



FACULDADE HORIZONTINA

CRISTIANO LUÍS RASIA

**PROPOSTA DE MELHORIA DO CONCEITO DE FIXAÇÃO DAS
LONGARINAS DO CHASSI DE UMA SEMEADORA ADUBADORA
UTILIZANDO A METODOLOGIA PDP**

HORIZONTINA

2016

FACULDADE HORIZONTALINA
Curso de Engenharia Mecânica

CRISTIANO LUÍS RASIA

**PROPOSTA DE MELHORIA NO CONCEITO DE FIXAÇÃO DAS
LONGARINAS DO CHASSI DE UMA SEMEADORA ADUBADORA
UTILIZANDO A METODOLOGIA PDP**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontalina.

ORIENTADOR: Guilherme Jost Beras, Mestre.

HORIZONTALINA-RS

2016



**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Proposta de Melhoria no Conceito de Fixação nas Longarinas do Chassi de
uma Semeadora Adubadora Utilizando a Metodologia PDP”**

Elaborada por:

Cristiano Luís Rasia

**Aprovado em: 24/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

Guilherme Jost Beras

**Titulação. Nome do orientador
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

João Coelho

**Titulação. Nome do Examinador Interno
FAHOR – Faculdade Horizontina**

Cátia Felden Bartz

**Titulação. Nome do Examinador Interno
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTINA - RS
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Ivete e Vanderlei Rasia, pelo apoio incondicional a mim concedido durante esta caminhada, bem como em tudo que faço.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela vida, minha família que sempre me deu muito apoio, me orientando e dando exemplo de grande inspiração a sempre fazer e bem e trilhar um caminho próspero;

A minha namorada Evelin, pelo companheirismo, apoio e paciência durante esta etapa da minha vida;

Ao meu Professor Orientador Guilherme Jost Beras, pelo apoio durante a orientação, pelo amadurecimento de meus conhecimentos e conceitos, levando-me a conclusão deste trabalho.

Agradeço a FAHOR pela oportunidade do aprendizado, bem como a todos os professores da instituição que de alguma forma contribuíram para minha formação;

E a todos os amigos e pessoas que estiveram ao meu lado durante esta caminhada, meu muito obrigado.

Seu trabalho vai preencher uma grande parte da sua vida, e a única maneira de ficar realmente satisfeito é fazer o que você acredita ser um excelente trabalho. E a única maneira de fazer um excelente trabalho é amar o que você faz.

Steve Jobs

RESUMO

Atualmente, com o grande crescimento no mercado de máquinas agrícolas de grande porte e a grande competitividade entre os fabricantes, tem-se cada vez mais a necessidade de se fazer mais, com menos. O objetivo do estudo foi o reprojeto das longarinas do chassi das semeadoras adubadoras de uma fabricante do ramo, utilizando-se o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) na orientação da criação e seleção dos melhores conceitos, sendo que este foi realizado visando melhorar o conceito de fixação entre chassi e longarina e reduzir o custo do conjunto como um todo, englobando a ligação da longarina com o chassi da máquina, bem como as torres de sustentação das caixas de adubo da semeadora. Para isso, desenvolveu-se o projeto informacional e conceitual, analisando as opções existente e a partir destes modelaram-se novas soluções para o problema em questão. Um time multifuncional foi criado para suportar o desenvolvimento do projeto. Um comparativo de custos foi utilizado, a fim de garantir a viabilidade do projeto. Os resultados obtidos decorrentes da metodologia aplicada, proporcionaram uma redução de custo anual estimada em R\$ 440.000,00 para a empresa, mantendo-se a resistência mínima necessária para garantir a confiabilidade do conjunto e com grande probabilidade de melhoramento na ligação dianteira da longarina com o chassi.

