

OBTENÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES PARA O PROJETO DE UM MECANISMO DOSADOR DE PRECISÃO PARA SEMENTES MIÚDAS

REIS, A.V.¹; FORCELLINI, F.A.²

RESUMO: Com a tecnologia de semeadura atual, há uma limitação na quantidade mínima de sementes miúdas que pode ser utilizada numa área, gerando-se um obstáculo à redução dos custos de produção. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é estabelecer as especificações de projeto empregadas no desenvolvimento de um mecanismo dosador de precisão para sementes miúdas. Foram identificadas 40 declarações de necessidades de clientes, as quais foram transformadas em 27 requisitos de clientes, os quais, por sua vez, originaram 25 requisitos de projeto hierarquizados, distribuídos ao longo de todo o ciclo de vida do produto, resultando nas especificações de projeto do produto. Os oito requisitos apontados como mais importantes são: regularidade de distribuição longitudinal de sementes; uso de tolerâncias grandes; número de regulagens; danificação das sementes; confiabilidade esperada; número de culturas semeadas; distância entre linhas de semeadura; capacidade de trabalho.

Palavras-chave: semeadoras, casa da qualidade, requisitos de projeto

THE DESIGN SPECIFICATIONS OF A PRECISION METER FOR SMALL SEEDS

SUMMARY: The present seeding technology has a limitation on the minimum amount of small seeds that can be used in a given area, creating an obstruction to production cost reduction. Thus, this paper aims to establish the design specifications used to develop a precision meter for small seeds. Forty customer's need statements were identified, which were transformed in 27 customer's requirements, which in turn, originated 25 design requirements displayed in order of importance along the entire life cycle of the product, resulting in the design specifications for the development of a meter for small seeds. The eight design requirements shown as the most important ones are: longitudinal uniformity of seed distribution, use of wide tolerances, number of settings, distance between seed rows and work rate.

Key-words: seeders, quality function deployment, design requirements

¹ Eng^o. Agrícola, Prof. Adjunto, DER/FAEM/UFPEL, CP: 354 - 96010-900, Pelotas/ RS – Fone: 532757126 - areis@ufpel.tche.br

² Eng^o Mecânico, Prof. Adjunto, EMC/CTC/UFSC, Florianópolis, SC.
Recebido pela Comissão Editorial em: 18.03.05
Aprovado pela Comissão Editorial em: 06.01.06

INTRODUÇÃO

A abordagem sistemática do projeto de produtos de engenharia é amplamente empregada nas empresas que se encontram inseridas, com sucesso, no competitivo mercado globalizado. Quando se trata, porém, da indústria brasileira de máquinas agrícolas, não obstante a relevância da atividade agrícola e desse setor industrial na economia do país, observa-se que o projeto de produtos não merece a atenção necessária. Um levantamento citado por Romano, Back e Ogliari, *et al.* (2001) sobre as indústrias de máquinas agrícolas brasileiras revelou que apenas 29% delas possuem um processo formal de desenvolvimento do produto.

Vários modelos de processo de projeto foram criados com a finalidade de melhorar a qualidade, reduzir os custos e o tempo de desenvolvimento dos produtos e o modelo de projeto de produto proposto por Pahl e Beitz (1996) é um dos mais difundidos. A utilização e o estudo do modelo, proposto pelos autores, no Departamento de Engenharia Mecânica (EMC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), levou a pequenas, mas significativas, alterações no seu formato, principalmente pela adoção de algumas ferramentas não exploradas por Pahl e Beitz (1996), como, por exemplo, a matriz da casa da qualidade. Os resultados positivos consistentemente obtidos nos projetos com as atualizações, que vêm sendo constantemente incorporadas ao Modelo

EMC/UFSC, fazem com que o modelo seja adotado como base para a solução de problemas de projeto em várias áreas do conhecimento. No entanto a sua aplicação na área de máquinas agrícolas tem tido um significado especial, pois, nos últimos dez anos, 16 máquinas agrícolas foram desenvolvidas, em teses e dissertações, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do EMC/UFSC, mostrando a sua adequação para o projeto de produtos nesse setor da economia.

Dentro do processo de projeto do Modelo EMC/UFSC, destaca-se a fase chamada de projeto informacional, que consiste na análise detalhada do problema de projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao pleno entendimento do problema. O resultado obtido, ao final dessa fase, são as **especificações do projeto**, que é uma lista de objetivos a que o produto a ser projetado deve atender (ROOZENBURG; EEKELS, 1995). A partir disso, são definidas as funções e as propriedades requeridas do produto e possíveis restrições com relação a ele e ao próprio processo de projeto (normas, prazos).

