagem da pontuação

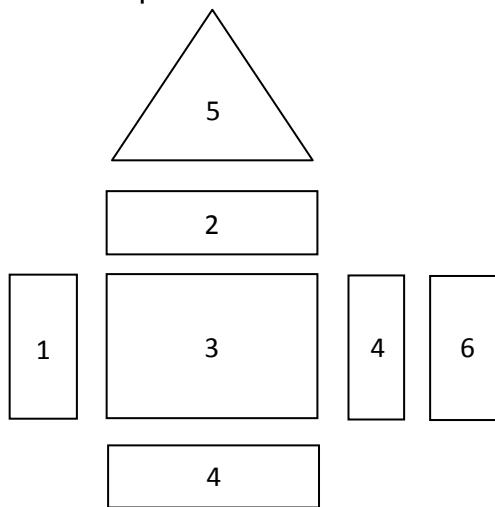
Conforme mostrado na Fig. 8, compararam-se os requisitos de cada linha com os requisitos de cada coluna. Nesta comparação definiu-se qual requisito possuía um maior grau de importância, colocando o seu respectivo número na célula. Ao lado desse número foi colocada a letra que correspondeu à escala de valoração e assim sucessivamente para todas as outras comparações.

Por fim se fez o somatório de todos os pontos correspondentes a cada requisito, chegando-se a classificação do mesmo. Os requisitos valorados foram agrupados em cinco intervalos de classe com valores entre 1 e 5 para posterior uso em outra ferramenta da metodologia de projeto.

3.1.4 Hierarquização dos requisitos de projeto

Para hierarquizar os requisitos de projeto, de forma que o mesmo possa atender às necessidades levantadas pelos clientes, foi utilizada a casa da qualidade, também conhecida por primeira matriz do QFD (*Quality Function Deployment – Desdobramento da Função Qualidade*). Essa ferramenta tem o objetivo de hierarquizar os requisitos de projeto com base nos requisitos dos clientes após terem sidos valorados pelo diagrama de Mudge.

O preenchimento da casa da qualidade é realizado conforme a Fig. 9.



- 1-Lista de requisitos dos clientes;
- 2- Lista de requisitos de projeto;
- 3- Relacionamentos entre requisitos dos clientes e requisitos de projeto (fraco, médio ou forte);
- 4-Valores ou pesos dos requisitos dos clientes;
- 5-Telhado da casa, onde se avalia o relacionamento entre requisitos de projeto (nenhum, positivo, fortemente positivo, negativo, fortemente negativo);
- 6- Avaliações de produtos concorrentes (não utilizado no trabalho);

Figura 9- Representação esquemática da casa da qualidade.
Fonte: REIS (2003)

3.1.5 Especificação de projeto

As especificações de projeto foram obtidas de acordo com o proposto por Back & Forcellini (2001), associando aos requisitos de projeto um valor meta.

3.2 Projeto conceitual

Após identificar as necessidades dos clientes, os requisitos e as especificações do produto partiu-se para a etapa seguinte, o projeto conceitual, o qual define como o produto deverá ser, e para isso é necessário a pesquisa de soluções para o problema proposto.

Assim buscou-se a solução mais adequada no projeto para o detalhamento funcional do produto, através da análise das especificações, análise funcional do sistema, estudo de materiais e tecnologia, identificando e definindo os princípios de solução com maior possibilidade de resolver o problema de projeto.

3.2.1 Definição da função global

Para auxiliar na pesquisa por princípios de solução foi necessário realizar uma análise funcional do produto. Para isso, então, se estabeleceu primeiramente uma função global do sistema técnico, definida por um verbo e um substantivo que alteram o material, a energia e o sinal que podem ser processador por esse sistema. Essa relação é essencial para que uma função possa exercer uma determinada tarefa.

Como o objetivo do produto é de dosar fertilizante a função global do mesmo é dosar fertilizante, sendo que para isso são necessários três tipos de fluxos de grandezas através do sistema, as quais segundo Menegatti (2004) são o próprio fertilizante, a energia necessária para efetuar a dosagem e o sinal que informa a quantidade de fertilizante a ser dosado conforme a Fig.10.

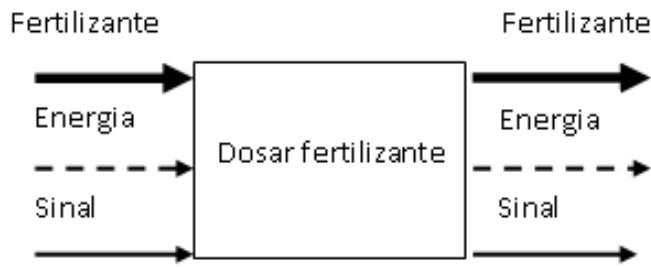


Figura 10 – Função global do sistema de dosagem de fertilizantes.
Fonte: Menegatti, 2004

3.2.2 Criação da estrutura de funções

Para a definição da estrutura de funções foi utilizada a metodologia de Ulrich & Eppinger (1995) apud Menegatti (2004), a qual decompõe a função global, pois assim pode-se dividir um problema complexo transformando-o em um problema simples.

Seguindo este conceito subdividiu-se a função global em várias subfunções, desde a entrada de produto no sistema técnico até a saída do mesmo, definindo assim a estrutura de funções do produto.

Definida a estrutura de funções restou pesquisar por princípios de solução, criando combinações entre eles para gerar e selecionar concepções para o produto.

3.2.3 Pesquisa por princípios de solução

Para criar os princípios de solução, primeiramente foi utilizado o método da matriz morfológica, onde a primeira coluna é preenchida com as funções parciais do produto e as demais com os possíveis princípios de soluções correspondentes à função.

A matriz morfológica empregada como base para a geração de concepções alternativas foi baseada no trabalho de Menegatti (2004). A decisão de empregar os princípios de solução desse autor deveu-se à excelente qualidade do trabalho assim como a profundidade do estudo dessa dissertação. A Fig. 11 apresenta a matriz morfológica utilizada por Menegatti (2004).

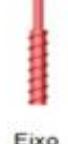
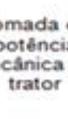
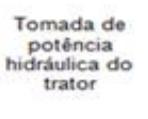
Homogeneizar fertilizante + Armazenar Fertilizante + Verificar nível de fertilizante						
						
Criar fluxo de fertilizante + Regular fluxo de fertilizante + Dividir fluxo de fertilizante						
						
Criar fluxo de fertilizante + Regular fluxo de fertilizante + Dividir fluxo de fertilizante						
Conduzir fertilizante ao solo						
Transmitir movimento						
Transmitir movimento						
Fornecer energia						

Figura 11: Matriz morfológica
Fonte: Menegatti (2004)

A matriz morfológica organiza a apresentação dos possíveis princípios de solução para as futuras concepções. Sendo assim foi realizada uma combinação entre os princípios apresentados na matriz morfológica e se analisou suas compatibilidades físicas e geométricas. A partir dos princípios de solução o projeto evoluiu para a etapa de avaliação das alternativas de solução, a qual se definiu a concepção final do produto.

O método de seleção da solução do projeto foi realizado segundo o procedimento proposto por Ullman (1992) apud Back e Forcellini (2003), onde são apresentadas quatro técnicas de avaliação. Essas técnicas buscam a melhor alternativa dentre as geradas.

A seleção deve ser realizada analisando-se algum tipo de informação, conhecimento, experiência ou outros requisitos, caracterizando como uma comparação absoluta que é utilizada como filtro para as técnicas de comparação relativas, as quais comparam as concepções entre si.

Foram utilizadas as seguintes técnicas de avaliação.

- **Avaliação baseada no julgamento da viabilidade**

Nesta técnica de seleção foi feita uma primeira avaliação de viabilidade, para verificar se a concepção era viável, condicionalmente viável, ou inviável.

Segundo a metodologia de Santana (2005) foi definido os conceitos de viabilidade como:

- Viável: quando a concepção é tecnologicamente e economicamente viável;
- Condisionalmente viável: depende da verificação de alguns aspectos que ficaram pendentes;
- Inviável: Quando existe algum problema de construção ou de custos que inviabiliza a concepção.

- **Avaliação baseada na disponibilidade tecnológica**

Essa técnica verificou o tipo de tecnologia empregada na concepção em análise. Para realizar essa avaliação foram utilizados questionamentos conforme a proposta de Back e Forcellini (2003) e Reis (2003), onde uma resposta positiva correspondeu a sim (S) e uma resposta negativa não (N). As perguntas elaboradas para esta avaliação estão descritas no item 4.2.3, junto aos resultados referentes a esta avaliação.

- **Avaliação baseado no exame passa/não passa**

Nessa técnica as necessidades foram transformadas em questões e depois respondidas por *sim* ou *possivelmente* (passa), ou *não* (não passa). As questões elaboradas para esta avaliação estão no item 4.2.3.

Finalizando o processo de avaliação das concepções apresentadas para uma melhor escolha entre elas, partiu-se então para a aplicação do método de Pugh, pois ainda não se confirmava a melhor opção entre os modelos apresentados e avaliados.

O método de Pugh parte de uma matriz de avaliação, a mesma é de simples aplicação, porém eficiente. Segundo Forcellini (2003) este método possibilita medir a capacidade de cada conceito em atender as necessidades dos clientes.

A Fig. 12 mostra como foi organizada a matriz de avaliação, a qual levou à escolha da concepção para o dosador de fertilizante com duas saídas.

		Idéias para comparação
		Escore geral
		Totais
Critérios de comparação	P e s o s	

Figura 12 - Matriz decisão

Fonte: Forcellini, 2003

Para construir essa avaliação, conforme as orientações do método consideraram-se como critérios técnicos os requisitos de clientes e os pesos gerados a partir do QFD.

Para a comparação entre as necessidades dos clientes com cada concepção, o mesmo foi julgado e recebeu um conceito conforme quadro 2, o qual apresenta também o escore correspondente ao seu julgamento.

Quadro 2:Classificação do escore

Conceito	Escore
Melhor que	+
Mesmo que	M
Não atende a necessidade tão bem quanto a referência	-

Como essa avaliação definirá a concepção final do produto adotou-se uma matriz mais refinada, onde os conceitos são julgados mais minuciosamente.

A tab. 1 apresenta os conceitos, bem como seu escore correspondente.

Tabela 1: Pontuação dos escores

Conceito	Escore
Quando o critério é atendido de modo imensamente superior à referência	+3
Quando o critério é atendido muito melhor que a referência	+2
Quando o critério é atendido melhor que a referência	+1
Quando o critério é atendido tão bem quanto a referência	0
Quando o critério não é atendido tão bem quanto a referência	- 1
Quando o critério é atendido muito pior que a referência	- 2
Quando o critério é atendido de modo imensamente inferior à referência	- 3

O cálculo do total de escore foi realizado através da multiplicação de cada peso com o escore referente ao julgamento de cada concepção. Após ter o resultado de escore de cada critério se faz o somatório e se a concepção apresentar um número positivo significa que ela é melhor que a referência, caso contrário, a referência se confirma como a melhor concepção a ser adotada.

Com a escolha da concepção do produto, partiu-se para o projeto preliminar, definindo as dimensões de cada componente do projeto e definindo as variáveis que poderiam interferir no desenvolvimento do projeto.

3.3 Projeto Preliminar

Nesta fase o projeto evoluiu da concepção até o leiaute do produto.

Definiu-se primeiramente que o disco, o qual formaria o rotor de palhetas teria o mesmo diâmetro de um disco dosador de sementes, uma vez que facilitaria a conexão de outros elementos utilizados em semeadoras-adubadoras comerciais, como por exemplo, reservatório para armazenagem de produto.

Foi utilizado para a execução dos desenhos do sistema de dosagem um programa de desenho assistido por computador (CAD) e modelagem em três dimensões. Através desta ferramenta também foi possível realizar um pré-teste verificando aspectos como o comportamento do dosador quando em movimento e possíveis fontes de erro na concepção.

De posse dos desenhos em vistas e de conjunto partiu-se para a construção de um *mockup*, pois até o momento se tinha dificuldades em visualizar as verdadeiras dimensão e idéias de volume.

Esse *mockup* foi construído utilizando isopor, papelão e cola quente.

3.4 Caracterização física dos fertilizantes

Para a realização dos ensaios do dosador foram determinadas as principais características físicas dos quatro fertilizantes, como granulometria, teor de água, densidade e ângulo de repouso. Os fertilizantes utilizados foram o NPK 05-20-10 mistura de grânulos, NPK 10-10-07 NR1 organo, pó de rocha e calcário. Os ensaios se realizaram no Laboratório de Física dos Solos do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

3.4.1 Granulometria

Avaliou-se a granulometria dos fertilizantes através de diferentes peneiras, divididas em grupos segundo a Instrução Normativa nº 28 (de 27 de julho de 2007) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) conforme a tab. 2.

Tabela 2: Grupo de peneiras para diferentes naturezas físicas de fertilizantes.

Produto	Peneiras (abertura da malha)	ABNT (nº)
NPK 05-20-10	4,0 mm e 1,0 mm	5 e 18
NPK 10-10-07 NR1	4,0 mm e 1,0 mm	5 e 18
Calcário	2,0 mm; 0,84 mm e 0,35 mm	10, 20 e 50
Pó de rocha	2,0 mm; 0,84 mm e 0,35 mm	10, 20 e 50

Para a realização do procedimento foi separada uma amostra do produto, onde a mesma foi homogeneizada e reduzida por quarteação manual conforme descrito na NBR5776/80. Pesou-se uma amostra de cada tipo de fertilizante e transferiu-se para o jogo de peneiras pertencentes a sua natureza física. Em seguida o jogo de peneiras foi colocado em um agitador mecânico da marca JEL, ficando por cerca de 5 minutos;

Por fim determinou-se em balança analítica a massa em gramas, retida em cada peneira e o percentual passante nas mesmas. O ensaio foi realizado com três repetições para cada tipo de fertilizante.

3.4.2 Teor de água nos fertilizantes

O teor de água dos fertilizantes foi determinado segundo metodologia empregada por Villibor (2008), onde se separaram 3 amostras, as quais foram colocadas em recipientes com diâmetros de 4 cm e altura de 1 cm cada. Estas

amostras foram trituradas em um pilão até transformarem-se em pó, pesadas e em seguida colocadas em estufa a 50°C por um período de 24 h.

Passado o tempo de 24 h, as amostras foram retiradas da estufa e colocadas em um dessecador até serem pesadas. A umidade foi obtida através da equação (1):

$$U = \left[\frac{Pi - Ps}{Ps} \right] * 100 \quad (1)$$

Onde:

U – Umidade do fertilizante em base seca (%);

Pi – Massa inicial da amostra (g);

Ps – Massa seca da amostra (g).

3.4.3 Densidade

A densidade dos fertilizantes foi obtida extraíndo-se amostras dos mesmos e colocando-os em recipientes com volume conhecido.

Através da relação entre massa e volume obteve-se, então, a densidade de cada produto, conforme a equação (2):

$$d = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

d = densidade (g cm^{-3})

m = massa (g)

V = volume (cm^3)

3.4.4 Ângulo de repouso

Para medir o ângulo de repouso de cada fertilizante foi construída uma caixa em MDF, com todas as faces deste mesmo material, com exceção da frente em que se colocou um vidro para se obter uma melhor visualização do fertilizante depositado, conforme pode ser observado na Fig. 13.



Figura 13. Caixa e funil utilizados na determinação do ângulo de repouso

Na parte superior da caixa foi colocado um funil para depositar o fertilizante até que o mesmo entrasse em repouso e possibilitasse a medição do ângulo.

A obtenção do ângulo de repouso do fertilizante foi realizada indiretamente através de medição em fotografia tirada perpendicularmente à face envidraçada da caixa. Após esse procedimento, a fotográfica foi carregada em programa de CAD. Sobre a imagem foi traçada uma linha horizontal na base e uma linha acompanhado a superfície de repouso do material. Com os recursos do programa foi obtido o ângulo de repouso a partir de 4 repetições(Fig. 14).

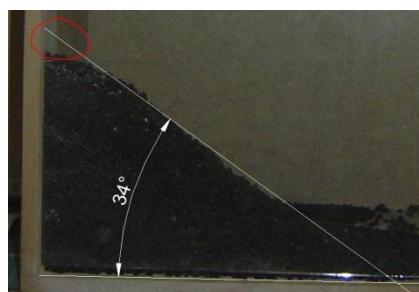


Figura 14. Determinação do ângulo de repouso do fertilizante NPK 10-10-07 com software CAD.

3.5 Construção e avaliação do protótipo

3.5.1 Construção do protótipo

A construção do protótipo se deu em uma oficina mecânica fora do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (DRE/FAEM/UFPEL) por razões de maior disponibilidade de equipamentos necessários para fabricação das peças mecânicas e maior disponibilidade de pessoal técnico.

Todas as peças foram fabricadas em aço SAE 1020, sendo que em sua grande maioria foram utilizados sobras de materiais. Pelo fato do DER/FAEM/UFPEL já contar com uma bancada de ensaio de dosadores com motor elétrico de

acionamento e inversor de freqüência para controle de rotação, dotada de eixo acionador, correias e todo o sistema necessário para acionar o dosador, não houve necessidade de construir os componentes de acionamento. A bancada de ensaio com o dosador montado pode ser vista na Fig. 15.



Figura 15. Vista geral da bancada de ensaio com o dosador montado.

3.5.2 Testes e ensaios

Os fertilizantes utilizados para testar o funcionamento dos princípios de solução construídos no protótipo foram NPK com formulação 05-20-10 mistura de grânulos, adubo NR1 com formulação 10-10-07 organo mineral, pó de rocha extraído de uma pedreira de Pelotas e calcário.

Inicialmente foi realizado um teste para a verificação do funcionamento do sistema para se ter certeza de que todos os componentes estariam cumprindo com sua função e se não havia evidências de erro de projeto. Após esta verificação da funcionalidade partiu-se, então, para a escolha do delineamento experimental.