Palavras-chave: Semeadora adubadora. Reprojeto. Metodologia PDP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Semeadora criada por Cook (1785), com o princípio das linhas conjugadas.....	15
Figura 2 - Principais partes de uma semeadora adubadora.....	16
Figura 3 - Constituição de um chassi genérico.....	17
Figura 4 – Tipos de Semeadora.....	18
Figura 5 - Síntese dos principais elementos associados a engenharia simultânea...20	
Figura 6 - Engenharia sequencial e simultânea.....	22
Figura 7 – Diagrama de Mudge.....	37
Figura 8 – QFD (Casa da qualidade).....	38
Figura 9 – Função Global da longarina completa.....	42
Figura 10 – Estrutura funcional simplificada.....	42
Figura 11 – Estrutura funcional.....	43
Figura 12 – Combinações alternativas.....	48
Figura 13 – Combinação final do projeto.....	50
Figura 14 – Peça externa da ligação dianteira entre chassi e longarina.....	51
Figura 15 – Peça interna da ligação dianteira entre chassi e longarina.....	52
Figura 16 – Longarina (estrutura).....	52
Figura 17 – Torres de sustentação das caixas de adubo.....	53
Figura 18 – Fechamento das torres de sustentação.....	54
Figura 19 – Peça interna da ligação traseira entre chassi e longarina.....	54
Figura 20 – Peça externa da ligação traseira entre chassi e longarina.....	55
Figura 21 – Conjunto atual do fabricante.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ciclo de vida do produto	33
Quadro 2 – Requisitos dos clientes	35
Quadro 3 – Requisitos do projeto	35
Quadro 4 – Classificação dos Requisitos dos Clientes por ordem de importância....	37
Quadro 5 – Terço superior	39
Quadro 6 – Terço médio	39
Quadro 7 – Terço inferior	40
Quadro 8 – Descrição das funções	44
Quadro 9 – Matriz Morfológica da longarina completa	45
Quadro 10 – Princípios de solução	47
Quadro 11 – Matriz de decisão	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	11
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.4 JUSTIFICATIVA.....	12
1.5 OBJETIVO GERAL	12
1.6 OBJETIVO ESPECIFICO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 SEMEADORAS.....	14
2.1.1 Histórico	14
2.1.2 Terminologia e conceito	15
2.1.3 Chassi da semeadora adubadora	16
2.2 PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO – PDP.....	18
2.2.1 Desenvolvimento de produtos no ambiente de engenharia simultânea ...	19
2.2.2 Método da engenharia reversa	22
3 METODOLOGIA	25
3.1 PROJETO INFORMACIONAL.....	25
3.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto	26
3.1.2 Identificar as necessidades dos clientes	26
3.1.3 Estabelecer os requisitos do cliente	26
3.1.4 Estabelecer os requisitos do projeto	27
3.1.5 Hierarquizar os requisitos do projeto	27
3.1.6 Estabelecer as especificações do projeto	28
3.1.7 Avaliar e aprovar fase	28
3.2 PROJETO CONCEITUAL	28
3.2.1 Verificar o escopo do problema	29
3.2.2 Estabelecer a estrutura funcional	29
3.2.3 Pesquisar princípios de solução	30
3.2.4 Combinar princípios de solução	30
3.2.5 Selecionar combinações	31

3.2.6 Evoluir em variantes de concepção.....	31
3.2.7 Avaliar e aprovar fase	32
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
4.1 PROJETO INFORMACIONAL.....	33
4.1.1 Pesquisa de informação sobre o tema do projeto	33
4.1.2 Identificação das necessidades dos clientes	34
4.1.3 Estabelecimento dos requisitos dos clientes.....	34
4.1.4 Definição dos requisitos do projeto	35
4.1.5 Hierarquização dos requisitos do projeto.....	36
4.1.6 Estabelecimento das especificações do projeto	38
4.1.7 Avaliação e aprovação de fase	40
4.2 PROJETO CONCEITUAL	40
4.2.1 Verificação do escopo do problema	40
4.2.2 Estabelecimento da estrutura funcional	42
4.2.3 Pesquisa dos princípios de solução.....	44
4.2.4 Combinação dos princípios de solução.....	46
4.2.5 Seleção das combinações.....	49
4.2.6 Evoluir em variantes de concepção.....	49
4.2.7 Avaliação e aprovação de fase	55
4.3 ANÁLISE DE REDUÇÃO DE CUSTO	56
5 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, teve-se um avanço muito grande na área agrícola, mais especificamente de semeadoras adubadoras. Ao passo em que aumentaram os recursos tecnológicos para a melhora dos equipamentos, aumentou-se também a concorrência na fabricação de produtos de qualidade com alta tecnologia embarcada.

O papel do Engenheiro Mecânico está cada vez mais presente neste contexto, pois tem o dever de entregar ao mercado a cada atualização, melhorias nas soluções para facilitar a vida das pessoas ao mesmo tempo que entrega um produto de qualidade com um preço competitivo.

