

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



Dissertação

Semeadora de tração humana:
Projeto informacional e conceitual

Giuseppe Stefanello

Pelotas, 2013

Giusepe Stefanello

Semeadora de tração humana:
Projeto informacional e conceitual

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
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado (DER-FAEM-UFPEL)

Coorientador: Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis (DER-FAEM-UFPEL)

Pelotas, 2013

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

S816s

Stefanello, Giusepe

Semeadora de tração humana: projeto informacional e conceitual / Giusepe Stefanello. – 84f. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Pelotas, 2013. – Orientador Antônio Lilles Tavares Machado; co-orientador Ângelo Vieira dos Reis.

1.Agricultura familiar. 2.Plantio direto. 3.Semeadora manual. I.Machado, Antônio Lilles Tavares. II.Reis, Ângelo Vieira dos. III.Título.

CDD: 631.51

Banca examinadora:

Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado (presidente)

Pesq. Dr. Sérgio Junichi Idehara (EMBRAPA)

Prof. Dr. Roberto Lilles Tavares Machado (UFPEL)

Prof. Dr. Mauro Fernando Ferreira (suplente)

Prof. Dr. Amauri Cruz Espírito Santo (suplente)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha esposa Ludmila pelo companheirismo e exemplo de dedicação afetiva e profissional. Aos meus pais por terem me ensinado os tão importantes princípios e por me apoiarem em mais uma etapa de construção do conhecimento. À minha família, por estarem sempre ao meu lado, incentivando, aconselhando e mostrando o caminho certo.

Agradeço aos professores Antônio Lilles Tavares Machado e Ângelo Vieira dos Reis pela orientação, disponibilidade, amizade, profissionalismo, paciência, ajuda e atenção. Aos integrantes da equipe de projeto e aos demais professores, colegas, bolsistas e estagiários do Departamento de Engenharia Rural - FAEM-UFPEL e do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar que participaram no desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador da Embrapa Irajá Ferreira Antunes e ao extensionista da Emater Fernando Luiz Horn pelas valiosas informações.

À CAPES, CNPq e FAPERGS pelo apoio financeiro com concessão da bolsa de mestrado, financiamento de projetos e bolsas de Iniciação Científica para os colaboradores da graduação.

A todos que participaram e contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento do presente trabalho, através de suas ideias, experiências, sensibilidades e conhecimentos.

Enfim...

MUITO OBRIGADO A TODOS!

Resumo

STEFANELLO, Giuseppe. **Semeadora de tração humana: Projeto informacional e conceitual**. 2013. 84f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O milho e o feijão são semeados em grande número de pequenas propriedades agrícolas e geralmente em sistema convencional de cultivo. Há interesse dos agricultores familiares em migrar para o sistema de semeadura direta, porém não estão disponíveis no mercado semeadoras de pequeno porte adequadas para esse fim. Na região sul do Brasil foi constatada a utilização de semeadoras manuais portáteis (saraquá) por mais da metade desses agricultores, inclusive para semeadura direta. Apesar dos fatores positivos da sua utilização, há restrições de capacidade e desempenho operacional, além de problemas ergonômicos. As empresas não se interessam em projetar equipamentos mais adequados para esse segmento, continuando a produzir semeadoras antiquadas. É urgente o desenvolvimento de equipamentos desse porte, que confirmem maior qualidade na semeadura dessas culturas e reduzam a dificuldade de trabalho desses agricultores. O objetivo do presente trabalho foi, através de metodologia de projeto, realizar as fases de projeto informacional e projeto conceitual de uma semeadora de tração humana para semeadura direta de milho e feijão. Foram desenvolvidas concepções capazes de realizar semeadura direta e convencional, focando nas reais necessidades tecnológicas relativas ao cultivo dessas culturas. Foi escolhida uma, dentre as concepções da semeadora, a qual evoluiu para a concepção final, utilizando princípios de solução existentes e atualmente empregados, obtendo-se a concepção de uma semeadora puncionadora de empurrar com características superiores em relação às semeadoras atualmente disponíveis. A mesma é constituída de estrutura tubular de aço, um dosador tipo anel vertical, nove puncionadores, rodas limitadoras de profundidade e roda cobridora compactadora, que permitem a semeadura com qualidade, mínimo revolvimento do solo e, conseqüentemente, mínima demanda energética.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Plantio direto. Semeadora manual.

Abstract

STEFANELLO, Giuseppe. **Human-powered planter: Informational and conceptual design**. 2013. 84p. Thesis (Masters Degree) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Federal University of Pelotas, Pelotas, Brazil.

The crops of corn and beans are sown on a large number of small farms where conventional tillage is commonly used. The farmers are interested in adopting no tillage farming. However, small planters suited for this purpose are not available in the market. The portable hand seeder (jab-type) was found to be used for more than half of these farmers, including direct seeding, in southern Brazil. Despite the positive factors of their use, there are field capacity and operating performance constraints as well as ergonomic problems. Companies are not interested in designing equipment better suited for this segment, continuing to produce old-fashioned planters. It is urgent to develop equipment of this size in order to enhance the sowing quality of these crops and to reduce the difficulty of the work of these farmers. The aim of this work was to conduct informational and conceptual design phases of a human-powered planter for direct seeding of corn and beans employing a design methodology. Drill concepts capable of performing tillage and no-tillage seeding have been developed, focusing on real technological needs related to the cultivation of these crops. One was chosen, among the concepts of the planters, which evolved into a final design, using currently existing principles of solution, obtaining the design of a push punch planter with superior characteristics when compared with the planters currently available. The concept is formed by a tubular steel frame, a ring-type vertical seed meter, nine punchers, depth gauge wheels and closure and firming wheel, enabling sowing quality, minimum soil disturbance and hence minimum energy demand.

Keywords: No tillage. Manual planter. Family farming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Discos de corte dentado (A), recortado (B) e liso (C), todos com mesmo diâmetro externo e central. Fonte: Bianchini & Magalhães, 2008.	17
Figura 2 – Modelo do processo de projeto proposto pelo NeDIP. Fonte: Oldoni, 2012.	23
Figura 3 – Construção da matriz da casa da qualidade (QFD). Fonte: Adaptado de REIS (2003).....	24
Figura 4 – Requisitos de projeto obtidos com auxílio da lista de atributos proposta por Fonseca (2000). Fonte: Adaptado de Reis (2003).	39
Figura 5 – Valoração dos requisitos dos clientes através do Diagrama de Mudge. ...	40
Figura 6 – Interface do <i>software</i> WinQFD com o resultado da aplicação da Matriz da Casa da Qualidade (QFD).	42
Figura 7 – Função global do sistema técnico da semeadora.	49
Figura 8 – Primeiro nível de desdobramento da função global da semeadora: funções parciais.....	49
Figura 9 – Segundo nível de desdobramento da função global da semeadora: funções elementares.	50
Figura 10 – Representação esquemática de configurações de semeadora punccionadora: A) portátil, um dosador e um abridor de solo; B) de empurrar, um dosador e múltiplos abridores de solo; C) de empurrar, múltiplos dosadores e um abridor de solo para cada dosador.	51
Figura 11 – Estrutura funcional genérica para semeadora portátil com um dosador e um abridor de solo.	51
Figura 12 – Estrutura funcional genérica para semeadora de empurrar com um dosador e múltiplos abridores de solo.	51
Figura 13 – Estrutura funcional genérica para semeadora de empurrar com múltiplos dosadores e um abridor de solo para cada dosador.	51
Figura 14 – Estrutura funcional A: semeadora portátil com um dosador e um abridor de solo.....	55
Figura 15 – Estrutura funcional B: semeadora de empurrar com um dosador e múltiplos abridores de solo.	56
Figura 16 – Estrutura funcional C: semeadora de empurrar com múltiplos dosadores e um abridor de solo para cada dosador.	57
Figura 17 – Combinações dos princípios de solução para abertura do solo e dosagem de sementes.	63
Figura 18 – Semeadora punccionadora de tração humana: Concepção A.	70
Figura 19 – Semeadora punccionadora de tração humana: Concepção B.	72
Figura 20 – Semeadora punccionadora de tração humana: Concepção C.	73
Figura 21 – Componentes da semeadora punccionadora de tração humana.	75
Figura 22 – Conjunto de componentes para dosagem e deposição de sementes....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fases do ciclo de vida e clientes da semeadora.....	30
Tabela 2 – Informações a serem obtidas nas fases do ciclo de vida da semeadora.	31
Tabela 3 – Características das propriedades rurais, em porcentagem, de alguns municípios da Metade Sul do RS, de acordo com diferentes autores. .	32
Tabela 4 – Classificação dos requisitos dos clientes segundo 10 categorias em ordem decrescente de importância.	41
Tabela 5 – Classificação dos requisitos de projeto pelo QFD (sem telhado).	43
Tabela 6 – Classificação dos requisitos de projeto pelo QFD (com o telhado).	43
Tabela 7 – Especificações de projeto consideradas mais importantes (terço superior).....	45
Tabela 8 – Especificações de projeto consideradas importantes (terço médio).	46
Tabela 9 – Especificações de projeto menos importantes (terço inferior).....	46
Tabela 10 – Entradas e saídas de energia, material e sinal do sistema técnico da semeadora.	48
Tabela 11 – Avaliação de configurações para a estrutura funcional da semeadora.	50
Tabela 12– Notação, detalhamento e fluxo de sinal, energia e material das funções parciais, auxiliares e elementares.	53
Tabela 13 – Matriz de avaliação das estruturas funcionais em relação aos requisitos de projeto considerados importantes e não utilizados no QFD.....	58
Tabela 14 – Matriz de decisão para escolha da estrutura funcional.	59
Tabela 15 – Matriz Morfológica com princípios de solução para as funções elementares da semeadora.	60
Tabela 16 – Combinações dos princípios de solução para as funções elementares.	65
Tabela 17 – Julgamento de viabilidade das combinações preliminares.	67
Tabela 18 – Resultados do exame passa/não passa das concepções resultantes. .	68
Tabela 19 – Matriz de avaliação das combinações de princípios de solução.	69
Tabela 20 – Matriz de avaliação das concepções da semeadora punccionadora.	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Agricultura Familiar	11
2.2 Semeadoras manuais e de tração humana	14
2.3 Aspectos agronômicos da semeadura de milho	18
2.4 Aspectos agronômicos da semeadura de feijão	20
2.5 Metodologias de Projeto de Máquinas Agrícolas	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Projeto Informacional.....	25
3.2 Projeto conceitual.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Necessidades dos clientes do projeto	30
4.2 Estabelecimento dos requisitos dos clientes	36
4.3 Estabelecimento dos requisitos de projeto	37
4.4 Hierarquização dos requisitos de projeto.....	40
4.5 Estabelecimento das especificações de projeto	44
4.6 Verificação do escopo do problema.....	47
4.7 Estabelecimento da função global e subfunções	48
4.8 Elaboração das estruturas funcionais alternativas.....	50
4.9 Seleção da estrutura funcional	57
4.10 Pesquisa e combinação de princípios de solução	60
4.11 Seleção das combinações de princípios de solução.....	66
4.12 Evolução em variantes de concepção	69
4.13 Avaliação das concepções, seleção e evolução	73
5 CONCLUSÕES	78
6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	79
7 REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de base familiar na tentativa de adotar práticas menos impactantes, na produção de alimentos, encontra algumas dificuldades. As semeadoras existentes no mercado geralmente não são utilizáveis ou adequadas às necessidades da agricultura de pequena escala. Esses equipamentos apresentam sérias deficiências de ergonomia, alta exigência de potência para sua tração, altos custos de aquisição, de operação e de manutenção, imprecisão na semeadura, dentre outras. As técnicas conservacionistas de manejo, como a semeadura direta, dependem da utilização de equipamentos adequados para sua implantação. A transição para o formato conservacionista demanda semeadoras que permitam sua utilização tanto no sistema convencional quanto no sistema de semeadura direta. Garante-se, dessa forma, uma mudança gradual ou alternância entre esses sistemas, evitando-se que o equipamento caia em desuso.

Uma máquina adequada possibilita, ainda, o seu emprego na agricultura de base ecológica, que utiliza, essencialmente, o cultivo de forma convencional, visto que neste formato de produção não é possível o manejo de plantas com a utilização de herbicidas, dependendo os agricultores, da mobilização do solo para este fim. Na região sul do Brasil, principalmente na região sul do RS, foi constatada, por vários pesquisadores e extensionistas, a utilização de semeadoras manuais do tipo “saraquá” por mais da metade dos agricultores de base familiar. Isso se justifica pelo baixo custo de aquisição dessas semeadoras, facilidade de operação, menor mobilização do solo e demanda de potência, pequeno tamanho e massa, possibilita desviar de pedras e tocos, são adequadas para terrenos declivosos, pedregosos, em semeadura consorciada e direta. Apesar dos fatores positivos da utilização destes equipamentos, existem algumas restrições como baixo desempenho operacional, irregularidade na dosagem e deposição de sementes, maior tempo para realizar a semeadura, além de problemas de engenharia e ergonômicos, como grande exigência de esforço físico.

Dentre as culturas anuais mais cultivadas por esses agricultores, destacam-se o milho e o feijão presentes em praticamente todas as propriedades e geralmente cobrindo a maior área de cultivo. Apesar dessa demanda por semeadoras manuais ou de tração humana existir, as empresas não se interessam em desembolsar recursos para o projeto de equipamentos mais adequados para esse segmento. Com isso perpetuam a fabricação de máquinas como o “saraquá”, desenvolvidas há mais de um século.

Portanto, é urgente o desenvolvimento, para agricultores de base familiar, de equipamentos adequados, que confirmem maior qualidade na semeadura dessas culturas e reduzam a dificuldade do trabalho desses agricultores.

A abordagem do presente estudo foi balizada na possibilidade de se conceber uma semeadora a tração humana ou manual capaz de executar semeadura direta de sementes graúdas.

Utilizando uma metodologia de projeto estruturada, esta dissertação objetiva realizar as fases do projeto informacional e projeto conceitual de uma semeadora manual para milho e feijão. Desenvolveu-se concepções de uma máquina capaz de realizar semeadura direta e convencional, sendo destinada a agricultores de base familiar. No decorrer do projeto foram investigadas as reais necessidades tecnológicas relativas ao cultivo das culturas anuais de milho e feijão nos estabelecimentos agrícolas de base familiar do Rio Grande do Sul. Finalmente, elaborou-se três concepções de semeadora e escolheu-se uma, dentre as concepções, a fim de atender as necessidades levantadas junto aos agricultores e recomendações agrônômicas para as culturas de milho e feijão.

O público alvo deste trabalho foi, em primeiro lugar, os agricultores de base familiar e ou ecológica do Rio Grande do Sul, interessados em soluções racionais relacionadas aos equipamentos utilizados na semeadura de milho e feijão. Em segundo lugar, contemplam-se os pequenos empresários ou agricultores interessados em fabricar a máquina em oficinas e serralherias e posteriormente comercializá-las.

Buscou-se desenvolver concepções dessa máquina utilizando princípios de solução já existentes e atualmente empregados, obtendo-se a concepção de uma semeadora punccionadora de empurrar, capaz de atender as necessidades dos usuários e permitir a continuidade do projeto, que resultará futuramente em um protótipo desse equipamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agricultura Familiar

No Brasil, os estabelecimentos rurais com área inferior a 10 hectares constituem 50,3% (1,8 milhão de unidades) dos estabelecimentos e ocupam apenas 2,4% da área total (6,3 milhões de hectares) (IBGE, 2006). No entanto, essa dimensão de área não serve para generalizar a determinação da característica socioeconômica dos agricultores detentores desses imóveis. Em função das características sociais, econômicas, culturais, geográficas, entre outras, existem diferentes tamanhos de área para que uma propriedade seja considerada propriedade familiar. Isso se deve às dimensões dos chamados módulos rurais, que são díspares para cada município das unidades da federação. De acordo com a Lei 8.629 de 1993, o imóvel rural com área inferior a um módulo fiscal é classificado como **minifúndio**, já a **pequena propriedade** é o imóvel rural com área compreendida entre um e quatro módulos fiscais (BRASIL, 1993).

A Lei Nº 11.326, de 24 de julho de 2006, considera **agricultor familiar** e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural e que: não detenha área maior do que quatro módulos fiscais; utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (BRASIL, 2006). O agricultor familiar poderá ser detentor de um minifúndio ou de uma pequena propriedade.

Os termos e conceitos apresentados até o momento remetem a um termo mais abrangente que é a **Agricultura Familiar** ou simplesmente **AF**. Na literatura também é encontrado o termo de forma mais abarcante, “agricultura de base familiar”.

Devido à sua enorme diversidade cultural e de aptidão, a AF está presente em praticamente todas as atividades agropecuárias em todas as regiões do Brasil (NAVARRO, 2010). Considerando as diferenças do perfil da AF, citadas pelo autor, percebe-se a necessidade de ações com foco local, procurando atender com maior plenitude suas demandas nas diferentes atividades.

Em 2006, segundo o Censo Agropecuário, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 84,4% dos estabelecimentos rurais do país eram da AF, que ocupava aproximadamente um quarto da área dos estabelecimentos agrícolas do país (24,3%). Utilizando um quinto de suas terras para lavouras e menos da metade para pastagens, ela é capaz de gerar muito mais empregos do que a agricultura patronal. No total a AF empregava 12,3 milhões de pessoas contra 4,2 milhões de pessoas empregadas pela agricultura patronal o que representa, respectivamente, 74,4% e 25,6%. No Rio Grande do Sul, 85,75% dos estabelecimentos agrícolas foram caracterizados como de agricultura familiar, ocupando apenas 30,55% da área total dos estabelecimentos (IBGE, 2006).

Produzindo os principais itens da cesta básica, a AF demonstra sua importância na oferta de alimentos, sendo responsável pela maior parte da produção nacional de mandioca (87%) e feijão (70%), quase metade do milho (46%), além de café (38%), arroz (34%), trigo (21%) e soja (16%). Na pecuária produz 59% dos suínos, 50% das aves, 30% dos bovinos e 58% do leite (IBGE, 2006).

Na Metade Sul do RS, foram conduzidos trabalhos para identificar as características e necessidades dos agricultores de base familiar, de suas propriedades e dos sistemas de cultivo. Alguns desses estudos foram realizados nos municípios de Pelotas (STORCH *et al.*, 2004), Pelotas, Arroio do Padre, Canguçu, Turuçu e Morro Redondo (TEIXEIRA *et al.*, 2009), Canguçu, São Lourenço do Sul, Herval e Jaguarão (STEFANELLO *et al.*, 2009; MACHADO *et al.*, 2010a), Pelotas, Morro Redondo e Turuçu (ANDERSSON, 2010), Tavares, São José do Norte, Rio Grande (OLDONI, 2012) e Pelotas, São Lourenço do Sul, Canguçu e Morro Redondo (CALDEIRA *et al.*, 2011). Foi demonstrado que a área total é de no máximo 20 ha e a área utilizada para cultivos é de até 10 ha para mais da metade das propriedades desses agricultores. Dependendo da região, mas principalmente nas propriedades agroecológicas, são predominantes áreas de cultivo menores e uso intensivo de trabalhos manuais ou com equipamentos de

tração humana (STORCH *et al.*, 2004; TEIXEIRA *et al.*, 2009; CALDEIRA *et al.*, 2011).

Dentre os principais produtos de lavouras temporárias, produzidos por esses agricultores, destacam-se o milho, cultivado em praticamente todas as propriedades, seguido pelo feijão, presente em grande número de estabelecimentos. Para alguns grupos de agricultores, além de outros equipamentos, a semeadora de milho e feijão se apresentou como a maior necessidade. Para a semeadura dessas culturas, na maioria das vezes são utilizadas as semeadoras manuais. A menor utilização de semeadoras de tração mecânica (trator) e a grande utilização da semeadora manual pode ser justificada pela pouca oferta deste tipo de máquina adaptada às pequenas propriedades e ao elevado valor das semeadoras de tração mecânica. O tipo de cultivo predominante é o convencional, fato este que se repetiu em maior ou menor grau em todas as localidades. Há interesse de viabilizar a implantação do sistema de semeadura direta e em vários momentos é mencionada a necessidade de semeadoras para esse fim. Em relação aos equipamentos agrícolas, os agricultores citam como necessidades ou expectativas, melhor desempenho, eficiência, praticidade, conforto, rapidez nas operações e baixo custo de aquisição (STORCH *et al.*, 2004; TEIXEIRA *et al.*, 2009; STEFANELLO *et al.*, 2009; MACHADO *et al.*, 2010a; ANDERSSON, 2010; CALDEIRA *et al.*, 2011; OLDONI, 2012).

A AF, através do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e do Programa Mais Alimentos, tem ampliado a mecanização de suas atividades agropecuárias com a aquisição de equipamentos. Entretanto, há carência de máquinas e implementos de baixa potência apropriados às condições desses agricultores. Os equipamentos disponíveis provêm de fabricantes de pequeno porte ou são importados, o que gera insegurança sobre vários aspectos. O emprego de máquinas agrícolas inadequadas pode trazer prejuízos nos campos técnico, econômico e ambiental. Dentre os principais problemas destacam-se os relacionados aos custos, operação, manutenção, eficiência, durabilidade, além de compactação e erosão do solo e contaminação química do solo e da água (MACHADO *et al.*, 2010b).

Portanto, a Agricultura Familiar necessita de apoio na apropriação de tecnologia e informações, o que pode ser alcançado com investigação de suas principais necessidades e desenvolvimento de projetos de máquinas para atendê-las.

2.2 Semeadoras manuais e de tração humana

Em trabalhos que demandam baixa potência, a força humana é empregada com sucesso. Pode-se aplicá-la no uso e acionamento de ferramentas agrícolas simples, como enxadas, ancinhos, podadores, ou no transporte e acionamento de equipamentos operados por alavancas, como é o caso das semeadoras manuais. São denominados equipamentos manuais ou de tração humana aqueles acionados ou tracionados apenas com a força muscular humana (GARCIA, 2012).

O homem sob esforço contínuo pode desenvolver, aproximadamente, uma potência de 0,1cv em um período de oito horas. Uma pessoa pode tracionar ou empurrar aproximadamente 55kgf e, com apoio em suportes com rodados essa capacidade é igual ao próprio peso para distâncias curtas e metade disso para longas distâncias. Apesar da baixa disponibilidade de potência, o homem tem a vantagem de atuar racionalmente na execução de trabalhos com ferramentas manuais, corrigindo falhas em tempo real (CAMPBELL, 1990; BERETTA, 1998).

As pequenas propriedades agrícolas são geralmente caracterizadas por disponibilidade de fontes de baixa potência, muitas vezes acompanhada por recursos financeiros limitados. A utilização de máquinas e implementos de grande porte não é prática nem possível para muitos agricultores que cultivam pequenas áreas. Por estas razões a maioria desses agricultores utiliza dispositivos de tração humana ou de operação manual como semeadoras manuais (RIBEIRO *et al.* 2006).