Por se tratar de um experimento realizado em laboratório optou-se pelo delineamento inteiramente casualizado, onde todos os ensaios tiveram o mesmo número de repetições.

Para os ensaios com o fertilizante NPK, foi utilizado o esquema fatorial 3x3, sendo avaliadas três regulagens da área de abertura do orifício de entrada de fertilizante no elemento dosador (430, 839 e 1.270mm²), três velocidades angulares

do elemento dosador (2,5; 5,0 e 7,5 rpm), com três repetições, totalizando 9 tratamentos e 27 unidades experimentais.

Já para os ensaios com os outros fertilizantes foi adotado o mesmo delineamento, porém com fatorial 2x2, sendo avaliadas duas regulagens de abertura do orifício de entrada e duas rotações com três repetições para cada tratamento, uma vez que o objetivo desses ensaios era apenas o de verificar a funcionalidade do sistema dosador com outros fertilizantes que podem ser utilizados na agricultura familiar, principalmente a de base ecológica.

Cada tratamento representou uma simulação da vazão de cada saída de fertilizante depositada pelo protótipo para que se levantassem as curvas *vazão x velocidade angular*. Para a determinação da dosagem em cada saída de fertilizante do protótipo, foi coletada uma amostra de fertilizante em um período de 15 segundos. Todas as amostras foram pesadas em uma balança digital.

Com os dados obtidos e uso de planilha de cálculo eletrônica determinou-se as vazões de cada amostra.

Para traçar as curvas de *vazão x velocidade angular* foram calculadas vazões médias em cada velocidade para todos os tratamentos com os quatro tipos de fertilizante.

Também foram traçadas as curvas referentes às variações de vazões quando realizada as possíveis regulagens do dosador, ou seja, para cada área de abertura de passagens de fertilizante para o dosador.

3.5.3 Verificação de existência de diferença estatisticamente significativa entre vazão.

Essa verificação foi feita após estar de posse de todos os dados coletados após os ensaios com o dosador de palhetas. Seu objetivo é verificar se há diferença significativa entre as vazões, quando se altera a velocidade angular (rpm) e a área de abertura de passagem de fertilizante ao dosador.

A verificação é realizada com diferentes velocidades angulares e com diferentes aberturas de passagem de fertilizante ao dosador, para que se avalie o efeito dos dois fatores no experimento. Essa avaliação é realizada através de uma análise fatorial, que segundo Montgomery (1997) este método é apropriado para

avaliar experimentos com mais de um fator, permitindo avaliar além dos efeitos causados por cada fator, avaliar também o efeito causado pela interação entre eles.

Já para verificar as diferenças significativas entre vazão do fertilizante NR1 organo-mineral foram utilizadas as velocidades 2,5rpm (baixa) e 5,0rpm (alta) e aberturas com áreas iguais a 430mm² (abertura 1) e 1.270mm² (abertura 2). E, por fim, nas análises feitas com Calcário e o Pó de rocha, foram utilizadas velocidades 5 rpm (baixa) e 7,5rpm (alta) e aberturas com áreas iguais a 839mm² (abertura 1) e 1.270mm² (abertura 2). Nesses casos foram empregadas aberturas maiores, pois as quantidades aplicadas pelos agricultores para esses produtos também são maiores.

Em todos os experimentos foi realizada a análise apenas para uma saída do dosador, uma vez que por problemas construtivos no protótipo, foi detectado que a outra saída dosava uma quantidade diferente de produto devido ao empenamento em um dos lados do dosador, o qual não seria possível solucionar de maneira satisfatória sem ter que reconstruir parte do protótipo. O local onde houve o empenamento ficou muito próximo a uma das saídas de fertilizante, causando assim um maior descarregamento do produto.

A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio do programa Assistat versão 7.6 beta (2011).

4 Resultados e discussão

4.1 Projeto informacional

4.1.1 Pesquisa de campo

A seguir serão apresentados os resultados da pesquisa de campo feita no interior da Região Sul do Rio Grande do Sul, abrangendo os municípios de Canguçu, Monte Bonito, Arroio do Padre, Morro Redondo e Pelotas, com vistas à identificação de necessidades e desejos dos agricultores quanto ao uso de fertilizantes. O total de entrevistados foram de 73 agricultores.

A Fig. 16 apresenta as culturas mais cultivadas nas propriedades pesquisadas.

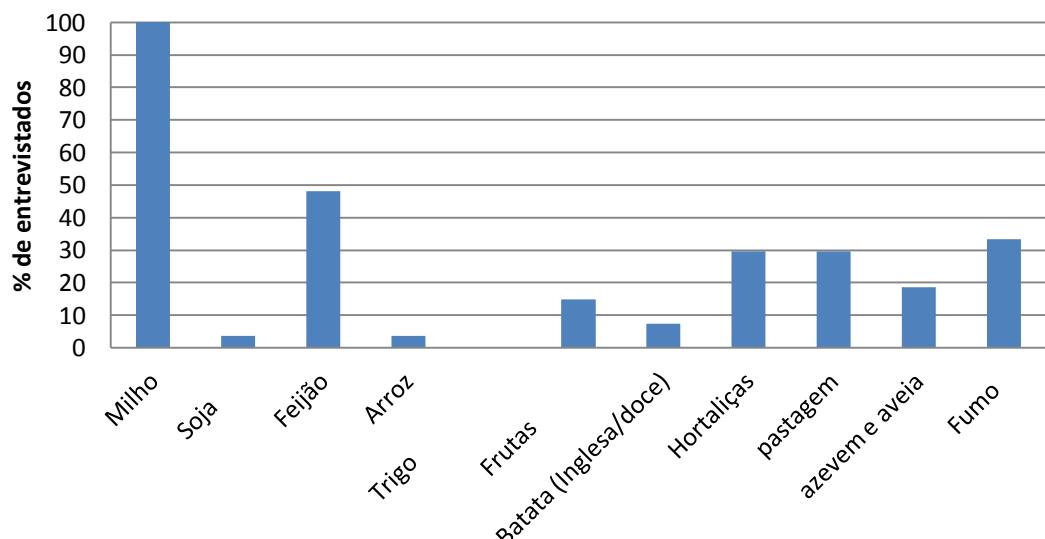


Figura 16: Culturas produzidas nas propriedades estudadas

De acordo com os dados apresentados acima, percebe-se que a cultura mais cultivada na região é o milho, pois 100% dos entrevistados evidenciaram seu cultivo. Essa cultura é cultivada para consumo na alimentação animal, para consumo de subsistência, para comercialização dentre outros destinos.

A segunda cultura mais produzida, o feijão, cultivada por aproximadamente 48% dos agricultores da região, a qual também se destina ao consumo de subsistência do próprio agricultor como também para comercialização na região.

A terceira maior cultura cultivada na região é o fumo que se apresenta também com destaque, se aproximando de 35% de produtores.

A seguir, na Fig. 17, são apresentadas as culturas que mais utilizam adubação pelos entrevistados, se destacando a cultura do milho.

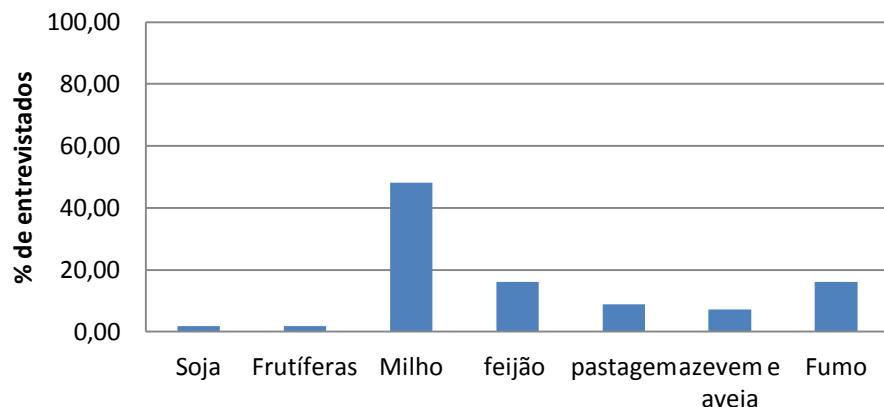


Figura 17: Culturas que recebem adubação nas propriedades visitadas

A Fig. 18 evidencia o fertilizante granulado como o mais utilizado na região, se aproximando de 80% de utilização, justificando assim a necessidade de um dosador para esse tipo de produto.

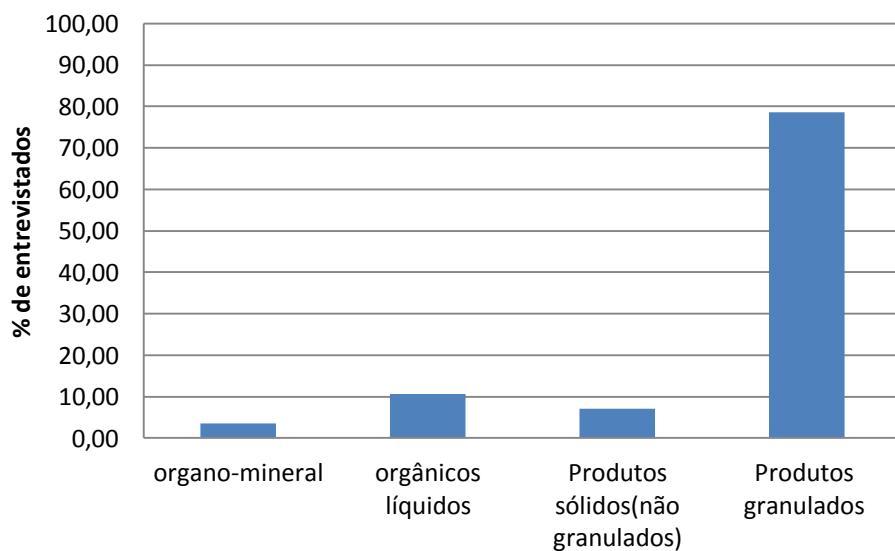


Figura 18: Tipos de fertilizantes utilizados pelos agricultores entrevistados

Com relação aos tipos de formulações de fertilizantes utilizados nas propriedades estudadas, os resultados mostram que grande parte dos agricultores utilizam fertilizantes a base de NPK com diversas formulações (Fig. 19). Sendo que os entrevistados apontaram a utilização de mais de um tipo desse produto na mesma propriedade.

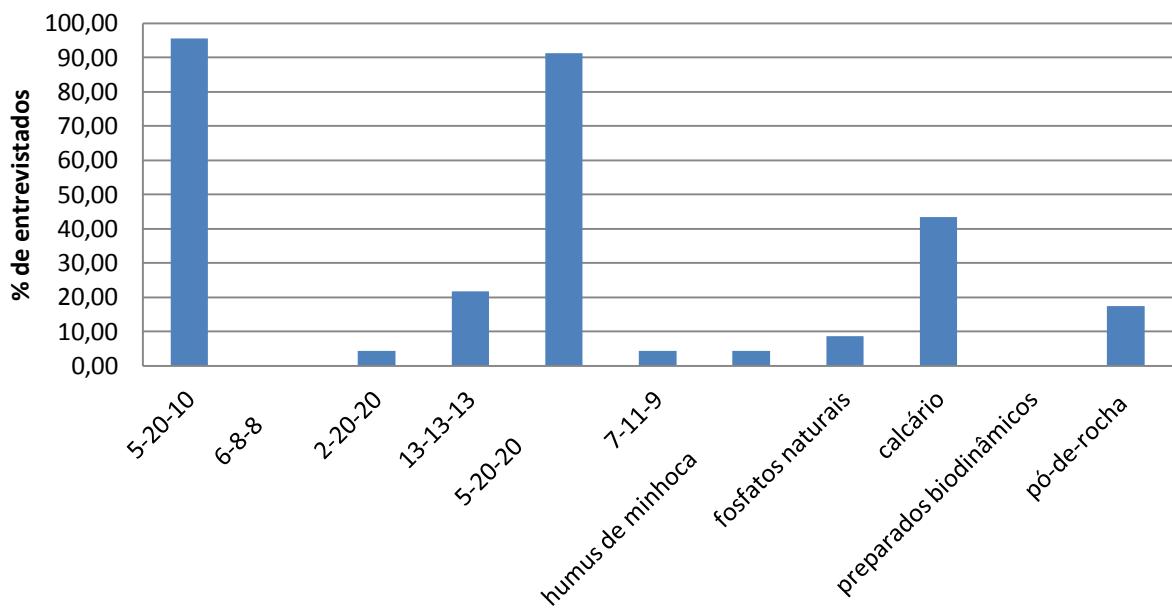


Figura 19: Tipos e formulações de fertilizantes utilizados nas lavouras da região

Nota-se também de forma considerável a utilização do pó de rocha e do calcário, o que vem a justificar a utilização desses dois produtos além do NPK nos testes do dosador, sendo a representatividade de cada um deles em torno de 20% e 42% respectivamente.

A Fig. 20 traz como resultados da pesquisa a quantidade de fertilizantes utilizados nas propriedades analisadas em sacos de 50 kg por hectare.

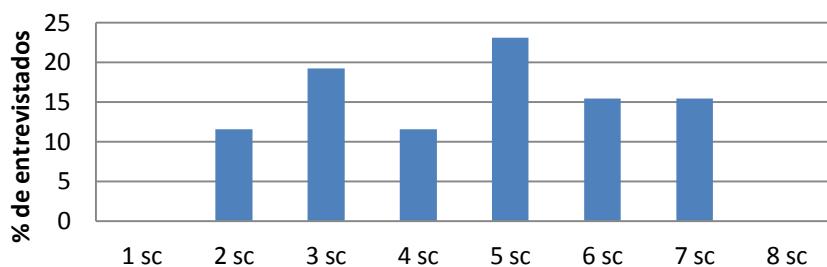


Figura 20: Quantidades de fertilizantes utilizados por hectare

A Fig. 20 mostra que a maioria dos entrevistados utilizam entre 5 e 7 sacos de fertilizantes por hectare. Esse resultado se dá de forma que a pergunta apresentada no questionário questiona a quantidade de adubo utilizado na propriedade de uma maneira geral e não específica a uma única cultura. Também é notória a produção de outras culturas, como pastagens e hortaliças.

O resultado dessa pesquisa também evidenciou que 96% dos agricultores entrevistados utilizam semeadoras e apenas 3% ainda não utilizam esse tipo de implemento agrícola. Dentro desse universo, a semeadora que aparece com maior

relevância é a semeadora de tração mecânica com aproximadamente 70% de usuários, embora a semeadora de tração animal seja utilizada por 18% dos agricultores entrevistados.

Outro fator importante para a seqüência a este trabalho é que o sistema mais utilizado por esses agricultores é o de depositar o fertilizante junto à linha de plantio. Esse sistema é utilizado por 63% dos entrevistados.

Por fim, os problemas encontrados pelos agricultores no que se refere aos sistemas de dosagens de fertilizantes são apresentados na Fig. 21.

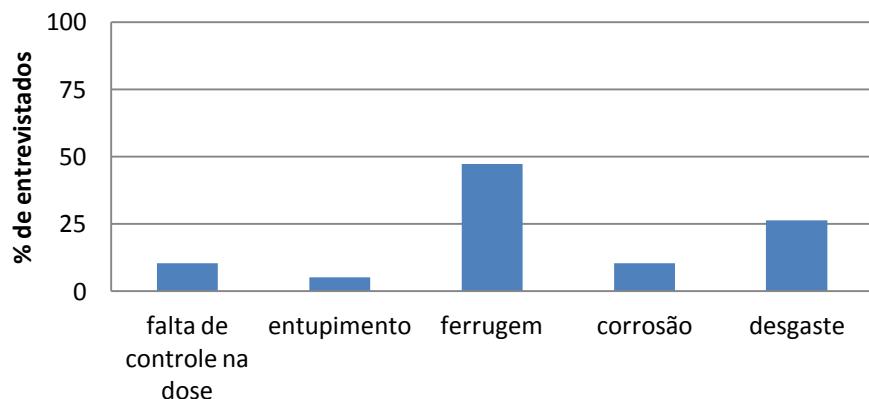


Figura 21: Problemas mais freqüentes em sistemas de dosagem de fertilizantes

Um dos maiores problemas encontrados em sistemas de dosagem de fertilizantes pelos agricultores é a ferrugem, esta por sua vez, representa mais de 45%, seguido pelo desgaste, corrosão e falta de controle na dosagem.

Os resultados obtidos no questionário, juntamente com as informações obtidas na bibliografia, permitiu que se chegassem às necessidades dos clientes conforme representado no quadro 3.

Quadro 3: Necessidades dos clientes x fases do ciclo de vida

Fase do ciclo de vida	Clientes	Necessidades dos Clientes
Projeto	Projetistas, especialistas	1. Necessitar baixa potência de acionamento 2. Utilizar o máximo de componentes padronizados 3. Utilizar o máximo de componentes disponíveis no mercado
Teste	Especialistas	4. Realizar testes normalizados
Produção	Pequenos Fabricantes: Engenheiros, Gerentes, Superiores	5. Utilizar processos convencionais de fabricação 6. Ter dimensões compatíveis com o manuseio humano 7. Ter fácil fabricação 8. Ter baixo custo de fabricação 9. Ter mínimo tempo de fabricação

Comercialização e marketing.	Vendedores de Agropecuárias Técnicos de agropecuárias Emater / Capa Revendas	10. Ter baixo preço 11. Permitir escolha entre dosagem de produto
Uso	Agricultores Extensionistas	12. Não ocorrer entupimento no tubo que direciona o adubo ao solo 13. Dosar adubo de forma uniforme nas linhas de plantio 14. Ter capacidade de dosar em taxas que atendam as diversas culturas nas quais semeadoras-adubadoras (sementes graúdas) são utilizadas 15. Dosar de forma uniforme independentemente da inclinação do terreno 16. Ter fácil ajuste e calibração 17. Facilidade para esvaziar o reservatório 18. Facilidade para abastecer o reservatório 19. Garantir homogeneidade do adubo no reservatório 20. Evitar falta de adubo no reservatório 21. Ter elevada durabilidade 22. Utilizar material resistente à corrosão causada pelo adubo 23. Utilizar material resistente ao desgaste por abrasão

De posse das necessidades dos clientes se chegou aos requisitos de clientes, através de uma transformação de uma linguagem “bruta” trocada por uma linguagem mais técnica. Os requisitos são apresentados no quadro 4.