Com o mercado em grande expansão, muitas vezes uma pequena melhoria contínua não é o suficiente para se manter competitivo. Pensando nisso, expõe-se a problemática a ser discutida no presente trabalho: reprojeter as longarinas da semeadora adubadora de uma fabricante de máquinas agrícolas, a fim de melhorar a eficácia do conceito de ligação entre chassi e longarina, utilizando um comparativo de custos de fabricação, de forma a garantir a viabilidade do projeto.

É esperado no decorrer do presente trabalho, com o desenvolvimento da metodologia de projeto de produto, que o acadêmico possa adquirir o conhecimento necessário para ajudar na sua formação, transformando a dedicação posta em experiência que o ajudará a compreender melhor o dia a dia de um engenheiro de produto.

1.1 TEMA

A partir do contexto acima descrito, busca-se explorar as áreas de conhecimento que se fazem necessárias para a elaboração do presente trabalho, tomando como referência a metodologia de projeto de produto, aliada ao tema de semeadoras adubadoras, finalizando com um breve comparativo dos custos de fabricação do conjunto.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Para a elaboração do presente trabalho, usa-se de uma breve contextualização sobre semeadoras adubadoras, direcionada a sua parte estrutural, parte de fundamental importância para a elaboração deste estudo, uma vez que as longarinas dão sustentação ao chassi da máquina.

Desenvolve-se passo a passo a metodologia de projeto de produto, utilizando de vários autores, a fim de se chegar em um resultado consistente e confiável, ao passo em que o projeto é acompanhado por uma análise de custo, a fim de executar de forma satisfatória seus objetivos e ser viável para a empresa.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Partindo da oportunidade de melhoria no conceito de fixação entre chassi e longarina longarinas das semeadoras adubadoras de uma fabricante de máquinas agrícolas, faz-se necessário entender o conceito já existente, para que se seja possível reprojeter a estrutura, reduzindo o custo de fabricação e diminuindo processos de manufatura internos da fábrica.

1.4 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica pelo fato de que a escolha dos materiais corretos, alinhados com o redesign assertivo do produto, podem garantir um melhor desempenho no sistema de fixação entre chassi e longarina, ao passo que possibilita uma redução de custo significativa para a produção em série. Desta forma, o projeto assume grande importância, uma vez que se tem a possibilidade de reduzir custo de fabricação e melhorar seu desempenho em relação a fixação da longarina com o chassi.

1.5 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo geral, o reprojeto das longarinas do chassi da semeadora adubadora, ao passo que se busca melhorar sua performance em relação a ligação com o chassi, utilizando-se, para isso, a metodologia de Projeto de Produto, PDP, sendo desenvolvidas as fases do projeto informacional e projeto

conceitual para sua elaboração, bem como uma aplicação da análise de custos do produto final.

1.6 OBJETIVO ESPECIFICO

O reprojeto do sistema acarreta na busca dos seguintes objetivos específicos:

- Procurar por princípios de fixação mais eficientes que o atual;
- Modelar conceitos de componentes para as funções;
- Desenvolver a metodologia de projeto de produto;
- Verificar viabilidade do projeto através de uma comparação de custos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 SEMEADORAS

A fim de entender um pouco mais sobre esta importante máquina agrícola, se faz presente a necessidade de um estudo sobre sua história, terminologia e conceito, onde teremos um norte sobre suas origens e funcionamento, bem como um estudo direcionado para sua parte estrutural, o chassi, parte esta que é base de apoio para o desenvolvimento do presente estudo.