Em municípios da Metade Sul do estado do Rio Grande do Sul, muitos agricultores familiares utilizam apenas a força humana para as operações agrícolas. Nessa região são frequentes as situações onde é realizado o preparo primário do solo com implementos tracionados por trator (alugado ou da prefeitura) ou animais e em seguida é realizada a semeadura com semeadoras manuais ou enxadas. São várias as máquinas e implementos agrícolas necessários aos agricultores, destacando-se a semeadora de milho e feijão, adequada principalmente à semeadura direta (SANTOS *et al.*, 1998; TEIXEIRA, 2008; TEIXEIRA *et al.*, 2009; STEFANELLO *et al.*, 2009; MACHADO *et al.*, 2010a).

As semeadoras manuais têm baixo custo de aquisição, facilidade de operação, menor mobilização do solo e demanda de potência, pequeno tamanho e massa, possibilidade de desviar pedras e tocos, operando em terrenos declivosos, pedregosos, em semeadura consorciada e direta. Apesar dessas vantagens, as

semeadoras manuais falham em aspectos ergonômicos, capacidade operacional e precisão de dosagem, resultando em baixa produtividade de grãos (MOLIN; D'AGOSTINI 1996).

Avaliando o desempenho de 15 semeadoras manuais utilizadas por agricultores brasileiros, Molin, Menegatti e Gimenez (2001) encontraram grande irregularidade na vazão do mecanismo dosador das diferentes máquinas, sendo poucas as que apresentaram comportamento satisfatório. Os baixos índices de acerto, alto coeficiente de variação entre repetições e alto desvio-padrão obtidos por algumas semeadoras indicaram problemas estruturais e falhas nos mecanismos dosadores, que permitiam a ocorrência de grandes variações no número de sementes depositado por ciclo. Segundo os autores, a qualidade construtiva e acabamentos das máquinas e mecanismos dosadores são essenciais para melhor regularidade na dosagem de sementes.

Além das semeadoras manuais portáteis, há ainda as semeadoras manuais de empurrar, que foram inicialmente projetadas para trabalhar em sistemas de semeadura convencional, requerendo preparo do solo para um funcionamento satisfatório (LEONARD, 1981). A partir dos primeiros modelos de semeadoras de empurrar, foram inseridas inovações nos mecanismos de abertura de sulco, tipos de rabiças, dosadores, materiais e outros componentes. Essas semeadoras, em termos de tipo de componentes, são muito semelhantes aos modelos de tração mecânica encontradas no mercado.

Outra inovação introduzida nos projetos de semeadoras de empurrar foi a utilização dos puncionadores. Nas semeadoras dotadas desses componentes não é criado um sulco no solo, mas sim uma série de orifícios onde uma ou mais sementes são colocadas. Essas semeadoras são comumente utilizadas para estabelecer culturas em pequena escala, em sistemas de produção agrícola com poucos recursos. A maioria dessas máquinas usa um dosador de sementes e um depósito de onde as sementes são transferidas para o puncionador para deposição direta no solo. Normalmente possuem múltiplos puncionadores montados em torno de um cilindro ou roda e algumas foram concebidas com um único puncionador vertical alternativo para efeito de colocação de sementes ao longo da linha (MURRAY; TULLBERG; BASNET, 2006).

Até o final do século passado pouca pesquisa havia sido dedicada ao desenvolvimento da semeadura em covas e, no caso da tração animal, praticamente

não havia utilização deste tipo de equipamento (SCHEIDTWEILER 1999). O autor avaliou um protótipo que utilizava um conceito com pás abridoras de covas dispostas radialmente em torno de uma roda com angulação horizontal e vertical. O equipamento atendeu satisfatoriamente as necessidades dos agricultores em relação ao SSD, perturbando minimamente a palhada sobre o solo e permitindo a supressão de plantas daninhas sem uso de herbicidas.

Alguns protótipos foram desenvolvidos visando colocar uma única semente por cova, trabalhando em velocidades equivalentes a de uma caminhada normal e exigindo menor esforço humano do que com as semeadoras manuais portáteis. A velocidade e, em consequência, a capacidade de campo, pode ser facilmente dobrada. Em termos de aspectos ergonômicos, o operador não necessita carregar a máquina, apenas empurrá-la (MOLIN; D'AGOSTINI, 1996).

Jayan e Kumar (2006) desenvolveram e testaram os componentes principais de uma semeadora puncionadora para milho, com portas ativas acionadas por cames em laboratório, sob condição estática, utilizando bancada e caixas de solo (Vertissolo). O desempenho do mecanismo foi avaliado em termos de profundidade de deposição de sementes, padrão de deposição de sementes e distância entre covas para diferentes velocidades, regulagens de profundidade e teores de água no solo. Os resultados indicaram que o ajuste de profundidade e velocidade de avanço influenciaram o padrão de deposição de sementes e que o teor de água do solo não afetou o número de sementes depositadas nas covas.

Na tentativa de solucionar o problema do ajuste de espaçamentos entre covas em semeadoras puncionadoras rotativas, Molin (2002) apresentou um estudo sobre um protótipo, desenvolvido com base em trabalhos anteriores, capaz de ajustar o seu diâmetro de modo que as pontas alterassem a distância entre si, produzindo espaçamentos entre 0,16 e 0,21m. A ideia é baseada em um conjunto de duas placas opostas com ranhuras em espiral e uma terceira placa com ranhuras radiais entre essas duas. Com um esforço externo as pontas anexadas às placas deslizantes irão expandir ou contrair.

O interesse nos puncionadores é facilmente explicado pela sua menor demanda energética, principalmente quando comparados aos dispositivos de abertura de sulco contínuo no solo. Essa diferença pode ser facilmente compreendida, analogamente, a partir da comparação dos discos de corte dos tipos dentado (com pontas em forma de cunha), recortado e liso. Bianchini e Magalhães

(2008) avaliaram os esforços atuantes nesses três tipos de discos de corte operando a 0,08m de profundidade sobre palha de cana de açúcar. Constataram que, em relação aos discos lisos (Fig. 1-C), os discos dentados (Fig. 1-A) demandam apenas 35% da força vertical e horizontal. Os discos recortados (Fig. 1-B) necessitam um pouco mais (60% e 64% respectivamente) em relação aos discos lisos. As forças verticais e horizontais demandadas pelos discos lisos são respectivamente de 360kgf e 94kgf e dos discos dentados de 124kgf e 32kgf.

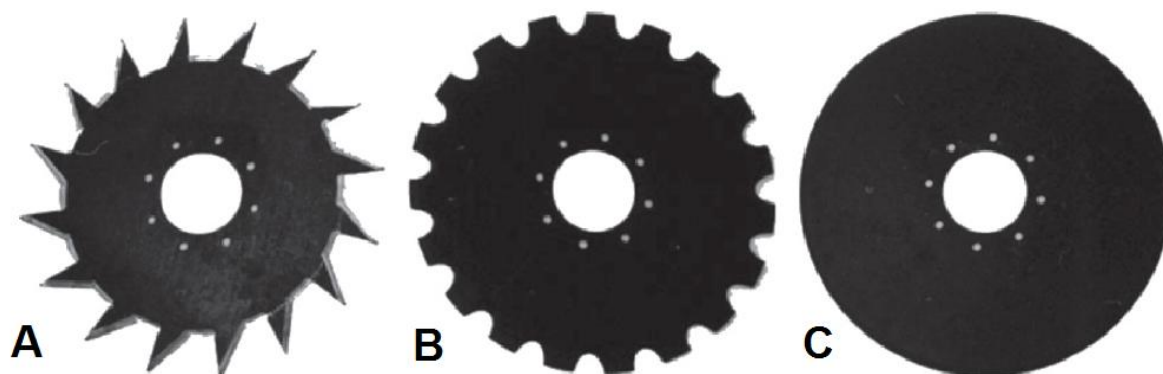


Figura 1 – Discos de corte dentado (A), recortado (B) e liso (C), todos com mesmo diâmetro externo e central. Fonte: Bianchini & Magalhães, 2008.

Na avaliação de uma semeadora-adubadora de tração animal realizando semeadura direta de feijão, Almeida e Silva (1999) obtiveram dados médios de 75kgf de esforço de tração para cada linha da semeadora. Considerando os dados de Bianchini e Magalhães (2008) (condições mais severas devido à palha de cana de açúcar em sistema intensivo de mecanização) relativos ao esforço de tração de 94kgf por disco (liso) podemos estimar uma demanda em torno dos valores de tração para o disco dentado para uma semeadora puncionadora, que corresponderia a 32kgf. Essa demanda de tração demonstra compatibilidade com a capacidade do ser humano realizar trabalho.

Superadas algumas limitações de projeto, a utilização de semeadoras puncionadoras possibilitaria uma série de vantagens aos agricultores. Essas máquinas representam um grande potencial de redução do consumo energético na operação de semeadura direta (MURRAY; TULLBERG; BASNET, 2006). A disponibilidade de semeadoras de baixo custo, eficientes, de fácil operação e manutenção, viabilizaria o aumento da produtividade e consequentemente da renda do agricultor, facilitando sua inclusão no mercado de um modo socialmente mais justo (TEIXEIRA, 2008).

2.3 Aspectos agronômicos da semeadura de milho

O Rio Grande do Sul participa com 8,2% da área cultivada no país e aproximadamente 20% do total das áreas semeadas no estado. As unidades de produção familiares cultivam milho para o mercado ou para consumo na propriedade, transformando-o em carne, ovos e leite (FEPAGRO; EMATER-RS/ASCAR, 2011).

A forma e tamanho das sementes de milho interferem no ajuste das semeadoras, podendo afetar a velocidade e a porcentagem de germinação. Pesquisas indicam vantagens do uso de sementes maiores, especialmente se semeadas em maior profundidade (RODRIGUES; GUADAGNIN; PORTO, 2009; FEPAGRO; EMATER-RS/ASCAR, 2011).

Para maximizar a interceptação da radiação solar, otimizar o seu uso e potencializar o rendimento de grãos, a manipulação do arranjo de plantas de milho, através de alterações na densidade de plantas, de espaçamento entre linhas, de distribuição de plantas na linha e na variabilidade entre plantas, é uma das práticas de manejo mais importantes. Teoricamente o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área. Espaçamentos equidistantes entre plantas, quando comparados aos convencionalmente utilizados, possibilitam maior eficiência no uso da água, com menor perda por evaporação pela melhor cobertura do solo, e melhor aproveitamento dos nutrientes devido ao maior volume de solo explorado pelas raízes. A redução do espaçamento e o aumento da densidade de plantas possibilita maior e mais rápida cobertura do solo, o que aumenta a competição da cultura e favorece a supressão das plantas daninhas (ARGENTA; SILVA; SANGOI 2001; BRACHTVOGEL, 2008).

O número de plantas por unidade de área é o que se entende por densidade de plantas, e seu valor ótimo (maior produtividade) é variável para cada situação, dependendo da cultivar e das disponibilidades hídrica e de nutrientes no solo. A densidade de plantas é a forma de manipulação do arranjo de plantas que mais interfere no rendimento de grãos. No entanto, aumentar a população de plantas por unidade de área, aumenta a demanda por nutrientes e água que, se não for devidamente suprida qualitativa e quantitativamente, reduz o diâmetro do colmo e há maior susceptibilidade a acamamento, quebramento e infecção por fungos (podridões do colmo e espiga) (BRACHTVOGEL, 2008; BRACHTVOGEL *et al.*,

2009; RODRIGUES; GUADAGNIN; PORTO, 2009; EMBRAPA, 2010; FEPAGRO; EMATER-RS/ASCAR, 2011).

A população recomendada varia de 40.000 a 80.000 plantas.ha⁻¹, dependendo da disponibilidade hídrica, da fertilidade do solo, do ciclo da cultivar, da época de semeadura e do espaçamento entre linhas (EMBRAPA, 2010). Para milho irrigado, incrementos acima de 80.000 plantas.ha⁻¹ proporcionam maior produtividade (SILVA *et al.*, 2010).

No Brasil é usual o espaçamento entre linhas de 0,8 a 1,0 m, adequado aos equipamentos existentes para semeadura, tratos culturais e colheita. Espaçamentos de 0,45 a 0,60m são utilizados principalmente para densidades de semeadura maiores que 50.000 plantas.ha⁻¹. A redução dessas dimensões não traz necessariamente aumento de produtividade, sendo ainda necessários ajustes à semeadura, à aplicação de tratos culturais e à colheita (RESENDE; VON PINHO; VASCONCELOS, 2003; CRUZ *et al.* (2007); EMBRAPA, 2010; FEPAGRO; EMATER-RS/ASCAR, 2011).

Na semeadura manual de milho é prática comum o estabelecimento de duas a três plantas por cova e, em geral, não há redução no rendimento de grãos de milho em relação à distribuição uniforme de sementes na linha, desde que seja mantida a mesma densidade de plantas. A produtividade de grãos obtida nesses casos varia de 6.000 a 9.000kg.ha⁻¹ (FEPAGRO; EMATER-RS/ASCAR, 2011). Segundo Brachtvogel (2008) e Brachtvogel *et al.* (2009), o desenvolvimento e a produtividade de plantas de milho é influenciada pela área alocada à planta, e não pela forma como é alocada, independentemente do arranjo espacial.

Nas semeaduras precoces ou em regiões mais frias deve-se utilizar menores profundidades de semeadura, entre 0,03 e 0,04m e em solos mais pesados, mal drenados ou com fatores que dificultam a emergência das plântulas, no máximo 0,05 m. Semeaduras nas épocas intermediária e tardia requerem maior profundidade, devido à maior temperatura do solo e para possibilitar que a umidade do solo seja adequada para a germinação e a emergência das plântulas. Já em solos mais leves ou arenosos, as sementes podem ser depositadas entre 0,05 e 0,07m de profundidade. Plantas que emergem tardiamente (dominadas), em relação às primeiras, são menos eficientes no aproveitamento dos recursos do ambiente (RODRIGUES; GUADAGNIN; PORTO, 2009; EMBRAPA, 2010; FEPAGRO; EMATER-RS/ASCAR, 2011).

2.4 Aspectos agronômicos da semeadura de feijão

A área cultivada atualmente com feijão no Estado é de 100.000 hectares contra 200.000 hectares no final da década de 1990. No entanto a produtividade média no Estado passou de 716kg.ha⁻¹ em 1990 para mais de 1000kg.ha⁻¹ nas últimas safras. No Rio Grande do Sul são utilizadas, além das variedades crioulas, cerca de 20 cultivares em sua maioria do grupo comercial preto (cerca de 90% do feijão produzido e consumido pelos gaúchos). Também é cultivado e consumido o feijão dos grupos carioca, rajado, rosinha ou roxinho, branco, pintado e demais grupos específicos (COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO, 2009).

Conforme o tipo de solo, a profundidade de semeadura pode variar de 0,03 a 0,04m para solos argilosos ou úmidos e de 0,05 a 0,06m para solos arenosos. Em períodos com temperaturas mais baixas deve-se utilizar profundidades de 0,03 a 0,04m, prevenindo o ataque de fungos do solo (EMBRAPA, 2003; COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO, 2009).

Espaçamentos de 0,40 a 0,60m entre fileiras e com 10 a 15 plantas por metro linear, em geral, proporcionam os melhores rendimentos. A taxa de aplicação de sementes varia numa faixa de 45 a 120kg.ha⁻¹ (EMBRAPA, 2003). O uso de populações de plantas maiores do que a recomendada pode ser uma prática útil no controle de plantas daninhas (JAUER *et al.* 2003). Schamne *et al.* (2002) encontraram maior rendimento com espaçamento de 0,30m em relação ao de 0,60m, recomendando no máximo, 0,50m entre fileiras.

Os espaçamentos mais convenientes e utilizados são de 0,4 e 0,5m. Espaçamentos de 0,3m são desaconselhados quando previsto controle mecânico de plantas concorrentes (daninhas) e espaçamentos de 0,6m são possíveis em solos com alta fertilidade. Para semeadura em covas os espaçamentos recomendados são de 0,4 a 0,5m entre linhas e de 4 a 5 covas por metro linear, contendo no máximo quatro sementes. Quando realizada a semeadura em linha, o número de sementes por metro varia de seis a 18 sementes, considerando espaçamentos de 0,3 a 0,6m entre linhas e populações entre 200.000 e 300.000 plantas.ha⁻¹ (COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO, 2009).

2.5 Metodologias de Projeto de Máquinas Agrícolas

Com a intenção de disponibilizar máquinas para práticas conservacionistas na agricultura, a indústria de máquinas agrícolas gerou e adaptou, preferencialmente, soluções à agricultura de média e larga escala. Foram desenvolvidas máquinas destinadas às médias e grandes propriedades rurais. Os equipamentos disponibilizados são de elevado custo, grande porte e altamente exigentes em termos de potência para sua tração. Apesar da disponibilidade de crédito para investimento, para a AF, as máquinas agrícolas comercializadas geralmente não são utilizáveis ou adequadas à realidade desses agricultores, apresentando sérias deficiências. Há, portanto, necessidade e oportunidade para melhoria destes equipamentos (TEIXEIRA, 2009; MACHADO *et al.*, 2010b; ROMEIRO FILHO, 2012).

As empresas fabricantes de pequenas máquinas agrícolas, incluindo as de tração humana ou manuais, são predominantemente de pequeno porte, consolidadas no mercado e com origem e controle familiar. Possuem uma gama de produtos diversificada, sendo o setor de fabricação o mais carente de qualificação. A inovação é baseada predominantemente em conhecimento próprio, buscando obter, em seus produtos, vantagens competitivas de qualidade e preço. Há baixo relacionamento externo em termos de arranjos institucionais e parcerias para suporte à inovação. Grande parte das informações e conhecimentos usados nesse processo vem da própria empresa, dos clientes, da assistência técnica e/ou revendas. A interação com instituições de ciência e tecnologia é geralmente restrita àqueles empresários que tiveram educação profissional formal. O *design*, documentação e dimensionamento dos produtos ainda são conduzidos de modo empírico e sem a adoção de técnicas e conhecimentos consagrados. Os processos de fabricação presentes na maioria dessas empresas são a forjaria, tratamento térmico, usinagem, corte e dobra, soldagem e pintura (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; FUENTES, 2008).

Segundo Romeiro Filho (2012), para a pequena propriedade a utilização de ferramentas de baixo custo e forte adequação tecnológica é essencial. Tendo em vista a necessidade de novas soluções adequadas à pequena escala de produção, deve-se compreender as necessidades e características bastante peculiares desse agricultor que, na maior parte das vezes, não possui domínio sobre sistemas

tecnológicos considerados avançados e apresenta restrições importantes em termos de condições temporais para o trabalho no campo. É indispensável considerar as reais necessidades dos agricultores (público tradicionalmente conservador), seus dados geográficos, climáticos, demográficos, culturais e sociológicos para adequadamente transferir e difundir novas soluções tecnológicas. Devem ser analisados vários aspectos, específicos do trabalho e da vida rural, para um projeto ligado ao meio agrícola, a partir de uma abordagem centrada no usuário.

Os projetos de máquinas destinados à agricultura familiar, a exemplo dos demais projetos de máquinas agrícolas, devem respeitar as premissas básicas dos parâmetros de engenharia relacionados à ergonomia, segurança, baixo custo operacional e de aquisição e pouca exigência de potência. Frente a isso, pesquisadores vêm adotando e desenvolvendo metodologias para o projeto de produtos e equipamentos mais adequados às necessidades dos seus usuários. Esses modelos de processo de projeto permitem o desenvolvimento de soluções considerando as funções do produto, segurança, aspectos econômicos, de montagem e fabricação. O projeto é orientado passo a passo desde a identificação do problema até a documentação final do produto (FONSECA, 2000; REIS, 2003; ALONÇO, 2004; ROZENFELD *et al.*, 2006; BACK, *et al.*, 2008; TEIXEIRA, 2008; BAXTER, 2011; OLDONI, 2012).

O Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos - NeDIP da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, através da compilação de vários outros modelos de processo de projeto, desenvolveu o Modelo de Fases. Esse é um dos mais utilizados no projeto de máquinas agrícolas, abordando as fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, conforme apresentado na Fig. 1 (OGLIARI, 1999; REIS 2003; OLDONI, 2012).

O referido modelo descreve detalhadamente as fases do processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas. O propósito da primeira fase é o estabelecimento das especificações de projeto do produto a ser desenvolvido e na segunda fase o objetivo é o desenvolvimento de concepções alternativas que atendam ao problema a ser resolvido (REIS, 2003; ROZENFELD *et al.*, 2006; BACK *et al.*, 2008).

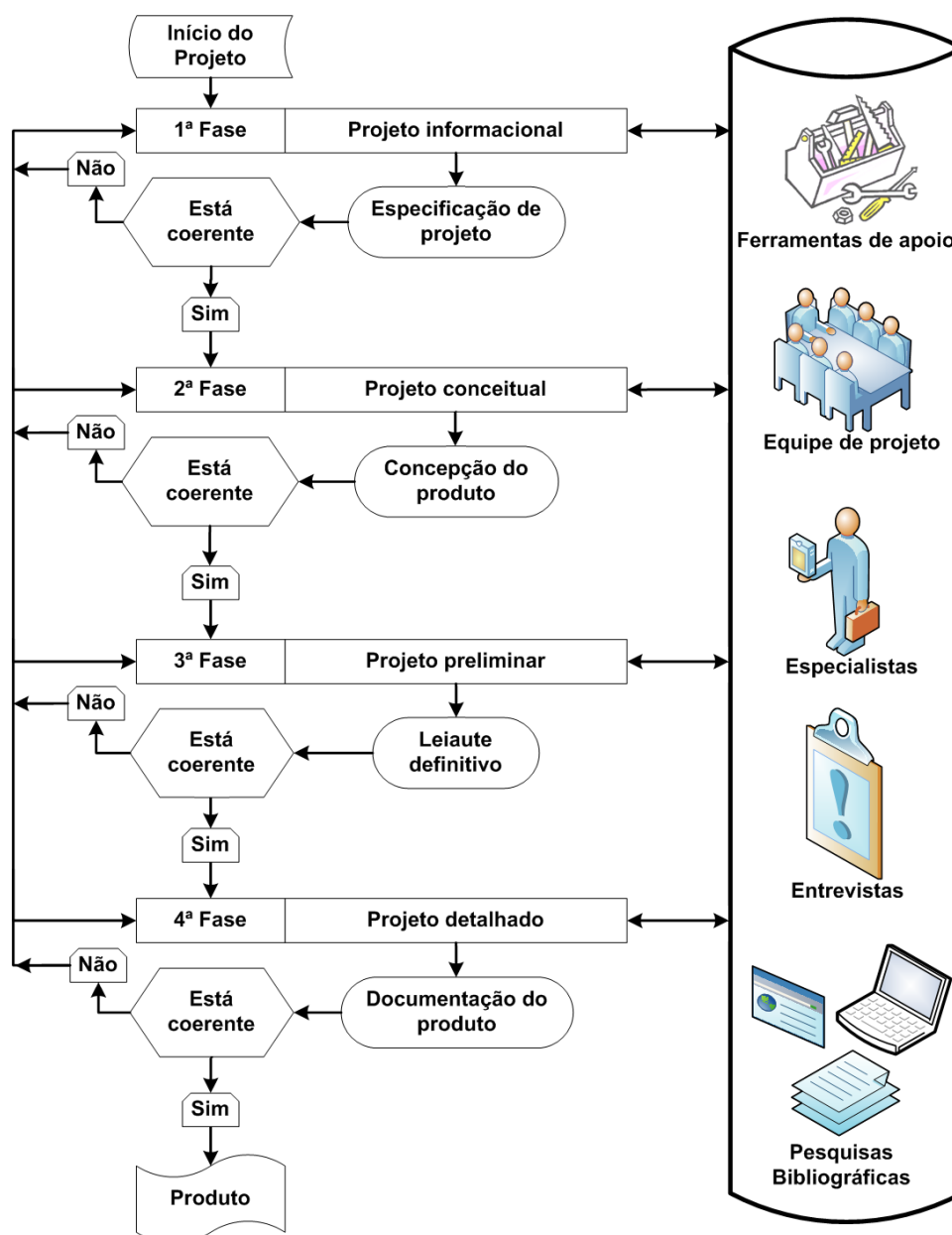


Figura 2 – Modelo do processo de projeto proposto pelo NeDIP. Fonte: Oldoni, 2012.