Quadro 4:Requisitos dos clientes x Ciclo de vida do produto

Fases do ciclo de vida	Requisitos dos clientes
Projeto	Ter baixa potência de acionamento Ter máximo número de componentes padronizados Ser de fabricação simples, utilizando processos convencionais
Produção	Ter sistema de dosagem com dimensões compatíveis com o manuseio Ter baixo custo de produção
Comercialização e marketing	Permitir dosagem de vários produtos
Uso	Ter capacidade de dosar várias razões de distribuição Ter funcionamento independente da inclinação do terreno Garantir homogeneidade do adubo no reservatório Evitar falta de adubo no reservatório Ter reservatório com capacidade adequada Ter longa vida útil Ser fácil de regular Ter regularidade de distribuição de adubo Ser de fácil manutenção

4.1.2 Valoração dos requisitos

Através do somatório de pontos no diagrama de Mudge (Fig.22), chegou-se a valoração dos requisitos dos clientes, onde verificou-se que o requisito “ter regularidade de distribuição de adubo” aparece como o mais importante, ou seja, o de maior relevância a ser considerado no projeto, seguido pelo requisito de cliente de apresentar o menor custo de produção.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Soma	%
1B	1B	4B	5A	6C	7C	1B	9B	10B	1C	1C	1C	14C	12	5,24	
3A	2B	5A	6B	7C	2B	9B	10B	2C	12A	13A	14B	7	3,06		
3A	3C	3A	3C	3C	3B	10B	3B	12C	13C	3C	25	10,92			
5A	4B	7C	4C	9C	10C	4B	12B	13B	14B	10	4,37				
5A	5B	8B	5B	5C	11A	5C	13C	14C	28	12,23					
7B	6C	6B	6B	6C	12B	13A	14C	12	5,24						
7C	7C	7C	7B	7A	13C	7B	20	8,73							
9A	10C	11B	12B	13A	14A	3	1,31								
9C	9B	12C	13C	9B	19	8,30									
10B	12C	13B	14A	14	6,11										
12B	13B	14C	8	3,49											
13C	12C	21	9,17												
13C	30	13,10													
20	8,73														
Total	229	100													

Figura 22: Diagrama de Mudge

Abaixo é apresentada a tab. 3, a qual apresenta a classificação de todos os requisitos.

Tabela 3: Pesos referentes a valoração dos requisitos

Nº	Requisitos	Soma	Classif.	Peso
1	Ter baixa potência de acionamento	12	10º	3
2	Ter o máximo número de componentes padronizados	07	13º	2
3	Ser de fabricação simples, utilizando processos convencionais	25	3º	5
4	Ter sistema de dosagem com dimensões compatíveis com o manuseio	10	11º	2
5	Ter baixo custo de produção	28	2º	5
6	Permitir dosagem de vários produtos	12	9º	3
7	Ter capacidade de dosar várias razões de distribuição	20	5º	4
8	Ter funcionamento independente da inclinação do terreno	03	14º	1
9	Evitar falta de adubo no dosador	19	7º	4
10	Ter reservatório com capacidade adequada	14	8º	3
11	Ter longa vida útil	8	12º	2
12	Ser fácil de regular	21	4º	4
13	Ter regularidade de distribuição de adubo	30	1º	5
14	Ser de fácil manutenção	20	6º	4

4.1.3 Hierarquização dos requisitos de projeto

Com o método da casa de qualidade, QFD (Fig. 23), tanto considerando o telhado ou não, se obteve igual resultado, ou seja, nota-se que o requisito de maior importância para o projeto é o de ter baixo custo de produção.

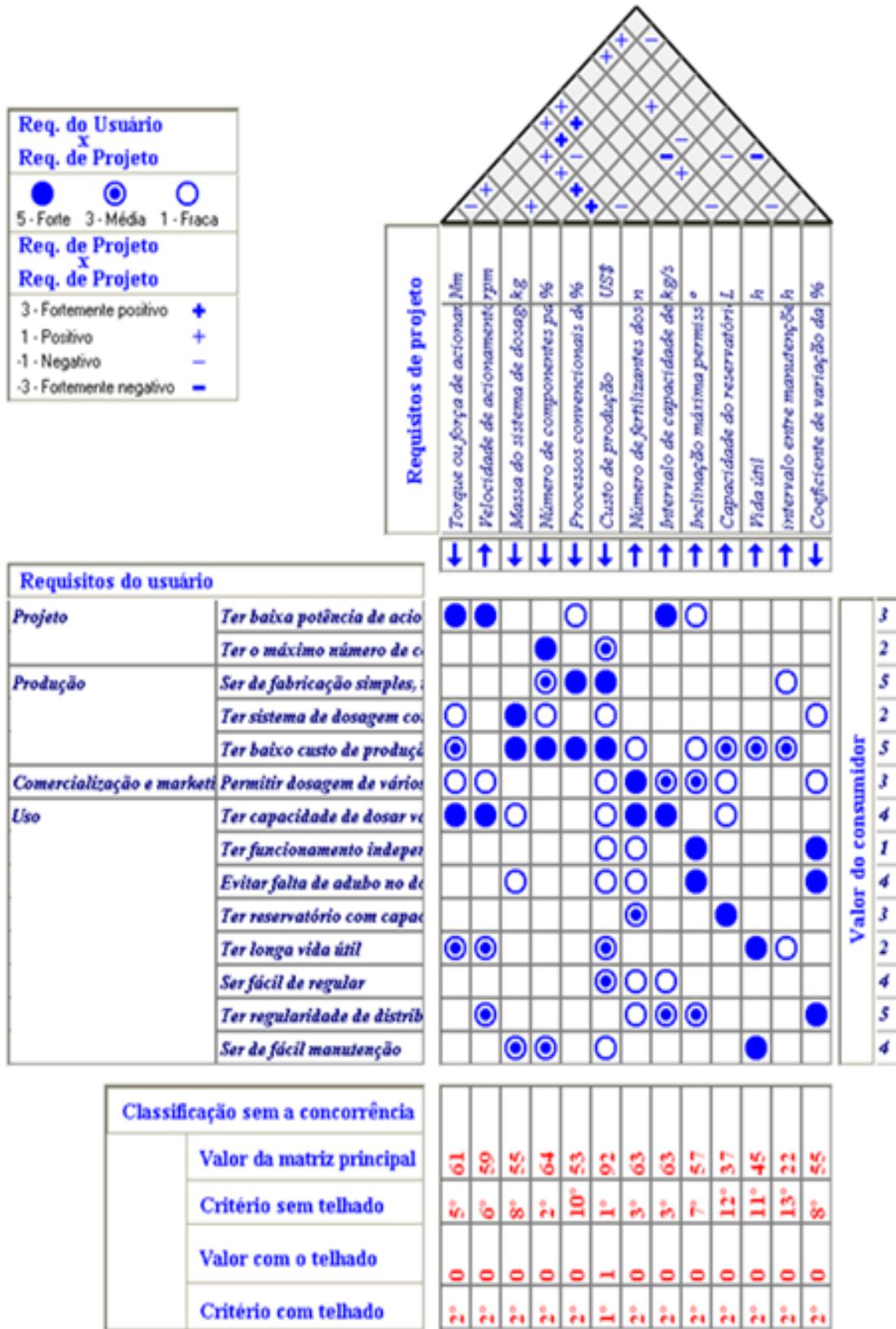


Figura 23: Casa da qualidade

4.1.4 Especificações de projeto

No quadro 5 são apresentados os requisitos de projeto com os valores metas a serem alcançados durante a execução do projeto.

Quadro 5: Valores meta do projeto

Requisito de projeto	Valor meta
Torque ou força de açãoamento (Nm ou N)	$\leq 2\text{Nm}$ (torque) ou 10N (força)
Velocidade de açãoamento (rpm)	≤ 30 rpm
Massa do sistema de dosagem (kg)	6 Kg
Número de componentes padronizados (%)	Maior possível
Processos convencionais de fabricação (%)	95 %
Custo de produção (R\$)	Menor possível
Número de fertilizantes dosáveis (n)	4
Intervalo de capacidade de dosagem de fertilizantes (kg/s)	De $0,014$ a $0,040 \text{ kg s}^{-1}$
Inclinação máxima permitível ($^{\circ}$)	11°
Capacidade do reservatório	150 kg
Vida útil(h)	1.500 h
Intervalo entre manutenções (h)	10 h
Coeficiente de variação da vazão mássica (%)	$\leq 20\%$

4.2 Projeto conceitual

De posse das necessidades dos clientes, requisitos de projeto e especificações do produto parte-se para a definição do produto, no qual foi seguido os seguintes passos conforme descritos no itens adiante.

4.2.1 Definição da estrutura de funções

Com a decomposição da função global, se obteve a estrutura de funções do dosador de fertilizantes (Fig. 24).

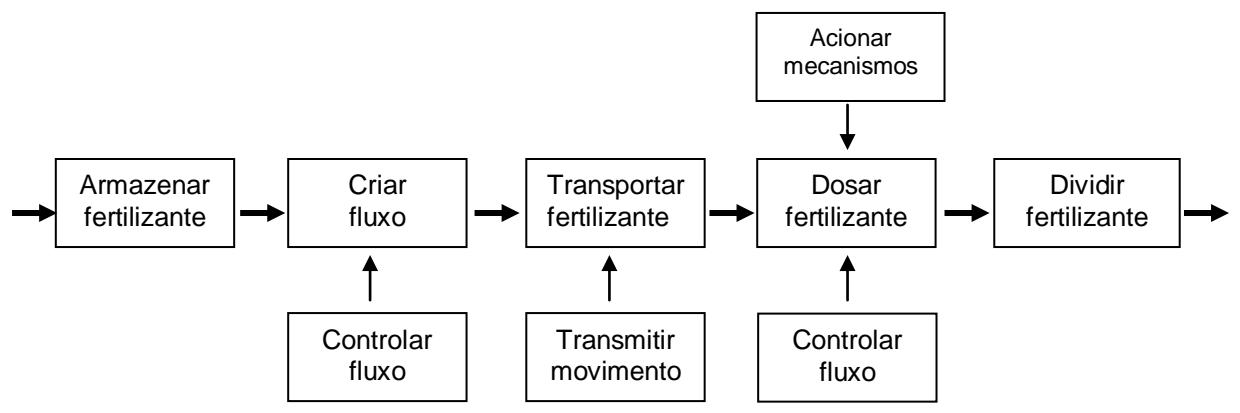


Figura 24- Estrutura de funções

4.2.2 Definição da concepção

A partir da definição da estrutura de funções a equipe analisou as possíveis combinações entre os princípios de solução apresentados na matriz morfológica, apropriados as funções a serem executadas pelo dosador bem como as compatibilidades físicas e geométricas.

As combinações dos princípios de solução, os quais formaram as possíveis concepções para o produto estão descritos e representados a seguir.

- **Alternativa de concepção 1 (C_1)**

O quadro 6 apresenta os princípios de solução para desempenhar as funções do sistema de dosagem desta concepção.

Quadro 6: Princípio de solução para C_1

Armazenar fertilizante	Homogeneizar fertilizante	Controlar fluxo	Criar/regular fluxo	Dividir fluxo	Acionar mecanismos
Reservatório	Corrente	Comporta	Rotor acanalado	Divisor de fluxo retangular	Transmissão por corrente

Para armazenar o fertilizante é utilizado um reservatório com forma trapezoidal, no qual será introduzida uma corrente para que seja feita a homogeneização do fertilizante depositado no reservatório. Nesta concepção é utilizado o rotor acanalado helicoidal (Fig. 25). O dosador acanalado é colocado abaixo do reservatório, onde o fertilizante cairá sobre ele pela ação da gravidade. O fluxo do fertilizante é criado pela inclinação dos sulcos do próprio eixo helicoidal, com o giro do rotor o fertilizante irá preencher os sulcos até o momento que o mesmo estiver próximo a saída, neste instante o fertilizante é conduzido por gravidade ao divisor de fluxo. A quantidade de fertilizante será criada e regulada pela rotação do motor e controlada por uma comporta deslizante, na parte inferior do reservatório.

A transmissão de potência do motor para o dosador é feita através de rodas dentadas e correntes.

A Fig. 25 representa a C_1 , na qual o fertilizante é dosado a partir de um rotor acanalado.

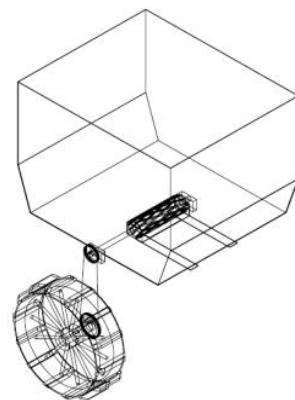
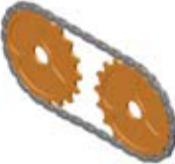


Figura 25- Concepção 1 (Rotor acanalado)

- **Alternativa de concepção 2 (C₂)**

Nesta concepção, onde os princípios de solução são apresentados no quadro 7, no armazenamento será utilizado um reservatório com forma trapezoidal, no qual será introduzida uma peneira para que seja feita a homogeneização do fertilizante depositado no reservatório. Foi utilizado o dosador helicoidal com rosas opostas, no qual se cria o fluxo de fertilizante, regulagem da quantidade do produto e a divisão do mesmo para as duas saídas. A quantidade de fertilizante será controlada para a rotação do motor ou rotor. A transmissão de potência para o dosador é feita através de rosas dentadas e correntes. Esta concepção está representada na Fig. 26.

Quadro 7: Princípio de solução para C₂

Armazenar fertilizante	Homogeneizar fertilizante	Controlar fluxo	Criar/regular/dividir fluxo	Acionar mecanismos
 Reservatório	 Peneira	Comporta	 Eixo com rosas opostas	 Transmissão por corrente

A Fig. 26 representa a C₂, na qual o fertilizante é dosado a partir de um dosador helicoidal com rosas opostas.

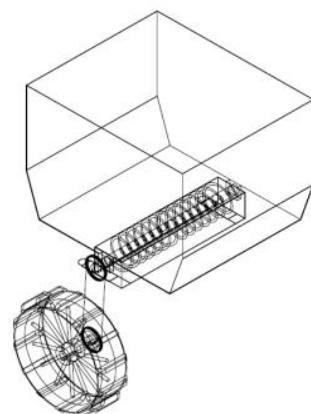


Figura 26 - Concepção 2 (dosador helicoidal)

- **Alternativa de concepção 3 (C₃)**

No quadro 8 estão representadas as combinações para a formação da C₃.

Quadro 8: Princípio de solução para C₃

Armazenar fertilizante	Homogeneizar fertilizante	Controlar fluxo	Criar/regular/dividir fluxo	Acionar mecanismos
	corrente	Comporta circular		

Na C₃ é utilizado um dosador de palhetas, onde o fertilizante ocupa todos os espaços vazios do mecanismo. Neste sistema se consegue criar o fluxo, regular e dividir o mesmo através das palhetas. O mecanismo para mover o sistema é feito através de um conjunto de engrenagens cônicas.

A armazenagem de fertilizante será em um reservatório com forma trapezoidal, no qual será introduzida uma corrente para que seja feita a homogeneização do fertilizante depositado no reservatório. A Fig. 27 representa a C₃, na qual o fertilizante é dosado a partir de um dosador de palhetas.

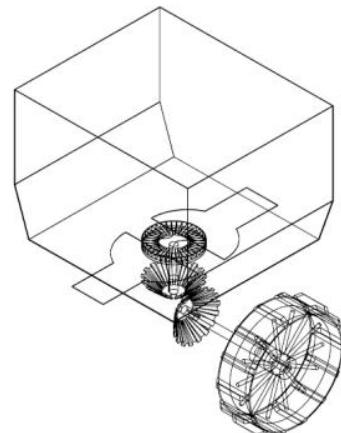


Figura 27- concepção 3 (dosador de palhetas)

- **Alternativa de concepção 4 (C₄)**

Esta concepção apresenta o mesmo sistema da C₃, diferenciando-se apenas na forma com que faz a dosagem do fertilizante que é a partir de um dosador de roseta.

No quadro 9 está exposto os princípios de solução para a C₄.

Quadro 9: Princípio de solução para C₄

Armazenar fertilizante	Homogeneizar fertilizante	Controlar Fluxo	Criar/regular/ dividir fluxo	Producir movimento	Acionar mecanismos
	corrente	comporta			 Transmissão por corrente

A Fig. 28 representa a C₄, na qual o fertilizante é dosado a partir de um dosador de roseta.

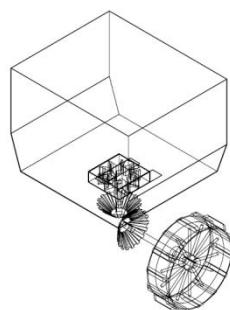


Figura 28 - concepção 4 (dosador de roseta)

4.2.3 Seleção de concepção

A seguir serão apresentados os resultados obtidos em cada técnica de avaliação utilizada para definir a concepção do produto.

- **Avaliação baseada no julgamento da viabilidade**

O quadro 10 apresenta os resultados do julgamento da viabilidade das concepções em análise.