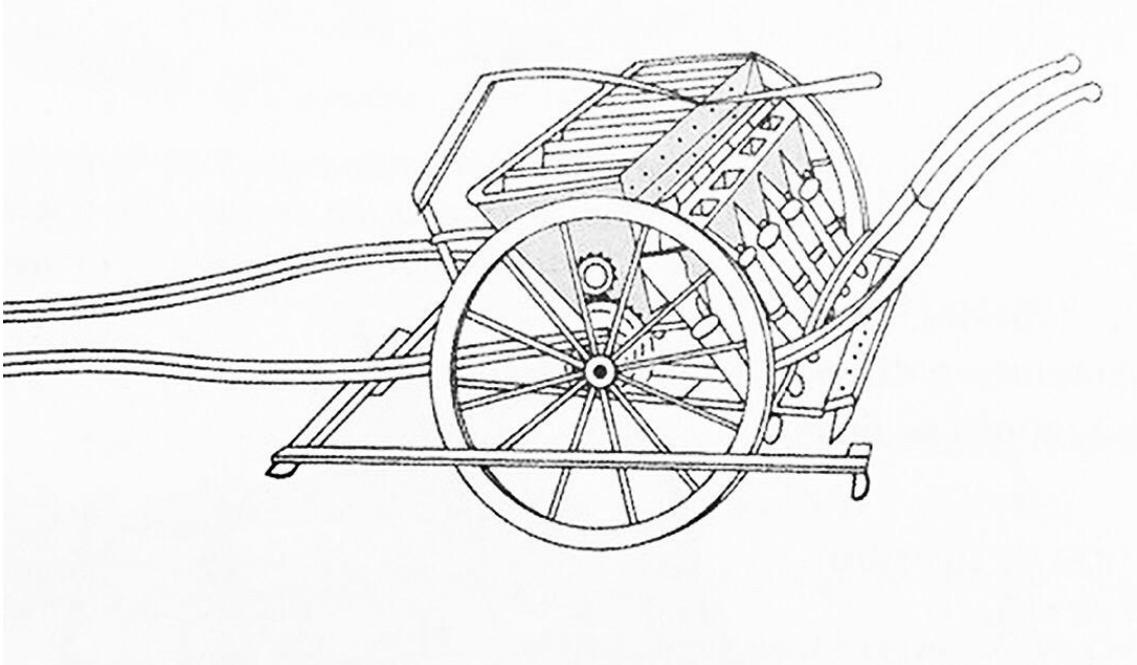
2.1.1 Histórico

Semeadura é nome dado para a operação de semear, utilizando uma semeadora. Segundo Mialhe (2012), a semeadura foi umas das primeiras operações agrícolas a serem mecanizadas. O mesmo autor afirma que até meados do Século XIX, a operação de semeadura era realizada manualmente, sendo que a terra era preparada com arados rudimentares e se lançava a semente aleatoriamente ao solo, porém, na literatura se tem relatos de uso de equipamentos de plantio ainda A.C.

A ideia de semear com o auxílio de máquinas é algo que vem desde a antiguidade. As primeiras referências sobre máquinas para semeadura datam de muitos séculos A.C. e citam equipamentos utilizados por assírios e chineses. Sabe-se que persas e hindus tinham suas próprias semeadoras, porém elas jamais foram adotadas pelos europeus. Na Europa a semeadura manual a lanço era o único método adotado até o final do Século XVII (MIALHE, 2012, p. 64).

De acordo com Balastreire (1987), a primeira semeadora europeia foi produzida por volta de 1636, por Joseph Locatelli de Corinto, e chamava-se “Sembradore”. Ainda segundo Balastreire, a semeadora criada por Locatelli foi aperfeiçoada por um Inglês chamado Jethro Tull, e que mais tarde, por volta de 1785, James Cook projetou uma semeadora de linhas conjugadas, como mostra a figura 1, conceito este que seria amplamente utilizado na Inglaterra e perpetuaria até os dias atuais.

Figura 1 - Semeadora criada por Cook (1785), com o princípio das linhas conjugadas.



Fonte: O autor, adaptado de Mialhe, 2012, p. 65.

Desde os registros de A.C. até os dias de hoje, a agricultura em geral tem evoluído a passos largos quando o assunto é mecanização agrícola, pois vivemos em uma época em que se tem a necessidade de produzir cada vez mais rápido, em maior quantidade e com maior qualidade possível.

2.1.2 Terminologia e conceito

Para Mialhe (2012), em nosso País tem ocorrido certa confusão no setor de máquinas agrícolas para semeadura quando referido ao uso do termo correto para a apresentação das mesmas.

Mialhe (2012, p. 64) cita:

Apesar da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1970) já ter estabelecido, ainda que em carácter experimental, uma terminologia padronizada de máquinas agrícolas, os fabricantes e uma grande maioria dos técnicos continuam a utilizar inapropriadamente os termos semeadeiras e plantadeiras. Trata-se de algo bastante comum na prática o emprego do sufixo eira (semeadeira e plantadeira, transplantadeira, adubadeira, etc.), ao invés do sufixo ora (semeadora, plantadora, transplantadora, adubadora, etc.).