Os processos de semeadura e adubação visam a colocar, no solo, certa quantidade de sementes e fertilizantes, de maneira que a cultura implantada apresente as melhores condições de desenvolvimento e produção. Para que isso ocorra, é necessário seguirem-se as recomendações agrônômicas, principalmente no que diz respeito à densidade, ao espaçamento e à profundidade de deposição das sementes, juntamente com a quantidade e a localização do fertilizante, o que é conseguido com o emprego de máquinas específicas para essa tarefa: as semeadoras-adubadoras.

Na semeadura de culturas com sementes miúdas (trigo, arroz, aveia), não é comum o emprego de semeadoras de precisão, já que são tecnicamente incompatíveis com a tarefa e, geralmente, mais caras. No entanto, já se pode observar a tendência da utilização da semeadura de precisão para grãos miúdos, especialmente quando densidades de semeadura relativamente baixas podem ser empregadas.

Uma análise do mercado de semeadoras, tanto nacional quanto mundial, conduzida por Reis & Forcellini (2002), evidencia a ausência de semeadoras de precisão destinadas às sementes dos cereais mencionados. Isso se deve tanto à dificuldade de individualizar e transportar sementes de tamanho reduzido e de formas irregulares, quanto ao fato de essas culturas serem semeadas com pequenos espaçamentos entre linhas, requerendo mecanismos dosadores pequenos e estreitos, características ausentes nos mecanismos dosadores de precisão atualmente empregados. Fica claro, portanto, que com a tecnologia atual há uma limitação na quantidade mínima de sementes que pode ser utilizada numa área e, com isso, um obstáculo à redução dos custos de produção, principalmente quando se considera o custo elevado das sementes de qualidade.

Esses fatos conjugados motivaram a realização do presente trabalho, que tem como objetivo estabelecer as especificações de projeto empregadas no desenvolvimento de um mecanismo dosador de precisão para sementes miúdas.

MATERIAL E MÉTODOS

Identificou-se na bibliografia, a partir dos trabalhos de Pahl e Beitz (1996) e Fonseca (2000) uma seqüência lógica de etapas e de tarefas e um conjunto de ferramentas para obter as especificações adequadas aos objetivos deste projeto. Um resumo das tarefas e das ferramentas é mostrado no fluxograma da Figura 1. A descrição das principais atividades a executar em cada uma das etapas enumeradas será feita a seguir.

Etapa 1.1: pesquisar informações sobre o tema do projeto

A pesquisa por informações técnicas apóia-se, principalmente, na bibliografia disponível (artigos, livros, patentes, catálogos de máquinas) e na análise de sistemas técnicos semelhantes.

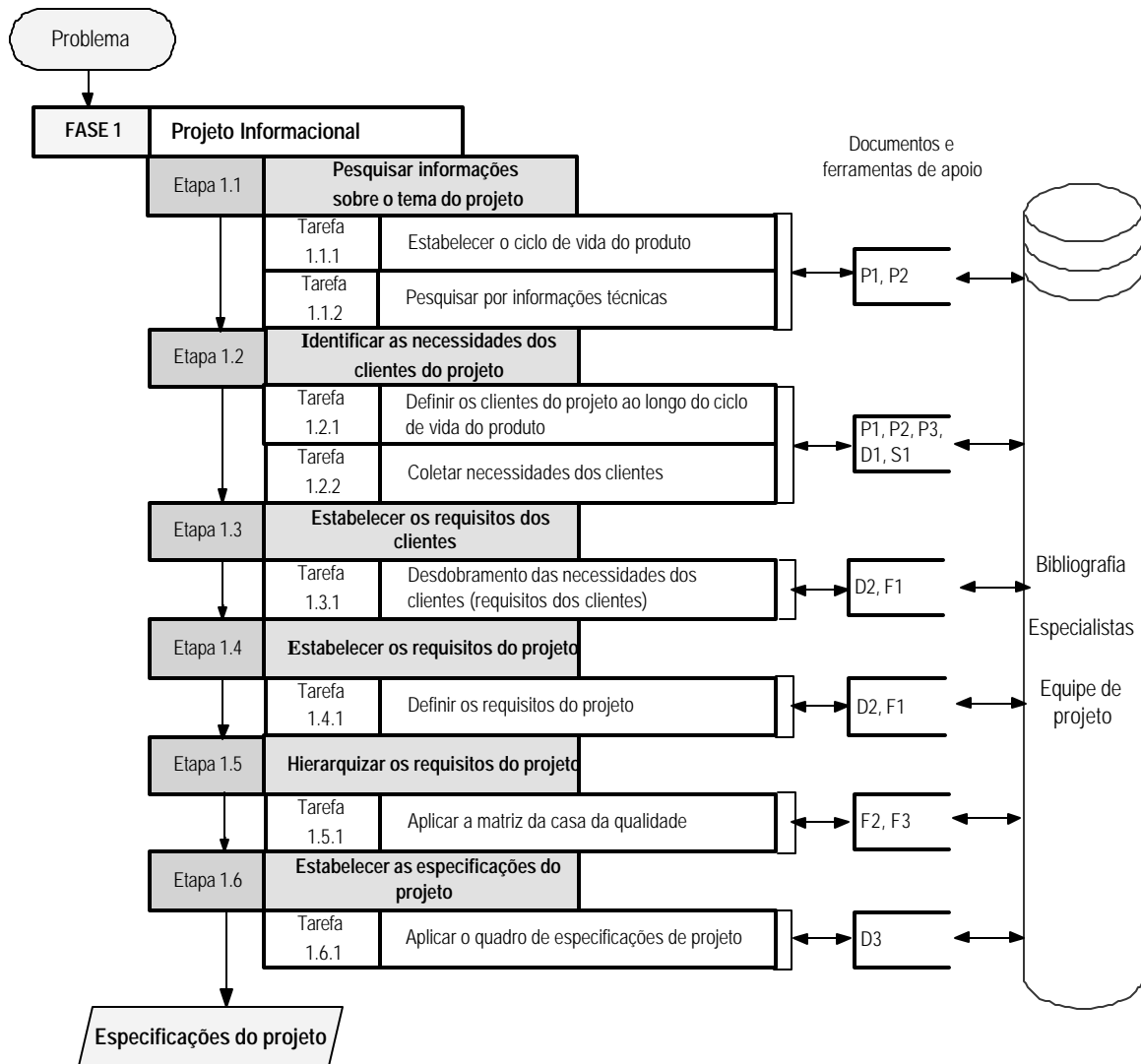
Etapa 1.2: identificar as necessidades dos clientes do projeto