Na fase de projeto informacional realiza-se pesquisa por informações técnicas e de mercado para o produto a ser projetado. É definido o ciclo de vida do produto que engloba, além das fases de projeto, fabricação, montagem, embalagem, armazenagem, transporte, distribuição, comercialização, utilização, manutenção e retirada ou descarte do produto. São identificados os clientes (inclusive usuários) do produto, que são pessoas, órgãos ou instituições que têm interesse no produto e podem opinar, impor ou expressar exigências e necessidades com relação às características ou atributos do produto. Esses usuários ou clientes podem ser externos (que utilizam o produto), intermediários (que comercializam o produto) ou

internos (projeto e produção). A busca por informações relativas às necessidades dos usuários é baseada em alguns questionamentos:

- a) Qual a finalidade de desenvolver o produto?
- b) Quais os benefícios obtidos com o desenvolvimento?
- c) Quais melhorias trará o novo produto?

As necessidades dos usuários são desdobradas em características mensuráveis do produto e hierarquizadas em termos de importância. Conhecida como Matriz da Casa da Qualidade (Fig. 3), o QFD permite relacionar os requisitos dos usuários (clientes) com os de projeto, hierarquizando-os e permitindo priorizar os mais importantes durante as tomadas de decisão. Para cada uma dessas características é atribuído um valor meta, a forma de sua avaliação e condições indesejáveis (FONSECA, 2000; REIS, 2003; BACK, *et al.*, 2008).

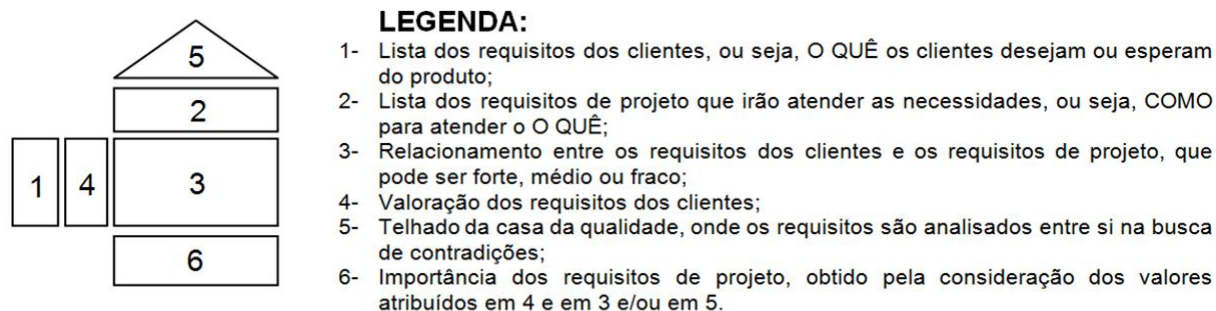


Figura 3 – Construção da matriz da casa da qualidade (QFD). Fonte: Adaptado de REIS (2003).

Na fase de projeto conceitual é estabelecida a estrutura funcional e atribuídos princípios de solução para as diferentes funções do produto. Esses últimos são combinados, formando diferentes concepções que serão avaliadas e selecionadas para melhor detalhamento e escolha da que melhor atende as necessidades dos usuários. A partir de decisões tomadas no projeto informacional e no projeto conceitual, começa-se a definir o leiaute do produto (arquitetura), cuja configuração definitiva ocorre na fase de projeto preliminar com a lista de materiais, processos de fabricação e de montagem geral, bem como o projeto de componentes. O resultado físico dessa fase são desenhos técnicos, construção de um protótipo, teste e análise de falhas. Na fase de projeto detalhado é disponibilizada toda a documentação técnica necessária à sua produção. Em outras palavras, são detalhados os procedimentos de fabricação e montagem, especificadas as características dos materiais, novos componentes e componentes padronizados (ROZENFELD *et al.*, 2006; BACK *et al.*, 2008, BAXTER, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram realizadas as fases de projeto informacional e projeto conceitual, que fazem parte do modelo de processo de projeto proposto pelo NeDIP, conhecido como Modelo de Fases. A metodologia utilizada foi baseada nos trabalhos de Fonseca (2000), Reis (2003), Rozenfeld *et al.* (2006), Back *et al.* (2008), Teixeira (2008) e Oldoni (2012). Para a execução das fases de projeto montou-se uma equipe composta por docentes e discentes do Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas – NIMEq do Departamento de Engenharia Rural – DER da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. A equipe era composta por quatro integrantes permanentes, sendo dois professores com mestrado e doutorado em diferentes áreas, um engenheiro agrícola (mestrando) e um técnico em agropecuária cursando Engenharia Agrícola. Buscando maior interdisciplinaridade, eventualmente participavam outros membros como agricultores, estudantes (graduandos, mestrandos e doutorandos), engenheiros agrônomos, engenheiros agrícolas, engenheiros mecânicos, técnicos em agropecuária, dentre outros.

3.1 Projeto Informacional

Na fase de projeto informacional analisou-se detalhadamente o problema de projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao seu pleno entendimento. Foi definido o ciclo de vida da semeadora e seus respectivos clientes. As necessidades dos clientes foram identificadas por meio de pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos similares e consulta a especialistas. Com relação aos usuários externos, através de pesquisa bibliográfica, foram analisados resultados de caracterização e levantamento de necessidades de agricultores do RS por Storch *et al.* (2004), Teixeira *et al.* (2009), Stefanello *et al.* (2009), Andersson (2010), Machado, *et al.* (2010a), Caldeira, *et al.* (2011), e Oldoni (2012), direcionados a agricultores de base familiar, estabelecidos em municípios da Metade Sul gaúcha. Também foram consultados especialistas de instituições de pesquisa e extensão

rural. Em relação aos usuários internos, foram identificadas limitações e possibilidades quanto à fabricação e disponibilidade de materiais e componentes através de revisão bibliográfica, bem como para identificar as necessidades dos usuários intermediários.

As necessidades dos clientes (linguagem subjetiva) foram convertidas em requisitos de clientes (linguagem de engenharia). Essa tarefa foi realizada pela equipe de projeto, originando frases curtas compostas dos verbos “ser”, “estar” ou “ter” seguidos de um ou mais substantivos ou outro verbo diferente associado a um substantivo.

Os requisitos de clientes foram convertidos pela equipe em requisitos de projeto (parâmetros, grandezas físicas, funções e restrições) através de uma lista de atributos de qualidade do produto. Os requisitos de projeto foram hierarquizados através da aplicação da ferramenta QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade), utilizando-se para isso o *software* WinQFD, desenvolvido por pesquisadores do NeDIP/UFSC e disponibilizado gratuitamente. Para aplicar o QFD, os requisitos dos clientes foram valorados através do Diagrama de Mudge. Essa valoração, em ordem de importância, foi utilizada para preenchimento do campo 4 do QFD (Fig. 3).

Comparou-se cada requisito das linhas com todos os requisitos das colunas, exceto os iguais, um a um, até obter-se o somatório individual de pontos. A equipe decidiu qual requisito do par era o mais importante e o nível de importância, atribuindo valores de 1 (A), 3 (B) ou 5 (C). Tendo-se o somatório dos pontos de cada requisito de usuários, estes foram divididos em cinco categorias, configurando a valoração dos requisitos dos clientes, com valores inteiros de um a cinco.

Após a obtenção dos requisitos de clientes (valorados) e requisitos de projeto, aplicou-se a ferramenta QFD, onde cada um dos requisitos de projeto foi comparado com os requisitos dos clientes quanto ao grau de relacionamento, sendo atribuídos valores de 0; 1; 3 ou 5, preenchendo o campo 3 da matriz (Fig. 3). Foi utilizado o seguinte procedimento: (a) iniciando pelo primeiro “COMO”, perguntava-se – pode esse “COMO” influenciar esse “O QUÊ”? Esse “O QUÊ” afeta esse “COMO”? (b) quando a equipe respondia sim a uma das perguntas anteriores, perguntava-se – a relação é fraca, média ou forte? (c) passava-se à análise do próximo “O QUÊ”, repetindo-se o procedimento anterior, ao chegar-se ao último item, passava-se para o próximo “COMO”.

Para cada requisito de projeto foi realizado o somatório do produto dos valores obtidos na comparação, dos requisitos de projeto com os de clientes, pela valoração obtida no Diagrama de Mudge. A classificação foi determinada pela pontuação obtida gerando-se a primeira hierarquização, que não considera o critério do telhado.

Na parte superior da matriz ou telhado foram correlacionados os requisitos de projeto. Os requisitos de projeto foram confrontados, procurando-se identificar qual o efeito da obtenção individual de cada um deles sobre todos os demais. Quando a maximização desejada de um requisito levava a um aumento, também desejável, em outro requisito considerou-se a correlação positiva entre eles. Quando ocorria o contrário e a maximização de um requisito causava um decréscimo indesejado em outro, considerou-se a correlação entre eles negativa (conflitante). Adotou-se valores de 3 para “Fortemente positivo”, 1 para “Positivo”, 0 para “Nenhum”, -1 para “Negativo” e -3 para “Fortemente negativo”. Esses valores foram somados para cada um dos requisitos de projeto e totalizados juntamente com os valores da primeira hierarquização, obtendo-se a segunda hierarquização, devendo a equipe decidir qual deveria ser adotada.

Para obtenção das especificações de projeto foi aplicado o quadro de especificações, associando os requisitos de projeto à meta a ser atingida (quantitativa) à forma de avaliação da meta estabelecida e aos aspectos a serem evitados. A lista de especificações foi dividida em três partes (terços superior, médio e inferior) em ordem decrescente de importância.

3.2 Projeto conceitual

Inicialmente foi realizada a verificação do escopo do problema, objetivando fazer um estudo compreensivo do problema num plano abstrato. Buscando eliminar preferências pessoais e generalizar o problema, enfatizou-se o que era essencial, permitindo que a formulação da função global e o entendimento das restrições essenciais fossem claros sem considerar soluções no momento. Através da abstração e da análise das especificações de projeto foi identificada a natureza do problema e identificadas possíveis restrições.

Foi estabelecida a estrutura funcional de maneira abstrata, através das funções que a semeadora deve realizar. Inicialmente foi estabelecida a função global

da máquina baseada no fluxo de material, energia e sinal. A partir da função global, foram feitos os desdobramentos em funções parciais, auxiliares e elementares, formulando-se estruturas funcionais alternativas, em forma de diagrama de blocos, das quais foi escolhida a mais adequada. Para selecionar as estruturas funcionais foi utilizada a Matriz de Decisão, com base nos requisitos técnicos e de custo mais importantes, os quais derivam dos requisitos de projeto (QFD) e dos clientes (Mudge).

Através da utilização do método da matriz morfológica, auxiliada por pesquisa bibliográfica e análise de sistemas técnicos existentes, foram pesquisados princípios de solução, na forma de efeitos físicos e portadores de efeito físico, para as subfunções da estrutura funcional. Nessa matriz foram dispostas as funções elementares com seus respectivos princípios de solução, que foram combinados para atender as especificações e restrições do projeto.

A seleção das melhores combinações foi dividida em quatro partes:

- a) Julgamento da viabilidade: com base na experiência da equipe, foi determinado se a combinação era *não viável, condicionalmente viável, deve ser considerada (viável)*;
- b) Avaliação de disponibilidade de tecnologia: baseada no estado da arte buscou-se responder aos questionamentos sobre processos de produção, parâmetros funcionais críticos e sua sensibilidade, modos de falha, dentre outros;
- c) Exame passa/não passa: baseado em questionamentos, referentes às necessidades dos usuários, para cada combinação que foram respondidos com *sim* ou *possivelmente* (passa) ou *não* (não passa);
- d) Matriz de avaliação: baseando-se em critérios elaborados a partir das necessidades dos clientes, as combinações restantes foram comparadas entre si, com base em uma combinação de referência (escolhida pela equipe).

As combinações de princípios de solução escolhidas foram detalhadas através de representação gráfica e simulação através de programas computacionais. Aplicando-se o método da matriz de avaliação, nesse caso utilizando os requisitos de projeto e uma concepção como referência, foram comparadas as concepções. Os pesos utilizados para os requisitos de projeto foram suas percentagens de

pontuação obtidas no QFD e os escores utilizados para a avaliação do atendimento dos requisitos em relação à referência foram:

- a) +2, muito melhor;
- b) +1, melhor;
- c) M, da mesma forma;
- d) -1, de modo pior;
- e) -2, de modo muito pior.

Para o cálculo dos pesos totais, multiplicou-se cada escore pelo peso do requisito de projeto analisado, e após foram somados os resultados de cada concepção. A melhor concepção de equipamento foi aquela que obteve a maior pontuação e, portanto, escolhida para a continuidade do projeto, através da sua evolução e aprimoramento, finalizando a fase de projeto conceitual.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Necessidades dos clientes do projeto

A partir da definição do produto a ser projetado, foram identificadas as fases do ciclo de vida da sementeira e seus respectivos clientes (Tabela 1).

Tabela 1 – Fases do ciclo de vida e clientes da sementeira.

FASES DO CICLO DE VIDA	CLIENTES		
	Internos	Intermediários	Externos
PROJETO	Equipe de projeto		
TESTES	Equipe de projeto, agricultores, técnicos de centros de pesquisa		
PRODUÇÃO (compras, fabricação, montagem)	Oficinas, serralherias, agricultores e posteriormente empresas fabricantes		
COMERCIALIZAÇÃO (marketing, armazenagem, distribuição, vendas)		DER, associações e cooperativas de agricultores e revendas	
USO (regulagem, operação, manutenção)		Assistência técnica, extensionistas, instituições de pesquisa, DER	Agricultores
RETIRADA (descarte, reciclagem, reutilização)			Agricultores, oficinas, serralherias, revendas, desmanches

Focando nas fases do ciclo de vida da semeadora, foram direcionados estudos acerca do que se necessita conhecer sobre o relacionamento dos clientes com o equipamento (Tabela 2).

Tabela 2 – Informações a serem obtidas nas fases do ciclo de vida da semeadora.

FASES DO CICLO DE VIDA	O QUE SE NECESSITA CONHECER
Projeto	O que é mais importante quando se considera a precisão funcional da semeadora. Aspectos desejáveis (e indesejáveis) na semeadora.
Produção	Características de fabricação desejáveis. Características de montagem desejáveis. Materiais facilmente encontrados e pré-conformados.
Comercialização	Vantagens da utilização de semeadora de precisão. Custos relativos à aquisição. Motivação da compra.
Uso	Principais problemas das semeadoras manuais. Características operacionais desejáveis. Aspectos de operação e regulagem. Aspectos de manutenção (mão de obra, frequência, custo, acessos, ferramental).

Quanto à caracterização (tab. 3) e levantamento de necessidades de agricultores do RS, a partir dos estudos indicados na metodologia e apresentados na revisão de literatura, foram obtidos dados nos municípios de Arroio do Padre (1), Canguçu (2), Herval (3), Jaguarão (4), Pelotas (5), Morro Redondo (6), Rio Grande (7), São José do Norte (8), São Lourenço do Sul (9), Tavares (10) e Turuçu (11).

A renda bruta e a disponibilidade em investir em novos equipamentos, por parte dos agricultores (usuários), são diversas. As culturas do milho e do feijão, destinadas, em grande parte, para subsistência, consumo na forma de alimento para animais ou mesmo para a família, não demonstra claramente seu valor financeiro. Portanto a equipe de projeto equacionou os custos de fabricação em função do ganho em desempenho técnico das culturas pela utilização da semeadora em pequenas áreas de cultivo. Ou seja, quanto se ganha em produtividade, obtendo-se estandes adequados, com a utilização da semeadora.

Tabela 3 – Características das propriedades rurais, em porcentagem, de alguns municípios da Metade Sul do RS, de acordo com diferentes autores.

Autor	A (ha)	AC (ha)	SC	M	F	SM
Storch <i>et al.</i> 2004 α	79% < 20 * M: 18,9	* M: 5,6 α * M: 3,1 #	-	-	-	-
Teixeira, <i>et al.</i> 2009 α	70% < 20	65% < 5	83%	24%	16%	78%
Stefanello <i>et al.</i> 2009 #	76% < 30	82% < 15	67%	95%	68%	54%
Andersson, 2010 #	* V: 8 a 52 * C: 10 a 30 * M: 29	* V: 3 a 27 * M: 14	-	26%	23%	-
Machado <i>et al.</i> 2010 #	56% < 20	63% < 10	85%	100%	80%	68%
Caldeira <i>et al.</i> 2011 α	65% < 20	83% < 10	88%	87%	70%	-
Oldoni, 2012 ©	58% < 25	-	-	58%	63%	-

Onde: α : agricultores praticantes da agricultura agroecológica; #: agricultores praticantes da agricultura convencional; ©: produtores de cebola; A: área total da propriedade em hectares; AC: área utilizada para cultivos anuais; SC: utiliza sistema convencional de cultivo; M: cultiva milho; F: cultiva feijão; SM: utilização de semeadoras manuais.

* V: variação em hectares; C: maior concentração em hectares; M: média em hectares

Quanto à implantação das culturas de feijão e milho, o tipo de sementes utilizadas compreende as cultivares recomendadas, sementes crioulas, reproduzidas pelos agricultores, e em alguns casos, cultivares não recomendadas de feijão. Essas sementes podem ou não ser classificadas por tamanho, dependendo de sua origem e disponibilidade de equipamentos para essa tarefa no caso de reprodução dessas sementes pelo próprio agricultor.

Outra necessidade dos agricultores é que a máquina permita a semeadura direta de mais de uma cultura. Dessa forma, a densidade populacional (número de plantas por hectare) é determinante para o projeto da semeadora no que tange à densidade de plantas na linha de semeadura. Mesmo possuindo apenas uma linha de semeadura, a largura entre linhas adotada determinará qual o espaçamento entre plantas deverá ser utilizado. Como a semeadora será necessariamente

puncionadora, a partir da densidade de plantas por hectare se chegará à distância entre os puncionadores.

Para que sejam alcançados os melhores desempenhos técnicos das culturas do milho e do feijão (quantitativo e qualitativo), a semeadora deve realizar com precisão a dosagem de sementes com mínima danificação das mesmas. Deve também acondicionar adequadamente as sementes no solo a profundidades regulares. Essa necessidade ficou claramente demonstrada, em função das densidades populacionais em lavouras das referidas culturas, o que foi confirmado por extensionistas e pesquisadores da região.

O arranjo espacial de plantas mais próximo à equidistância entre estas pode proporcionar aumento de produtividade nas culturas do milho e do feijão. Promove ainda uma melhor condição para as culturas principais suprimirem as plantas concorrentes (daninhas), pois com um correto manejo é possível suprimi-las associando a cobertura vegetal com a melhor distribuição espacial das plantas da cultura. Com isso é possibilitada a mitigação da utilização de agrotóxicos.

Constatou-se que, eventualmente, é necessário transitar entre as fileiras para realizar tratos culturais, como a capina, a adubação e a pulverização. No entanto, há casos em que não são realizados tratos culturais nessas plantações. Desta forma definiu-se uma limitação quanto ao espaçamento mínimo entre as linhas de semeadura, que inicialmente deve ser maior que 0,4 m para o feijoeiro, aproximadamente o espaço necessário para uma pessoa transitar entre as fileiras de plantas com os equipamentos. No caso do milho essa distância deve ser maior, devido à maior estatura da cultura que forma um corredor estreito devido às folhas que, geralmente, são cortantes e causam ferimentos leves (porém incômodos) nos braços dos trabalhadores. Entretanto, a redução do espaçamento entre linhas deve ser considerada, pois traz alguns benefícios convenientes aos agricultores, como distribuição mais equidistante das plantas e, conseqüentemente, melhor aproveitamento da água e nutrientes disponíveis no solo e cobertura mais rápida do solo, suprimindo plantas concorrentes.

As culturas são cultivadas em diferentes distâncias entre linhas, e para que a semeadora realize a operação de semeadura de milho e feijão, nas diversas condições de trabalho, é necessário que a mesma permita ajustes na forma de regulagens. As regulagens por sua vez devem ser fáceis de serem realizadas e de forma intuitiva. As mesmas têm de permitir ajustes dentro dos limites aceitáveis,

minimizando as chances de regulação incorreta, o que acontece frequentemente com muitos agricultores na prática da semeadura.

A operação de semeadura deve ser realizada facilmente e em menor tempo em relação às semeadoras manuais portáteis existentes. O equipamento tem que ser montado e desmontado com rapidez e facilidade sem causar ferimentos durante seu manuseio. A questão da segurança abrange dois aspectos principais, os acidentes com o equipamento e a saúde ocupacional. O primeiro refere-se à forma de condução e operação associada a características da máquina, como arestas ou pontas perfurocortantes e a massa total do equipamento. O segundo é referente à ergonomia e, embora a semeadura seja realizada em curtos períodos durante o ano, pode trazer consequências sérias para a saúde de seus usuários. São frequentes as dores musculares após a realização de operações agrícolas, principalmente quando a fonte de potência é o homem. São, portanto, importantes o comportamento postural e demanda energética impostos para acionar ou transportar a semeadora.

Em semeadura direta, utilizando-se apenas a força humana, a exigência energética deve ser limitada às condições físicas normais de uma pessoa. Para tanto, a utilização de uma semeadora que abre um sulco contínuo fica descartada, visto que demandaria esforço sobre-humano (75kgf). A alternativa mais plausível aponta para a utilização de semeadoras puncionadoras. Prova disso é a utilização massiva das semeadoras manuais em covas em SSD com relativo sucesso. A massa total da semeadora terá forte influência nos aspectos de saúde e segurança do operador, devendo ser obrigatoriamente dimensionada com essas restrições.

Mecanismos de semeadoras são menos precisos e desgastam prematuramente quando trabalham com maiores velocidades. A manutenção desses equipamentos deve ser realizada de maneira rápida, fácil e com baixo custo. Em caso contrário, a manutenção provavelmente não será realizada, comprometendo o desempenho da semeadora e, conseqüentemente, das culturas implantadas. Se a manutenção for negligenciada, a durabilidade da máquina pode ser reduzida e ocasionar falhas ou quebra da mesma. É importante para os usuários que a semeadora seja durável, não o obrigando a reinvestir frequentemente nesse equipamento. Os componentes da máquina devem suportar as condições de uso (abrasão, impacto, torções) nas diversas condições presentes nas lavouras como, por exemplo, terrenos declivosos e pequenos ressaltos e depressões.