Em caráter assertivo em relação a terminologia correta, Mialhe (2012) salienta que as semeadoras, plantadoras e transplantadoras podem conter em sua estrutura básica, caixas de fertilizantes para a aplicação ao solo juntamente com a semente,

nesse caso, as máquinas serão denominadas respectivamente de semeadora-adubadora, plantadora-adubadora e transplantadora-adubadora.

No presente estudo será utilizado o termo “semeadora adubadora”, pois se refere ao tipo de máquina em que o estudo em questão foi baseado. Sendo assim, uma “semeadora adubadora” classifica-se como uma máquina agrícola de arrasto, que ao acoplada em um trator, tem a função de abrir o sulco na terra, depositar fertilizante e sementes, logo após cobrindo este sulco para proteger a semente e a mesma germinar da melhor maneira possível. Podemos analisar as principais partes dessa máquina na figura 2 a seguir.

Figura 2 - Principais partes de uma semeadora adubadora.



Fonte: O autor, adaptado de Planticenter, 2016.

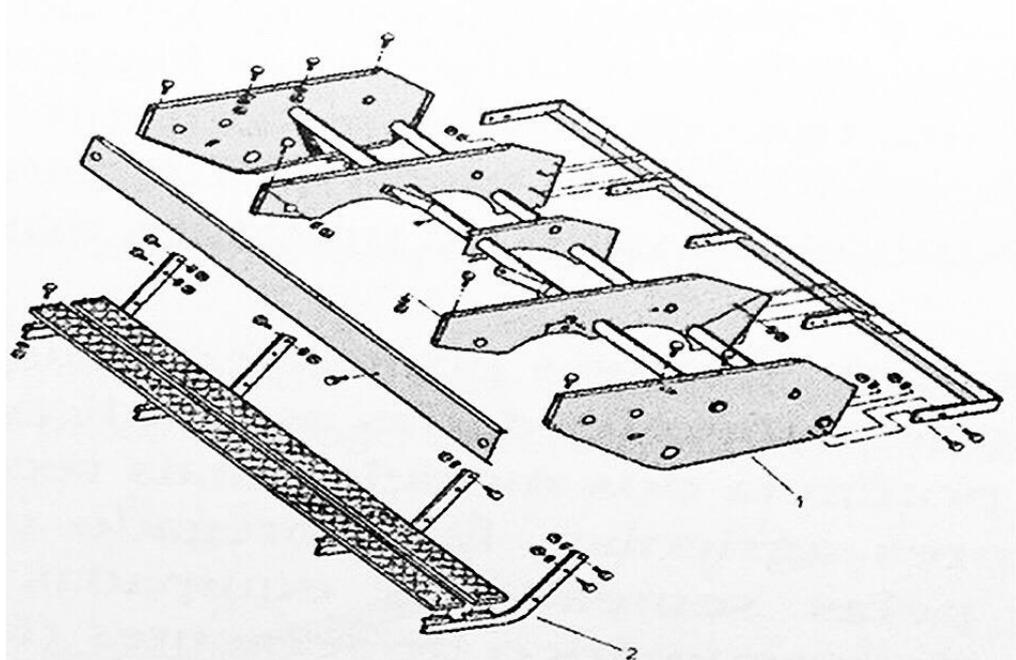
2.1.3 Chassi da semeadora adubadora

Devido ao fato de que o presente trabalho tem como problematização a redução de custo da parte estrutural da semeadora adubadora, é de extrema importância uma breve abordagem sobre o chassi da máquina, uma vez que o estudo é voltado para o reprojeto das longarinas que sustentam a estrutura da mesma.

Estando ciente disso, Mialhe (2012) afirma que o chassi é o elemento estrutural básico da semeadora, sobre o qual é montado todos os demais componentes da máquina, como mostra a figura 3 abaixo. O mesmo autor ainda

afirma que a conformação geral do chassi varia de acordo com a forma de acoplamento à fonte de potência (máquina montada, semi-montada ou de arrasto) e da concepção do projeto de sua estrutura.