A identificação das necessidades dos clientes pode ser feita com o auxílio de pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos similares, consulta a especialistas, simulações de uso e questionário aos clientes do produto. Nesse caso, o desenvolvimento do questionário aos clientes do produto seguiu a metodologia proposta por REIS, Menegatti e Forcellini (2003).

Etapa 1.3: estabelecer os requisitos dos clientes

As necessidades dos clientes identificadas na etapa anterior, tanto aquelas provindas da pesquisa bibliográfica quanto aquelas levantadas nas *questões abertas* do questionário, não podem ser empregadas diretamente no desenvolvimento do produto. As necessidades são expressas de forma subjetiva, de difícil aproveitamento no projeto, sendo necessário, portanto, traduzi-las para a linguagem de engenharia.

O desdobramento das necessidades dos clientes em requisitos dos clientes é um trabalho feito em equipe. As necessidades são inicialmente classificadas e posteriormente, cada delas é estudada e, se necessário, decomposta com o intuito de descobrir, em linguagem da engenharia, o que o cliente realmente quer.



Legenda:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| D1- Questionário | F3- Matriz da casa da qualidade |
| D2- Checklists | P1- Pesquisa bibliográfica |
| D3- Quadro de especific. de projeto | P2- Análise de sistemas similares |
| F1- Brainstorming | P3- Consulta a especialistas |
| F2- Diagrama de Mudge | S1- Simulações de uso |

Figura 1 – Fluxograma das etapas e tarefas do projeto informacional.

Etapa 1.4: estabelecer os requisitos do projeto

A conversão dos requisitos dos clientes em requisitos do projeto constitui-se na primeira decisão física sobre o produto que está sendo projetado (FONSECA, 2000), razão pela qual se buscou uma sistematização dos procedimentos que levam a tal conversão. O estudo da bibliografia (FONSECA, 2000; ROOZENBURG; EEKELS, 1995) conduziu à adoção do seguinte procedimento: a) estudar e caracterizar os requisitos dos clientes; b) confrontar os requisitos dos clientes com uma classificação de requisitos de projeto

e c) verificar se os requisitos de projeto assim obtidos apresentam propriedades consideradas desejáveis.

O estudo dos requisitos dos clientes passa pelo estabelecimento de uma lista de atributos relacionados a cada um desses requisitos.

Fonseca (2000) sugere que os requisitos dos clientes sejam confrontados com uma lista de verificação, que, na verdade, constitui uma classificação abrangente dos atributos do produto proposta pelo autor. Fonseca (2000) classifica os atributos do produto em duas grandes famílias: **atributos gerais** e **atributos específicos**. Os atributos gerais classificam-se em **básicos** (aqueles que

diferenciam os produtos, como funcionamento, ergonômicos, econômicos, confiabilidade etc.) e **atributos do ciclo de vida** (fabricabilidade, montabilidade, manutenibilidade etc.). Os **atributos específicos** referem-se ao sistema técnico em questão, dividindo-se em atributos **materiais, energéticos** e de **controle**.

Finalmente, a lista assim obtida é analisada sob a ótica das propriedades desejáveis nas especificações de projeto (ROOZENBURG; EEKELS, 1995). Dessa forma, então, são obtidos os requisitos de projeto que serão hierarquizados através da matriz da casa da qualidade.