Nas propriedades rurais podem ser encontradas diversas ferramentas, sendo algumas equipadas com oficinas completas. No entanto, a maioria delas possui um número limitado de ferramentas ou quando os equipamentos estão em uso (na lavoura), provavelmente estarão a uma distância que demandaria muito tempo até buscá-las. Assim, é necessário que regulagens e montagens da máquina possam ser realizadas sem utilização de ferramentas, agilizando essas tarefas.

Quanto ao processo produtivo da semeadora, foi constatado que as empresas não teriam dificuldade em fabricar e montar uma semeadora que tivesse componentes tradicionalmente presentes nas máquinas agrícolas em geral, os quais são encontrados nas principais cidades do interior do estado, o que favorece a logística. Essas empresas fabricantes possuem uma ampla gama de profissionais e equipamentos. Além disso, há na região instituições de ensino técnico e superior para formação de profissionais dessa área, o que permite intercâmbio tecnológico com essas empresas. No entanto, algumas oficinas e serralherias trabalham com baixos níveis de precisão, o que demanda uma concepção passível de fabricação por essas pequenas empresas, equipadas com máquinas e ferramentas mais simples e profissionais com menor grau de instrução. Uma concepção adequada a essas necessidades permitiria a descentralização de sua fabricação, o que para o agricultor representa mais uma opção para aquisição do equipamento.

O problema de projeto foi definido como: proporcionar aos agricultores de base familiar do RS a semeadura de milho e feijão com precisão, através de uma semeadora manual ou de tração humana, auxiliando no processo de transição do sistema convencional para o sistema de semeadura direta.

Para os mecanismos amplamente utilizados nos modelos comerciais de semeadoras existe conhecimento satisfatório sobre seu padrão de funcionamento. Esse conhecimento foi acumulado ao longo de décadas de estudos e utilização desses componentes, em sua maioria mecânicos. No entanto, o presente estudo propôs também a utilização de novos conceitos, demandando investigação científica do padrão de funcionamento de novos componentes originados de princípios de solução inovadores. Portanto, o desenvolvimento do projeto considerou novas possibilidades de soluções alternativas.

4.2 Estabelecimento dos requisitos dos clientes

As necessidades dos clientes, obtidas na etapa anterior, foram convertidas em requisitos dos clientes, tendo sido escolhidos para a continuidade do projeto os seguintes:

Ter fabricação simples: este requisito relaciona-se à viabilidade de fabricação da máquina em oficinas e serralherias, utilizando processos comuns de fabricação e montagem, materiais padronizados facilmente encontrados no mercado e à redução do número total e complexidade de componentes que farão parte da máquina;

Ter baixo custo: o preço tem de ser compatível com a capacidade operacional, viabilizando a aquisição da máquina para cultivar pequenas áreas;

Ser fácil de regular: em função da baixa tecnificação e menor grau de instrução dos agricultores, as regulagens devem ser intuitivas possibilitando uma variação limitada de maneira a evitar erros, proporcionando facilidade na execução dessa tarefa;

Ter montagem sem uso de ferramentas: para facilitar a manutenção e regulagens, a máquina deve ter o máximo possível de montagens manuais, substituindo-se parafusos e porcas por travas, encaixes flexíveis e engates rápidos, dispensando uso de ferramentas para montar e desmontar os principais componentes;

Ser segura ao operador: proporcionar postura adequada ao usuário e exigir o mínimo de esforço na operação de semeadura, respeitando aspectos ergonômicos, ter acabamento sem arestas e cantos vivos, além de contar com proteção adequada dos componentes móveis que ofereçam risco;

Ser fácil de transportar: ter peso que possibilite seu transporte por uma pessoa da sede da propriedade ao campo e vice-versa. Ser dotada de acessórios como rodas ou alças para facilitar o transporte caso seja necessário.

Ter precisão na dosagem: individualizar as sementes respeitando padrões mínimos de porcentagem de duplos e falhas;

Ter precisão na deposição: depositar as sementes no solo com padrão regular de profundidade e de distâncias entre sementes, conforme determinam os requisitos agrônômicos para cada cultura e a norma técnica que regula o tema (ABNT, 1994);

Ter pequena danificação de sementes: danificar minimamente as sementes;

Ter manutenção reduzida: a máquina deverá exigir um número reduzido de operações de lubrificação e troca de componentes;

Ter manutenção de baixo custo: utilizar lubrificantes e peças de reposição de baixo custo;

Ter manutenção fácil: referente à facilidade de lubrificação e montagem e desmontagem da máquina, sem a necessidade de um grande número de ferramentas ou de ferramentas especiais;

Ser durável: a máquina deverá ter boa resistência mecânica e componentes resistentes à abrasão de acordo com a capacidade operacional, possibilitando sua utilização por várias safras sem a necessidade de sua substituição.

Outros requisitos não apresentados aqui foram considerados pela equipe de projeto e serão contemplados intuitivamente ou por força de outros requisitos, pois são de fácil domínio e identificação, sendo naturalmente atendidos, quais sejam; ter projeto simples; ter força de acionamento reduzida; causar mínimo revolvimento do solo; ter funcionamento independente do sistema de cultivo (semeadura direta ou convencional); ser de simples operação; ser adequada a várias condições de campo; ter número de regulagens adequado.

4.3 Estabelecimento dos requisitos de projeto

Apesar de haver um grande número de necessidades, que resultariam em muitos requisitos de projeto, somente selecionou-se os de maior relevância para utilização no QFD, evitando-se a redundância e buscando-se maior praticidade. Os requisitos não utilizados no QFD foram utilizados de maneira generalizada, na forma de um requisito geral e utilizando isoladamente o requisito “Custo de operação”, nas etapas posteriores para aplicação da Matriz de Decisão.

A seguir tem-se os requisitos não utilizados no QFD e as justificativas para isso:

a) Inclinação permissível: semeadoras manuais de uma linha apenas ou portáteis naturalmente não são limitadas por esse fator;

b) Dimensões das sementes: existem meios práticos para sanar problemas relacionados à classificação das sementes, não sendo necessária e viável a utilização de meios para contornar esse problema em semeadoras manuais ou de tração humana;

c) Capacidade de trabalho: esse fator é mais dependente das características físicas dos trabalhadores que utilizarão a máquina do que da própria semeadora, bastando que a semeadora seja compatível sob aspectos ergonômicos;

d) Força para fixação e liberação de componentes: esse requisito é atendido pelo requisito montagens manuais, o que proporciona facilidade nessas tarefas;

e) Proteção das partes móveis externas: em razão da máquina operar a baixas velocidades e o operador ter que conduzir a semeadora, a possibilidade de contato com as partes móveis e possíveis ferimentos é remota;

f) Confiabilidade esperada: esse requisito é satisfatoriamente contemplado pelos requisitos distribuição longitudinal de sementes e deposição de sementes, que demandam confiabilidade do sistema, de seus componentes e dos respectivos materiais;

g) Número de culturas semeadas: a maior necessidade apresentada no projeto foi com relação aos cultivos de milho e feijão, não sendo detectada demanda importante para outras culturas, embora exista a possibilidade da semeadora ser utilizada para esse fim;

h) Duração de montagem e desmontagem de componentes: assim como o requisito força para fixação e liberação de componentes, já é contemplado pelas montagens manuais e duração da manutenção e da regulagem;

i) Distância entre linhas: é considerada apenas para determinar a distância longitudinal entre sementes, pois a semeadora terá uma linha apenas, sendo determinada a distância entre linhas pelo posicionamento da mesma pelo trabalhador;

j) Deslocamento vertical da linha de semeadura: o deslocamento acompanha o movimento da semeadora, pois há uma linha apenas;

k) Uso de tolerâncias grandes: esse critério é mais fácil de ser contornado no processo de fabricação do que na fase de projeto, não sendo viável fazê-lo nesse momento, pois não implica em limitações;

l) Velocidade de partes móveis: conforme dito anteriormente, a velocidade de deslocamento é limitada pelo deslocamento do trabalhador durante a operação de semeadura, o que confere velocidades muito baixas para as partes móveis, desde que sejam respeitadas relações seguras de transmissão;

m) Número de regulagens: esse item é razoavelmente fácil de ser atendido, principalmente em função de a semeadora ser idealizada para as culturas do milho e do feijão especificamente;

n) Custo de operação: por ser realizada pelo próprio agricultor, a operação não implica em desembolso. Apesar de se usar tempo que poderia ser destinado a outras atividades, e por ser uma máquina pequena, não necessita de muitos recursos para sua operação. No entanto, a máquina deve demandar esforço dentro de certos limites, sendo ergonomicamente adequada, evitando problemas de saúde ocupacional, que podem reduzir a capacidade de trabalho do homem e até impossibilitá-lo de trabalhar, o que geraria custos de operação indiretos.

Foram selecionados 13 requisitos de projeto, que a equipe considerou atenderem satisfatoriamente as necessidades e requisitos dos clientes, sendo mais relevantes para utilização no QFD (Fig. 4).

Atributos gerais	Atributos básicos	Funcionamento	Danificação das sementes Distribuição longitudinal de sementes Deposição de sementes
		Ergonômico Econômicos Segurança Confiabilidade Da modularidade Estético, Legal, Patentes, Da norlização, Do impacto ambiental	Montagens manuais Custo de produção Custo de manutenção Vida útil
	Atributos do Ciclo de Vida	Fabricabilidade Montabilidade Manutenibilidade Embalabilidade, Transportabilidade, Armazenabilidade, Comercialidade, Da função, Usabilidade, Reciclabilidade, Descartabilidade	Processo de fabricação usual Intervalo entre manutenções Duração da manutenção
Atributos específicos	Atributos materiais	Geométricos	Dimensões Ajustes Forma, Configuração, Acabamento, Textura, Fixações
		Material	Materiais padronizados comuns
		Cor, Peso	Massa total
	Atributos energéticos	Cinemática	
		Forças, Tipo de energia, Fluxo	
	Atributos de controle	Controle	Duração da regulagem
		Sinais, Estabilidade	

Figura 4 – Requisitos de projeto obtidos com auxílio da lista de atributos proposta por Fonseca (2000). Fonte: Adaptado de Reis (2003).

4.4 Hierarquização dos requisitos de projeto

Para hierarquizar os requisitos de projeto, primeiramente foi realizada a valoração dos requisitos dos clientes, através do Diagrama de Mudge, conforme apresentado na Fig. 5. Cada célula foi preenchida com um par composto por um número e uma letra. O número representa qual dos requisitos de clientes em comparação é mais importante. Cada letra representa o quanto o requisito escolhido é mais importante que o outro, sendo atribuídos valores de 1 para A, 3 para B e 5 para C. A partir do somatório de pontos de cada requisito, nas linhas e colunas, foi determinada a porcentagem da pontuação de cada requisito em relação ao total de pontos.

Requisitos de Clientes	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	ΣL	ΣLC	%
Ter fabricação simples	1 2B	3C	4A	1B	6A	7C	8C	9C	10B	11A	12B	13A	3	3	1,44
Ter baixo custo de aquisição	2	2A	2A	2A	2B	7B	8B	9B	2A	2A	2A	2A	10	13	6,25
Ser fácil de regular	3		3B	3B	3C	7A	8A	9A	3B	3B	3A	3B	21	26	12,50
Ter montagem sem uso de ferramentas	4			4B	4A	7B	8B	9B	4A	4A	12A	4A	7	8	3,85
Ser seguro ao operador	5				6A	7C	8C	9C	10A	11A	12B	5A	1	1	0,48
Ser fácil de transportar	6					7C	8C	9C	6A	6A	12A	6A	3	5	2,40
Ter precisão na dosagem	7						7A	7B	7C	7C	7C	7C	24	46	22,12
Ter precisão na deposição	8							8B	8C	8C	8C	8C	23	45	21,63
Ter pequena danificação de sementes	9								9B	9B	9B	9B	12	34	16,35
Ter manutenção reduzida	10									10A	10A	10A	3	7	3,37
Ter manutenção de baixo custo	11										12B	11A	1	3	1,44
Ter manutenção fácil	12											12C	5	16	7,69
Ser durável	13													1	0,48
Σ colunas		3	5	1	0	2	22	22	22	4	2	11	1		

Figura 5 – Valoração dos requisitos dos clientes através do Diagrama de Mudge.

Na tab. 4 é apresentada a classificação dos requisitos dos clientes, os quais foram divididos em categorias, sendo a categoria 1 a menos importante e a categoria 10 a mais importante. As dez categorias foram obtidas a partir da divisão do intervalo entre a maior e a menor porcentagem por dez intervalos iguais. Ficou evidente a importância da funcionalidade, facilidade de uso e manutenção da semeadora, confirmada pelas maiores pontuações dos requisitos 7, 8, 9, 3 e 12. Esses requisitos são referentes à precisão de dosagem (22,12%), à precisão de deposição (21,63%), à danificação de sementes (16,35%), à regulação facilitada (12,50%) e à manutenção fácil (7,69%). Em seguida tem-se custo de aquisição, com 6,25% da pontuação, seguido de montagens sem ferramentas (3,85%) e manutenção reduzida (3,37%).

Tabela 4 – Classificação dos requisitos dos clientes segundo 10 categorias em ordem decrescente de importância.

Ordem	Pontuação	%	Requisito	Categoria
1 ^o	46	22,12	Ter precisão na dosagem	10
2 ^o	45	21,63	Ter precisão na deposição	10
3 ^o	34	16,35	Ter pequena danificação de sementes	8
4 ^o	26	12,50	Ser fácil de regular	6
5 ^o	16	7,69	Ter manutenção fácil	4
6 ^o	13	6,25	Ter baixo custo de aquisição	3
7 ^o	8	3,85	Ter montagens sem uso de ferramentas	2
8 ^o	7	3,37	Ter manutenção reduzida	2
9 ^o	5	2,40	Ser fácil de transportar	1
10 ^o	3	1,44	Ter manutenção de baixo custo	1
11 ^o	3	1,44	Ter fabricação simples	1
12 ^o	1	0,48	Ser seguro ao operador	1
13 ^o	1	0,48	Ser durável	1

A aplicação da ferramenta QFD estabeleceu os níveis de relacionamento entre os requisitos de projeto e os requisitos dos clientes, além da correlação entre os requisitos de projeto. O resultado das pontuações encontra-se na Fig. 6, sem o critério do telhado (considerando apenas a matriz de relacionamentos) e com o critério do telhado (considerando as matrizes de relacionamento e de correlação).

Nas comparações do telhado foram encontradas algumas contradições, ou seja, para o atendimento de um requisito há detrimento de atendimento ao outro, devendo-se ter prudência nos momentos de tomada de decisão, a fim de não comprometer o atendimento às metas estabelecidas. No entanto, foi encontrada apenas uma contradição mais importante, entre custo de fabricação e vida útil. Ou seja, diminuindo o custo de fabricação é provável que a vida útil também diminua, ocorrendo também o caminho inverso.

Tabela 5 – Classificação dos requisitos de projeto pelo QFD (sem telhado).

Terço superior	Terço médio	Terço inferior
1º Regularidade de distribuição longitudinal de sementes	5º Intervalo entre manutenções	10º Duração da manutenção
2º Custo de fabricação	6º Massa total	11º Montagens manuais
3º Regularidade de profundidade de deposição de sementes	7º Duração da regulagem	12º Materiais padronizados comuns
4º Danificação das sementes	8º Custo de manutenção	13º Vida útil
	9º Processos de fabricação usuais	

Na tab. 6 são apresentados os requisitos de projeto hierarquizados considerando o critério do telhado, demonstrando que houve alteração nas suas classificações dentro de cada um dos terços e entre estes. Apenas cinco requisitos permaneceram no mesmo terço, sendo três com a mesma classificação (um no médio e dois no inferior) e dois com classificação diferente (um no superior e outro no médio). Já a alteração de um terço para outro imediatamente ao lado teve seis ocorrências de mudança e entre o terço superior e o inferior (dois terços de diferença) teve duas ocorrências.

Tabela 6 – Classificação dos requisitos de projeto pelo QFD (com o telhado).

Terço superior	Terço médio	Terço inferior
1º Custo de fabricação **	5º Montagens manuais #	10º Duração da manutenção *
2º Custo de manutenção #	6º Massa total *	11º Intervalo manutenção #
3º Processos de fabricação usuais #	7º Regularidade de distribuição longitudinal de sementes #	12º Regularidade de profundidade de deposição de sementes ##
4º Materiais padronizados comuns ##	8º Danificação das sementes #	13º Vida útil *
	9º Duração da regulagem **	

Reclassificações (nº ocorrências): *mesma classificação (3); **outra classificação no mesmo terço (2); # terço imediatamente ao lado (6); ## dois terços de diferença (2)

A hierarquização dos requisitos de projeto sem a correlação do telhado mostrou-se mais coerente com o objetivo do projeto, que é desenvolver uma semeadora que atenda prioritariamente os aspectos técnicos, conforme já observado na classificação dos requisitos dos clientes. A classificação de requisitos de projeto, priorizando outros aspectos, levaria ao atendimento do problema de forma equivocada. Portanto, optou-se pela primeira hierarquização, sem considerar o critério da correlação dos requisitos de projeto na sua classificação, conforme já realizado em outros projetos, pois os mesmos não são correlatos (REIS, 2003; TEIXEIRA, 2008; OLDONI, 2012).

Constatou-se que os itens de maior importância são a regularidade de distribuição, profundidade de deposição e danificação das sementes, juntamente com o custo de fabricação da máquina. Teixeira (2008) e Stefanello *et al.*, (2011) também obtiveram como resultado maior importância para o requisito custo de fabricação, entretanto os requisitos referentes à precisão de semeadura foram classificados como menos importantes. Já no trabalho de Reis (2003) a regularidade de distribuição longitudinal de sementes obteve maior importância, concordando com o presente estudo nesse aspecto.

No terço médio, foram classificados como importantes os requisitos relacionados com o intervalo e custo da manutenção, massa total, duração da regulagem e processos de fabricação usuais. A mesma importância foi obtida por Teixeira (2008) para a massa total e duração da regulagem, por Stefanello *et al.*, (2011) para intervalo entre manutenções e por Reis (2003) para custo de manutenção e duração da regulagem. O requisito processo de fabricação usuais foi classificado por Reis (2003) e Stefanello *et al.*, (2011) como menos importante.

Os requisitos menos importantes foram duração da manutenção, concordando com Teixeira (2008) e Reis (2003), montagens manuais, materiais padronizados comuns e vida útil, esse último concordando com os três autores supracitados.

4.5 Estabelecimento das especificações de projeto

Para o estabelecimento das especificações de projeto, apresentadas de acordo com o grau de importância nas tabelas 7, 8 e 9, foi atribuído a cada requisito

de projeto um valor meta, a forma de sua avaliação e consideradas as condições indesejáveis quanto ao seu atendimento.

A regularidade de distribuição longitudinal, profundidade de deposição e danificação de sementes está associada a recomendações de alguns autores e norma técnica (ABNT, 1994). A semeadora deve possibilitar regulagem da profundidade de deposição das sementes no intervalo entre 0,02 e 0,08m no mínimo com cinco posições intermediárias. Quanto à regularidade de profundidade de deposição das sementes, considerando a abertura pontual do solo e suas condições, deve-se ter variação de 0,015m para mais ou para menos.

Em relação ao custo de fabricação da semeadora, considerando a renda bruta dos agricultores e sua disposição em investir em equipamentos, associadas à disponibilidade de crédito, chegou-se a um valor final de venda ao consumidor de R\$ 800,00 (U\$ 400,00) e valor final máximo de fabricação de R\$ 400,00 (U\$ 200,00). Para permitir futuras comparações e abordagens sobre os custos envolvidos, foram utilizadas como unidades monetárias as moedas Real (brasileira) e Dólar (americano), sendo considerada a relação R\$ 2,00 para U\$ 1,00 referente ao mês de dezembro de 2012.

Tabela 7 – Especificações de projeto consideradas mais importantes (terço superior).

Requisitos	Objetivo	Forma de avaliação	Condições Indesejáveis
1. Regularidade de distribuição longitudinal de sementes	$\geq 75\%$ aceitáveis $\leq 10\%$ falhas $\leq 15\%$ múltiplos	Simulação em bancada de teste e a campo	Comprometer a capacidade de trabalho
2. Custo de fabricação	< R\$ 400,00	Soma dos custos de material, mão de obra, processos de fabricação e lucro	Comprometer a qualidade e o desempenho da semeadora
3. Regularidade na profundidade de deposição das sementes	$> 0,02m$ $\pm 0,015m$ $< 0,08m$ $\pm 0,015m$	Medição a campo	Comprometer capacidade operacional
4. Danificação das sementes	< 1,0%	Avaliação em laboratório	Comprometer a precisão da semeadora

Quanto aos processos de fabricação, foram considerados usuais os disponíveis na maioria das serralherias, oficinas e empresas fabricantes de pequeno porte, como solda, dobra, corte, perfuração e usinagem.

Tabela 8 – Especificações de projeto consideradas importantes (terço médio).

Requisitos	Objetivo	Forma de avaliação	Condições Indesejáveis
5. Intervalo entre manutenções	≥ 50 horas	Simulação em bancada de teste e a campo	Dificultar a montagem manual e aumentar o custo de produção
6. Massa total	< 30 kg	Pesagem	Profundidade de semeadura insuficiente
7. Duração da regulagem	< 5 minutos	Cronometragem	Maior custo de fabricação e menor intervalo entre manutenções
8. Custo de manutenção	$< \text{R\$ } 0,20.h^{-1}$	Testes de desgaste em bancada e a campo. Orçamento de componentes e insumos	Menor intervalo entre manutenções e menor vida útil
9. Processos de fabricação usuais	$> 80\%$	Contagem	Limitar o uso de soluções mais elaboradas

Tabela 9 – Especificações de projeto menos importantes (terço inferior).

Requisitos	Objetivo	Forma de avaliação	Condições Indesejáveis
10. Duração da manutenção	< 10 minutos para troca de peças e < 3 minutos para lubrificação	Cronometragem	Menor intervalo entre manutenções
11. Montagens manuais	$> 80\%$ para regulagens	Contagem	Aumento do custo de fabricação
12. Materiais padronizados comuns	$> 80\%$	Contagem e pesagem	Comprometer desempenho e durabilidade
13. Vida útil	> 1.000 horas	Avaliação indireta através do desgaste em ensaios de campo e laboratório	Uso de materiais caros ou raros, aumento de dimensões e massa de componentes

4.6 Verificação do escopo do problema

Analisando-se as especificações de projeto, verificou-se que o escopo do problema consiste em aperfeiçoar as funções técnicas do produto de modo a proporcionar semeadura de precisão e qualidade com uma semeadora acionada unicamente com a força muscular humana. Nessa tarefa, procurou-se eliminar as preferências pessoais, o que foi conseguido, através da aplicação do QFD. Os requisitos que possuem relação direta com a função e com as restrições essenciais adotados foram os seguintes:

- ✓ Regularidade de distribuição longitudinal de sementes
- ✓ Custo de fabricação
- ✓ Regularidade na profundidade de deposição das sementes
- ✓ Duração da regulagem
- ✓ Danificação das sementes
- ✓ Montagens manuais

Esses requisitos quantitativos foram transformados em requisitos qualitativos:

- ✓ Ter precisão funcional
- ✓ Causar pouca danificação às sementes
- ✓ Ser fácil de regular
- ✓ Ter baixo preço

Os itens encontrados foram generalizados, obtendo-se os seguintes:

- ✓ Precisão funcional
- ✓ Pequena danificação de sementes
- ✓ Facilidade de regulagem
- ✓ Ser acessível

A partir da generalização anterior, sem a inclusão de soluções, foi formulado o problema:

- ✓ Alocar adequadamente as sementes no solo
- ✓ Proporcionar estande de plântulas adequado
- ✓ Proporcionar melhor benefício/custo

Quanto às restrições de projeto observou-se que a tração humana (baixa potência e força disponíveis) e o custo de fabricação são fatores limitantes. A semeadora deve exigir o mínimo esforço físico do trabalhador, tendo custos

condizentes com a realidade da agricultura familiar. Outras restrições identificadas são relativas à capacidade de operar na presença de maiores volumes de cobertura vegetal (com manejo adequado), sobre solos mais adensados ou compactados (com manejo inadequado), casos mais restritivos no sistema de semeadura direta.