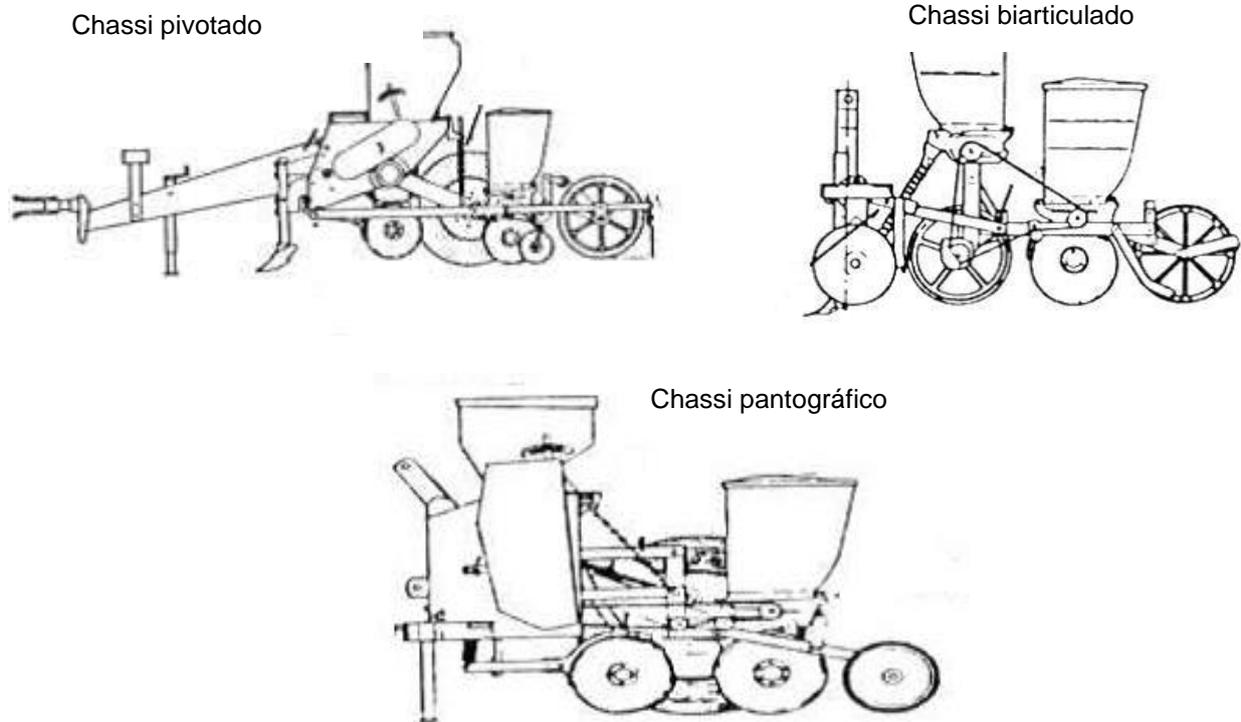
Figura 3 - Constituição de um chassi genérico.



Fonte: O autor, adaptado de Mialhe, 2012, p. 117.

Segundo Balastreire (1987), as semeadoras podem ser distinguidas por três tipos de chassi: a) Chassi pivotado; b) Chassi biarticulado; c) Chassi pantográfico. Podemos observar a diferença entre esses tipos de chassi na figura 4.

Figura 4 – Tipos de Semeadora.



Fonte: O autor, adaptado de Mialhe Et. Al. Balastreire, 1987, p. 118.

2.2 PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO – PDP

Para Back (2008), os produtos são constituídos por alguns elementos que juntos formam um conjunto de atributos básicos, tais como: aparência, forma, cor, função, embalagem, imagem, material, marca, serviços pós-venda e garantias. O mesmo autor ainda comenta que novos produtos não necessariamente significam produtos originais; novos produtos podem ser obtidos a partir de modificações e melhorias de produtos já existentes.

O termo produto refere-se a um objeto concebido, produzido industrialmente com características e funções, comercializado e usado pelas pessoas ou organizações, de modo a atender a seus desejos ou necessidades (BACK, 2008, p. 4).

Segundo Amaral (2006), desenvolver produtos se resume a um conjunto de atividades por meio das quais se busca, a partir de necessidades de mercado e das possibilidades e restrições da tecnologia, levando em conta as estratégias

competitivas e de produto da empresa, alcançar as especificações de projeto de um produto e de seu respectivo processo de fabricação, de modo que a manufatura seja capaz de produzi-lo, por isso, é considerado um processo de negócio crítico.