Etapa 1.5: hierarquizar os requisitos do projeto

Esta etapa consiste na aplicação da matriz da casa da qualidade ou primeira matriz do QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade). O QFD é uma ferramenta que auxilia a transformação das necessidades dos clientes em características mensuráveis, que ao serem incorporadas no projeto se constituem nos requisitos de qualidade (requisitos de projeto obtidos visando à qualidade).

A primeira tarefa, dentro dessa etapa, é valorar os requisitos dos clientes. A valoração, a classificação dos requisitos dos clientes em ordem de importância, é fundamental na aplicação do QFD. Portanto, utilizou-se a recomendação de Ullman (1992), que afirma que os requisitos dos clientes devem ser comparados aos pares, a fim de que, ao final da comparação, se possa conhecer a sua importância relativa. A ferramenta empregada para implementar essa comparação foi o diagrama de Mudge, adaptado de seu uso original, apresentado por Csillag (1985), e que compara as funções de um produto dentro da técnica de análise de valor. Reis, Andrade e Forcellini (2002) apresentam uma proposta para a implementação computacional dessa comparação, assim como uma descrição detalhada dessa ferramenta.

A segunda tarefa da etapa é a aplicação da matriz da casa da qualidade. O preenchimento dessa matriz foi feito no módulo QFD do programa computacional SISCOI desenvolvido por Ferreira (2002), para auxiliar o desenvolvimento de produtos no domínio da injeção de plástico.

Uma das atividades mais importantes na matriz da casa da qualidade é estabelecer o grau de relacionamento entre os requisitos dos clientes (*o que deve ser feito?*) e os requisitos do projeto (*como deve ser feito?*). A identificação de um relacionamento e do seu grau será facilitada para a equipe de projeto se o seguinte procedimento for formalizado: (a) iniciando pelo primeiro *como*, fazer as perguntas – *pode esse “como” influenciar esse “o quê”?* *Esse “o quê” afeta esse “como”?* (b) se a equipe responder com um *sim* a uma das perguntas anteriores, perguntar – *a relação é fraca, média ou forte?*

(c) passar à análise do próximo *o quê*, repetindo-se o procedimento anterior, ao chegar-se ao último item, passa-se para o próximo *como*.

No telhado da casa da qualidade, cada um dos requisitos do projeto é confrontado com todos os demais, procurando-se identificar qual o efeito da obtenção individual de cada um deles sobre todos os demais. Se a maximização desejada de um requisito leva a um aumento, também desejável, em outro requisito diz-se que há uma correlação positiva entre eles. Quando ocorre o contrário e a maximização de um requisito causa um decréscimo indesejado em outro, diz-se que há uma correlação negativa entre eles, são conflitantes. Em ambos os casos, geram-se informações úteis para o projeto.

Etapa 1.6: estabelecer as especificações do projeto

Os requisitos de projeto obtidos e hierarquizados nas etapas anteriores representam os objetivos do projeto de forma qualitativa, não permitindo, por si só, a continuidade do trabalho, pois não há, entre outras coisas, metas a serem atingidas.

O quadro de especificações de projeto nada mais é do que o local onde aos requisitos de projeto são associadas mais três informações, conforme sugere Fonseca (2000): a) meta a ser atingida pelo requisito expressa quantitativamente; b) forma de avaliação da meta estabelecida, a fim de verificar o seu cumprimento e c) aspectos que devem ser evitados durante a implementação do requisito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse item, são apresentados os resultados parciais, bem como as especificações de projeto a que se chegou, pela aplicação da metodologia sintetizada na Figura 1. Dentre eles, incluem-se as necessidades e os requisitos dos clientes, os requisitos do projeto e as próprias especificações.

Necessidades dos clientes

A base para a identificação das necessidades dos clientes foi a informação obtida com a aplicação de um questionário aos clientes do produto. O questionário foi aplicado via correio eletrônico e em duas feiras agropecuárias. Responderam agricultores, professores universitários, pesquisadores, estudantes de pós-graduação, engenheiros, fabricantes de semeadoras e de discos dosadores (pessoal de vendas, projeto e gerência), estando representados, nessa amostra, 14 fabricantes nacionais. No total, foram aplicados 55 questionários.

A consideração das necessidades dos clientes, coletadas na bibliografia, juntamente com aquelas

identificadas através da análise das respostas ao questionário, permitiu a obtenção de 40 declarações de necessidades de clientes, distribuídas ao longo do ciclo de vida do produto, conforme se pode observar no Quadro 1. Esse agrupamento possibilitou a exclusão das declarações redundantes.

Requisitos dos clientes

O estudo e o desdobramento das declarações de necessidades pela equipe de projeto permitiram o estabelecimento dos requisitos dos clientes, conforme mostra o Quadro 2.