4.7 Estabelecimento da função global e subfunções

A função global, função mais ampla que a semeadora deve desempenhar, é representada pelas entradas e saídas de sinal, energia e material (tab. 10) em relação a um sistema periférico que delimita a fronteira entre a máquina e suas interfaces (ambiente e usuário).

Durante a operação de semeadura o material (sementes, cobertura vegetal e solo) é progressivamente modificado através dos diversos subsistemas da máquina que interagem com o ambiente e o usuário até que a operação seja concluída. Utilizou-se o termo solo da maneira mais ampla, considerando seus fatores físicos, químicos e biológicos em ambientes agrícolas com e sem utilização de sistemas conservacionistas, contendo ou não plantas (parte aérea e raízes) vivas e/ou mortas.

Tabela 10 – Entradas e saídas de energia, material e sinal do sistema técnico da semeadora.

Convenção	Entrada	Saída
----->	Sinal: regulagens, acionamentos e observações do operador durante a semeadura (monitoramento)	Sinal: sinais visuais e sonoros, alinhamento, profundidade, densidade de semeadura
————>	Energia: potência humana para deslocar a semeadora, energia mecânica captada e transmitida ao dosador e energia gravitacional para o transporte de sementes	Energia: dissipação no solo de parte da energia recebida por meio de resistência e atrito entre as partes móveis
————>	Material: sementes e solo com ou sem cobertura vegetal	Material: sementes adequadamente depositadas no solo com ou sem cobertura vegetal
-----	Fronteira do sistema periférico	

A função global da semeadora manual foi definida como: **semear com precisão e qualidade** (Fig. 7). A palavra qualidade remete a todas as considerações

realizadas na aplicação do QFD, adequando-se a todas as situações relacionadas às funções e restrições da semeadora, as quais se originam das necessidades, desejos e restrições dos clientes.

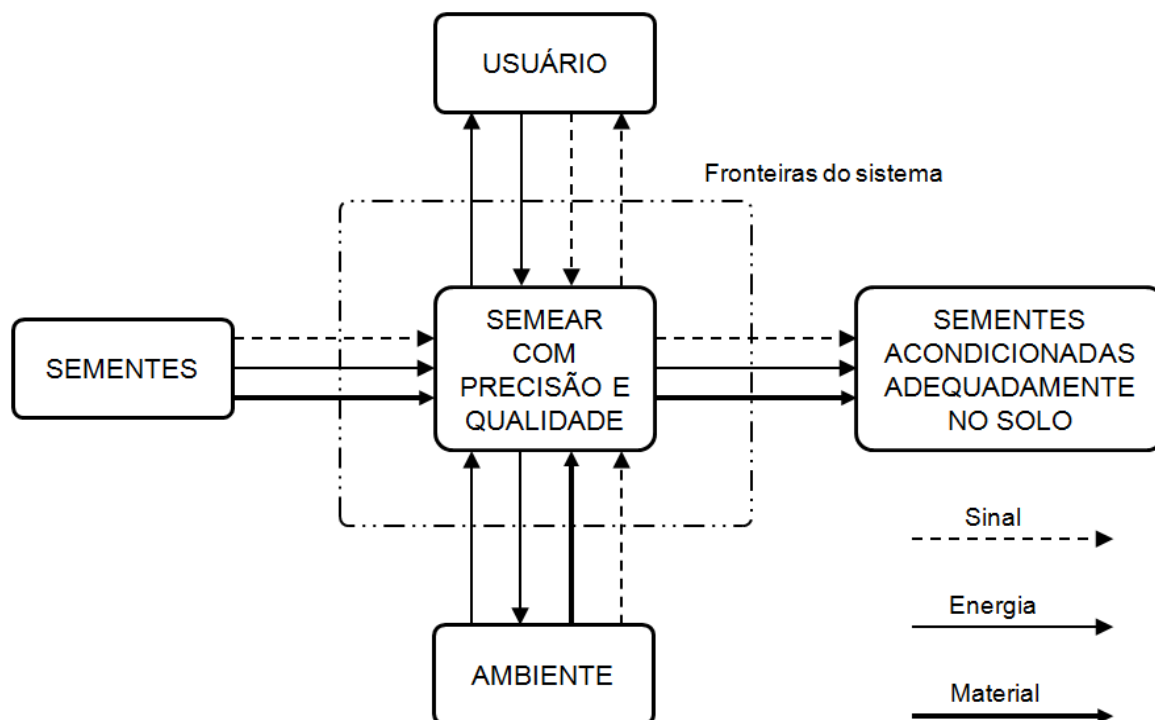


Figura 7 – Função global do sistema técnico da semeadora.

A partir da função global foram identificadas as funções parciais F1, F2 e F3, que fazem parte da operação de semeadura (Fig. 8). A função F1 refere-se à abertura do solo, a função F2 à dosagem de sementes e a função F3 ao acondicionamento das sementes no solo.

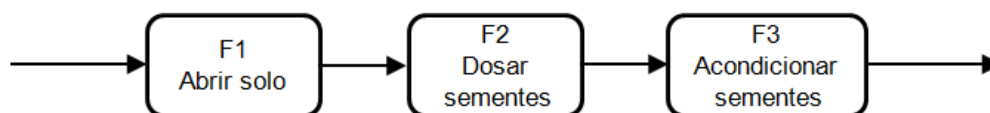


Figura 8 – Primeiro nível de desdobramento da função global da semeadora: funções parciais.

A partir do primeiro desdobramento da função global, as funções parciais foram decompostas em funções elementares (Fig. 9). A função parcial “F1 Abrir o solo” foi desdobrada nas funções elementares “F1.1 Penetrar o solo”, “F1.2 Controlar profundidade” e “F1.3 Afastar o solo”. A função parcial “F2 Dosar sementes” foi desdobrada nas funções elementares “F2.1 Captar sementes”, “F2.2 Conduzir sementes” e “F2.3 Ejetar sementes”. A função parcial “F3 Acondicionar sementes” foi desdobrada nas funções elementares “F3.1 Direcionar sementes”, “F3.2 Cobrir sementes” e “F3.3 Pressionar solo”.

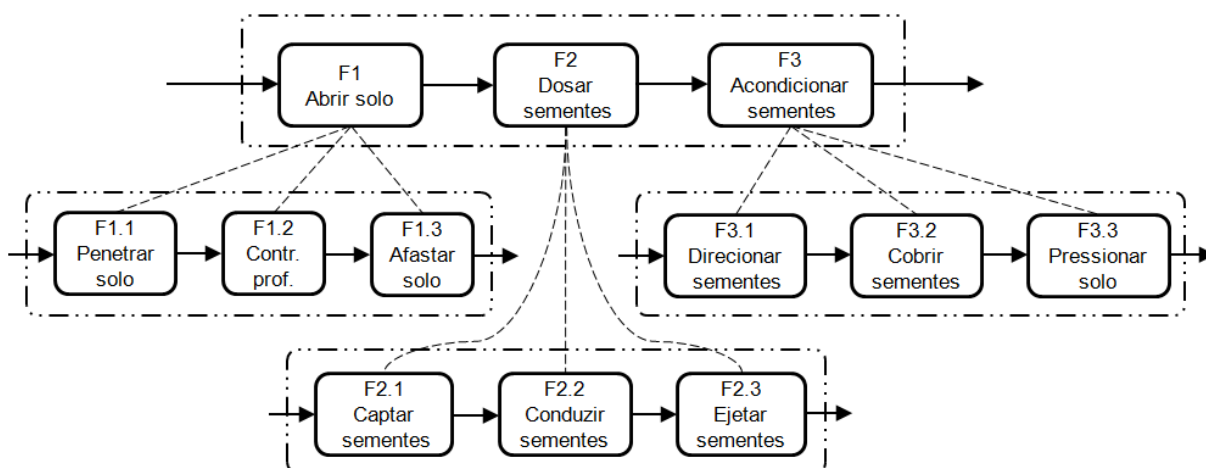


Figura 9 – Segundo nível de desdobramento da função global da semeadora: funções elementares.

4.8 Elaboração das estruturas funcionais alternativas

A geração de estruturas funcionais alternativas, a partir da função global do sistema técnico, iniciou-se com a idealização de conjuntos de mecanismos desempenhando a função global de semeadura considerando-se três aspectos principais:

- a) forma de condução e/ou acionamento;
- b) número de abridores de solo;
- c) número de mecanismos dosadores.

A partir da combinação desses fatores foram obtidas oito configurações de estruturas funcionais (tab. 11), das quais três (E1, E7 e E8) foram avaliadas como passíveis de utilização. As demais foram descartadas em função de incompatibilidade técnica, custo ou inadequação.

Tabela 11 – Avaliação de configurações para a estrutura funcional da semeadora.

Configuração	Modo de operação	Número de abridores de solo	Número de dosadores	Resultado
E1	Portátil	Um	Um	Sim
E2	Portátil	Um	Mais de um	Não
E3	Portátil	Mais de um	Um	Não
E4	Portátil	Mais de um	Mais de um	Não
E5	De empurrar	Um	Um	Não
E6	De empurrar	Um	Mais de um	Não
E7	De empurrar	Mais de um	Um	Sim
E8	De empurrar	Mais de um	Mais de um	Sim

A estrutura funcional (E1) refere-se à configuração de semeadora portátil, com um abridor de solo e um mecanismo dosador (Fig. 10-A). A opção (E7) é operada empurrando-se a máquina, que possui um dosador e múltiplos abridores de solo (Fig. 10-B). A estrutura funcional (E8) é de empurrar, com múltiplos dosadores de sementes e um abridor de solo para cada dosador (Fig. 10-C). A partir das combinações consideradas, foram arranjadas as funções parciais para elaborar as estruturas funcionais genéricas A (Fig. 11), B (Fig. 12) e C (Fig. 13).

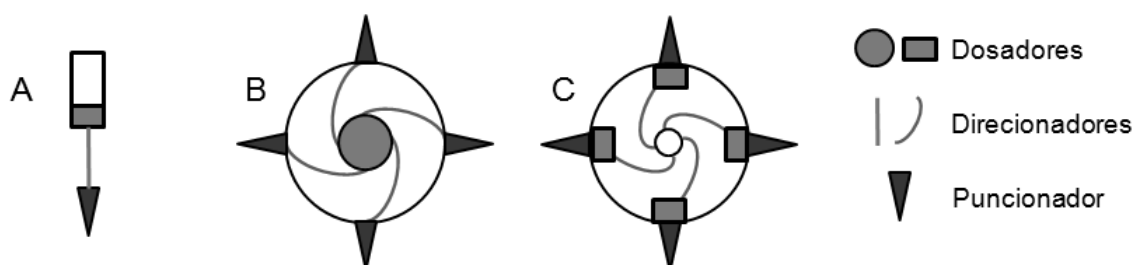


Figura 10 – Representação esquemática de configurações de semeadora puncionadora: A) portátil, um dosador e um abridor de solo; B) de empurrar, um dosador e múltiplos abridores de solo; C) de empurrar, múltiplos dosadores e um abridor de solo para cada dosador.

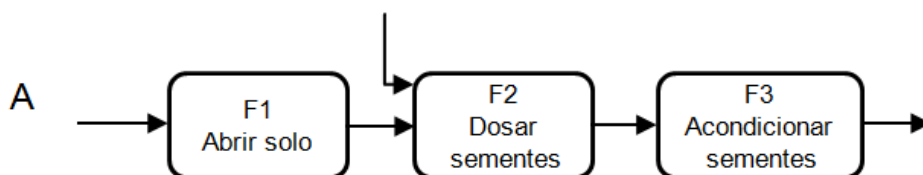


Figura 11 – Estrutura funcional genérica para semeadora portátil com um dosador e um abridor de solo.

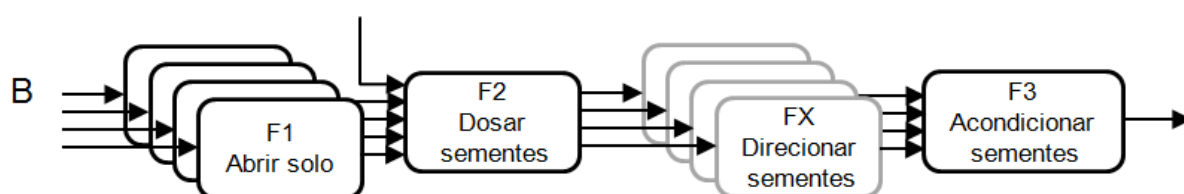


Figura 12 – Estrutura funcional genérica para semeadora de empurrar com um dosador e múltiplos abridores de solo.

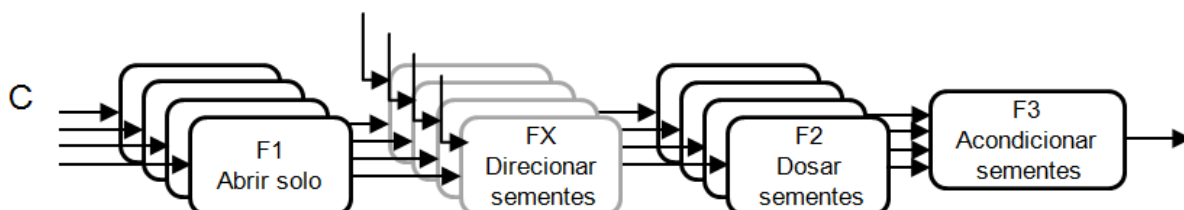


Figura 13 – Estrutura funcional genérica para semeadora de empurrar com múltiplos dosadores e um abridor de solo para cada dosador.

Por meio das funções parciais das estruturas funcionais genéricas A, B e C, foram determinadas as funções auxiliares necessárias para o funcionamento da semeadora, bem como todas as funções elementares (tab. 12), completando o fluxo de sinal, energia e material necessários para a execução da função global. Embora se tenha desdobrado a função parcial “F2 Dosar sementes” nas funções elementares F2.1, F2.2 e F2.3, foi previamente constatado que há no mercado módulos de princípios de solução na forma de dosadores de sementes utilizáveis ou adaptáveis ao projeto da semeadora. Portanto, as estruturas funcionais apresentam a subfunção dosar sementes sem desdobramentos.

Os mecanismos devem estar vinculados fisicamente entre si e com a fonte de tração, no caso o homem, o que foi atribuído à função auxiliar F4, desdobrada nas funções elementares “F4.1 Acoplar fonte de tração” e “F4.2 Suportar mecanismos”. Para acionar os mecanismos ou partes móveis, foram geradas as funções elementares “F5.1 Captar movimento” e “F5.2 Transmitir movimento”, podendo haver associação, modificação ou transformação desse movimento. Para o fornecimento de sementes ao dosador foram estabelecidas as funções elementares “F6.1 Armazenar sementes” e “F6.2 Direcionar sementes”. Devido à necessidade de ajustes para as diferentes condições de operação da semeadora, foram estabelecidas as funções elementares de regulagem (F7) para dosagem (F7.1), cobertura de sementes com solo (F7.2) e pressão sobre esse solo que cobre as sementes (F7.3). Ainda, se faz necessário que a máquina possibilite seu transporte e manobras no final das linhas de semeadura, atribuição da função auxiliar “F8 Sustentar para transporte”, a qual não foi desdobrada por haver subsistemas ou princípios de solução para cumprir essa função.

Tabela 12– Notação, detalhamento e fluxo de sinal, energia e material das funções parciais, auxiliares e elementares.

Tabela 12 - Notação, detalhamento e fluxo de sinal, energia e material das funções principais, auxiliares e elementares.			
Notação	Detalhamento da função	Fluxo (sinal, energia e material)	
		Entradas	Saídas
F1	Abrir solo		
F1.1	Penetrar o solo, abrindo orifícios para deposição de sementes	Força, energia potencial gravitacional e solo agrícola	Energia na forma de atrito e resistência, força excedente e solo sendo perfurado
F1.2	Controlar a profundidade dos orifícios no solo	Regulagem ou ajuste, solo sendo perfurado e força excedente	Atrito e resistência, e orifícios no solo com profundidade regulada
F1.3	Afastar laterais dos orifícios no solo, permitindo a deposição das sementes	Força e orifícios no solo com profundidade regular	Orifícios no solo com diâmetro ou largura suficientes para deposição das sementes e energia na forma de atrito e resistência
F2	Dosar sementes		
F2.1	Captar sementes armazenadas	Sementes, energia potencial gravitacional, força (movimento ou torque) e regulagem da dosagem	Sementes dosadas, energia potencial gravitacional e perdas de energia por atrito
F2.2	Conduzir sementes individualizadas até o local de liberação		
F2.3	Ejetar (liberar) sementes dosadas		
F3	Acondicionar sementes		
F3.1	Direcionar sementes ejetadas do dosador até o solo	Sementes dosadas, energia potencial gravitacional e orifícios no solo com profundidade e diâmetro adequados	Sementes depositadas nos orifícios do solo na profundidade pretendida e energia na forma de atrito
F3.2	Cobrir as sementes com solo	Sementes depositadas nos orifícios do solo, força (movimento ou torque), força gravitacional e regulagem do cobrimento	Energia na forma de atrito e resistência, sementes cobertas com solo e força excedente
F3.3	Pressionar o solo sobre as sementes	Sementes cobertas com solo, força, energia potencial gravitacional e regulagem da pressão sobre o solo	Energia na forma de atrito e resistência e solo adequadamente pressionado sobre as sementes

Notação	Detalhamento da função	Fluxo (sinal, energia e material)	
		Entradas	Saídas
F4	Vincular mecanismos e fonte de tração		
F4.1	Acoplar todo o sistema à fonte de tração (homem)	Força de tração	Força na forma de movimento e energia na forma de atrito
F4.2	Suportar mecanismos, vinculando-os fisicamente	Força (movimento) e energia potencial gravitacional (massa dos componentes)	Força (movimento) e energia potencial gravitacional (massa do sistema)
F5	Acionar mecanismos		
F5.1	Captar movimento para acionar partes móveis	Força (movimento ou torque)	Movimento ou torque e energia na forma de atrito
F5.2	Transmitir o movimento captado às partes móveis	Movimento ou torque	Movimento ou torque e energia na forma de atrito
F6	Fornecer sementes		
F6.1	Armazenar sementes para alimentar o dosador	Sementes desorganizadas e energia potencial gravitacional	Sementes armazenadas e energia potencial gravitacional
F6.2	Direcionar as sementes armazenadas para o dosador	Sementes armazenadas e energia potencial gravitacional	Sementes direcionadas e energia potencial gravitacional
F7	Permitir regulagens		
F7.1	Regular dosagem de sementes	Recomendação agrônômica	Ajuste para dosagem recomendada
F7.2	Regular volume de cobertura da semente com solo	Recomendação agrônômica	Ajuste para cobertura recomendado
F7.3	Regular pressão sobre o solo que cobre as sementes	Recomendação agrônômica	Ajuste para pressão recomendada
F8	Sustentar o sistema para possibilitar o transporte		
		Força (movimento) e energia potencial gravitacional (massa do sistema)	Energia na forma de atrito e resistência

A partir das funções parciais, auxiliares e elementares, foram desenvolvidas as estruturas funcionais alternativas, diferindo em multiplicidade de algumas funções e fluxos de sinal, energia e material. Alguns sinais, apresentados na tab. 12 foram omitidos nas ilustrações para tornar mais claro o fluxo de material e energia.

A primeira dessas estruturas funcionais alternativas (A) é apresentada na Fig. 14, consistindo na configuração portátil com um dosador e um abridor de solo. Essa estrutura demonstra certa dificuldade em associar as funções elementares “F3.2 Cobrir sementes” e “F3.3 Pressionar solo” ao tipo de movimento alternativo imposto pela portabilidade da semeadora. Os portadores do efeito físico estarão vinculados à sua estrutura, tendo ao mesmo tempo movimentos no mesmo sentido quando seriam necessários movimentos de sentidos opostos para realizar essas funções. Ou seja, a semeadora é movimentada verticalmente em direção ao solo e após abri-lo e depositar a semente, se afasta verticalmente e é nesse momento que a semente deve ser coberta com solo e este ser pressionado, havendo a necessidade de movimento com sentido descendente ou de avanço. Essa dificuldade ocorre em função dessas funções acontecerem obrigatoriamente em série, ou seja, em instantes diferentes. Para a estrutura funcional alternativa A, a função F8 é idêntica à função F4.1, pois o acoplamento com a fonte de tração (homem) contempla ao mesmo tempo a sustentação para transporte.

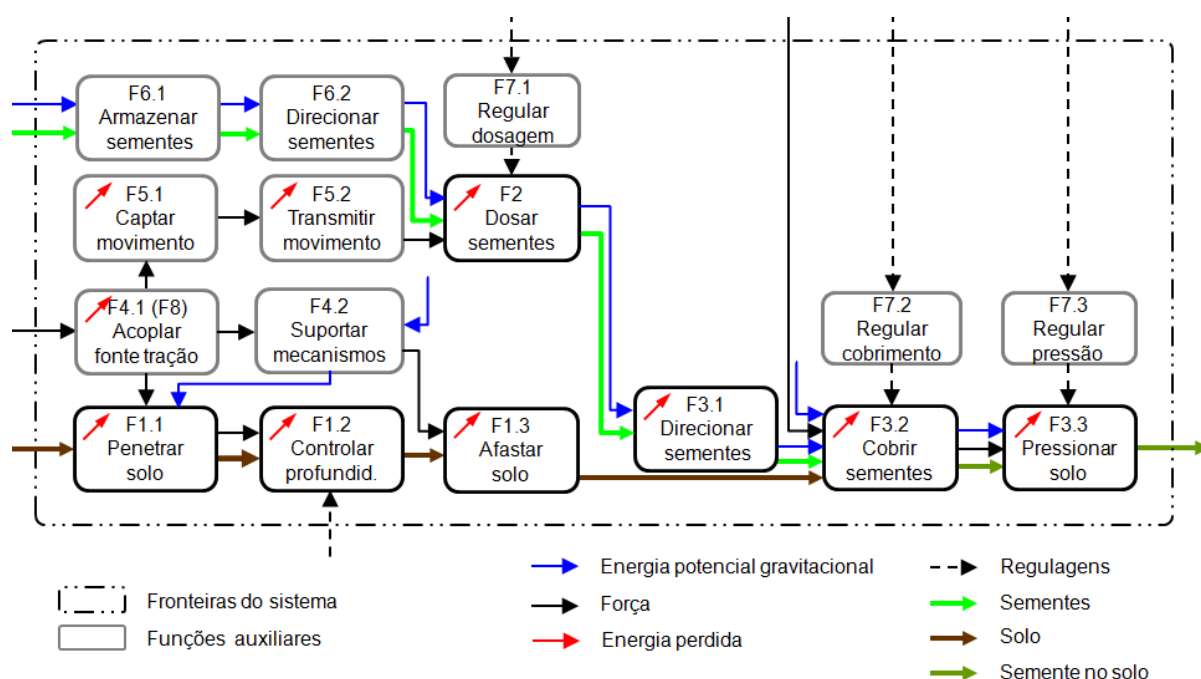


Figura 14 – Estrutura funcional A: semeadora portátil com um dosador e um abridor de solo.