Quadro 10: Resultados da aplicação da técnica do Julgamento da Viabilidade.

Concepção	Viável	Condisionalmente viável	Inviável	Obs.
C ₁		X		Em casos onde pode ficar adubo por mais de um dia, pode ocorrer incrustações.
C ₂	X			
C ₃	X			
C ₄	X			

Com base nos critérios utilizados para julgamento da viabilidade do projeto, todas as concepções analisadas foram consideradas viáveis com exceção da concepção C₁, a qual se caracterizou como condicionalmente viável, pois identificou-se que a permanência de adubo pode ocasionar problemas no sistema de dosagem, ou seja, incrustações nos canais helicoidais podem formar uma camada lisa dificultando novas dosagens. Sendo assim, não se conseguiu definir uma melhor concepção, logo se partiu para uma segunda técnica de avaliação.

- **Avaliação baseada na disponibilidade tecnológica**

A partir dos questionamentos feitos pela equipe foi analisada cada uma das concepções. Foram consideradas as seguintes perguntas para a avaliação.

1. Os princípios físicos empregados na concepção encontram-se plenamente entendidos?
2. A tecnologia pode ser produzida através de processos conhecidos?
3. Os componentes podem ser desenvolvidos sem o uso de tecnologia complexa ou pouco conhecidos?
4. Os parâmetros funcionais críticos são conhecidos (deve-se conhecer parâmetros como: dimensões, propriedades dos materiais e outros que são críticos para o funcionamento do produto)?
5. A segurança e a sensibilidade dos parâmetros operacionais são conhecidas?
6. Os modos de falha são conhecidos ou facilmente identificáveis?

Os resultados obtidos através dos questionamentos estão apresentados no quadro 11.

Quadro 11: Resultados da aplicação da técnica da Disponibilidade de Tecnologia.

Concepção	Respostas dos questionamentos						Resultados
	1	2	3	4	5	6	
C ₁	S	S	S	S	S	S	S
C ₂	S	S	S	S	S	S	S
C ₃	S	S	S	S	S	S	S
C ₄	S	S	N	S	S	S	S

Neste quadro pode-se observar que todos os modelos continuam, pois todos eles apresentam respostas positivas na sua maioria, portanto nenhuma concepção foi descartada.

O modelo de concepção (C₄) apresentou desvantagens em relação aos outros, pois um processo de fundição dos componentes tornaria um produto final com alto custo fugindo da proposta de elaboração de um projeto de baixo custo.

- **Avaliação baseado no passa/não passa**

Para essa técnica, as necessidades dos clientes foram transformadas em questões e analisadas em cada concepção, resultando em um maior refinamento na avaliação. As questões ficaram da seguinte forma:

1. O modelo utiliza o máximo de componentes padronizados?
2. O modelo possui máximo de componentes disponíveis no mercado?
3. O modelo utilizará processos convencionais de fabricação?
4. O modelo possui dimensões compatíveis com o manuseio humano?
5. O modelo é de fácil fabricação?
6. A fabricação é de baixo custo?
7. O processo de fabricação é rápido?
8. O modelo é de baixo custo?
9. O modelo permite o uso de vários produtos?
10. É possível dosar adubo de forma uniforme nas linhas de plantio?
11. A concepção possui capacidade de dosar diferentes taxas que atendam às diversas culturas?

O quadro 12 apresenta os resultados dessa avaliação.

Quadro12: Resultados da aplicação da técnica do exame Passa/Não Passa.

Concepção	Números correspondentes as perguntas analisadas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	P/N
C ₁	P	P	N	P	N	N	N	N	N	P	P	N
C ₂	P	P	P	P	P	N	P	P	P	P	P	P
C ₃	N	N	P	P	P	P	N	P	P	P	P	P
C ₄	N	N	P	P	N	N	N	N	P	P	P	N

O modelo C₁ apresentou seis “não-passa”, sendo o primeiro modelo a ser eliminado, por apresentar muitos pontos fracos.

O modelo C₂ apresentou apenas um “não-passa” na questão relacionada ao baixo custo de fabricação, logo ele não foi eliminado. Assim como o modelo C₂, o modelo C₃ também não é eliminado, uma vez que o mesmo apresenta como pontos fracos apenas três questões.

Por fim o último modelo, o qual foi eliminado, pois apresentou muitos pontos fracos principalmente no que se refere ao seu processo de fabricação e ao custo do produto.

• Avaliação baseado no método de Pugh

A comparação foi realizada entre os modelos C₂ e C₃, por serem os que permaneceram viáveis para a definição da concepção.

A tab. 4 apresenta os valores dos escores para cada requisito.

Tabela 4: Valoração dos escores

Critérios técnicos (requisitos dos clientes)	Peso	Concepção	
		C ₂	C ₃
Ter baixa potência de acionamento	3	0	0
Ter o máximo número de componentes padronizados	2	0	-1
Ser de fabricação simples, utilizando processos convencionais	5	0	0
Ter sistema de dosagem com dimensões compatíveis com o manuseio	2	0	0
Ter baixo custo de produção	5	0	+1
Permitir dosagem de vários produtos	3	0	-2
Ter capacidade de dosar várias razões de distribuição	4	0	+1
Ter funcionamento independente da inclinação do terreno	1	0	+1
Evitar falta de adubo no reservatório	4	0	0
Ter longa vida útil	2	0	0
Ser fácil de regular	4	0	+1
Ter regularidade de distribuição de adubo	5	0	+1
Ser de fácil manutenção	4	0	0
	Total	0	11

Para a geração do escore se optou por usar o modelo C₂ como referência, uma vez que o mesmo parece ter uma maior facilidade de adaptação à proposta do projeto. O mesmo possibilita a compra de todos os componentes no mercado local, necessitando apenas ser adaptado o seu sistema de molas no helicóide para que gerasse dois movimentos, possibilitando o transporte do fertilizante em posição opostas, ou seja, se direcionando às duas saídas.

Portanto os resultados obtidos através da matriz de avaliação de Pugh podem ser interpretados da seguinte forma: Embora a C₂ tenha sido tomada como referência, pois no princípio a mesma parecia ser mais simples e adaptável à proposta do projeto, pode-se observar que a C₃ ao final da avaliação se mostrou melhor que a referência. Quanto ao critério das concepções terem o máximo número de componentes padronizados a C₃ foi julgada como não atender tão bem quanto à referência, pois terá que ser construída em sua totalidade. Ainda nesta mesma concepção podemos notar que ela é muito pior que a referência quando julgamos o critério de permitir dosagem de vários produtos.

Como no restante dos critérios a C₃ se mostrou melhor que a concepção C₂, o resultado da avaliação segundo o método de Pugh é que deve ser construído o modelo C₃, o qual atenderá com mais sucesso as necessidades dos clientes.

4.3 Projeto preliminar

As figuras apresentadas neste item representam as partes do sistema de dosagem através de *mockup* construído em isopor e papelão.

A Fig. 29 apresenta o disco de regulagem de entrada de fertilizante no dosador.

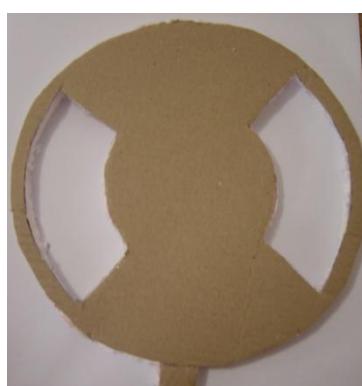


Figura 29: disco de regulagem

O rotor de palhetas foi construído em papelão e dividido em oito partes iguais

conforme a Fig. 30.



Figura 30: Rotor de palhetas

A seguir foi construída a carcaça (Fig. 31), a qual serviria de apoio ao sistema de dosagem. Esta peça foi construída em isopor e revestida com papelão.



Figura 31: Carcaça

Por último foi construído o disco com duas saídas para o fertilizante conforme a figura 32.

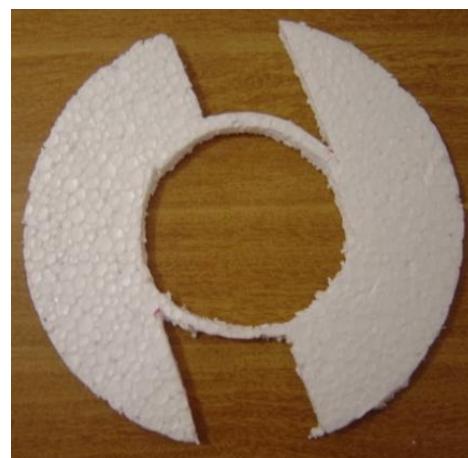


Figura 32: disco com duas saídas

A seguir será apresentada a sequência de montagem de todas as peças do sistema de dosagem. Na Fig. 33 o disco com as duas saídas para o fertilizante está conectado ao fundo da carcaça.



Figura 33: Conexão carcaça x disco de duas saídas

A próxima montagem mostra o dosador de palhetas acoplado na carcaça, juntamente com o disco de duas saídas para fertilizante (Fig. 34).

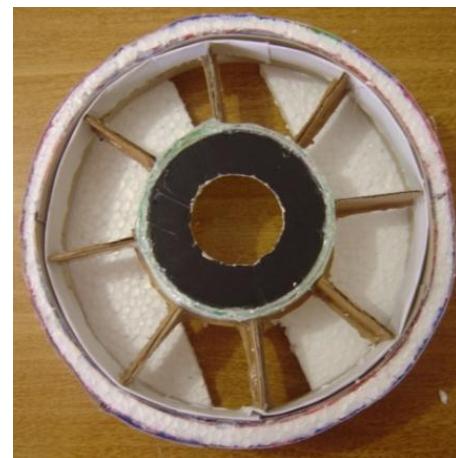


Figura 34: Conexão carcaça x dosador x disco de duas saídas

A montagem apresentada na Fig. 35 representa a montagem de todo o sistema de dosagem de fertilizante, contendo o disco de regulagem de entrada de fertilizante no dosador, o próprio dosador de palhetas e o disco com duas saídas. Todos estes elementos estão sustentados pela carcaça.



Figura 35: Montagem do sistema de dosagem de fertilizante

4.4 Caracterização física dos fertilizantes

4.4.1 Granulometria

Nas tab. 5 e 6 serão apresentados os resultados encontrados nos ensaios de granulometria dos 4 tipos de fertilizantes. A tabela completa dos ensaios encontra-se no apêndice B.

Tabela 5: Características granulométricas NPK 05-20-10 Mistura de grânulos e NPK 10-10-07 NR1 organo-mineral

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g) (NPK 05-20-10)	% passante na peneira (NPK 05-20-10)	Massa retida (g) (NPK 10-10-07 NR1)	% passante na peneira (NPK 10-10-07 NR1)
4	0,00	100,00	22,96	92,35
1	297,84	0,72	276,61	0,18
fundo	2,16	-	0,53	-

Tabela 6: Características granulométricas Pó de Rocha e calcário

Abertura da malha (mm)	Massa retida (g) (Pó de rocha)	% passante na peneira (Pó de rocha)	Massa retida (g) (Calcário)	% passante na peneira (Calcário)
2	96,19	67,94	73,81	75,40
0,84	56,09	49,24	112,06	38,04
0,35	47,18	33,51	56,41	19,24
Fundo	2,16	-	0,53	-

4.4.2 Teor de água nos fertilizantes

A tab. 7 apresenta a umidade média em base seca de cada fertilizante analisado, a tabela completa sobre este ensaio se encontra no apêndice C.

Tabela 7: Umidade média em base seca de diferentes fertilizantes

Tipo de adubo	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Umidade em base seca (%)
NPK 05-20-10	20,77	20,55	1,06
NPK 10-10-07	20,92	20,38	2,66
Pó de rocha	32,40	32,08	1,02
Calcário	42,89	42,80	0,23

De acordo com os resultados apresentados na tabela 3, nota-se que o fertilizante NR1 organo-mineral apresenta a maior umidade (2,66%). Em decorrência desse resultado, o mesmo pode apresentar problemas de agregação das partículas e empedramento quando utilizado em um equipamento agrícola, dificultando a função de dosagem. Para TAMAYO *et al* (2009) para armazenar esse tipo de produto em condições de alta umidade é muito inconveniente, podendo causar compactação do produto diminuindo a porosidade e resistência ao fluxo do mesmo.

4.4.3 Densidade

A tab. 8 apresenta os resultados da densidade média dos 4 fertilizantes analisados. O resultado completo com cada repetição nos ensaios dos fertilizantes está no apêndice D.

Tabela 8: Densidade dos fertilizantes em g cm⁻³.

Tipo	Média	CV (%)
NPK 05-20-10	1,571	0,184
NPK 10-10-07 NR1	1,640	0,170
Pó de rocha	2,035	0,018
Calcário	2,194	0,033

Os fertilizantes granulados apresentam uma menor densidade que os fertilizantes de menor granulometria, ou seja, para um mesmo volume tem-se diferentes massas de fertilizantes. Comparando o fertilizante NPK 05-20-10 com o pó de rocha que é um fertilizante natural, notamos que o último por ser mais refinado com granulometria mais próxima de pó, acomoda um maior volume de produto em um recipiente de igual tamanho que o NPK. Dessa forma quando se pensa em utilizar um mesmo mecanismo de distribuição de diferentes tipos de fertilizantes, essa propriedade é muito importante, uma vez que a mesma poderá auxiliar no dimensionamento do sistema, pois influenciará diretamente no volume a ser ocupado.

4.4.4 Ângulo de repouso

Essa característica também é importante para dimensionar um equipamento que irá utilizar sistema de armazenagem de produto e utilizar a gravidade para

deslocamento do mesmo, pois influencia na escolha do ângulo das paredes do depósito. A tab. 9 mostra a média dos ângulos de repouso de cada fertilizante, bem como alguns parâmetros estatísticos.

Tabela 9: Variáveis do ângulo de repouso de 4 fertilizantes

Tipo	Média do ângulo de repouso (°)	Desvio padrão	CV (%)
NPK 05-20-10	30,00 a	0,8	2,7
NPK 10-10-07 NR1	31,50 a	2,1	6,6
Pó de rocha	39,75 b	1,5	3,8
Calcário	38,75 b	0,5	1,3

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os fertilizantes com forma mais próxima de pó (pó de rocha e calcário) apresentam uma diferença entre seus ângulos menor que dois graus. O mesmo acontece com os outros dois fertilizantes analisados, os quais se apresentam em forma de grânulos.

A análise de variância comprovou que houve diferença significativa entre o ângulo de repouso dos fertilizantes ao nível de significância de 1% entre os fertilizantes com diferentes formas físicas. A diferença mínima significativa foi de 2,876º.

4.5 Construção e avaliação do protótipo

4.5.1 Construção do protótipo

Inicialmente foi construída uma peça côncica para fazer a conexão do reservatório de armazenamento de fertilizante ao conjunto de dosagem do produto. Foi utilizado aço SAE 1020 para a construção desta peça, onde os diâmetros ficaram fixados em 250mm e 200mm. A Fig. 36 mostra a vista superior dessa peça.



Figura 36: Vista superior da conexão côncica do dosador ao reservatório

Para a confecção do rotor de palhetas foi utilizado processos convencionais

e a fabricação foi considerada simples, uma vez que se deu com poucos processos tais como torneamento, corte com guilhotina, soldagem e furação. A construção se deu em aço SAE 1020 com oito divisões, as quais foram chamadas de células de dosagem, conforme mostrado na Fig. 37.



Figura 37: Rotor de palhetas montado na carcaça

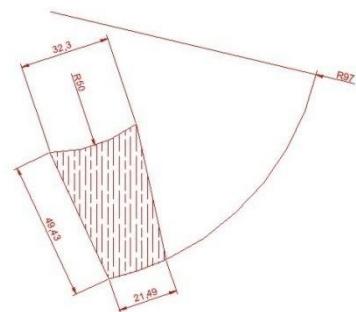
O disco de regulagem da quantidade de fertilizante ao dosador foi feito em seguida, uma vez que o mesmo fica fixado entre o reservatório e o sistema de dosagem. Para que se conseguisse fazer uma regulagem de entrada de fertilizante de forma simples e pela parte externa do sistema de dosagem, foi construído um disco em aço SAE 1020, com duas aberturas para a passagem de produto ao interior do dosador. Pode-se observar nas Fig. 38 a 41 todas as regulagem de abertura empregadas nos ensaios (1.270 , 839 e 430mm^2).



Figura 38: Disco de regulagem



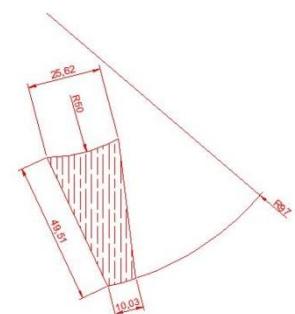
(A)



(B)

Figura 39: Regulagem com maior área de abertura 1270mm².

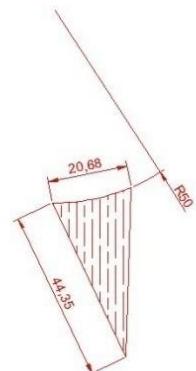
(A)



(B)

Figura 40: Regulagem intermediaria 839mm².

(A)



(B)

Figura 41: Regulagem com menor área 430mm².

Por fim a carcaça e a saída para o fertilizante foram construídas de modo acomodar o rotor de palhetas, nesta, foi utilizado um anel já existente na oficina e se usinou em sua parte interna para formar um degrau. Esse degrau assumiu a função de suporte para o disco de regulagem de entrada de produto no dosador. Fixado a esta carcaça, o disco com duas saídas de fertilizante, o qual possibilita a descarga do fertilizante para duas linhas de plantio. A Fig. 42 mostra o formato da carcaça, bem como o detalhe do degrau de sustentação para o disco de regulagem. A Fig. 43 apresenta o disco com suas duas saídas de fertilizantes, uma para cada linha de plantio.