Requisitos de projeto

O estudo e a caracterização dos requisitos dos clientes foram os primeiros procedimentos adotados no estabelecimento dos requisitos do projeto. Para tanto, cada um dos requisitos dos clientes listados no Quadro 2, foi analisado até que os seus atributos principais fossem identificados ou, então, que alguma característica intrínseca fosse encontrada. A lista dos atributos dos requisitos dos clientes resultante dessa análise também permite um melhor entendimento de cada um dos

requisitos, já que, no Quadro 2, eles não se apresentam completamente contextualizados.

O ganho de conhecimento obtido do estudo e da caracterização dos requisitos dos clientes permitiu que eles fossem confrontados, um a um, com a classificação dos requisitos de projeto, estabelecida por Fonseca (2000). O último nível da classificação utilizada serviu de lista de verificação, o que facilitou a conversão dos requisitos dos clientes em requisitos de projeto, auxiliando, também, na geração de uma lista ampla, na qual se procurou a inclusão de requisitos pertinentes em todas as instâncias consideradas na classificação.

Como resultado dessa comparação sistemática, foram obtidos 31 requisitos de projeto. Embora os requisitos assim obtidos possam estar completos (inclusão de objetivos, englobando todos os aspectos do problema), eles foram analisados, conforme o proposto, à luz dos critérios de Roozenburg e Eekels (1995), para que a lista final tivesse as características desejáveis numa especificação de projeto. Essa análise identificou alguns requisitos de projeto com características indesejáveis, razão pela qual foram excluídos, resultando numa lista de 25 requisitos, os quais são apresentados, de acordo com a classificação proposta por Fonseca (2000), na Figura 2.

Quadro 1 – Síntese das necessidades dos clientes de todas as fontes consultadas, separadas por fases do ciclo de vida do produto.

Fase do ciclo de vida	Declarações de necessidades
Projeto	1) baixa rotação dos distribuidores; 2) baixa influência da velocidade sobre o desempenho; 3) funcionamento da semeadora deve ser independente da inclinação do terreno; 4) necessidade de maior conhecimento de campo por parte dos projetistas; 5) os projetistas devem pensar mais nas pessoas que vão operar a máquina; 6) simplicidade;
Testes	7) todas as máquinas deveriam ser ensaiadas;
Produção	8) precisão de fabricação; 9) boa vedação; 10) ausência de arestas cortantes e partes pontiagudas; 11) utilizar um mínimo de operações de fabricação; 12) simplificar o processo de fabricação; 13) montagem manual do dosador sem o auxílio de ferramentas;
Comercialização	14) carregar opções de funcionamento em doses variadas (agricultura de precisão); 15) possibilidade de semear 3 culturas diferentes simultaneamente para adubação <i>verde</i> ; 16) baixa obsolescência;
Uso	17) possibilidade de utilizar pequenos espaçamentos entre linhas; 18) o dosador deve trabalhar numa ampla faixa de densidade de semeadura; 19) número máximo de regulagens possíveis; 20) ser autoregulável; 21) regulagem manual; 22) regulagem rápida; 23) possuir sistemas de transmissão de movimentos simplificados e eficientes;
regulagens	24) operação independente do nível de conhecimento do operador; 25) precisão na semeadura; 26) baixa danificação de sementes; 27) monitor eletrônico de semeadura; 28) existência de estruturas de proteção; 29) uso de sementes não classificadas; 30) operar com sementes miúdas; 31) operar com sementes graúdas;
operação	32) durabilidade; 33) resistência; 34) baixa manutenção; 35) manutenção barata; 36) manutenção fácil; 37) facilidade de acesso aos pontos de manutenção; 38) limpeza e retirada de sobras dos mecanismos; 39) dispensar o uso de ferramentas; 40) enferruja pouco
manutenção	

Quadro 2 – Requisitos dos clientes separados por fases do ciclo de vida do produto.

Cliente/fase do ciclo de vida	Requisitos dos clientes
Projeto	1) ter projeto simples;
Produção	2) ter precisão de fabricação; 3) ser de fabricação simples;
Comercialização	4) possibilitar o funcionamento em doses variadas (agricultura de precisão); 5) ter baixa obsolescência; 6) ter custo de produção baixo;
Uso	7) permitir pequenos espaçamentos entre linhas; 8) ter número de regulagens adequado; 9) ser fácil de regular;
regulagens	10) ter montagem do dosador sem o auxílio de ferramentas; 11) oferecer segurança ao operador; 12) ter precisão na dosagem; 13) ter precisão na deposição; 14) ter pequena danificação de sementes; 15) monitorizar a semeadura; 16) ter desempenho funcional pouco influenciado pela velocidade; 17) ter funcionamento independente da inclinação do terreno; 18) ter funcionamento independente do nível de sementes; 19) usar sementes não classificadas; 20) semear sobre taipas; 21) ter boa resistência mecânica; 22) semear sementes miúdas;
operação	23) ser durável; 24) ter manutenção reduzida; 25) ter manutenção de baixo custo; 26) ter manutenção fácil; 27) possibilitar fechamento entre dosador e reservatório
manutenção	