A segunda estrutura funcional alternativa (B) refere-se à configuração de semeadora de empurrar, com um dosador de sementes e múltiplos abridores de solo (Fig. 15). Essa estrutura apresenta, devido a multiplicidade de abridores de solo, um maior número das funções elementares “Penetrar solo”, “Afastar solo” e “Direcionar sementes”. No entanto, em relação à estrutura A, possibilita maior capacidade operacional e facilidade de operação dado o seu modo de condução. Essa característica permite o acoplamento de cobridores de sementes e compactadores de solo na máquina em posição posterior ao ponto de liberação das sementes. Isso faz com que a dificuldade apresentada na estrutura A (Cobrir sementes e Pressionar solo) não seja evidenciada nessa estrutura, pois as funções elementares podem ocorrer naturalmente em sequência.

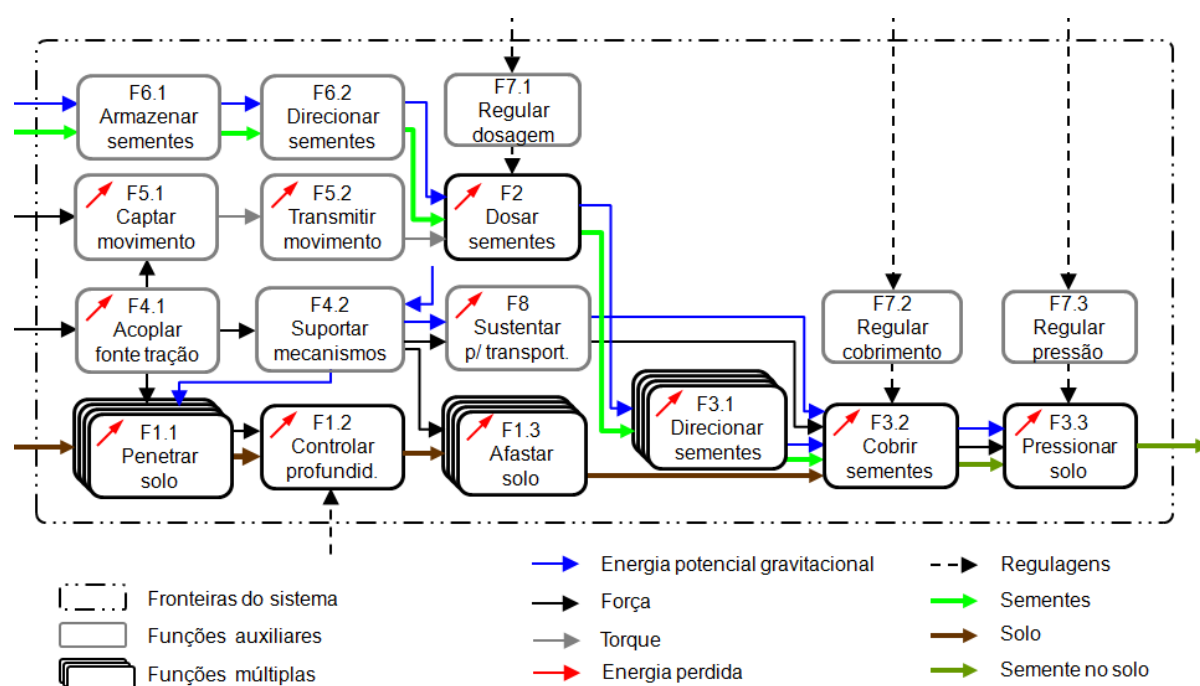


Figura 15 – Estrutura funcional B: semeadora de empurrar com um dosador e múltiplos abridores de solo.

A terceira estrutura funcional alternativa (C), apresentada na Fig. 16, apresenta multiplicidade do número das funções “F6.2 Direcionar sementes” (do reservatório aos dosadores), “F2 Dosar sementes” e “F1 Abrir solo”. Essa configuração traz as vantagens da estrutura B com o inconveniente de aumentar o número dos componentes mais complexos do sistema, os dosadores de sementes. Associada a isso há a sobreposição de chances de ocorrência de falhas desse mecanismo, por sua vez relacionadas à confiabilidade do sistema. Muitos mecanismos complexos realizando a mesma função em um mesmo sistema tendem

a apresentar falhas mais difíceis de detectar, além de aumentar e dificultar os ajustes e regulagens.

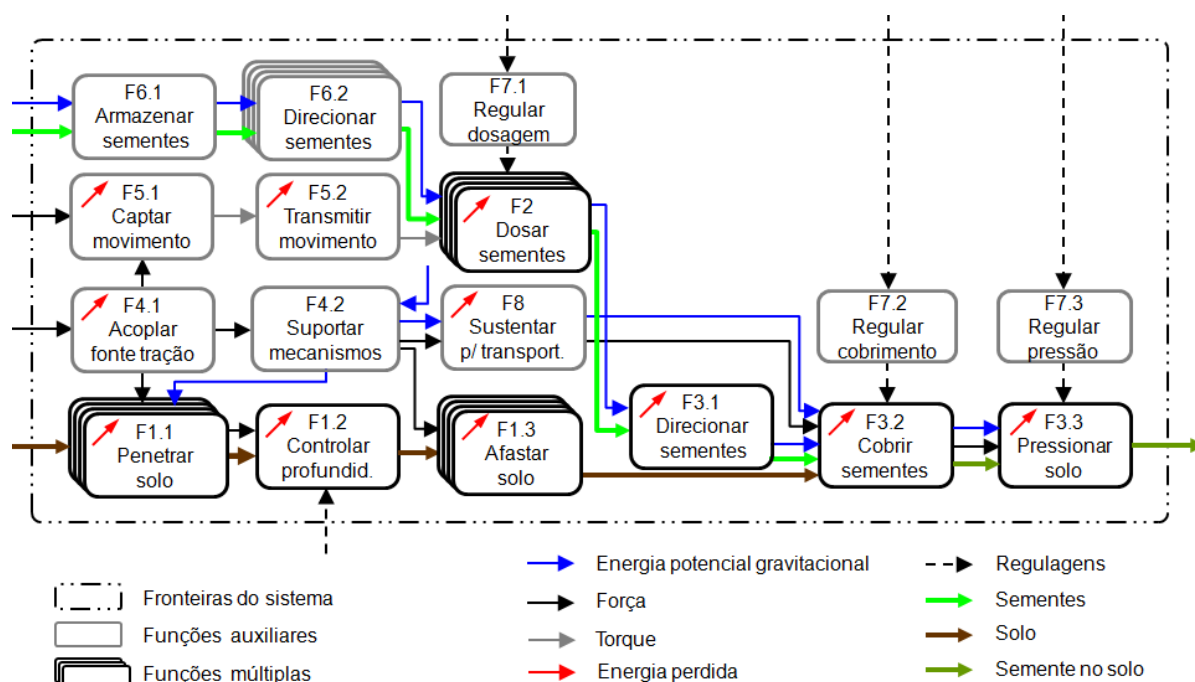


Figura 16 – Estrutura funcional C: semeadora de empurrar com múltiplos dosadores e um abridor de solo para cada dosador.

4.9 Seleção da estrutura funcional

Para a escolha da estrutura funcional da semeadora, foi utilizada a Matriz de Decisão e os critérios de seleção adotados foram os requisitos de projeto e algumas necessidades dos clientes, não expressas pelos requisitos utilizados. Para os pesos relativos (PR) dos critérios na avaliação utilizou-se o valor percentual dos requisitos de projeto hierarquizados no QFD (em relação ao somatório de pontos de todos os requisitos) e o valor percentual dos requisitos dos clientes obtidos no diagrama de Mudge. Na avaliação das estruturas funcionais genéricas quanto ao comportamento relativo aos requisitos, foi atribuído valor 1 para desempenho fraco, 5 para satisfatório e 10 para excelente. Em relação à avaliação de custos do ciclo de vida da semeadora, foram atribuídos valores de 1 para baixo custo, 5 para custo médio e 10 para custo alto.

Conforme mencionado anteriormente, alguns requisitos de projeto foram considerados importantes, porém não utilizados no QFD. Para incluir esses requisitos na Matriz de Decisão foi realizada uma tarefa extra de avaliação das estruturas funcionais levando-se em conta o atendimento a cada um desses

requisitos (tab. 13). Foram atribuídos os mesmos valores para desempenho técnico e de custos da Matriz de Decisão.

Tabela 13 – Matriz de avaliação das estruturas funcionais em relação aos requisitos de projeto considerados importantes e não utilizados no QFD.

Requisitos de projeto importantes não utilizados no QFD	Estruturas funcionais		
	A	B	C
	Avaliação		
Inclinação permissível	10	5	5
Dimensões das sementes	5	5	5
Capacidade de trabalho	1	10	10
Força para fixação e liberação de componentes	5	5	5
Proteção das partes móveis externas	1	5	5
Confiabilidade esperada	1	10	5
Número de culturas semeadas	10	5	5
Duração de montagem e desmontagem de componentes	5	5	1
Distância entre linhas	10	10	10
Deslocamento vertical da linha de semeadura	10	10	10
Uso de tolerâncias grandes	5	5	5
Velocidade de partes móveis	5	10	10
Número de regulagens	5	10	10
Média (requisito geral)	5,6	7,3	6,6
Custo de operação	10	1	1

Foram utilizados na Matriz de Decisão (tab. 14) a média das avaliações das estruturas funcionais quanto ao atendimento aos “Requisitos de projeto importantes não utilizados no QFD” e a avaliação do “Custo de operação”, utilizando-se para estes o menor peso dos requisitos do QFD (pág. 43) ou Mudge (pág. 41).

Com relação à massa total, considerou-se o fato da estrutura funcional “A” ser do tipo portátil havendo, portanto, um limite menor para a massa total da semeadora, pois as configurações de empurrar permitem conduzir maior massa. Quanto à precisão de semeadura, as estruturas funcionais “B” e “C” são superiores em função de sua automatização, não dependendo da habilidade do operador. A facilidade de transporte da estrutura funcional A deve-se à sua pequena massa em função do número reduzido de componentes. Esse fator contribui também para os

baixos custos de fabricação e manutenção da mesma, o que não ocorre com o custo operacional, visto que a capacidade operacional é inferior às demais estruturas.

Tabela 14 – Matriz de decisão para escolha da estrutura funcional.

Requisitos técnicos e especificações de custo		Estruturas funcionais		
		A	B	C
Critérios técnicos (requisitos e necessidades)	PR*	Avaliação do atendimento		
Regularidade distribuição longitudinal semente	16,71	1	10	10
Regularidade profundidade deposição semente	10,43	1	10	10
Danificação das sementes	8,67	5	10	5
Intervalo entre manutenções	7,54	5	5	1
Massa total	6,41	1	10	5
Duração da regulagem	6,41	5	10	1
Processos de fabricação usuais	5,28	10	5	5
Duração da manutenção	5,15	10	5	1
Montagens manuais	4,27	10	5	5
Materiais padronizados comuns	4,27	10	10	10
Vida útil	4,02	5	10	5
Ser fácil de transportar	2,40	10	5	5
Requisitos de projeto não utilizados no QFD	2,40	5,6	7,3	6,6
Índice de desempenho técnico (IDT)		393,93	709,94	504,33
Especificações de custo		Avaliação de custo		
Custo de fabricação	14,82	1	5	10
Custo de manutenção	6,03	1	5	10
Custo de operação (não utilizado no QFD)	6,03	10	1	1
Índice de custo (IC)		81,15	110,28	214,53
Relação entre IDT e IC		4,85	6,44	2,35

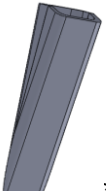
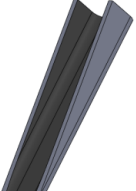
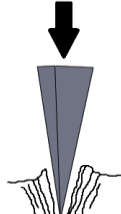
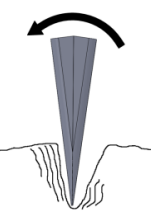
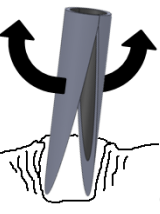
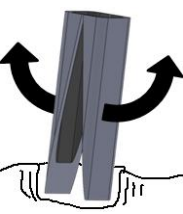
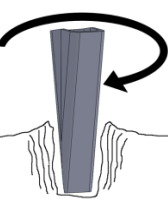
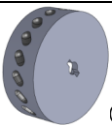
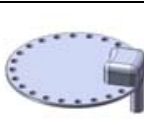
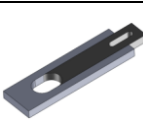
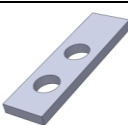
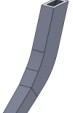
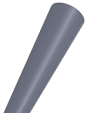
* PR: valor percentual de cada requisito de projeto em relação ao somatório de pontos de todos os requisitos de projeto (QFD) ou valor percentual de cada requisito de clientes em relação ao somatório de pontos de todos os requisitos de clientes (Mudge).

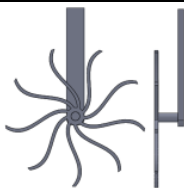
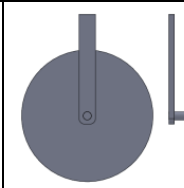
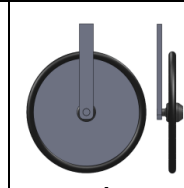
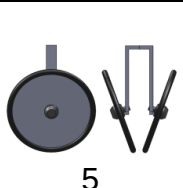
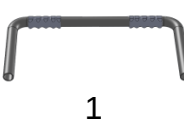
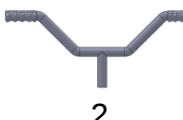
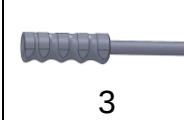
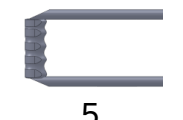
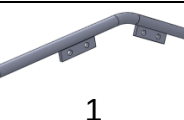
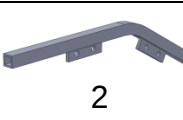
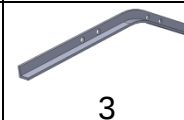
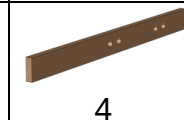
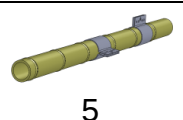
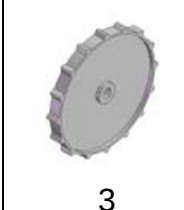
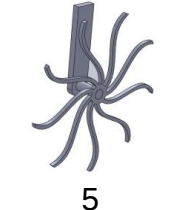
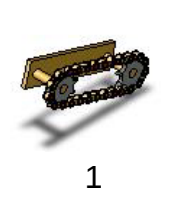
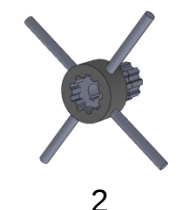
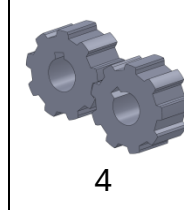
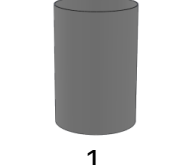
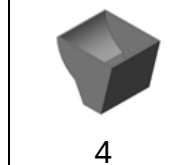
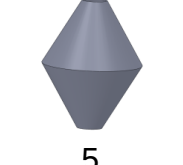
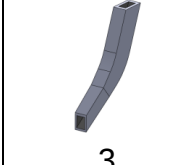
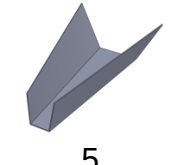
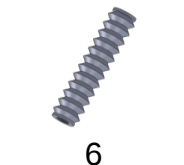
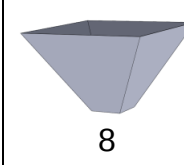
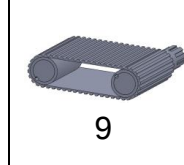
A estrutura funcional A obteve a melhor avaliação em termos de custo (menor IC) e a estrutura C o maior índice de custo (IC). No entanto, apesar do índice de custo ser 36% maior que o da estrutura funcional A, a estrutura funcional B obteve as melhores avaliações quanto aos critérios técnicos (IDT) e relação **IDT/IC** indicando que essa deve ser utilizada para a continuidade do projeto.

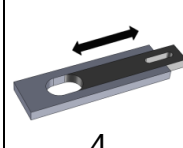
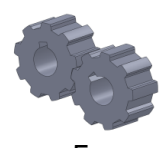
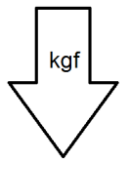
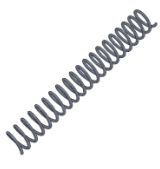
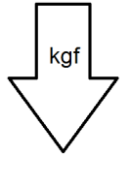
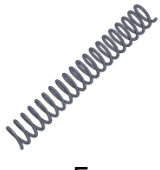
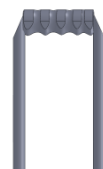
4.10 Pesquisa e combinação de princípios de solução

Para encontrar princípios de solução que realizassem as funções elementares da estrutura funcional, foram estudados sistemas técnicos existentes e pesquisadas patentes de semeadoras e mecanismos correlatos no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual - INPI e no *United States Patent and Trademark Office - USPTO*. Foram priorizados os princípios de solução disponíveis comercialmente (sistemas padronizados) a fim de reduzir os custos envolvidos no projeto. Para auxiliar a busca por princípios de solução, foi utilizada a ferramenta Matriz Morfológica (tab.15).

Tabela 15 – Matriz Morfológica com princípios de solução para as funções elementares da semeadora.

Funções elementares	Princípios de solução				
F1.1 Penetrar solo	 1 (P)	 2 *	 3	 4	 5 #
F1.2 Controla profundidade	 1	 2	 3	 4	 5
F1.3 Afastar solo	 1	 2	 3 (P)	 4	 5 #
F2 Dosar sementes	 1 (C)	 2 (R)	 3	 4	 5
F3.1 Direcionar sementes	 1	 2	 3	 4	 5

Funções elementares	Princípios de solução				
F3.2 Cobrir sementes	 1	 2	 3	 4	 5
F3.3 Pressionar solo					
F4.1 Acoplar fonte de tração	 1	 2	 3	 4	 5
F4.2 Suportar mecanismos	 1	 2	 3	 4	 5
F5.1 Captar movimento	 1	 2	 3	 4	 5
F5.2 Transmitir movimento	 1	 2	 3	 4	 5
F6.1 Armazenar sementes	 1	 2	 3	 4	 5
F6.2 Direcionar sementes	 1	 2	 3	 4	 5
	 6	 7	 8	 9	

Funções elementares	Princípios de solução				
F7.1 Regular dosagem	 1	 2	 3	 4	 5
F7.2 Regular cobrimento	 1	 2	 3	 4	 5
F7.3 Regular pressão	 1	 2	 3	 4	 5
F8 Sustentar p/ transporte	 1	 2	 3	 4	 5

* Resende (2002); # Molin (2002); © Chang (1998) *apud* Albiero *et al.* (2012); ® Magarinos e Neuls (2009); ® Stefanello *et al.* (2010)

A sistematização das possíveis combinações dos princípios de solução presentes na matriz morfológica geraria um número elevado de concepções possíveis, o que tornaria a tarefa de descrição e avaliação das mesmas excessivamente demorada e trabalhosa. Portanto, partiu-se para a combinação dos princípios de solução fundamentais, considerados mais promissores para execução das funções parciais “F1 Abrir solo” e “F2 Dosar sementes”. Os princípios de solução para as demais funções foram avaliados de forma independente, sendo escolhidos os mais adequados, buscando-se combinações viáveis.

As combinações alternativas foram geradas a partir das seis combinações prévias representadas na Fig. 17, enumeradas a seguir:

- 1) Puncionador com portas ativadas longitudinalmente e dosador anel vertical.
- 2) Puncionador com portas ativadas longitudinalmente e dosador rotor vertical.
- 3) Puncionador com portas ativadas longitudinalmente e disco horizontal.

- 4) Puncionador com portas ativadas lateralmente e dosador anel vertical.
- 5) Puncionador com portas ativadas lateralmente e dosador rotor vertical.
- 6) Puncionador com portas ativadas lateralmente e dosador disco horizontal.

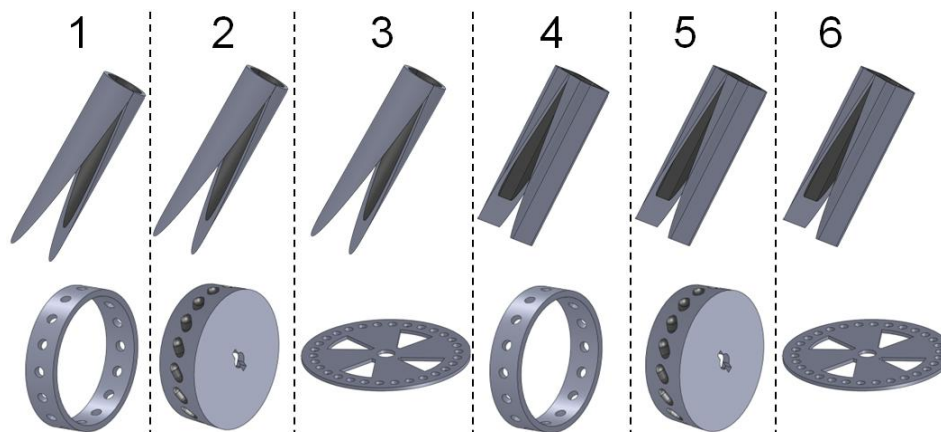


Figura 17 – Combinações dos princípios de solução para abertura do solo e dosagem de sementes.

Um cuidado importante a ser tomado no projeto de uma semeadora manual refere-se à baixa disponibilidade de potência para acionamento da totalidade de seus mecanismos. Com base nisso, procedeu-se a escolha dos mecanismos responsáveis pelas diversas funções da semeadora.

Seguindo a lógica da exclusão de mecanismos ou elementos demandantes de maior potência, foram considerados nesse trabalho os itens passíveis de acionamento com a força humana apenas. Dessa forma, os componentes principais das semeadoras foram detalhados em maior grau quando apresentaram viabilidade e os demais foram apenas citados e minimamente caracterizados.

Os elementos que mais se adéquam à semeadura direta manual são os puncionadores, que são classificados em ativos e passivos ou de portas ativas e passivas. No caso dos puncionadores passivos ocorrem efeitos de forças transversais em relação à direção de deslocamento que desviam lateralmente a máquina da trajetória pretendida, apesar de demandarem pouca energia para conduzi-la. Em alguns modelos de puncionadores com esse conceito esse efeito poderia ser tal que causaria fadiga excessiva do trabalhador devido ao esforço extra para corrigir a trajetória da máquina. Já os puncionadores de portas ativas podem ter movimentos laterais ou longitudinais, em relação à direção de deslocamento, de um ou ambos os lados do mesmo e seu formato pode ser prismático ou cilíndrico. Independente do conceito utilizado para a semeadora deve-se ter uma máquina

projetada para trabalhar em solos com cobertura vegetal sem que ocorram embuchamentos.