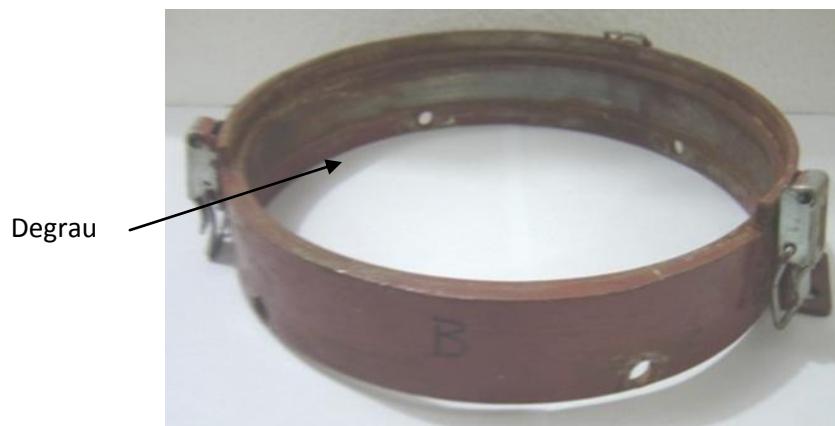


Figura 42: Carcaça



Figura 43: Disco com duas saídas

A construção do protótipo teve um custo total de R\$ 150,00, uma vez que se teve que adquirir alguns materiais para a construção do mesmo, caracterizando

assim uma construção de baixo custo conforme esperado através da meta do projeto que era de construir um produto com o menor custo de fabricação que atendesse as necessidades dos agricultores familiares.

4.5.2 Testes e ensaios

A primeira avaliação do protótipo foi quanto a sua funcionalidade, onde foram constatadas diferenças significativas entre as duas saídas de fertilizante, ou seja, houve diferença de vazões de fertilizante entre a saída “A” e “B”.

Neste teste também notou-se uma dosagem com vazão mássica excessiva, ou seja, se obteve uma vazão maior do que o esperado. Então se analisou o comportamento do fertilizante desde o preenchimento da célula de dosagem até sua saída do sistema, chegando à alteração necessária no tamanho da abertura de saída do fertilizante, reduzindo-a. Na Fig. 43 já é mostrada com essa redução.

Com esse ajuste se fez um segundo teste preliminar quando se constatou que a alteração produziu os resultados esperados, possibilitando assim o início dos ensaios definitivos.

A seguir serão apresentados os resultados dos testes preliminares realizados com cada um dos quatro tipos de fertilizantes. A tab. 10 mostra os dados obtidos através do ensaio realizado com o fertilizante NPK 05-20-10 mistura de grânulos, utilizando uma velocidade angular de 2,5rpm e com uma regulagem da área de abertura para a passagem do produto ao dosador de 430mm².

Tabela 10: Dados de vazão mássica (NPK 05-20-10)

Repetição	Saída A (g s ⁻¹)	Saída B (g s ⁻¹)
1	17,79	20,65
2	17,11	19,69
3	17,16	19,75
MÉDIA (g s ⁻¹)	17,35	20,03

Através dos dados da tab. 10 e de outros dados referentes aos demais tratamentos deste ensaio, que aqui não são representados, foi realizada uma análise estatística para verificar a existência de diferenças significativas entre as duas saídas de fertilizante do dosador. Nesta análise foi feito o teste t e constatou-se que houve diferenças de vazão entre as saídas “A” e “B” a um nível de significância de 5%.

A Fig. 44 mostra o comportamento do fertilizante no interior do dosador após o término do ensaio. Na mesma figura nota-se que na saída “B” tem menos fertilizante a cair do que na saída “A”, constatando que a saída “B” descarregou mais produto que a saída “A” quando o dosador estava em funcionamento.



Figura 44: Aspecto do fertilizante NPK 05-20-10 no interior do dosador após a retirada do reservatório

Prosseguindo a verificação de diferenças entre as saídas do dosador, se analisou os dados do ensaio realizado com o fertilizante NPK 10-10-07 NR1 organo-mineral, no qual foi utilizada a mesma velocidade angular e área de abertura do ensaio anterior com o fertilizante NPK 05-20-10 mistura de grânulos. Os resultados estão expressos na tab. 11.

Tabela 11: Dados de vazão mássica (NPK 10-10-07 NR1)

Repetição	Saída A (g s^{-1})	Saída B (g s^{-1})
1	14,74	17,57
2	14,27	16,82
3	14,30	16,87
MÉDIA (g s^{-1})	14,44	17,08

O mesmo modelo de análise estatística foi realizado a este ensaio, obtendo igual resultado do que a análise anterior, a qual se referia ao ensaio com fertilizante NPK 05-20-10. Houve diferença entre as vazões na saída “A” e “B” de forma significativa.

A Fig. 45 representa o estado final do fertilizante NPK 10-10-07 NR1 organo-mineral após o dosador entrar em repouso.

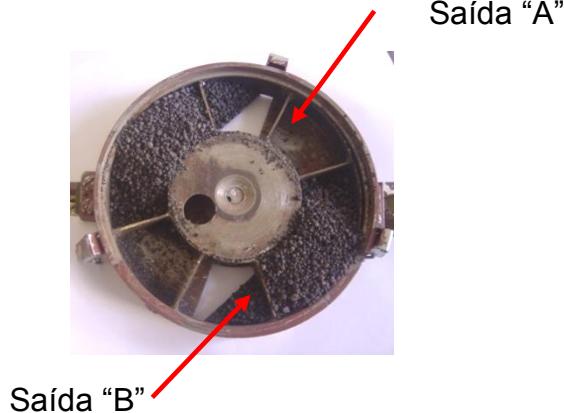


Figura 45: Aspecto do fertilizante NPK 10-10-07 no interior do dosador após a retirada do reservatório

A seguir serão apresentados os resultados da análise de vazão entre as saídas com o Calcário e o Pó de rocha, os quais utilizaram as mesmas velocidades angulares e áreas de abertura de passagem de fertilizante ao dosador, sendo respectivamente 5,0rpm e 839mm². Os resultados referentes a estes dois ensaios estão apresentados nas tab. 12 e 13.

Tabela 12: Dados de vazão mássica (Calcário)

Repetição	Saída A (g s ⁻¹)	Saída B (g s ⁻¹)
1	49,85	63,66
2	47,04	56,01
3	47,23	57,03
MÉDIA (g s ⁻¹)	48,04	58,90

Para o calcário a análise estatística com o teste t, apontou que ocorreu também uma diferença entre as vazões entre as saídas “A” e “B” do dosador, a um nível de significância de 5%. Após cessar o ensaio com o dosador, o calcário ficou da seguinte forma conforme a Fig. 46.



Figura 46: Aspecto do calcário no interior do dosador após a retirada do reservatório

Quanto ao pó de rocha, a tab. 13 apresenta o mesmo resultado dos ensaios anteriores, onde as vazões das duas saídas do dosador, também diferem entre si estatisticamente.

Tabela 13: Dados de vazão mássica (Pó de rocha)

Repetição	Saída A (g s^{-1})	Saída B (g s^{-1})
1	60,01	67,25
2	53,04	59,13
3	53,97	60,21
MÉDIA (g s^{-1})	55,97	62,20

A Fig. 47 expressa como ficou o pó de rocha no interior do dosador após o término do ensaio.



Figura 47: Aspecto do pó de rocha no interior do dosador após a retirada do reservatório

Conforme constatado, em todos os ensaios houve diferenças significativas entre as vazões da saída “A” e “B” do dosador e que esta ocorreu devido a falha ocasionada no processo construtivo do protótipo, então, se optou em realizar os ensaios definitivos e todas as análise referentes ao protótipo apenas na saída “A”, a qual não apresentou problemas na sua forma construtiva.

A Fig. 48 mostra o efeito ocasionado pela falha, onde se pode observar que ao lado direito da saída “A”, o fundo do sistema de dosagem aparece quase sem fertilizante, ao contrário do outro lado (posição 2) que aparece com quantidade relevante de produto, mostrando que as palhetas do rotor sofrem um desnível em relação ao posicionamento 1, onde a dosagem ocorre de forma correta. Foi detectada que a causa da falha como sendo consequência de uma descentralização entre o eixo motor da bancada e o rotor de palhetas.

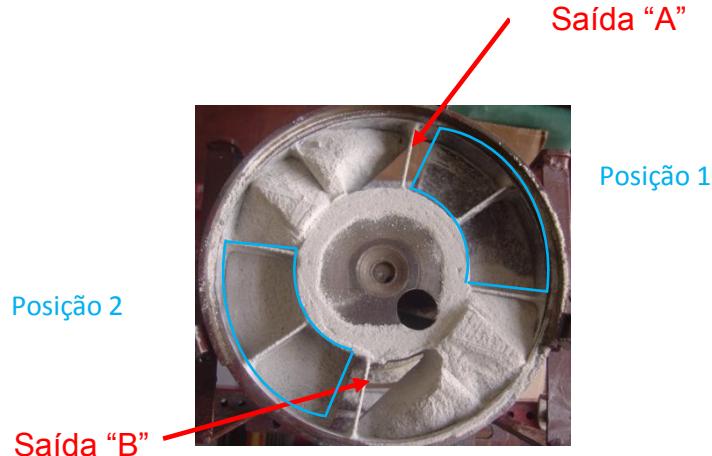


Figura 48: Efeito do erro angular entre as palhetas do rotor e o fundo do dosador.

4.5.3 Curva vazão mássica x velocidade angular e análise de variância

Para os ensaios com o fertilizante NPK 05-20-10 obtiveram-se as seguintes curvas vazão mássica x velocidade para cada uma das três aberturas consideradas, conforme a Fig. 49.

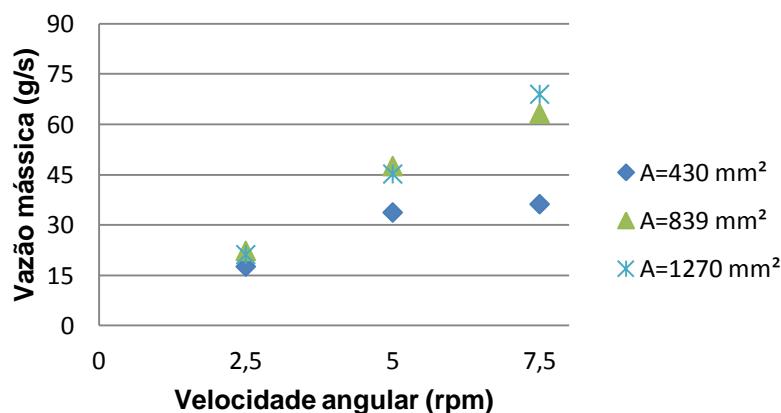


Figura 49: Curva vazão mássica x velocidade angular para o fertilizante NPK

A partir da curva apresentada na Fig. 49, para cada área de abertura regulada no sistema de dosagem, foi constatado que a vazão do dosador é diretamente proporcional à rotação. Conforme observado, nota-se que a curva iniciou com uma rotação de 2,5rpm e evoluiu até 7,5rpm, onde neste patamar houve uma tendência a um aumento linear da vazão, quando o sistema se encontrava regulado com as aberturas 839 e 1.270mm². Já para a regulagem com abertura menor, 430mm², para passagem de fertilizante ao interior do dosador a curva não teve um comportamento linear, pois o aumento na rotação não provocou aumento na mesma proporção na vazão. Não foi possível identificar a causa deste fato,

porém especula-se que nessa abertura não houve tempo para a passagem do adubo com a maior rotação.

A Fig. 50 apresenta o comportamento do dosador quando se fixa a área de abertura da passagem de fertilizante ao interior do mesmo, variando-se as rotações.

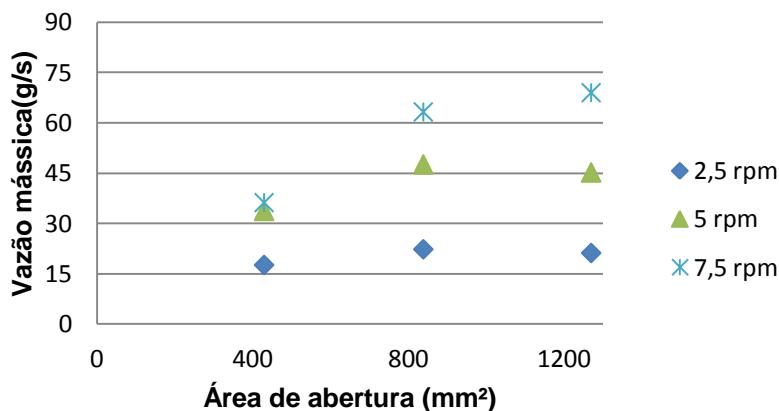


Figura 50: Vazão mássica x Abertura de entrada de fertilizante NPK

A vazão aumenta com o aumento da área de passagem de fertilizante ao dosador, mas este aumento não se dá de forma linear. Este fato pode ser confirmado mais adiante, quando for apresentada a análise de variância. Verificou-se que na abertura intermediária (839mm^2) a vazão mássica foi maior nas duas menores rotações (2,5rpm e 5,0rpm) quando comparada a vazão nas outras aberturas para iguais rotações. Não foi possível identificar o fenômeno físico que poderia causar esta característica.

A tab. 14 apresenta o resultado da análise de variância aplicada aos dois fatores, considerados possíveis fontes de variação na vazão para os ensaios realizados com o fertilizante NPK de formulação 05-20-10 mistura de grânulos. Esses fatores são velocidade angular (rpm) e área de abertura de passagem de fertilizante para o dosador (mm^2).

Tabela 14- Quadro de análise de variância (NPK de formulação 05-20-10)

Fonte de variação	G.L	S.Q	Q.M	F
Vel.angular (rpm)	2	5.856,05123	2.928,02561	3.044,1896 **
Abertura (mm^2)	2	1.454,40565	727,20283	756,0533 **
Int. rpm X mm^2	2	746,81370	186,70343	194,1105 **
Tratamentos	8	8.057,27059	1.007,15882	1.047,1160 **
Resíduo	18	17,31313	0,96184	
Total	26	8.074,58372		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

Os resultados mostram que os dois fatores causam efeitos significativos na vazão, uma vez que o teste F de cada fator é maior do que o valor de F (6,01) obtido para o nível de significância de 0,01.

Notou-se também que o teste F da velocidade angular é muito maior do que o teste F da abertura de entrada de fertilizante no dosador, ou seja, o fator velocidade causou um efeito maior na vazão.

No entanto, como houve interação significativa entre os fatores, foi necessário desdobrar a análise de variância. A tab. 15 mostra o resultado da interação dos fatores velocidade angular x abertura.

Tabela 15: Médias de interação (rpm x mm²)

Velocidade Angular (rpm)	Área de abertura (mm ²)		
	430	839	1.270
	Vazão (g s ⁻¹)		
2,5	17,66 cB	22,34 cA	21,23 cA
5,0	33,79 bC	47,63 bA	45,25 bB
7,5	36,27 aC	63,29 aB	69,03 aA

DMS para colunas =2,0441
Classific. c/ letras minúsculas

DMS para linhas =2,0441
Classific. c/ letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Analizando a tab. 15, fixando-se a velocidade angular – letras maiúsculas - percebe-se que na velocidade angular mais baixa não houve diferença significativa quando a abertura passou de 839mm² para 1.270mm².

Na velocidade intermediária, houve diferença significativa na vazão para todas as aberturas, sendo que a maior vazão foi obtida com a abertura intermediária. Não foi possível identificar a razão pela qual o aumento da vazão não foi proporcional ao aumento da abertura.

Na maior rotação houve aumento significativo da vazão à medida que a abertura foi aumentada nos níveis estudados.

De posse desses resultados verifica-se que o fator velocidade causa efeito significativo na vazão do dosador de palhetas e esse efeito também foi detectado por Menegatti (2004), quando, através de ensaios com um dosador acanalado e helicoidal chegou a verificação que a variação da velocidade causa efeito significativo na vazão dos dosadores.

Ainda na mesma tabela, fixando-se a abertura, para todas as rotações consideradas, houve um aumento significativo da vazão, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, quando a rotação foi aumentada nos valores estudados.

O segundo ensaio se refere ao fertilizante NPK 10-10-07 NR1 organo-mineral, no qual a curva *vazão mássica x velocidade* está representada na Fig. 51.

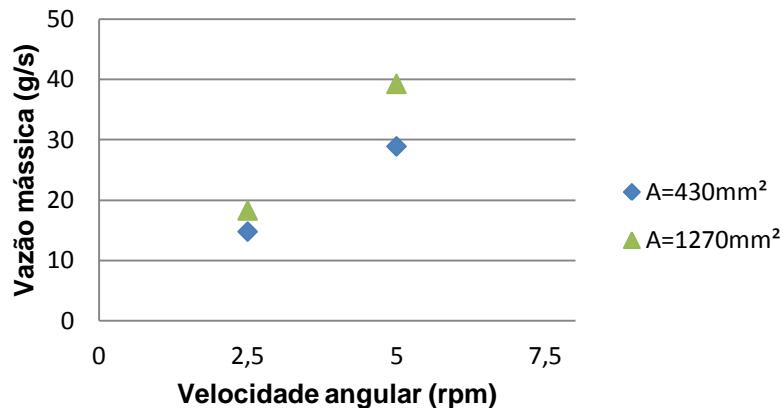


Figura 51: Curva vazão mássica x velocidade angular para o fertilizante NPK 10-10-07 NR1

Para este fertilizante, foi observado que o aumento da vazão foi diretamente proporcional ao da rotação. Conforme a Fig. 51 quando se considera que a regulagem de entrada de fertilizante no dosador é de 430mm^2 e a rotação é de 2,5rpm, a vazão fica em torno de 15g s^{-1} . Quando a área de entrada de fertilizante é aumentada para 1.270 mm^2 , nota-se que para a mesma rotação, 2,5rpm, ocorre um aumento de vazão pequeno. Neste caso o aumento da vazão se dá mais pelo aumento de rotação do que da abertura da entrada de fertilizante no dosador.