Atributos gerais	Atributos básicos	Funcionamento	Danificação das sementes Regularidade de distribuição longitudinal de sementes Inclinação permissível Dimensões das sementes Capacidade de trabalho
		Ergonômico	Montagens manuais Força para fixação/liberação de partes
		Econômicos	Custo de produção Custo de operação Custo de manutenção Vida útil
		Segurança	Proteção nas partes móveis externas
		Confiabilidade	Confiabilidade esperada
		Da modularidade	Número de culturas semeadas
		Estético, Legal, Patentes, Da normalização, Do impacto ambiental	
	Atributos do Ciclo de Vida	Fabricabilidade	Processo de fabricação usual
		Montabilidade	Duração da montagem/desmontagem do dosador
		Mantenabilidade	Intervalo entre manutenções Duração da manutenção
		Embalabilidade, Transportabilidade, Armazenabilidade, Comercialidade, Da função, Usabilidade, Reciclabilidade, Descartabilidade	
Atributos específicos	Atributos materiais	Geométricos	Dimensões Distância entre linhas de semeadura Deslocam. vertical da linha de semeadura Ajustes Uso de tolerâncias grandes Forma, Configuração, Acabamento, Textura, Fixações
		Material	Materiais padronizados comuns
		Cor, Peso	
	Atributos energéticos	Cinemática	Velocidade de partes móveis
	Forças, Tipo de energia, Fluxo		
Atributos de controle	Controle	Número de regulagens Duração da regulagem	
	Sinais, Estabilidade		

Figura 2 – Requisitos do projeto, classificados segundo a proposta de Fonseca (2000)

Especificações de projeto

A atribuição de um valor-meta a cada requisito de projeto, a determinação da forma de avaliação desse valor-meta e a consideração de aspectos indesejados, quando

da implementação do requisito levou ao estabelecimento das especificações do projeto, apresentadas de acordo com o grau de importância nos Quadros 3, 4 e 5. A divisão da lista de especificações em três partes facilita a geração de critérios de decisão em fases subsequentes do projeto.

Quadro 3 – Especificações do projeto em ordem de importância, obtidas através do QFD – **terço superior**

Requisito	Valor Meta	Forma de Avaliação	Aspectos Indesejados
1. Regularidade de distribuição longitudinal de sementes	$\geq 75\%$ aceitáveis $\leq 10\%$ falhas $\leq 15\%$ múltiplos	Em laboratório de acordo com projeto de norma ABNT ¹ 04.015:06-004	Comprometer a capacidade de trabalho
2. Uso de tolerâncias grandes	Classes IT7 e IT8	Aferição das dimensões das peças do protótipo	Usar tolerâncias tão grandes que prejudiquem o sistema
3. Número de regulagens	≥ 3	Contagem, não inclui o nº de alvéolos ou células	Presença de interações entre as regulagens
4. Danificação das sementes	$\leq 1,0\%$	Contagem segundo método da EMBRAPA/CPACT ²	Comprometer a capacidade de trabalho
5. Confiabilidade esperada	$> 90\%$ em 1.500h	Não será feita avaliação direta. Serão adotadas práticas e técnicas ao longo do projeto a fim de assegurar a meta.	Super dimensionamento de peças, aumento das dimensões do dosador e aumento no custo de produção.
6. Número de culturas semeadas	≥ 5	Empírica, baseada na análise da concepção do produto	Adoção de concepção muito complexa para garantir o cumprimento do requisito
7. Distância entre linhas de semeadura	$\leq 0,15\text{m}$	Possibilidade de montagem em linhas assim espaçadas	Deixar de prever espaço para o acionamento do mecanismo
8. Capacidade de trabalho	$> 20 \text{ sement. s}^{-1}$	Avaliação em laboratório com a simulação em bancada de teste de dosadores	Danificação de sementes acima do esperado, não alcançar a precisão desejada

* O que deve ser evitado durante a implementação do requisito.

¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 04:015:06-004** –semeadora de precisão: ensaio de laboratório. Rio de Janeiro, 1994. 22p.

² EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Método de determinação de danos mecânicos em sementes de arroz. Pelotas: EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT). 199?. 1p. (Não publicado).

Quadro 4 – Especificações do projeto em ordem de importância, obtidas através do QFD – **terço médio**