Os puncionadores considerados mais adequados são os que permitem a passagem das sementes pelo seu interior, para liberá-las assim que o solo for aberto. Dessa maneira, evita-se que as sementes sejam depositadas fora das covas. Para abrir o solo, foram utilizados de forma associada os princípios de solução 1 (puncionar), 2 (alavanca) e 3 ou 4 (afastar longitudinal ou lateralmente). Foram desconsiderados os elementos geradores de forças resultantes transversais, o que dificultaria a condução da máquina. Para controlar a profundidade foram escolhidos rodados metálicos ou com banda de rodagem de borracha, o que possibilita exercer também a função de sustentação para o transporte. Anteparos fixos para controle de profundidade poderiam reter a cobertura vegetal causando embuchamentos.

Tanto para cobertura das sementes como para compactação do solo foram selecionados os mesmos princípios de solução, na forma de mecanismos giratórios (passivos) com diferentes formatos de superfícies de contato. Os mesmos são posicionados longitudinalmente e na posição vertical (sem ângulo), evitando forças resultantes transversais. A regulação será obtida pela alteração da posição do cobridor (lateralmente e verticalmente) e da carga aplicada sobre o mesmo por ajuste de molas ou diferenças de peso.

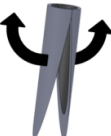
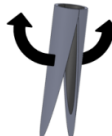
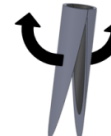
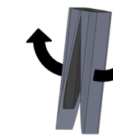
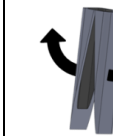
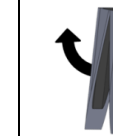
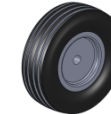
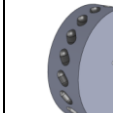
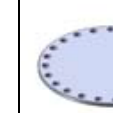
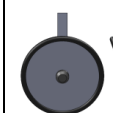
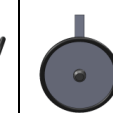
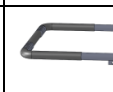
O acoplamento à fonte de tração associado ao suporte de mecanismos foi contemplado por estrutura tubular com seção circular e manoplas anatômicas em barra transversal. Para captar e transmitir movimento aos dosadores de sementes foram consideradas respectivamente três possibilidades: a) puncionadores dispostos em uma roda acoplados diretamente pelos tubos condutores de sementes; b) rodas limitadoras de profundidade e conjunto de transmissão por corrente e rodas dentadas; c) rodas limitadoras de profundidade e conjunto de transmissão por corrente e rodas dentadas e engrenagens cônicas (mudança de direção de movimento).

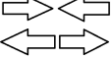
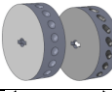
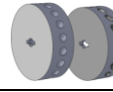
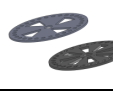
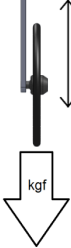
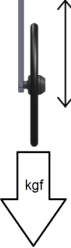
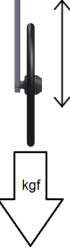
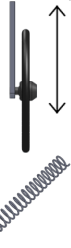
Para o fornecimento de sementes ao dosador, elegeu-se um reservatório cilíndrico com fundo cônico e tubo condutor flexível que permite facilidade de escoamento das sementes. Mesmo sendo a individualização ou dosagem de grupos de sementes consideradas semeadura de precisão, é preferível a primeira alternativa. A dosagem de sementes foi atendida por princípios de solução com captação de sementes por orifícios ou células e acionados mecanicamente. Para

regular a dosagem de sementes foram selecionados os princípios de solução troca de elementos dosadores (anel, rotor ou disco), mudança de relação de transmissão e indiretamente através da alteração do espaçamento entre linhas de semeadura. No entanto, uma configuração de dosador com movimento rotacional e componente que capta movimento com árvores paralelas é preferível às demais, por economia de material e redução de demanda energética. Portanto as opções que mais atendem as necessidades da semeadura manual são os mecanismos do tipo rotor ou anel vertical ou novos conceitos que permitam a individualização das sementes com movimento rotacional e paralelo ao eixo do mecanismo de captação de movimento.

Na tab. 16 são apresentadas as seis combinações de princípios de solução baseadas nas considerações anteriores e associadas às seis combinações prévias demonstradas na Fig. 17.

Tabela 16 – Combinações dos princípios de solução para as funções elementares.

Fç.	Combinações de princípios de solução					
	1	2	3	4	5	6
F1.1 F1.3						
F1.2						
F2						
F3.1						
F3.2 F3.3						
F4.1 F4.2						
F5.1						

Fç.	Combinações de princípios de solução					
F5.2						
F6.1						
F6.2						
F7.1						
						
F7.2 F7.3						
F8						

* variar o espaçamento entre linhas de semeadura

4.11 Seleção das combinações de princípios de solução

O resultado do julgamento da viabilidade das combinações dos princípios de solução mais promissores é apresentado na tab. 17. As combinações derivadas das combinações prévias 3 e 6, compostas pelo dosador de disco horizontal, foram descartadas por terem sido consideradas inviáveis. As razões para essa decisão foram a maior complexidade do sistema, em função da necessidade de transformar o movimento captado através de engrenagens cônicas, dificuldade de sincronismo do dosador com os abridores de solo e maior custo de fabricação devido ao maior número de componentes.

Tabela 17 – Julgamento de viabilidade das combinações preliminares.

Combinação	Viável	Condicio- nalmente viável	Não viável	Observações
1	x			
2		x		Baixa precisão do mecanismo dosador
3			x	Maior complexidade do sistema, necessidade de transformação de movimento, dificuldade de sincronismo do dosador com os abridores de solo e maior custo de fabricação
4		x		Movimento de abertura lateral gera forças laterais variáveis em magnitude e sentido desviando a trajetória da máquina e pode ocorrer obstrução do interior dos punçadores devido a passagem de solo por seu interior
5		x		Idem às concepções 2 e 4
6			x	Idem às concepções 3 e 4

A avaliação da disponibilidade de tecnologia das concepções restantes (1, 2, 4 e 5) está suficientemente amadurecida de modo a serem efetivamente utilizadas no projeto. Os processos de produção são conhecidos e a tecnologia de baixa complexidade totalmente desenvolvida, usando-se para isso materiais de uso comum. Os princípios físicos utilizados, os parâmetros funcionais críticos e a sensibilidade dos parâmetros operacionais encontram-se plenamente entendidos. Os modos de falha são conhecidos e facilmente identificáveis e há experiência e avaliação suficiente de sistemas e subsistemas similares com as mesmas funções.

Foram elaborados 13 questionamentos referentes às necessidades dos clientes para aplicação do exame passa/não passa (tab. 18), direcionados a cada concepção originada da respectiva combinação de princípios de solução:

- 1) A concepção apresenta precisão na dosagem de sementes?
- 2) A concepção apresenta precisão na deposição de sementes?

- 3) A concepção apresenta pequena danificação de sementes?
- 4) Os mecanismos da concepção são fáceis de regular?
- 5) A manutenção dos mecanismos da concepção é realizada com facilidade?
- 6) Os custos da concepção permitem um baixo preço de venda?
- 7) A concepção permite montagens com o mínimo de ferramentas?
- 8) A manutenção dos mecanismos exige pequeno número de tarefas?
- 9) A concepção é transportada com facilidade?
- 10) A manutenção dos mecanismos é de baixo custo?
- 11) A fabricação da concepção é simples?
- 12) A concepção oferece segurança ao operador?
- 13) A concepção permite uma boa durabilidade?

Tabela 18 – Resultados do exame passa/não passa das concepções resultantes.

Concepção	Respostas													Resultado
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	Passa
2	np	p	p	p	p	p	p	p	p	p	np	p	p	Passa
4	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	Passa
5	np	p	p	p	p	p	p	p	p	p	np	p	p	Passa

Os resultados demonstraram que todas as concepções passaram no teste, havendo apenas dois questionamentos que demonstraram deficiências no atendimento às necessidades quanto à precisão de dosagem de sementes e maior complexidade de fabricação, ambos referentes ao dosador tipo rotor vertical.

Baseando-se em critérios elaborados a partir das necessidades dos clientes, as combinações foram comparadas entre si na matriz de avaliação (tab. 19) tendo-se como referência a combinação 1.

Todas as combinações obtiveram pontuação inferior em comparação com a referência. As combinações 2 e 4 obtiveram pontuação total global muito próxima e pontuação igual no peso total. A combinação 5 obteve pontuação total global e peso total inferiores às demais, sendo descartada para a continuidade do projeto.

Tabela 19 – Matriz de avaliação das combinações de princípios de solução.

Critérios de comparação	Peso (Mudger)	Combinação			
		1	2	4	5
Ter fabricação simples	1		-1	-1	-2
Ter baixo custo de aquisição	3	R	-1	-1	-1
Ser fácil de regular	6	E	M	M	M
Ter montagem sem ferramentas	2	F	M	M	M
Ser seguro ao operador	1	E	M	M	M
Ser fácil de transportar	1	R	M	M	M
Ter precisão na dosagem	10	Ê	-2	M	-2
Ter precisão na deposição	10	N	M	-1	-1
Pequena danificação de sementes	8	C	1	M	1
Ter manutenção reduzida	2	I	M	-1	-1
Ter manutenção de baixo custo	1	A	M	M	M
Ter manutenção fácil	4		M	M	M
Ser durável	1		M	M	M
Total +		0	1	0	1
Total -		0	-4	-4	-7
Total global		0	-3	-4	-6
Peso total		0	-16	-16	-29

4.12 Evolução em variantes de concepção

As combinações restantes 1, 2 e 4 resultaram em três concepções, denominadas respectivamente de Concepção A, Concepção B e Concepção C. Todas têm em comum a estrutura tubular de seção circular com manoplas anatômicas. Em todas o reservatório é de formato cilíndrico com fundo cônico e os tubos condutores são flexíveis. No caso da individualização das sementes é necessário que haja sincronismo entre o mecanismo dosador e os puncionadores e até mesmo que sejam em mesmo número, os puncionadores (abridores de covas) e os orifícios ou células dos elementos dosadores de sementes. Para os demais componentes há variações que são apresentadas a seguir.

A concepção A (Fig. 18) é composta por uma roda (2), portadora dos puncionadores, que capta e transforma o movimento de deslocamento da semeadora em relação ao solo em movimento giratório e o transmite diretamente ao dosador tipo anel vertical (3) através dos tubos condutores de sementes (4) que ligam o dosador aos puncionadores. Os puncionadores (1) possuem abertura longitudinal em torno de um eixo horizontal tangente à roda portadora em posição perpendicular ao plano longitudinal e são acionados mecanicamente por cames internos à roda portadora para não enroscar na cobertura vegetal.

Os mecanismos utilizados para controlar a profundidade são duas rodas com borda de borracha (8) posicionadas lateralmente a cada lado da roda portadora dos puncionadores. As rodas são ligadas a hastes (7) com articulação em sua extremidade (6). O movimento em torno desse eixo (6) permite a mudança de posição dessas rodas, possibilitando a sustentação da máquina para seu transporte e realização de manobras. Para cobrir as sementes com solo e pressionar o solo sobre as sementes essa concepção utiliza uma roda raiada (5) com formato que favorece a penetração pontual no solo sem enroscar na cobertura vegetal. Esse dispositivo pode ser de giro livre ou ser sincronizado com a roda portadora dos puncionadores, fazendo coincidir cada raio deste com uma cova utilizando-se para isso uma transmissão por corrente.

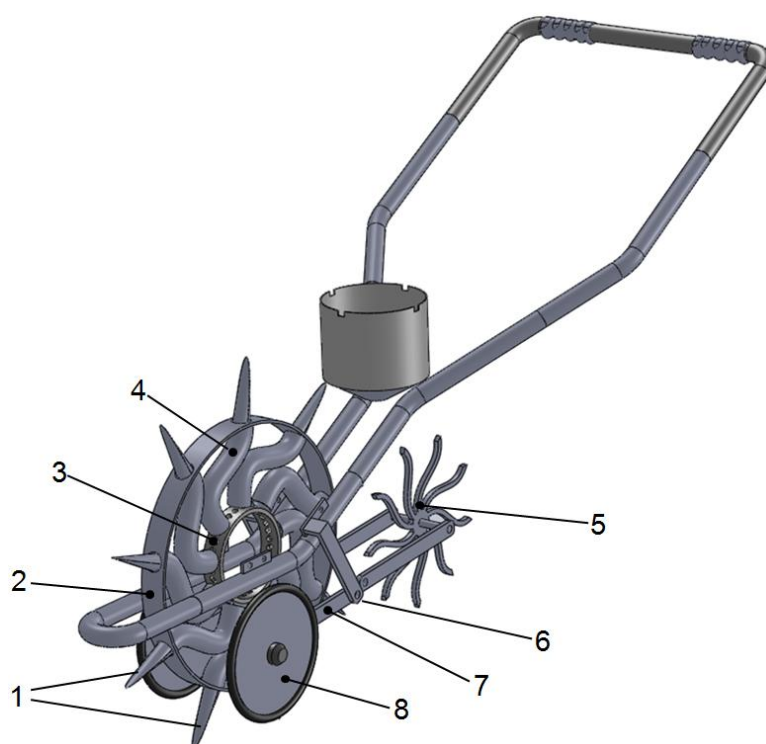


Figura 18 – Semeadora puncionadora de tração humana: Concepção A.

Na concepção A, a regulação da densidade populacional de plantas é realizada com a troca de diferentes anéis dosadores e alteração do espaçamento entre linhas de semeadura. Para regular o cobrimento das sementes com solo e a pressão de compactação do solo sobre as sementes há possibilidade de variar a posição das rodas cobridoras compactadoras verticalmente e transversalmente em relação à direção de deslocamento da máquina associada à variação da carga através de lastro.

A concepção B (Fig. 19) é composta por uma roda (2), portadora dos puncionadores, que capta e transforma o movimento de deslocamento da máquina em relação ao solo em movimento giratório e o transmite diretamente ao dosador tipo rotor vertical (3) através dos tubos condutores de sementes (4) que ligam o dosador aos puncionadores. Os puncionadores (1) possuem abertura longitudinal em torno de um eixo horizontal em posição transversal e são acionados mecanicamente por cames internos à roda portadora.

Os mecanismos utilizados para controlar a profundidade são dois pequenos rodados pneumáticos (6) posicionados a cada lado da roda portadora dos puncionadores. Da mesma forma que na concepção A, através da mudança de posição desses rodados é possibilitada a sustentação da máquina para seu transporte e realização de manobras. Para cobrir as sementes com solo e pressionar o solo sobre as sementes essa concepção utiliza uma roda dentada (5) com formato que permite contato pontual de uma fração de sua circunferência no solo. Esse dispositivo pode ser de giro livre ou ser sincronizado com a roda portadora dos puncionadores, fazendo coincidir cada raio deste com uma cova utilizando-se para isso uma transmissão por corrente. Nessa concepção a regulação da densidade populacional de plantas é realizada com a troca de diferentes rotores dosadores e alteração do espaçamento entre linhas de semeadura. Para regular o cobrimento das sementes com solo e a pressão de compactação do solo sobre as sementes há possibilidade de variar a posição das rodas cobridoras compactadoras verticalmente e transversalmente em relação à direção de deslocamento da máquina associada à variação da carga através de lastro.

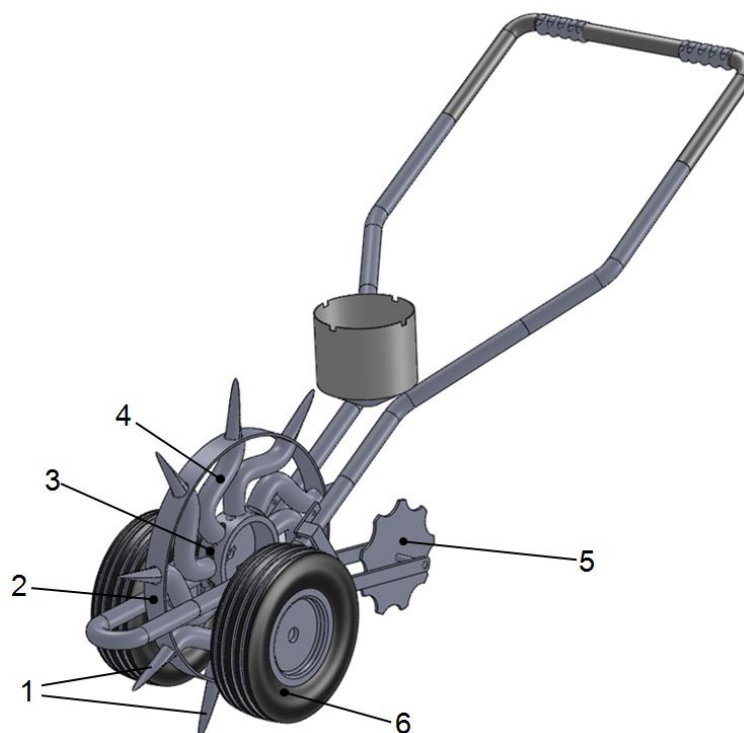


Figura 19 – Semeadora puncionadora de tração humana: Conceção B.

A concepção C (Fig. 20) é composta por uma roda (2), portadora dos puncionadores, que possuem abertura lateral em torno de um eixo paralelo ao plano longitudinal e tangente à roda portadora e são acionados mecanicamente por cames internos à roda portadora. Os mecanismos utilizados para controlar a profundidade são dois pequenos rodados pneumáticos (6) posicionados a cada lado da roda portadora dos puncionadores. Um desses rodados capta e transforma o movimento de deslocamento da máquina em relação ao solo em movimento giratório e o transmite ao dosador tipo anel vertical (3) através de transmissão por corrente e rodas dentadas. Da mesma forma que nas concepções A e B, através da mudança de posição desses rodados é possibilitada a sustentação da máquina para seu transporte e realização de manobras. Para cobrir as sementes com solo e pressionar o solo sobre as sementes essa concepção utiliza duas rodas cobridoradoras compactadoras (5) de giro livre dispostas em “V”. Essa disposição implica em ângulos verticais e horizontais diferentes de 0° em relação ao plano longitudinal. Nessa concepção a regulação da densidade populacional de plantas é realizada com a troca de diferentes anéis dosadores e troca da relação de transmissão de movimento do rodado ao dosador. Para regular o cobrimento das sementes com solo e a pressão de compactação do solo sobre as sementes há possibilidade de variar a posição das rodas cobridoradoras compactadoras verticalmente e

transversalmente em relação à direção de deslocamento da máquina associada à variação da carga através de alteração de compressão de uma mola.

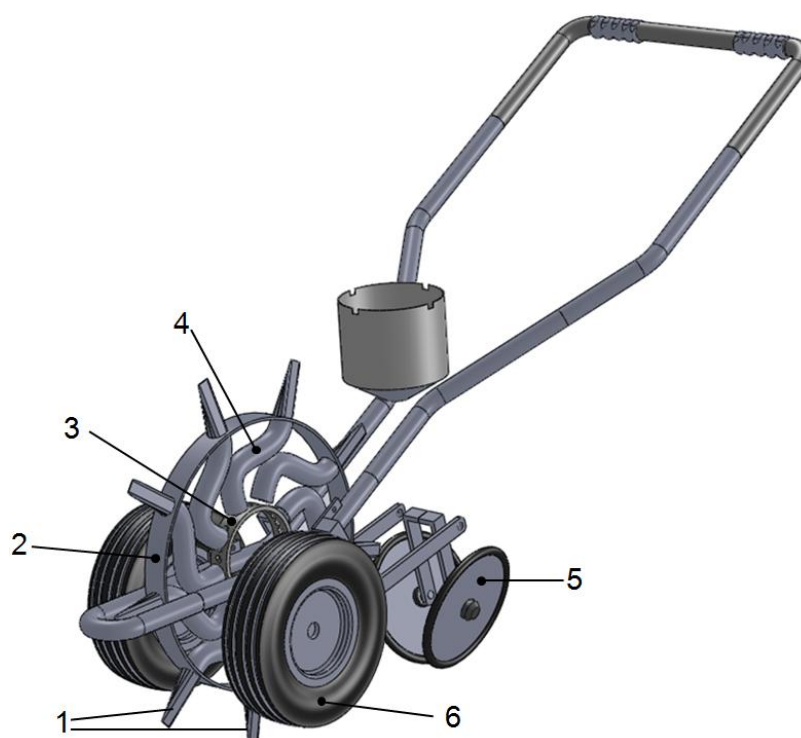


Figura 20 – Sementeira puncionadora de tração humana: Concepção C.

4.13 Avaliação das concepções, seleção e evolução

Para avaliar as concepções através da Matriz de Decisão foi utilizada como referência a Concepção A, e os pesos referentes aos requisitos de projeto foram suas percentagens de pontuação obtidas no QFD (em relação ao somatório de pontos de todos os requisitos) conforme a tab. 20.

As concepções B e C obtiveram pontuação total positiva de +1, superando a concepção de referência apenas em um requisito de projeto. A concepção B obteve pontuação total negativa -5 e total global de -4 e a concepção C obteve pontuação total negativa -8 e global -7. O peso total dessas duas concepções foi inferior ao da concepção de referência (A). Desta forma demonstra-se a superioridade da concepção A, a qual foi escolhida para a continuidade do projeto. O requisito “Regularidade da profundidade de sementeira”, cujas concepções A e B atenderam de maneira melhor que a concepção de referência, servirá de parâmetro para melhorias na concepção escolhida.

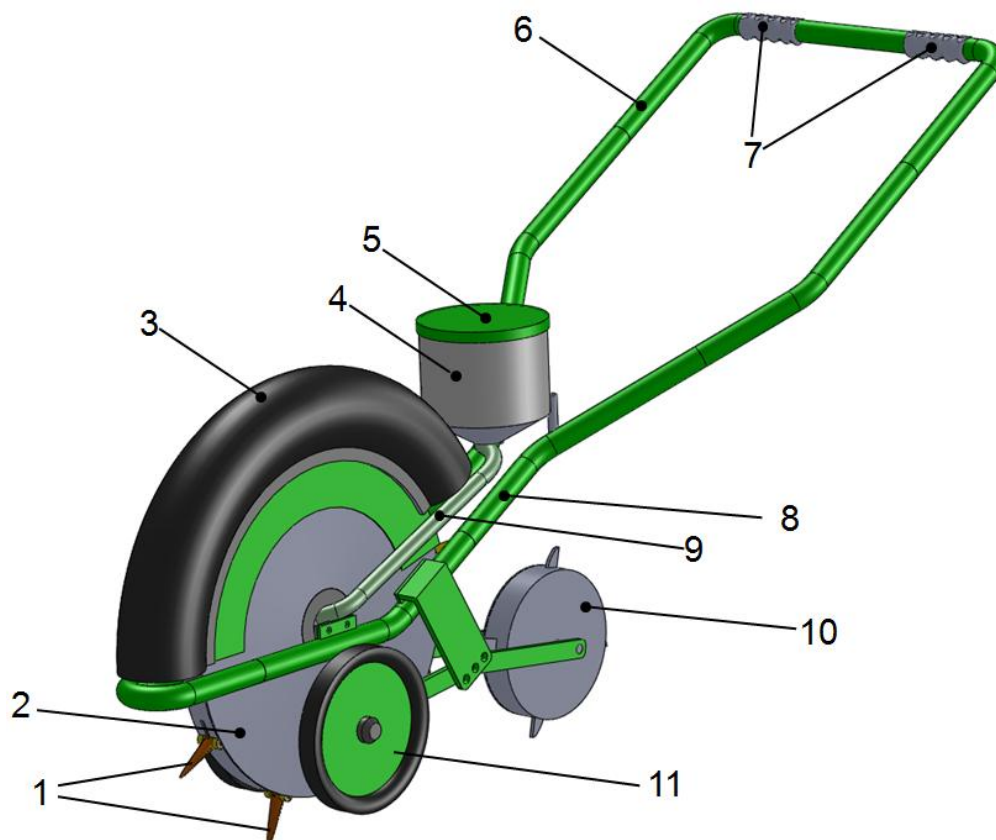
Tabela 20 – Matriz de avaliação das concepções da semeadora puncionadora.