O gráfico apresentado através da Fig. 52 confirma o resultado constatado pela curva *vazão mássica x velocidade* deste ensaio, pois com uma mesma abertura e variando a rotação de 2,5rpm para 5,0rpm, nota-se um grande aumento da quantidade de fertilizante a ser depositado na unidade de tempo.

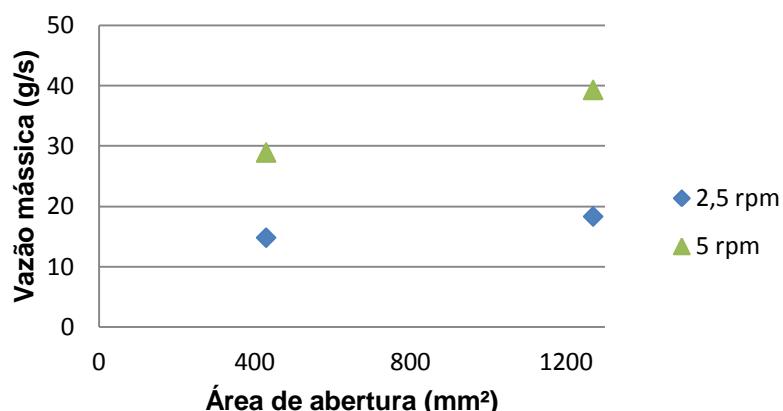


Figura 52: Vazão mássica x Abertura de entrada de fertilizante NPK 10-10-07 NR1

A tab. 16 apresenta o quadro de análise de variância aplicado aos dois fatores considerados nos ensaios com o fertilizante NPK 10-10-07 NR1 organo-mineral.

Tabela 16: Quadro de análise de variância (NPK de formulação 10-10-07 NR1)

Fonte de variação	G.L	S.Q	Q.M	F
Vel.angular (rpm)	1	144,35203	144,35203	874,2868 **
Abertura (mm ²)	1	923,30563	923,30563	5.592,1201 **
Int. rpm X mm ²	1	35,22613	35,22613	213,3516 **
Tratamentos	3	1.102,88380	367,62793	2.226,5862 **
Resíduo	8	1,32087	0,16511	
Total	11	1.104,20467		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

Os resultados da análise de variância mostram que os dois fatores causam efeitos significativos na vazão, uma vez que o teste F de cada fator é maior do que o valor de F (11,26) obtido ao nível de significância de 0,01 e de F (5,32) ao nível de significância de 0,05. Com este fertilizante a área da abertura de entrada do produto no dosador causa um maior efeito do que a velocidade angular.

No entanto, como houve interação significativa entre os fatores, foi necessário desdobrar a análise de variância. A análise da interação dos dois fatores está expressa na tab. 17.

Tabela 17: Médias de interação (rpm x mm ²)		
Velocidade Angular (rpm)	Área de abertura (mm ²)	
	430	1.270
2,5	14,77 bB	28,88 bA
5,0	18,28 aB	39,25 aA

DMS para colunas = 0,7648 DMS para linhas = 0,7648
 Classific. c/ letras minúsculas Classific. c/ letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

De acordo com a tab. 17 e com a classificação das letras, fixando a velocidade angular– letras maiúsculas há uma diferença significativa na vazão quando a abertura varia de 430para 1.270mm². O mesmo acontece quando é fixada a velocidade angular mais alta, a vazão aumenta quando a abertura é aumentada.

Quando é fixada a abertura, houve um aumento significativo da vazão, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, quando a rotação foi aumentada nos valores estudados.

A seguir serão apresentados os resultados e a curva vazão mássica x velocidade referentes ao calcário.

Para este produto a velocidade do sistema a 2,5rpm não foi satisfatória, uma vez que houve entupimento nas saídas de fertilizantes, não permitindo o

escoamento do produto. Sendo assim notou-se que o sistema de dosagem apresentou maior dificuldade em operar em baixas velocidades.

Logo, se analisou a funcionalidade do sistema com as velocidades de 5rpm e 7,5rpm e se obteve a seguinte curva *vazão mássica x velocidade expressa pela Fig. 53.*

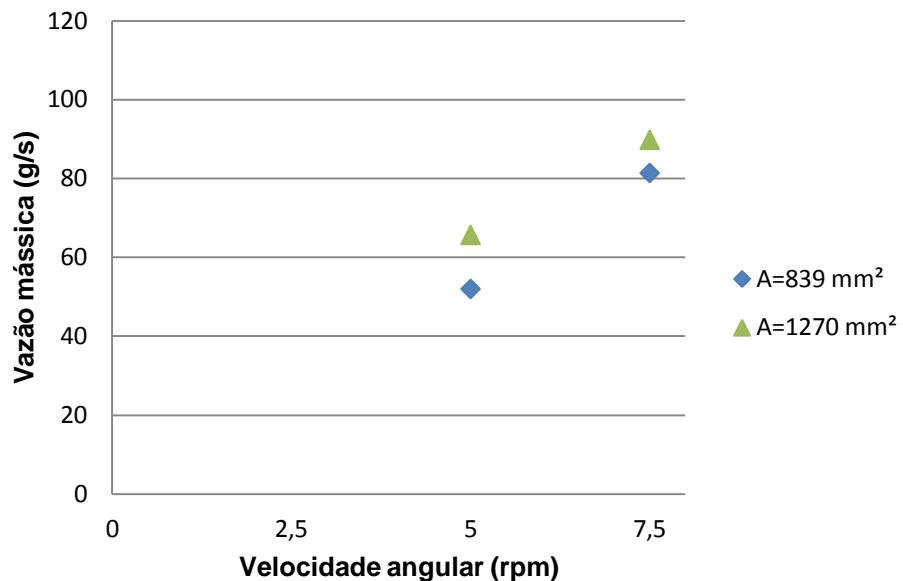


Figura 53: Vazão mássica x velocidade angular para calcário

Neste caso a curva *vazão mássica x velocidade angular* também se comportou de forma diretamente proporcional, uma vez que a vazão de fertilizante aumenta com o aumento de rotação.

Este comportamento só se conseguiu quando se colocou uma haste no interior do reservatório de fertilizante produzindo um movimento manualmente, na tentativa de homogeneizar o produto, pois o mesmo apresenta um ângulo de repouso tal que propicia a formação de uma parede estática, constituindo um tubo oco no interior da armazenagem. Este fenômeno pode ser observado na Fig. 54, a qual foi extraída no momento dos ensaios com o calcário.



Figura 54: Comportamento do calcário dentro do sistema de armazenagem

A Fig. 55 expressa o comportamento do corretivo quando se fixou a rotação e variou a área de abertura de entrada de fertilizante no interior do dosador. Observou-se, então, que a vazão de fertilizante aumenta mais com a variação da rotação do que com a variação da área de entrada de fertilizante no dosador.

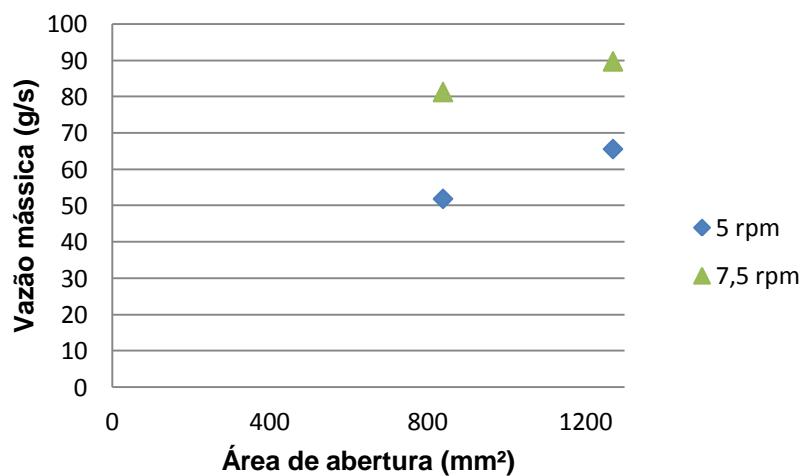


Figura 55: Vazão mássica x abertura de entrada de calcário

A seguir serão apresentados os resultados da análise de variância que vem a confirmar os resultados obtidos a partir das curvas extraídas no ensaio com o calcário. A tab. 18 apresenta o quadro de análise de variância do calcário.

Tabela 18: Quadro de análise de variância (Calcário)

Fonte de variação	G.L	S.Q	Q.M	F
Vel.angular (rpm)	1	2.149,63101	2.149,63101	161,9155 **
Abertura (mm ²)	1	367,52401	367,52401	27,6828 **
Int. rpm X mm ²	1	20,98808	20,98808	1,5809 ns
Tratamentos	3	2.538,14309	846,04770	63,7264 **
Resíduo	8	106,21000	13,27625	
Total	11	2.644,35309		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)
ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Os resultados da análise de variância mostram que os dois fatores causam efeitos significativos na vazão, uma vez que o teste F de cada fator é maior do que o valor de F (11,26) obtido ao nível de significância de 0,01 e ao F (5,32) ao nível de 5%.

Notou-se que o teste F da velocidade angular é muito maior do que o teste F da abertura de entrada de fertilizante no dosador, ou seja, o fator velocidade angular causou um efeito maior na vazão, sendo mais significativo ao experimento.

Não foi aplicado o teste de comparação de médias de interação porque o teste F de interação não foi significativo ao nível de significância de 1%. Conforme se pode observar pela tab. 19 o aumento no nível de ambos os fatores causa um aumento significativo na vazão de calcário dentro dos valores estudados.

Tabela 19: Médias de vazão mássica do calcário ($\text{rpm} \times \text{mm}^2$)

Velocidade Angular (rpm)	Área de abertura (mm^2)		Média
	839	1270	
	Vazão (g s^{-1})		
5,0	51,92	65,64	58,78 b
7,5	81,34	89,76	85,55 a
Média	66,63 B	77,69 A	

DMS para colunas = 4,84
Classific. c/ letras minúsculas

DMS para linhas = 4,84
Classific. c/ letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Como não houve interação entre os fatores, os resultados mostram que tanto o aumento da abertura como o aumento da rotação causam aumentos significativos na vazão de calcário, independentemente do nível do outro fator.

Por fim os resultados extraídos a partir dos ensaios com o fertilizante natural pó de rocha, no qual não se obteve um resultado satisfatório com uma velocidade do sistema a 2,5rpm, pois assim como o calcário, houve entupimento nas saídas de fertilizantes, parando todo o escoamento do produto. Logo, o sistema de dosagem também apresentou maior dificuldade em operar em baixas velocidades. A Fig. 56 mostra os dados referentes a curva *vazão mássica x velocidade* do último fertilizante analisado, o pó de rocha.

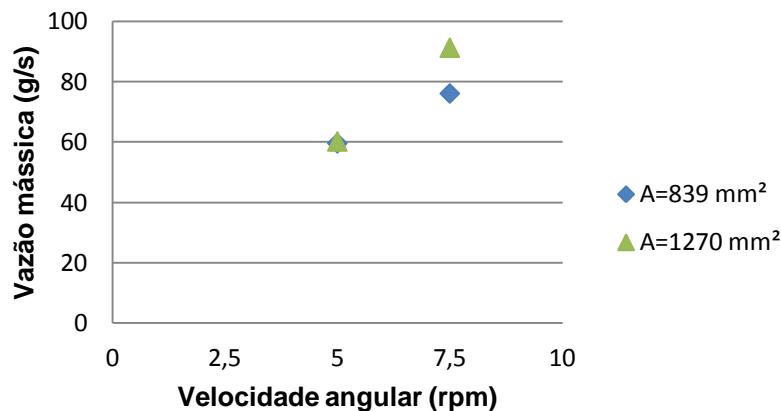


Figura 56: Vazão mássica x velocidade angular para o fertilizante pó de rocha

Para o pó de rocha verifica-se que o fator determinante para o aumento da vazão de fertilizante é a variação de rotação. Embora mudando-se a área de abertura de entrada de fertilizante no dosador e mantendo a rotação inicial verifica-se que a vazão permanece quase a mesma de quando a abertura era menor.

A Fig. 57 apresenta os resultados da análise feita durante o ensaio com o pó de rocha, onde é fixada a rotação e mudada a área de abertura para o fertilizante passar ao interior do dosador.

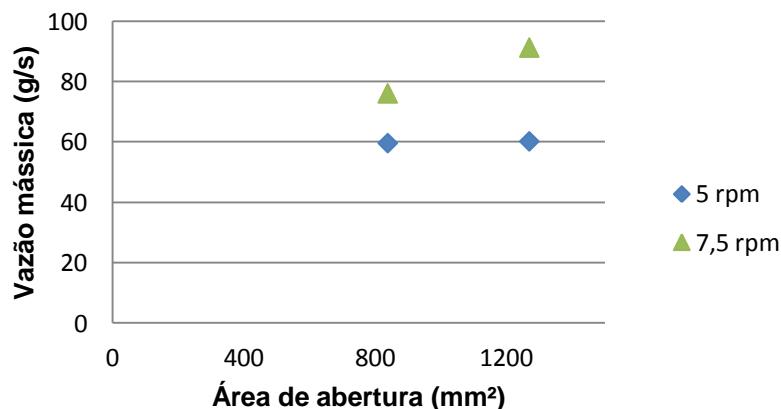


Figura 57: Vazão mássica x abertura de entrada de fertilizante pó de rocha

Nota-se que ocorre o mesmo comportamento que na análise anterior onde é relatado que o fator rotação ou velocidade angular é o que realmente varia de forma significativa a vazão do dosador, pois a área de abertura de entrada de fertilizante pouco modifica quando é aumenta, permanecendo a vazão quase como uma constante para a rotação de 5 rpm.

A tab. 20 expressa os resultados extraídos através da análise de variância para o fertilizante natural pó de rocha a fim de confirmar os resultados obtidos a partir das curvas de comportamento dos ensaios com este produto.

Tabela 20: Quadro de análise de variância (Pó de rocha)

Fonte de variação	G.L	S.Q	Q.M	F
Vel.angular (rpm)	1	1.696,22741	1.696,22741	273,5796 **
Abertura (mm ²)	1	186,36201	186,36201	30,0578 **
Int. rpm X mm ²	1	159,21367	159,21367	25,6791 **
Tratamentos	3	2.041,80309	680,60103	109,7721 **
Resíduo	8	49,60100	6,20013	
Total	11	2.091,40409		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

Os resultados da análise de variância nos ensaios com pó de rocha mostram que os dois fatores causam efeitos significativos na vazão, uma vez que o F de cada fator é maior do que o valor do teste F (11,26) obtido ao nível de significância de 0,01 e de F (5,32) ao nível de significância de 0,05. Mas o fator velocidade angular causa um efeito na vazão maior do que a área de abertura de entrada de fertilizante no dosador.

No entanto, como houve interação significativa entre os fatores, foi necessário desdobrar a análise de variância. A análise da interação dos dois fatores está expressa na tab. 21.

Tabela 21: Médias de interação (rpm x mm²)

Velocidade Angular (rpm)	Área de abertura (mm ²)	
	839	1270
5,0	59,65 bA	60,25 bA
7,5	76,14 aB	91,31 aA

DMS para colunas = 4,6866
Classific. c/ letras minúsculas

DMS para linhas = 4,6866
Classific. c/ letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

O resultado da tab. 21, mostra que fixando a velocidade angular 5rpm, não há diferença significativa quando a abertura passa de 839 para 1.270mm². Já, quando é fixada a velocidade 7,5rpm ocorre uma diferença significativa da vazão à medida que a abertura foi aumentada.

Para o calcário e o pó de rocha a velocidade do sistema a 2,5rpm não foi satisfatória, uma vez que houve entupimento nas saídas de fertilizantes, parando todo o escoamento do produto. Este fato pode ter acontecido devido ao ângulo de repouso desses dois produtos serem maiores que os ângulos formados pelos fertilizantes granulados ocorrendo uma maior dificuldade do sistema de dosagem operar em baixas velocidades.

Os resultados extraídos das curvas de vazão mássica x velocidade angular para o dosador de palhetas, mostrou para os quatro tipos de fertilizantes ao serem dosados, a vazão foi linear em relação à rotação. Este comportamento linear também foi verificado por Menegatti (2004) para os dosadores acanalados e helicoidais e este também cita que Cappelli et al (2000), confirmou essa linearidade entre dosadores helicoidais.

Em todas as análises fatoriais é notório que a vazão de fertilizante varia em função da velocidade e da área de abertura de entrada de fertilizante no dosador.

Villibor (2008) também detectou em seu experimento que o dosador da adubadora punctionadora variava em função da velocidade o que também foi observado por Martins (1999) e Capelli (2000) em dosadores para fertilizantes sólidos.

5 Conclusões

Os resultados obtidos no presente trabalho permite que se chegue as conclusões seguintes.

O desempenho do mecanismo dosador de fertilizante foi julgado satisfatório, embora tenham ocorrido diferenças significativas entre as vazões das duas saídas devido a causas construtivas.

O mecanismo desenvolvido foi capaz de dosar quatro produtos distintos, dois granulados de ângulo de repouso semelhante, porém com umidades distintas, e dois materiais de origem mineral, o calcário e o pó de rocha. No entanto, para o calcário e o pó de rocha, na rotação de 2,5rpm houve entupimento nas saídas de fertilizantes, impedindo todo o escoamento do produto.

Foi possível desenvolver o protótipo do dosador de fertilizantes com dupla saída, contemplando a meta esperada do projeto, que era uma construção de baixo custo que atendesse de forma satisfatória as necessidades dos agricultores familiares.