Requisito	Valor Meta	Forma de Avaliação	Aspectos Indesejados
9. Dimensões das sementes	Arroz: 9,4x2,5x2,1mm Trigo: 6,4x4,0x3,3mm Sorgo: \varnothing 3,5mm	Medição de amostras com auxílio de micrômetro	Empregar sementes de dimensões diferentes para o projeto e o teste do protótipo
10. Velocidade de partes móveis	$\leq 0,3m.s^{-1}$	Análise cinemática do mecanismo	Evitar a geração de peças com grandes dimensões, não comprometer a capacidade de trabalho
11. Custo de operação	$< U\$ 0,074.h^{-1}$	Serão medidos os custos e o tempo de operação em todos os outros testes de laboratório	Comprometer a qualidade do sistema e o seu desempenho
12. Força para fixação ou liberação de partes	$\leq 90N$	Através de dinamômetro ou torquímetro manual	Falta de fixação entre as partes, vedação incompleta, vibrações
13. Montagens manuais	$> 80\%$	Contagem	Não usar montagem com ferramentas quando são claramente melhores
14. Custo da manutenção	$\leq U\$ 0,040.h^{-1}$	Avaliação em laboratório com a simulação em bancada de teste de dosadores	Redução no intervalo entre manutenções
15. Duração da regulagem	$\leq 0,15h$	Cronometragem do tempo até a obtenção da densidade meta	Que o procedimento de regulagem seja difícil de aplicar a todas as linhas
16. Custo de produção	U\$ 73	Soma dos custos com material, processos e mão-de-obra	Comprometer a qualidade do sistema e o seu desempenho

Quadro 5 – Especificações do projeto em ordem de importância, obtidas através do QFD – **terço inferior**

Requisito	Valor Meta	Forma de Avaliação	Aspectos Indesejados
17. Materiais padronizados comuns	$> 80\%$	Contagem	Não deve limitar o desempenho funcional
18. Duração da manutenção	$\leq 0,1h$	Cronometragem	Não identificado
19. Intervalo entre manutenções	$\geq 50h$	Avaliação em laboratório com a simulação em bancada de teste de dosadores	Dificultar a montagem manual, aumentar o custo de produção
20. Inclinação permissível	$\leq 11^\circ$	Simular em laboratório e verificar na bancada de testes a precisão	Danificação de sementes acima do esperado, não alcançar a precisão desejada
21. Deslocamento vertical da linha de semeadura	0,6m	Idem	A obstrução da passagem das sementes pelo tubo condutor
22. Duração da montagem e desmontagem do dosador	$\leq 0,08h$	Cronometragem	Não deve comprometer o desempenho funcional. Incorreta fixação das partes
23. Proteção nas partes móveis externas	100%	Contagem	Dificultar a montagem manual, aumentar a distância entre linhas
24. Vida útil	1.500h	Não será feita avaliação direta. Serão adotadas práticas e técnicas ao longo do projeto a fim de assegurar a meta.	Uso de materiais caros ou raros, aumento de dimensões de partes, usar tolerâncias menores
25. Processo de fabricação usual	$> 80\%$	Contagem	Não deve limitar o uso de soluções inovadoras

Discussão dos resultados

A discussão dos resultados da aplicação de uma metodologia de projeto apresenta dificuldades particulares. Ao contrário do que ocorre com os resultados de uma pesquisa científica, por exemplo, os quais apresentam valores que têm significado intrínseco e que também podem ser comparados com outros, o produto obtido através de uma metodologia precisa ainda ser aprovado pelo mercado. Mesmo assim, é quase impossível saber-se, *a priori*, se outro produto similar, projetado segundo outra metodologia, seria melhor ou pior. Essa dificuldade de análise agravou-se neste trabalho, pois o objetivo principal era estabelecer as especificações de projeto de um dosador de sementes miúdas, utilizando-se uma metodologia de projeto com abordagem sistemática dos processos envolvidos, de forma que a experiência foi única, inexistindo bases de comparação em relação ao objeto projetado. Todavia a experiência adquirida ao longo do processo permite que se discutam alguns aspectos envolvidos, como ganho de conhecimento, com o emprego da metodologia, e esforço despendido na aplicação de determinadas ferramentas.

O ganho de conhecimento, a respeito do problema de trabalho, experimentado ao longo da fase de projeto informacional, talvez seja um dos principais resultados positivos na aplicação da metodologia utilizada. As etapas logicamente ordenadas do projeto informacional e os métodos e ferramentas empregados conduziram a equipe do projeto a um entendimento progressivo da complexidade do problema em questão. Nesse ponto, contribuíram significativamente a identificação das necessidades dos clientes, a transformação delas em requisitos dos clientes e destes em requisitos do projeto e a posterior hierarquização, por meio da primeira matriz do QFD. A identificação das necessidades dos clientes, através do uso de um questionário de campo estruturado a partir do conceito de ciclo de vida do produto, permitiu que se chegasse a informações das quais não se tinha idéia, mas que se mostraram importantes ao longo do projeto, como por exemplo: rapidez na montagem e desmontagem do dosador, baixa obsolescência, determinação do custo de produção. O tratamento dessas informações, ou seja, os vários passos empregados para que as necessidades dos clientes fossem transformadas em requisitos de projeto, também ajudou, sobremaneira, a equipe de projeto a entender todos os aspectos envolvidos no projeto do dosador de precisão para sementes miúdas.