Critérios de comparação	Peso (QFD)	Concepções		
		A	B	C
Materiais padronizados comuns	4,27		M	M
Processo de fabricação usual	5,28	R	-1	M
Custo de fabricação	14,82	E	-1	-2
Duração da regulagem	6,41	F	M	-1
Montagens manuais	4,27	E	M	-1
Massa total	6,41	R	-1	-1
Regularidade de distribuição de sementes	16,71	Ê	-2	-1
Regularidade da profundidade de semeadura	10,43	N	+1	+1
Danificação das sementes	8,67	C	M	M
Intervalo entre manutenções	7,54	I	M	M
Duração da manutenção	5,15	A	M	-1
Custo de manutenção	6,03		M	-1
Vida útil	4,02		M	M
Total +		0	+1	+1
Total -		0	-5	-8
Total global		0	-4	-7
Peso total		0	-49,50	-64,19

Onde: +2, muito melhor; +1, melhor; M, da mesma forma; -1, de modo pior; -2, de modo muito pior

Posteriormente, a concepção A foi aprimorada, evoluindo através de ajustes e novos componentes necessários ao atendimento das necessidades dos usuários (Fig. 21). Quanto ao requisito regularidade de profundidade de deposição de sementes, a modificação deu-se na banda de rodagem das rodas limitadoras de profundidade (11) que, por serem muito estreitas, foram alargadas para aumentar a superfície de contato com o solo. A regulagem da profundidade de semeadura é obtida pela variação de um calço limitador de posição final das hastes às quais estão vinculadas as rodas limitadoras de profundidade. Concomitantemente, foi possibilitado que essas mesmas rodas, através de seu pivotamento, proporcionassem suporte para o transporte da máquina e realização de manobras com maior facilidade.

Para evitar entrada de plantas e proteger o operador quanto a ferimentos, foi introduzida uma blindagem (3) na parte superior da roda portadora dos puncionadores.



Legenda

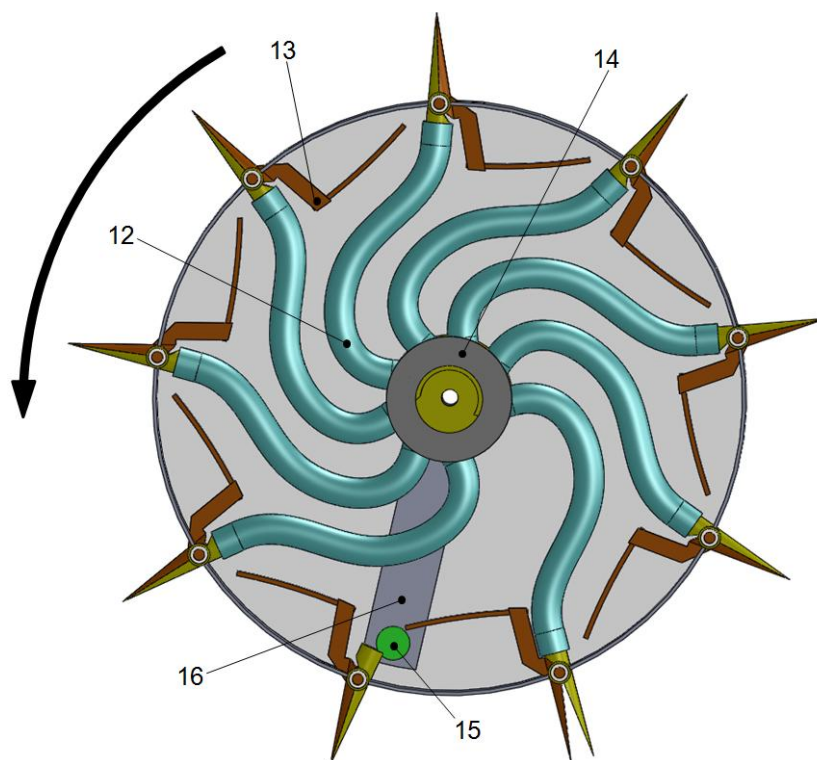
- 01- Puncionadores
- 02- Roda portadora dos puncionadores
- 03- Blindagem de proteção
- 04- Reservatório de fundo cônico
- 05- Tampa do reservatório
- 06- Rabiça de estrutura tubular de seção circular
- 07- Manoplas anatômicas para operação e condução da semeadora
- 08- Estrutura tubular de suporte para os mecanismos
- 09- Tubo condutor de sementes
- 10- Roda cobridora compactadora
- 11- Roda limitadora de profundidade (esquerda)

Figura 21 – Componentes da semeadora puncionadora de tração humana.

A roda cobridora compactadora (10) foi modificada de modo a evitar sobressaltos entre as covas, sendo adicionada uma borda mais larga e de menor diâmetro que as pontas da mesma. Na periferia da roda cobridora há quatro pontas fixas que penetram o solo próximo às covas sobre a linha de semeadura, conformando e pressionando o solo de modo a cobrir as sementes e promover contato entre ambos. Para que essas pontas penetrem o solo na posição adequada, pois as covas são pontuais, houve a necessidade de sincronizar essa roda com os puncionadores. Para isso foi utilizado um sistema de transmissão por corrente, com

relação de transmissão idêntica à existente entre o número de puncionadores e de pontas da roda cobridora compactadora. Ou seja, para os nove puncionadores e quatro pontas pode-se utilizar dezoito e oito dentes nas rodas dentadas da transmissão, respectivamente. Esse sistema de transmissão pode ser dispensado, caso não haja problemas em perturbar a superfície do solo em toda a linha de semeadura. Nesse caso, deve-se utilizar um disco cego ou com pontas mais próximas umas das outras para que ocorra o cobrimento das sementes e compactação do solo. A regulação do cobrimento e da pressão de compactação é alcançada com a variação da massa das rodas cobridoras compactadoras (10) e pelo ajuste de calços limitadores que variam a transferência da força resultante da massa da semeadora para essas rodas.

Os puncionadores abrem longitudinalmente por meio da ação de alavancas (13) acionadas quando passam por um rolamento (15) fixo em uma haste (16) adequadamente posicionada (Fig. 22). Os puncionadores penetram o solo fechados e assim que atingem posição perpendicular começam a abrir e liberam as sementes.



Legenda

- 12- Tubo condutor de sementes
- 13- Alavanca de acionamento da abertura do puncionador
- 14- Conjunto dosador de sementes tipo anel vertical
- 15- Rolamento para acionar as alavancas de abertura dos puncionadores
- 16- Haste fixa para posicionar o rolamento

Figura 22 – Conjunto de componentes para dosagem e deposição de sementes.

Para o sistema de dosagem de sementes, são necessários anéis verticais com diferentes números de células, formatos e dimensões, a fim de se adequarem às características das sementes de milho e feijão. Os espaçamentos entre covas na linha de semeadura são de aproximadamente 0,22m e variam minimamente de acordo com a variação da profundidade das covas e, portanto, a variação da densidade de semeadura é modificada pela troca de anéis dosadores e ajuste do espaçamento entre linhas. Nessa concepção, foi determinado que o número de nove punçadores associado com anéis dosadores verticais com o mesmo número de células proporcionaria a melhor configuração para atender a semeadura de milho prevendo semeadura de 50.500 sementes por hectare, considerando um espaçamento de 0,9m entre linhas de semeadura. Para aumentar essa população basta reduzir o espaçamento entre as linhas de semeadura. Já para o feijão, é necessário um anel dosador vertical que dose duas, três ou quatro sementes em cada cova, para espaçamentos entre linhas de 0,3m, 0,45m e 0,6m respectivamente, visando semear 303.000 sementes por hectare. Da mesma forma, para um mesmo anel dosador, o aumento do espaçamento entre linhas de semeadura reduz a densidade de plantas por hectare e a diminuição do espaçamento aumenta o número de plantas por área.

É possível obter estandes de semeadura adequados com variações no número de sementes por metro linear e por área. Pode-se disponibilizar a semeadora com conjuntos de anéis dosadores para operar com espaçamentos predeterminados de 0,9m para milho e de 0,45m para feijão, eliminando possibilidade de equívoco na implantação das lavouras.

As montagens na semeadora serão feitas na forma de encaixes por pressão, engates rápidos e alavancas, permitindo facilidade de manutenção e regulagens. Os mesmos estarão posicionados de maneira a evitar que plantas venham a se enroscar na máquina, seguindo os princípios das superfícies lisas, pois a máquina trabalhará em ambiente com cobertura vegetal.

5 CONCLUSÕES

A facilidade na busca por soluções proporcionada pela metodologia de projeto utilizada, associada à experiência da equipe em relação às operações agrícolas e respectivos equipamentos, foi determinante no desenvolvimento da concepção da semeadora, facilitando as tomadas de decisão nas diferentes etapas do projeto, levando a uma solução considerada adequada à proposta inicial do trabalho.

Foi demonstrada a importância da utilização da metodologia na pesquisa e desenvolvimento, que proporcionou a obtenção do conceito da semeadora antes mesmo de incorrer em gastos com construção de vários protótipos e numerosos testes, o que ocorre na maioria das empresas.

Foi possível estabelecer o projeto de uma semeadora de tração humana capaz de realizar semeadura direta de milho e feijão (sementes graúdas).

A concepção da semeadora punçionadora de empurrar utiliza princípios de solução existentes e atualmente empregados, sendo capaz de atender as necessidades dos usuários.

Em relação às semeadoras manuais portáteis, o novo conceito da semeadora proporcionará maiores segurança, capacidade operacional e precisão na semeadura com pequena danificação de sementes. Será fácil de regular, de transportar e de realizar a manutenção (reduzida e de baixo custo).

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A principal recomendação para trabalhos futuros é o desenvolvimento das fases de projeto preliminar e detalhado da concepção final, bem como a construção de um protótipo para a validação do projeto.

Simular uma linha de produção da semeadora.

Após a execução do protótipo, realizar ensaios de campo em condições controladas e testes funcionais com agricultores.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Norma 04:015:06:004. Semeadora de precisão: ensaio de laboratório. São Paulo: ABNT, 1994. 22p.
- AIDAR, H. Cultivo do Feijoeiro Comum - Características da Cultura. – Sistema de Produção, 2, EMBRAPA, 2003. Versão Eletrônica - jan. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>>. Acesso em: 06 dez. 2012.
- ALBIERO, D.; MACIEL, A.J. da S.; MILAN, M.; MONTEIRO, L. de A.; MION, R.L. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. **Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 1, p. 86-95, jan-mar, 2012.
- ALMEIDA, R. de A.; SILVA, J.G. da. Avaliação de desempenho de uma semeadora adubadora à tração animal com diferentes sistemas de sulcadores, regulagens de disco de corte e coberturas mortas no plantio direto do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.2, n.29, p.56-66, 1999.
- ALONÇO, A. dos S. **Metodologia de Projeto Para a Concepção de Máquinas Agrícolas Seguras**. 2004. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – CTC-EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ANDERSSON, N.L.M. **Seleção de tratores agrícolas adequados à agricultura familiar**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- ANTUNES, I.F. *et al.* **Vade-mécum das cultivares de feijão no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 59 p.
- ARAÚJO, A. G. de; FIGUEIREDO, P.R. A. de; FIGUEIREDO, R.; ROSSETTO, R. **Identificação dos gargalos tecnológicos da agricultura familiar**: subsídios e diretrizes para uma política pública. Etapa: Identificação das inovações tecnológicas desenvolvidas pela agricultura familiar. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), 2005. 125 p.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J.C. da. **Projeto Integrado de Produtos**: Planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008. 601p.
- BAXTER, M. **Projeto de produto**: Guia prático para o design de novos produtos / Mike Baxter; tradução Itiro Iida. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2011. 342 p.
- BERETTA, C. C. **Tração Animal na Agricultura**. São Paulo: Nobel, 1998. 103 p.
- BIANCHINI, A.; MAGALHÃES, P.S.G. Evaluation of coulters for cutting sugar cane residue in a soil bin. **Biosystems Engineering**, v.100, n.3, p.370-375, 2008.
- BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. da S.; CRUZ, S. C.S.; BICUDO, S. J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2334-2339, nov, 2009.

BRACHTVOGEL, E.L. **Densidades e arranjos populacionais de milho e componentes agrônômicos**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25.07.2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm>. Acesso em: 06 dez. 2012.

BRASIL. Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26.02.1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8629.htm>. Acesso em: 06 dez. 2012.

CALDEIRA, S.A.; SPAGNOLO, R.T.; CÚSTODIO, T.V.; SILVA, M.B.; MACHADO, A.L.T. Caracterização de produtores orgânicos do sul do rio grande do sul quanto a forma de combate às plantas concorrentes. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20, 2011, Pelotas, **Anais do...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. CD-Rom.

CAMPBELL, J.K. **Dibble sticks, donkeys and diesels**: machines in crop production. Manila: International Rice Research Institute, 1990. 329 p.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; FUENTES, R.L. **Sistema plantio direto no sul do brasil**: Fatores que promoveram a evolução do sistema e o desenvolvimento de máquinas agrícolas. Londrina: FAO/IAPAR/FAPEAGRO, 2008. 100p.

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO (CTSBF). **Informações técnicas para o cultivo do feijão na Região Sul brasileira 2009**. Florianópolis: EPAGRI, 2010. 164 p.

CRUZ, J.C.; PEREIRA, F. T.F.; FILHO, I.A.P.; OLIVEIRA, A.C. de; MAGALHÃES, P.C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.1, p.60-73, 2007.

EMBRAPA – Sistema de Produção, 1: Cultivo do Milho – Plantio. Versão Eletrônica - 6.ed. set. 2010. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_6ed/manejomilho.htm>. Acesso em: 06 dez. 2012.

EMBRAPA – Sistema de Produção, 2: Cultivo do Feijoeiro Comum – Plantio. Versão Eletrônica - jan. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/plantio.htm>>. Acesso em: 06 dez. 2012.

FEPAGRO; EMATER-RS/ASCAR. **Indicações técnicas para o cultivo do milho e do sorgo no Rio Grande do Sul**: Safras 2011/2012 e 2012/2013. Organizado por Lia Rosane Rodrigues e Paulo Regis Ferreira da Silva. Porto Alegre: Fepagro, 2011. 140 p.

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

GARCIA, R. F. **Fontes de potência para acionamento de máquinas agrícolas**. Apostila da Disciplina de Mecânica Aplicada. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Laboratório de

- Engenharia Agrícola, Goytacazes - RJ, Brasil. Disponível em:
<http://www.garcia.xpg.com.br/aula10_potencia.pdf> Acesso em: 06 dez. 2012.
- GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. 4. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul Ltda. 1998. 338p.
- IBGE. Censo Agropecuário 2006. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/agri_familiar_2006/familia_censoagro2006.pdf> Acesso em: 06 dez. 2012.
- IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 614p.
- JAUER, A.; DUTRA, L. M. C.; ZABOT, L.; LUCCA FILHO, O.A.; LOSEKANN, M. E.; UHRY, D.; STEFANELO, C.; FARIAS, J. R.; LUDWIG, M. P. Análise de crescimento da cultivar de feijão pérola em quatro densidades de semeadura. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 10, n. 1, p. 1-12. 2003.
- JAYAN, P.R.; KUMAR, V.J.F. Evaluation of a dibber wheel at different selected parameters under static conditions. **Journals of Engineers Institution** (India), Kolkata, v. 87, p. 12-15, jun.-dez, 2006.
- LEONARD, D. **Traditional Field Crops**. Washington, D.C.: TransCentury Corporation, 1981. 283p.
- MACHADO, A. L. T.; REIS, A.V. dos; MACHADO, R. L. T.; STEFANELLO, G.; HORNKE, N. F. Caracterização das Unidades Familiares de Produção do Sul do Rio Grande do Sul – Brasil com Relação à Mecanização Agrícola. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, CLIA 2010, 9. CONGRESO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA 2010, 39., 2010, Vitória –ES. **Anais do...** Vitória: SBEA, 2010a, v. 1 cd.
- MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V. dos; MACHADO, R.L.T. **Tratores para agricultura familiar**: guia de referência. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2010b. 124 p.
- MAGARINOS, A.; NEULS, J.D. **Distribuidor de sementes de uso vertical**. BR n. MU 8801656-0, 14 jul. 2008, 7 jul. 2009.
- MOLIN, J. P. A punch planter with adjustable seed spacing. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING / CIGR WORLD CONGRESS, 15., 2002, Chicago, Illinois, USA. **Anais do....** St. Joseph, Michigan: ASAE, 2002.
- MOLIN, J. P.; D'AGOSTINI, V. Development of a rolling punch planter for stony soil conditions. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, Japan v. 27, n. 3, p. 17 - 19, 1996.
- MOLIN, J.P.; MENEGATTI, L.A.A.; GIMENEZ, L.M. Avaliação do desempenho de semeadoras manuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.5, n.2, p.339-343, 2001.
- MURRAY, J. R.; TULLBERG, J. N.; BASNET, B. B. **Planters and their Components**: Types, attributes, functional requirements, classification and description. Canberra, Australia: Elect Printing, 2006. 178 p.
- NAVARRO, Z. **A agricultura familiar no Brasil**: entre a política e as transformações da vida econômica. In: GASQUES, J.G.; VIEIRA FILHO, J.E.R.; NAVARRO, Z. A Agricultura Brasileira: desempenho, desafios e perspectivas. Brasília: Ipea, 2010. 298 p.

OGLIARI, A., **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OLDONI, A. **Colhedora-beneficiadora de cebolas para a agricultura familiar: Projeto informacional e conceitual**. 2012. 110f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PAULA JÚNIOR, T.J. de; VIEIRA, R.F.; ROCHA, P.R.R.; BERNARDES, A.; COSTA, E.L.; CARNEIRO, J.E.S.; VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. White mold intensity on common bean in response to plant density, irrigation frequency, grass mulching, *Trichoderma* spp., and fungicide. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.35, n.1, p.44-48, 2009.

REIS, A.V dos. **Desenvolvimento de concepções para dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. 2003. 277p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RESENDE, S. G. de; VON PINHO, R.G.; VASCONCELOS, R.C. de. Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.3, p.34-42, 2003.

RESENDE, R. C. **Design of a novel punch planter capable of producing equidistant seed spacing of irregular shaped seeds**. 2002. 229p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Cranfield University, Silsoe.

RIBEIRO, F.; JUSTICE, S. E.; HOBBS, P. R.; BAKER, C. J. No-tillage drill and planter design - small-scale machines In: BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R.; CHAMEN, W. C. T.; REICOSKY, D. C.; RIBEIRO, M. F. S.; JUSTICE, S. E.; HOBBS, P. R. **No-tillage seeding in conservation agriculture**, v. 2, Trowbridge: Cromwell Press, 2006. p. 204-225.

RODRIGUES, L.R.; GUADAGNIN, J.P.; PORTO, M.P. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul – Safras 2009/2010 e 2010/2011**. Veranópolis: FEPAGRO-Serra, 2009. 179 p.

ROMEIRO FILHO, E. Uma abordagem centrada no usuário para o projeto de máquinas agrícolas de tração animal. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.19, n.1, p.93-102, 2012.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C. de; SILVA, S.L. da; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

SANTOS, A. M; FLORES, C. A.; ALVES, F. A. R. et al. **Máquinas para a agricultura familiar** (referencial técnico). Porto Alegre: EMATER/RS, 1998. 43 p.

SCHAMNE, J. A.; RONZELLI JUNIOR, P.; DAROS, E. ; KOEHLER, H. S.; KRINSKI, S. A. Arranjos espaciais para o feijoeiro em sistema de semeadura convencional In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa. **Anais do...** Viçosa: UFV - DFT, v. 01. p. 600-603.

SCHEIDTWEILER, T.W. Animal-drawn punch planters: a key technology for smallholder agricultural development in the 21st Century. In: WORKSHOP OF THE ANIMAL TRACTION NETWORK FOR EASTERN AND SOUTHERN AFRICA (ATNESA), **Anais do...** Mpumalanga, África do Sul, set.1999.

SILVA, P.R.F. DA; PIANA, A.T.; MAASS, L.B.; SERPA, M.DA S.; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M.; ENDRIGO, P.C.; JANDREY, D.B. Adequação da densidade de plantas à época de semeadura em milho irrigado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.9, n.1,p. 48-57, 2010.

STEFANELLO, G.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A.V. dos ; MORAIS, C.S. ; MACHADO, R. L. T. Especificações de Projeto de um Dosador-Depositor de Sementes para Semeadoras Utilizadas pela Agricultura Familiar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA , 40. 2011, Cuiabá, **Anais do...**, Cuiabá: SBEA, 2011, v. 1 cd.

STEFANELLO, G.; MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V. dos; MACHADO, R.L.T. Desenvolvimento de mecanismo dosador-depositor rotativo de sementes graúdas para agricultura familiar. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 6. 2010, Chillán, **Anais do...** Chillán: UC, 2010. p.1-16.

STEFANELLO, G.; MORAES, C. S.; REIS, F. B.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A.V.dos; MACHADO, R.L.T. Projeto informacional de um dosador-depositor rotativo de sementes para agricultura de base familiar. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18. 2009, Pelotas, **Anais do...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. CD-Rom.

STORCH, G.; SILVA, F.F. da; BRIZOLA, R.M. de O.; AZEVEDO, R. de; VAZ, D. da S.; BEZERRA, A.J.A. Caracterização de um grupo de produtores agroecológicos do sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, n. 3, p. 357-362, 2004.

TEIXEIRA, S.S. **Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão voltada para a agricultura familiar de base ecológica**. 2008. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

TEIXEIRA, S.S.; MACHADO, A.L.T.; REIS, Â.V. dos; OLDONI, A. Caracterização da produção agroecológica do sul do Rio Grande do Sul e sua relação com a mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.162-171, jan./mar. 2009.

VIEIRA, R. F. *et al.* Management of white mold in type III common bean with plant spacing and fungicide. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v.37, n.2, p.95-101, mar-/abr. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/tpp/v37n2/01.pdf>>.

WORKSHOP MÁQUINAS AGROINDUSTRIAIS, 2012, Campina Grande.
Ergonomia e segurança no projeto de máquinas: Anais do... Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012.