Embora não tenham sido feitas determinação a respeito da homogeneidade da dosagem de fertilizantes ao longo do tempo, pode-se observar que não houve “pulsação” no fluxo dos fertilizantes em nenhuma das condições de ensaio.

Foi possível projetar e construir um dosador de fertilizantes que possa atender a duas linhas de semeadura simultaneamente, mesmo que problemas construtivos tenham impedito a comparação direta entre as saídas. Dessa forma será possível construir semeadoras com um custo de produção mais baixo para atender às necessidades dos agricultores de base familiar.

A vazão de fertilizantes no mecanismo dosador é diretamente proporcional à rotação de trabalho e à área de abertura de entrada de produto ao interior do dosador.

A rotação, a qual o rotor de palhetas opera, causa um efeito muito mais significativo na vazão das duas saídas do dosador do que a área de abertura de entrada de fertilizante no dosador.

Referências

- ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A.S. **Os adubos e a eficiência das adubações.** São Paulo: ANDA, 1989. 35 p.
- BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Apostila de Projeto Conceitual.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001.
- BACK, N.; FORCELLINI, F.A. **Projeto de Produtos.** Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**, 1^a edição, São Paulo, SP: Manole, 1987, 307 p.
- CAPPELLI, N. L; UMEZU, C. K. MARCELO, M. M. **Avaliação do Desempenho de um Dosador Helicoidal para Aplicação de Fertilizantes Sólidos.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.20, n.2, p.130-138.maio de 2000.
- CHAGAS, G.M.P. **Sistematização da avaliação do processo de projeto de produtos utilizando Gates.** 2004. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FLORES, E.F. **Análise de máquinas agrícolas distribuidoras de fertilizante segundo requisitos projetuais.** 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional.** 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FORCELLINI, F. A. **Apostila de Projeto Conceitual.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.
- GARCIA, A.P. **Desenvolvimento de um sistema de controle eletromecânico para dosador de fertilizantes.** 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006.** Disponível em: <<http://WWW.ibge.gov.br>> Acesso em: 05 out. 2009.
- MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para Preparo do Solo, Semeadura, Adubação e Tratamentos Culturais.** Pelotas: UFPel, 1996.

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

MENEGATTI, F.A. **Desenvolvimento de um sistema de dosagem de fertilizantes para a agricultura de precisão.** 2004. 268 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments.** Fourth Edition, John Wiley & Sons: New York, 1997.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design:** a systematic approach. 2. ed. London: Springer, 1996. 544 p.

REIS, A. V.; MENEGATTI, F. A.; FORCELLINI, F. A. O Uso do Ciclo de Vida do Produto no Projeto de Questionários. In: **IV Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos.** Gramado, RS, 2003. 1 CD – ROM.

REIS, A.V.; ANDRADE, L.F.S.; FORCELLINI, F.A. **Sistematização da tarefa de valoração dos requisitos dos clientes para uso no QFD.** Congresso nacional de engenharia mecânica, João Pessoa, 2002.

REIS, A.V. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas.** 2003. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** Santa Catarina: PPGEM/UFSC. 2003. 266.: II. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTANA, F.E. **Desenvolvimento do protótipo de uma máquina para lavação de lanternas no cultivo de ostras.** 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOTO, w. H. G. **A produção do conhecimento sobre o mundo rural no Brasil: as contribuições de José Graziano da Silva/ William Héctor Gómez Soto.** Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002.

TAMAYO, J. H. C., BARBOSA, A. M., PÉREZ, N. M., LEIVA, F. R., RODRÍGUEZ, G. A.. **Características de operação de quatro dosadores para a Distribuição de fertilizantes e corretivos comerciais.** Revista Engenharia Agrícola, v.29, n.4, p.605-613, out./dez. 2009.

TEIXEIRA, S. S. **Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão para agricultura familiar de base ecológica.** 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

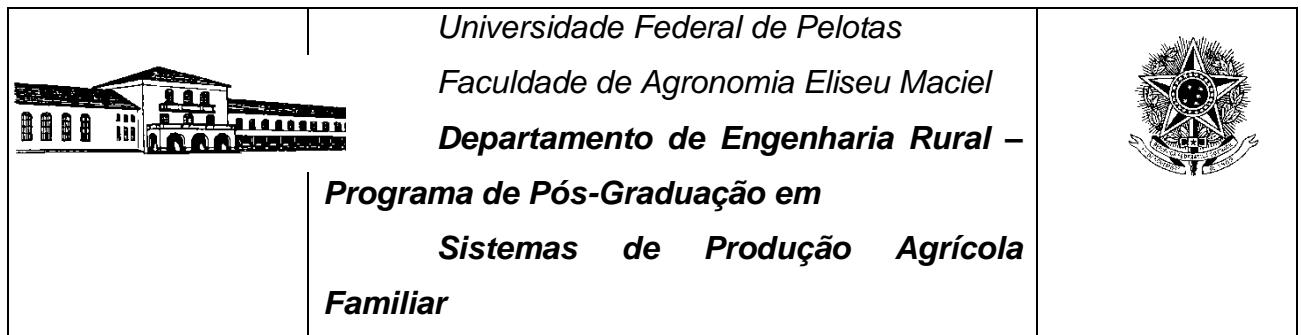
UMEZU, Cláudio Kiyoshi. **Sistema de controle de um equipamento de formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis.** 186p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VILLIBOR, G.P. **Avaliação do desempenho do protótipo de uma adubadora punctionadora para plantio direto.** 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Apêndices

Apêndice A

Questionário utilizado na pesquisa de campo com agricultores de base familiar.



Objetivo: Este questionário faz parte de uma pesquisa de campo sobre o uso de fertilizantes e tem como meta auxiliar no projeto de desenvolvimento de um dosador de adubo para uma semeadora-adubadora, o qual fará parte de uma dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da UFPel.

Município	Localidade

Responda as perguntas abaixo e atrás da folha:

1) Quais as culturas cultivadas em sua propriedade?

- | | |
|-------------------------------------|--|
| (<input type="checkbox"/>) Milho | (<input type="checkbox"/>) Frutas |
| (<input type="checkbox"/>) Soja | (<input type="checkbox"/>) Batata (Inglesa/doce) |
| (<input type="checkbox"/>) Feijão | (<input type="checkbox"/>) Hortaliças |
| (<input type="checkbox"/>) Arroz | (<input type="checkbox"/>) Fumo |
| (<input type="checkbox"/>) Trigo | (<input type="checkbox"/>) Outros: _____ |

2) Você utiliza semeadora-adubadora (plantadeira)?

() sim, qual marca? _____ () Não

3) Como você realiza a semeadura das culturas na propriedade?

() Semeadora manual (saraquá) () Semeadora de tração animal () Semeadora de tração mecânica

4)Como você realiza a adubação?

() covas junto com o plantio () na linha de plantio () sobre a superfície antes ou após o plantio

5)Que tipo de adubação você usa? (pode marcar mais de uma resposta)

() organo-mineral	() orgânicos líquidos
() Produtos sólidos(não granulados)	() Produtos granulados

6)Quais as culturas que você utiliza adubo? (pode marcar mais de uma resposta)

() Soja	() Frutíferas
() Milho	() Feijão
() Fumo	() Outros:_____

7)Quais os adubos que você costuma usar? (pode marcar mais de uma resposta)

() 5-20-10	() 5-20-20
() 6-8-8	() 7-11-9
() 2-20-20	() preparados biodinâmicos
() 13-13-13	() pó-de-rocha
() humus de minhoca	() calcário
() fosfatos naturais	() Outros:_____

8)Quantos quilos ou sacos de adubo por hectare você costuma utilizar?

9)Qual o tamanho da lavoura que você utiliza adubo?

() 0 a 5ha	() 16 a 20ha
() 6 a 10ha	() 21a 25ha
() 11 a 15ha	() 26a 30ha

Mais que 30ha, quanto?_____

10)Qual a área (tamanho) a ser adubada você gostaria que seu depósito de adubo durasse antes de reabastecê-lo?

11)Quais os problemas mais freqüentes que você encontra em um sistema de dosagem de adubo?

12)Como você faz a limpeza do sistema de dosagem e do depósito de adubo?

Muito obrigado por sua colaboração.

Apêndice B

Análise granulométrica dos 4 tipos de fertilizantes utilizados no experimento.

Amostra	Abertura da malha (mm)	Massa retida (mm)	Percentual retido (%)	Percentual passante (%)
1 (NPK 05-20-10)	4	0	0,00	100
	1	298,89	99,63	0,37
	fundo	1,11	0,37	
2 (NPK 05-20-10)	4	0	0,00	100
	1	296,43	98,81	1,19
	fundo	3,57	1,19	
3 (NPK 05-20-10)	4	0	0,00	100
	1	298,2	99,40	0,6
	fundo	1,8	0,60	
1 (NPK 10-10-07)	4	24,22	8,07	91,93
	1	275,06	91,69	0,24
	fundo	0,72	0,24	
2 (NPK 10-10-07)	4	22,09	7,36	92,64
	1	277,5	92,50	0,14
	fundo	0,41	0,14	
3 (NPK 10-10-07)	4	21,98	7,33	92,67
	1	277,3	92,43	0,24
	fundo	0,72	0,24	
1 (Pó de rocha)	2	96,25	32,08	67,92
	0,84	56,03	18,68	49,24
	0,35	47,07	15,69	33,55
	fundo	100,65	33,55	
2 (Pó de rocha)	2	95,9	31,97	68,03
	0,84	56,85	18,95	49,08
	0,35	47,61	15,87	33,21
	fundo	99,64	33,21	
3 (Pó de rocha)	2	95,54	31,85	68,15
	0,84	55,98	18,66	49,49
	0,35	49,24	16,41	33,08
	fundo	99,24	33,08	
1 (Calcário)	2	73,06	24,35	75,65
	0,84	112,06	37,35	38,29
	0,35	56,98	18,99	19,3
	fundo	57,9	19,30	
2 (Calcário)	2	72,7	24,23	75,77
	0,84	112,16	37,39	38,38
	0,35	56,48	18,83	
	fundo	58,66	19,55	
3 (Calcário)	2	73,74	24,58	75,42
	0,84	110,87	36,96	38,46
	0,35	52,38	17,46	
	fundo	63,01	21,00	

Apêndice C

Teor de água nos 4 tipos de fertilizante utilizados no experimento.

Produto	Amostra	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Umidade em base seca (%)
NPK (05-20-10)	1	20,77	20,55	1,07
	2	21,38	21,17	0,99
	3	20,15	19,93	1,10
NPK (10-10-07)	1	19,4	18,91	2,59
	2	22,32	21,72	2,76
	3	21,05	20,51	2,63
Pó de rocha	1	32,46	32,13	1,03
	2	32,22	31,9	1,00
	3	32,53	32,2	1,02
Calcário	1	42,59	42,5	0,21
	2	43,33	43,23	0,23
	3	42,76	42,66	0,23

Apêndice D

Densidade dos 4 tipos de fertilizantes utilizados no experimento.

Produto	Amostra	Massa (g)	volume (cm ³)	Densidade (g cm ⁻³)
NPK (05-20-10)	1	1573,88	1000	1,574
	2	1568,13		1,568
	3	1571,66		1,572
		1571,22		1,571
NPK (10-10-07)	1	1633,03	1000	1,633
	2	1638,55		1,639
	3	1636,27		1,636
		1635,95		1,636
Pó de rocha	1	2034,73	1000	2,035
	2	2035,46		2,035
	3	2034,99		2,035
		2035,06		2,035
Calcário	1	1754,95	800	2,194
	2	1754,23		2,193
	3	1755,38		2,194
		1754,85		2,194

Apêndice E

Teste estatístico do experimento com fertilizante NPK 05-20-10 através da saída de dados do programa ASSISTAT.

```
=====
ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage http://www.assistat.com
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.15/09/2011
=====
Arquivo NPK 05-20-10 fatorial tukey.txt
Data 04/10/2011 Hora 10:44:44
```

EXPERIMENTO FATORIAL

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	2	5856.05123	2928.02561	3044.1896 **
Fator2(F2)	2	1454.40565	727.20283	756.0533 **
Int. F1xF2	4	746.81370	186.70343	194.1105 **
Tratamentos	8	8057.27059	1007.15882	1047.1160 **
Resíduo	18	17.31313	0.96184	
Total	26	8074.58372		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)
ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
2	18	6.0129	3044.19	<0.001
2	18	6.0129	756.0533	<0.001
4	18	4.579	194.1105	<0.001
8	18	3.7054	1047.116	<0.001

Fator 1 = velocidade angular (rpm)
 Fator 2 = abertura (mm^2)

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias do fator1

1	20.41111	c
2	42.22667	b
3	56.20000	a
DMS1 =		1.18015

Médias do fator2

1	29.24222	b
2	44.42111	a
3	45.17445	a
DMS2 =		1.18015

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

Fator 1	Fator 2		
	1	2	3
1	17.6633 cB	22.3400 cA	21.2300 cA
2	33.7933 bC	47.6300 bA	45.2567 bB
3	36.2700 aC	63.2933 aB	69.0367 aA

DMS para colunas = 2.0441 DMS para linhas = 2.0441
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA FATOR 1 FATOR 2

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 39.61259

CV% = 2.47582

DADOS

17.78	18.14	17.07
22.60	21.60	22.82
20.36	21.88	21.45
34.03	34.38	32.97
48.22	48.18	46.49
45.84	45.41	44.52
37.99	35.16	35.66
64.12	63.14	62.62
70.68	67.53	68.90

SIGLAS E ABREVIACÕES

F.V.	= Fonte de variação	G.L.	= Graus de liberdade
S.Q.	= Soma de quadrado	Q.M.	= Quadrado médio
F	= Estatística do teste F	MG	= Média geral
CV%	= Coeficiente de variação em %		
DMS	= Diferença mínima significativa		

Apêndice F

Teste estatístico do experimento com fertilizante NPK 10-10-07 NR1 organo através da saída de dados do programa ASSISTAT.

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.15/09/2011

Arquivo NPK 10-10-07 fatorial tukey.txt
Data 04/10/2011 Hora 10:35:24

EXPERIMENTO FATORIAL

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	1	144.35203	144.35203	874.2868 **
Fator2 (F2)	1	923.30563	923.30563	5592.1201 **
Int. F1xF2	1	35.22613	35.22613	213.3516 **
Tratamentos	3	1102.88380	367.62793	2226.5862 **
Resíduo	8	1.32087	0.16511	
Total	11	1104.20467		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)
ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	8	11.2586	874.2868	<0.001
1	8	11.2586	5592.12	<0.001
1	8	11.2586	213.3516	<0.001
3	8	7.591	2226.586	<0.001

Fator 1 = velocidade angular (rpm)

Fator 2 = abertura (mm^2)

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias do fator1

1	21.82833	b
2	28.76500	a

DMS1 = 0.54079

Médias do fator2

1	16.52500	b
2	34.06833	a

DMS2 = 0.54079

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2

		Fator 2	
Fator 1 -----		1	2
1	14.7700 bB	28.8867 bA	
2	18.2800 aB	39.2500 aA	

DMS para colunas = 0.7648 DMS para linhas = 0.7648
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA FATOR 1 FATOR 2.

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 25.29667

CV% = 1.60628

DADOS

14.74	14.85	14.72
28.94	28.82	28.90
18.72	18.29	17.83
38.77	40.02	38.96

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

- F.V. = Fonte de variação G.L. = Graus de liberdade
 S.Q. = Soma de quadrado Q.M. = Quadrado médio
 F = Estatística do teste F MG = Média geral
 CV% = Coeficiente de variação em %
 DMS = Diferença mínima significativa

Apêndice G

Teste estatístico do experimento com calcário através da saída de dados do programa ASSISTAT.

ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.15/09/2011

Arquivo calcário tukey.txt
Data 04/10/2011 Hora 10:28:39

EXPERIMENTO FATORIAL

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Fator1(F1)	1	2149.63101	2149.63101	161.9155	**
Fator2(F2)	1	367.52401	367.52401	27.6828	**
Int. F1xF2	1	20.98808	20.98808	1.5809	ns
Tratamentos	3	2538.14309	846.04770	63.7264	**
Resíduo	8	106.21000	13.27625		
Total	11	2644.35309			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)
ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	8	11.2586	161.9155	<0.001
1	8	11.2586	27.6828	<0.001
1	8	5.3177	1.5809	0.2439
3	8	7.591	63.7264	<0.001

Fator 1 = velocidade angular (rpm)

Fator 2 = abertura (mm^2)

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias do fator1

1	58.78000	b
2	85.54833	a

DMS1 = 4.84931

Médias do fator2

1	66.63000	b
2	77.69833	a

DMS2 = 4.84931

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Médias Fator 1 x Fator 2		
		Fator 2
Fator 1 -----		
	1	2
1	51.9233	65.6367
2	81.3367	89.7600

Não foi aplicado o teste de comparação de médias porque o F de interação não foi significativo

PARA FATOR 1 FATOR 2...

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 72.16417 CV% = 5.04912

DADOS

49.85	51.00	54.92
62.67	68.08	66.16
84.45	76.56	83.00
94.21	89.99	85.08

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

F.V.	= Fonte de variação	G.L.	= Graus de liberdade
S.Q.	= Soma de quadrado	Q.M.	= Quadrado médio
F	= Estatística do teste F	MG	= Média geral
CV%	= Coeficiente de variação em %		
DMS	= Diferença mínima significativa		

Apêndice H

Teste estatístico do experimento com pó de rocha através da saída de dados do programa ASSISTAT.