Os maiores esforços despendidos no projeto informacional relacionaram-se à utilização da primeira matriz do QFD. Incluem-se aí desde a valoração dos requisitos dos clientes até o preenchimento dos relacionamentos entre estes e os requisitos de projeto. O esforço aumenta geometricamente com o número de

requisitos em análise, o que é agravado pelo fato de ser esta uma atividade em que o trabalho em equipe é indispensável. A matriz da casa da qualidade (Figura 3) apresenta 27 requisitos de clientes e 25 requisitos de projeto, totalizando 675 possíveis relacionamentos. Fica claro, portanto, que, ao mesmo tempo em que se deve buscar uma lista de especificações completa, é necessário evitar redundâncias, a fim de minimizar o trabalho de preenchimento da matriz de relacionamentos.

O fato de os requisitos dos clientes relacionados com o desempenho funcional do produto terem sido apontados como os mais importantes (seis dentre os oito constantes no terço superior da hierarquização – Quadro 3) ressalta a importância do estabelecimento de um novo patamar técnico na dosagem de sementes miúdas a ser atingido pelo produto, o qual não apresenta similar no mercado.

Por outro lado, observa-se também que a lista de especificações traz uma preocupação muito grande com aspectos operacionais, de custos de manutenção, pois, dos 25 requisitos de projeto, 11 requisitos refletem esses aspectos (confiabilidade esperada, custo de operação, força para a fixação ou a liberação de partes, montagens manuais, custo de manutenção, duração da regulagem, custo de produção, duração da manutenção, intervalo entre manutenções, duração da montagem do dosador, vida útil), concentrados, em sua maioria, no terço médio das especificações (Quadro 4). Tais preocupações, as quais já haviam sido informalmente identificadas no contato com agricultores principalmente, demonstram a importância da consideração de aspectos econômicos e de mantabilidade quando da escolha ou do uso de um determinado equipamento no setor agrícola. Aspectos operacionais simples, como a montagem manual das partes (rapidez e simplicidade) e a execução rápida de regulagens, evidenciam, também, o alto grau de otimização de desempenho, que vem sendo buscada na agricultura brasileira. Essa análise permite inferir que os equipamentos de semeadura desejados na agricultura brasileira devem ter, além do desempenho funcional satisfatório, a um custo reduzido, o projeto voltado para a facilidade de operação e de manutenção.

CONCLUSÕES

Embora não tenha sido possível medi-lo de forma objetiva, o emprego da metodologia de projeto apresentada propiciou um ganho apreciável de conhecimento a respeito do problema, durante a fase de projeto informacional.

O esforço de projeto na fase de projeto informacional está concentrado na utilização da primeira matriz do QFD.

Foram identificadas 40 declarações de necessidades de clientes, as quais foram transformadas

em 27 requisitos de clientes, os quais, por sua vez, resultaram em 25 requisitos de projeto, hierarquizados, distribuídos ao longo de todo o ciclo de vida do produto, resultando nas especificações para o projeto de um mecanismo dosador de sementes miúdas. Dentre os oito requisitos de projeto mais importantes, apenas dois não estão relacionados com o desempenho funcional do produto (uso de tolerâncias grandes, confiabilidade esperada).

Os oito requisitos apontados como mais importantes são, por ordem: regularidade de distribuição longitudinal de sementes; uso de tolerâncias grandes; número de regulagens; danificação das sementes; confiabilidade esperada; número de culturas semeadas; distância entre linhas de semeadura; capacidade de trabalho.

REFERÊNCIAS

- CSILLAG, J.M. **Análise do valor**. São Paulo: Atlas, 1985. 284p.
- FERREIRA, C.V. **Metodologia para as fases de projeto informacional e conceitual de componentes de plástico injetados integrando os processos de projeto e estimativa de custos**. 2002. 228p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- FONSECA, A.J.H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000. 180p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. 2nd ed. London: Springer-Verlag, 1996. 544p.
- REIS, A.V.; ANDRADE, L.F.S.; FORCELLINI, F.A. Sistematização da tarefa de valoração dos requisitos dos clientes para uso no QFD. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2., 2002, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 2002. 1 CD-ROM.
- REIS, A.V.; FORCELLINI, F.A. Functional analysis in the evaluation of four concepts of planters. **Ciência Rural**, Santa Maria, UFSM, v.32, n.6, p.969-975, 2002.
- REIS, A.V.; MENEGATTI, F.A.; FORCELLINI, F.A. O uso do ciclo de vida do produto no projeto de questionários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 4., 2003, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2003. 1 CD-ROM.
- ROMANO, L.N.; BACK, N.; OGLIARI, A. Estudos Sobre o Processo de Desenvolvimento de Produto da Indústria de Máquinas Agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz de Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.
- ROOZENBURG, N.F.M.; EEKELS, J. **Product design: fundamentals and methods**. Chichester: John Wiley, 1995. 408p.
- ULLMAN, D.G. **The mechanical design process**. New York: McGraw-Hill, 1992. 337p.