=====
ASSISTAT Versão 7.6 beta (2011) - Homepage <http://www.assistat.com>
Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG - Atualiz.15/09/2011
=====

Arquivo pó de rocha fatorial tukey.txt
Data 04/10/2011 Hora 10:20:40

EXPERIMENTO FATORIAL

QUADRO DE ANÁLISE

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	1	1696.22741	1696.22741	273.5796 **
Fator2(F2)	1	186.36201	186.36201	30.0578 **
Int. F1xF2	1	159.21367	159.21367	25.6791 **
Tratamentos	3	2041.80309	680.60103	109.7721 **
Resíduo	8	49.60100	6.20013	
Total	11	2091.40409		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)
ns não significativo ($p \geq .05$)

GL	GLR	F-crit	F	p
1	8	11.2586	273.5796	<0.001
1	8	11.2586	30.0578	<0.001
1	8	11.2586	25.6791	<0.001
3	8	7.591	109.7721	<0.001

Fator 1 = Velocidade angular (rpm)

Fator 2 = abertura (mm^2)

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias do fator1

1	59.95167	b
2	83.73000	a

DMS1 = 3.31392

Médias do fator2

1	67.90000	b
2	75.78167	a

DMS2 = 3.31392

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

		Médias Fator 1 x Fator 2	
		Fator 2	
Fator 1		-----	
		1	2
1	59.6533	bA	60.2500 bA
2	76.1467	aB	91.3133 aA

DMS para colunas = 4.6866 DMS para linhas = 4.6866
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

PARA FATOR 1 FATOR 2

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

$$MG = 71.84083$$

$$CV\% = 3.46600$$

DADOS

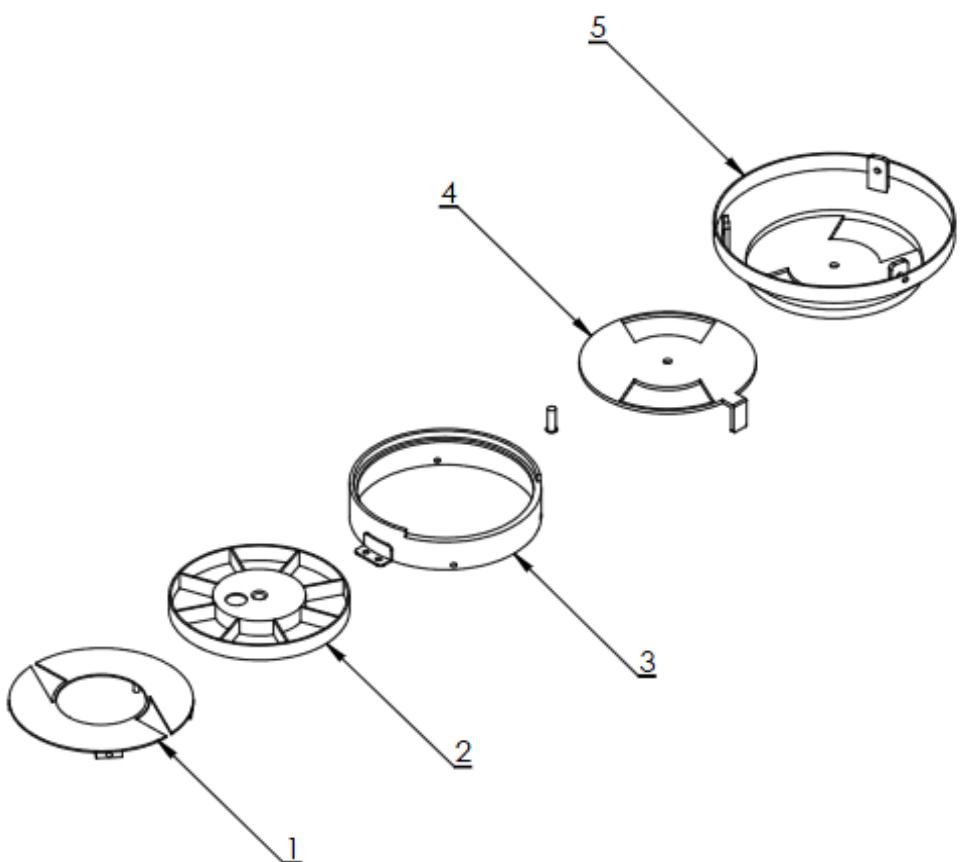
60.01	59.59	59.36
62.45	61.32	56.98
71.98	78.96	77.50
89.80	91.03	93.11

SIGLAS E ABREVIACÕES

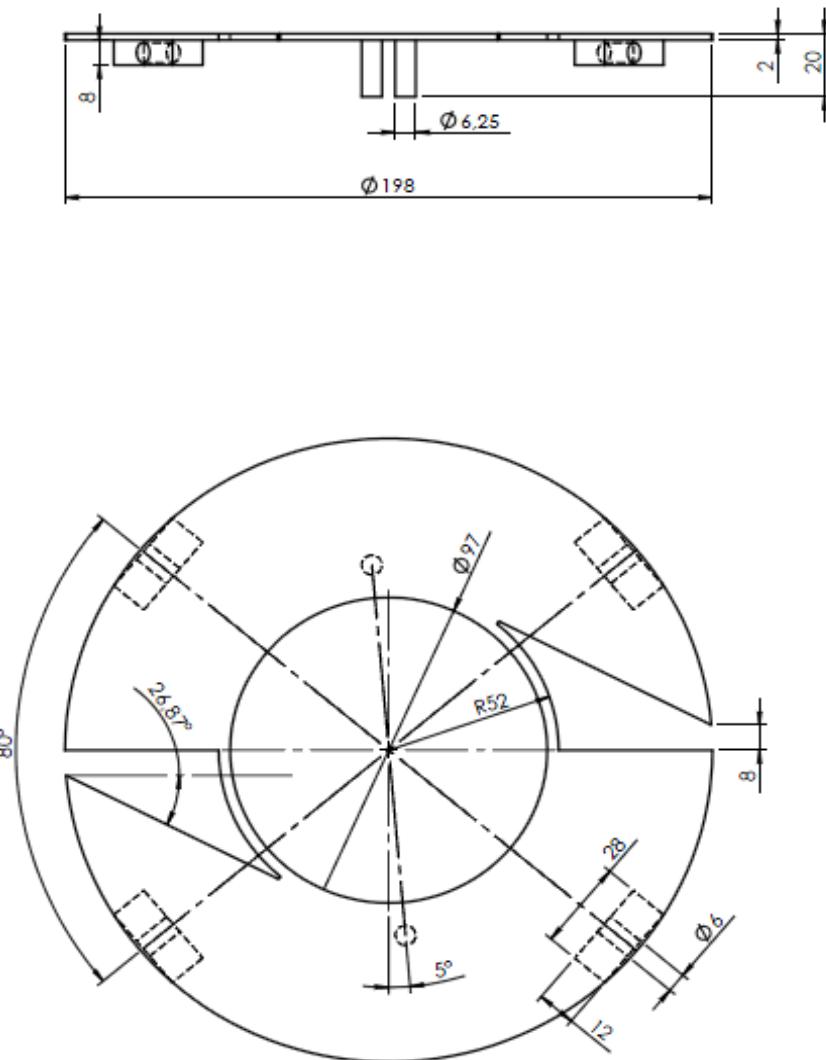
F.V. = Fonte de variação G.L. = Graus de liberdade
 S.Q. = Soma de quadrado Q.M. = Quadrado médio
 F = Estatística do teste F MG = Média geral
 CV% = Coeficiente de variação em %
 DMS = Diferença mínima significativa

Apêndice I

A seguir serão apresentados os desenhos de fabricação do protótipo do dosador de fertilizante com duas saídas.



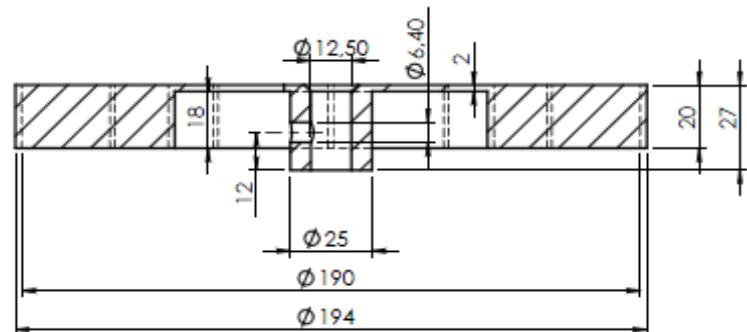
ORIENTADOR:	Ângelo Vieira Reis	Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar	
PROJETISTA:	Márcia B. Silva Vasconcelos	DESENHO:	Dosador
DESENHISTA:	Matheus Lemos Cardoso	FOLHA:	01
	ESCALA: 1:7	MATERIAL:	Aço SAE 1020



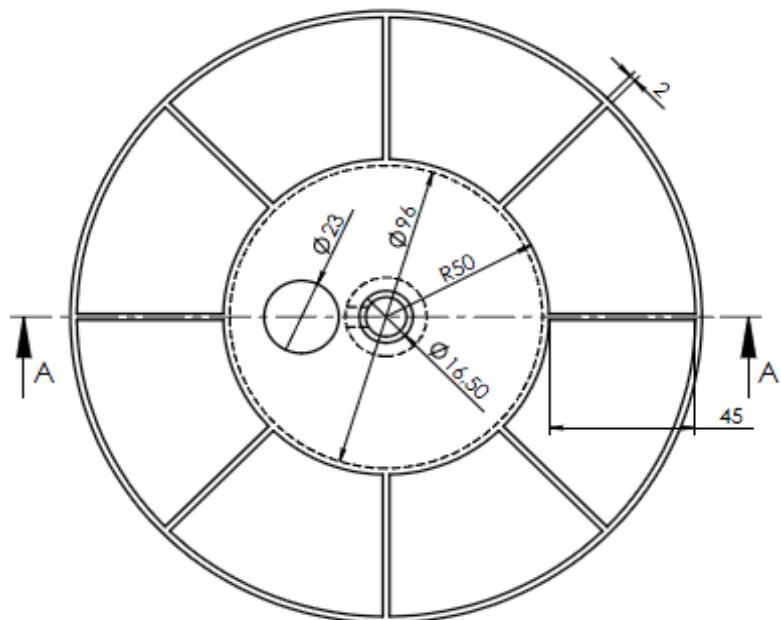
ORIENTADOR:	Ângelo Vieira Reis	Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar
PROJETISTA:	Márcia B. Silva Vasconcelos	DESENHO:
DESENHISTA:	Matheus Lemos Cardoso	Dosador

ESCALA: 1:2 MATERIAL: Aço SAE 1020

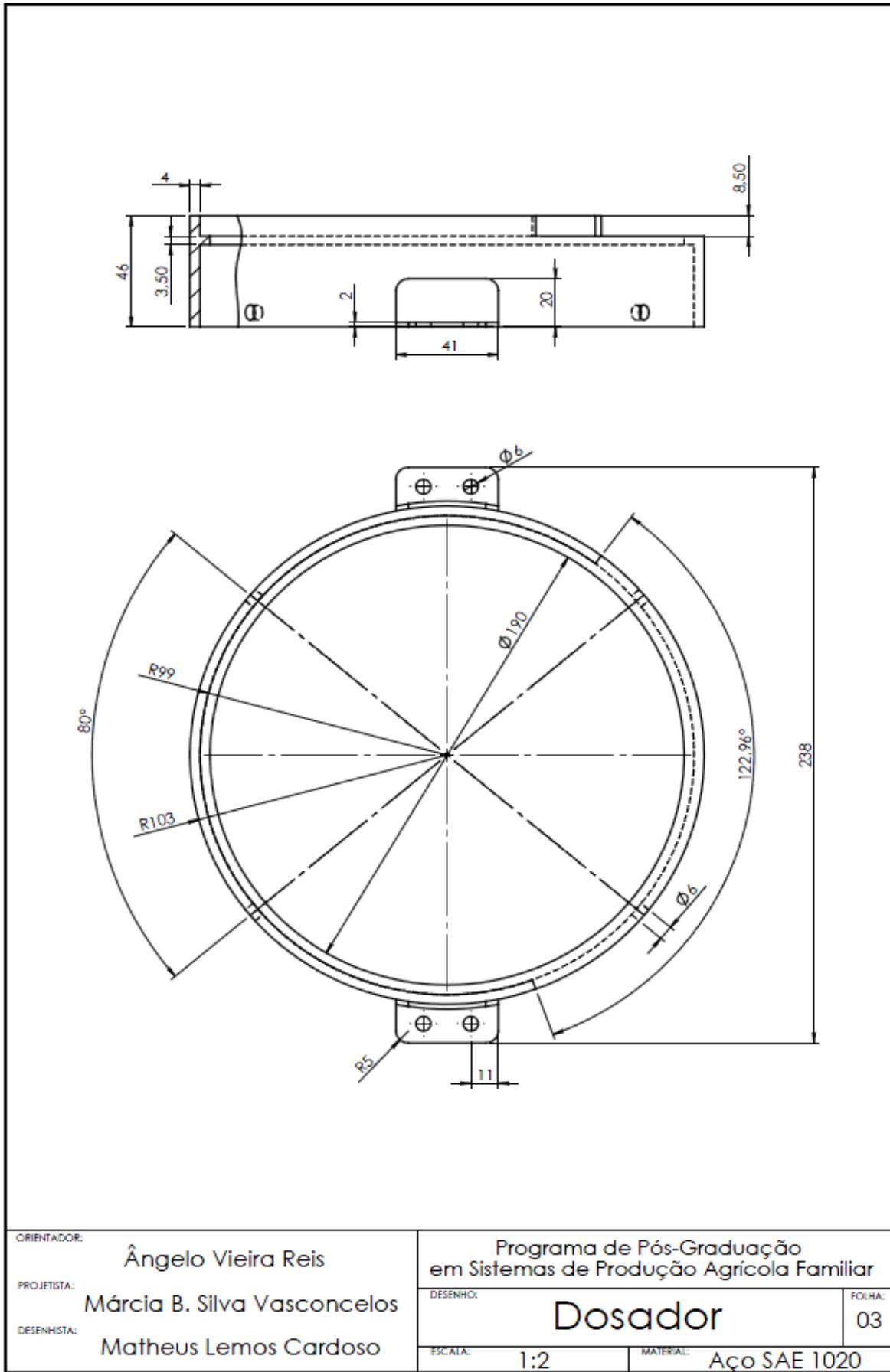
FOLHA: 01

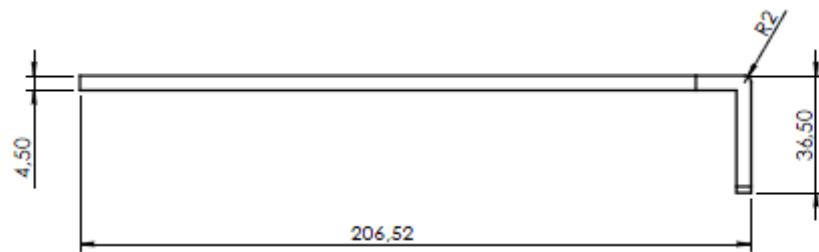


SEÇÃO A-A
ESCALA 1 : 2

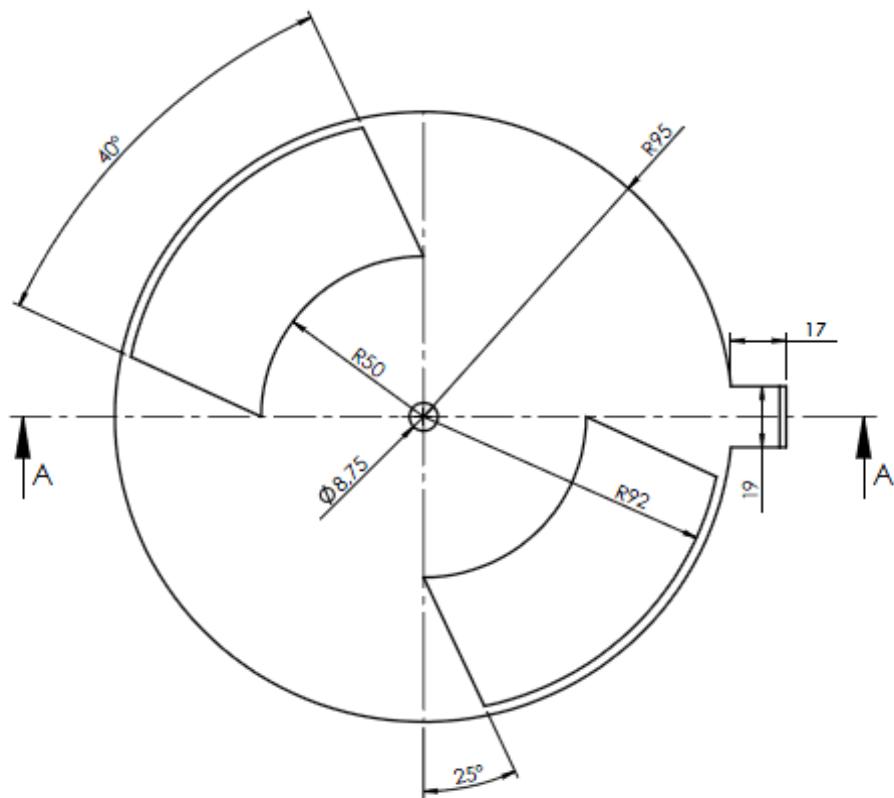


ORIENTADOR:	Ângelo Vieira Reis	Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar
PROJETISTA:	Márcia B. Silva Vasconcelos	DESENHO: Dosador
DESENHISTA:	Matheus Lemos Cardoso	ESCALA: 1:2 MATERIAL: Aço SAE 1020 FOLHA: 02





SEÇÃO A-A
ESCALA 1 : 2



ORIENTADOR:	Ângelo Vieira Reis	Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar	
PROJETISTA:	Márcia B. Silva Vasconcelos	DESENHÓ:	Dosador
DESENHISTA:	Matheus Lemos Cardoso	ESCALA:	1:2
		MATERIAL:	Aço SAE 1020
		FOLHA:	04