O desenvolvimento de produtos é considerado um processo de negócio cada vez mais crítico para a competitividade das empresas, principalmente com a crescente internacionalização dos mercados, aumento da diversidade e variedade de produtos e redução do ciclo de vida dos produtos no mercado (AMARAL, 2006, p. 4).

Conforme Amaral (2006), os clientes estão cada vez mais exigentes, informados e com maior possibilidade de escolha, com isso, as empresas precisam lançar novos produtos constantemente para buscar atender as necessidades dos consumidores da melhor forma e com maiores funcionalidades de seus produtos, tornando-os mais atrativos para que surja o desejo da parte do cliente para substituir seu produto antigo.

No desenvolvimento do produto, Back (2008), frisa que para obter um produto com eficiência e eficácia, é necessário saber o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com que fazer e como fazer. Tendo isso em mente, seremos capazes de projetar a melhor solução possível para o “problema” do nosso cliente.

2.2.1 Desenvolvimento de produtos no ambiente de engenharia simultânea

O processo de Engenharia Simultânea é relativamente simples apesar de suas diferentes conotações, no entanto, Back (2008) sugere que se deve investigar diferentes princípios gerais para uma melhor compreensão na abordagem de desenvolvimento do produto e a identificação dos meios pelas quais ela poderá ser inserida nas atividades da empresa.

Ao encontro disso, seremos capazes de compreender melhor o funcionamento do sistema de engenharia simultânea após entender as afirmações dos autores abaixo:

Para Prasad, Wang e Deng (apud BACK, 2008) a engenharia simultânea é uma abordagem sistemática que considera todos os aspectos de gerenciamento do ciclo de vida do produto, incluindo integração do planejamento, projeto, produção e fases relacionadas.

Segundo Smith (apud BACK, 2008), engenharia simultânea é um termo aplicado para uma filosofia de cooperação multifuncional no projeto de engenharia,

com o objetivo de criar produtos cada vez melhores, com menor custo possível e que possam ser introduzidos no mercado mais rapidamente.

Sprague, Singh e Wood (*apud* BACK, 2008) afirmam que a engenharia simultânea é uma abordagem sistemática para o projeto simultâneo e integrado de produtos e de processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Procura considerar todos os elementos do ciclo de vida do produto, desde a concepção até o descarte, incluindo qualidade, custo, programação e requisitos dos usuários.

É sabido que hoje em dia, as decisões tomadas nas fases iniciais do projeto do produto tem um efeito significativo na qualidade, manufaturabilidade, nos custos de produção deste produto, entre outros. Desta forma, a engenharia simultânea vem a agregar para diminuir os riscos do projeto e melhor aproveitamento dos recursos.

Nos procedimentos tradicionais de projeto, há mais riscos de não considerar a completeza necessária de informações sobre o produto, do que há no desenvolvimento em um ambiente de engenharia simultânea (BACK, 2008, p. 43).

Através dos diferentes conceitos apresentados para engenharia simultânea, podemos analisar alguns elementos que auxiliam na compreensão inicial desse tema. Para Chiusoli e Toledo (2000) *apud* Back (2008), estes elementos podem ser representados na figura 5 a seguir.

Figura 5 - Síntese dos principais elementos associados a engenharia simultânea.



Fonte: O autor, adaptado de Back, 2008, p. 46.

Desta forma, Back (2008) defende que ao analisar a figura acima, encontramos diferentes categorias associadas a engenharia simultânea, e que, podem ser definidas na forma de princípios e variáveis. Segundo o mesmo autor, podemos expandir os princípios e variáveis da engenharia simultânea da seguinte forma;

Princípios da engenharia simultânea:

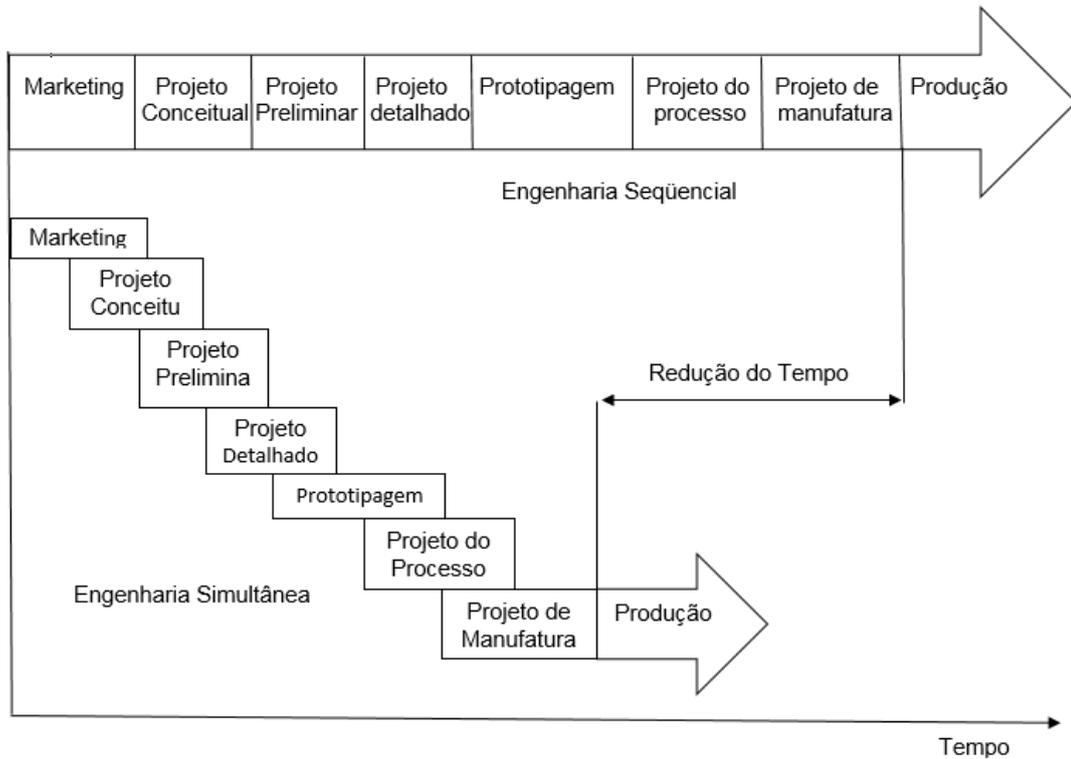
- Tratamento simultâneo de restrições de projeto e manufatura;
- Compartilhamento de conhecimento associados ao desenvolvimento do produto;
- Considerações do ciclo de vida do produto;
- Ênfase nas preferências dos consumidores no desenvolvimento do produto;
- Desenvolvimento do produto considerando qualidade, custo e tempo para o mercado.

Variáveis da engenharia simultânea:

- Configuração de equipes de projeto;
- Paralelismo das atividades de projeto;
- Integração dos clientes do projeto;
- Utilização de ferramentas de apoio.

Após uma análise mais detalhada de como pode ser expandida a engenharia simultânea, seremos capazes de melhor compreender a figura 6 a seguir, onde Yazdani e Holmes (1999) *apud* Back (2008) trazem uma abordagem de como a engenharia simultânea é mais eficiente em relação a engenharia sequencial (convencional).

Figura 6 - Engenharia sequencial e simultânea.



Fonte: O autor, adaptado de Back, 2008, p. 47.

Neste modelo fica explícito a redução de tempo e recursos para o desenvolvimento de novos produtos ao aplicarmos o método da engenharia simultânea, pois faz com que as equipes trabalhem em paralelo, o que resulta nas afirmações acima.

2.2.2 Método da engenharia reversa

Como anteriormente citado, novos produtos não significam somente desenvolver algo que não existe no mercado, um novo produto pode ser uma melhoria ou até mesmo uma cópia de um existente se alterado algumas características. Para Back (2008), o que se tem na prática na maioria das vezes é um produto que se deseja melhorar, ou seja, um reprojeto de sistema quando já se tem um sistema físico com desenhos detalhados ou não.

Ainda segundo Back, outra situação que podemos realizar um processo inverso, é quando desejemos conhecer um produto concorrente ou copiar e começar a produzir um produto existente.

Este procedimento, portanto, é conhecido como engenharia reversa, e, segundo Otto e Wood (1994) *apud* BACK, 2008 é definido como o processo de análise de um objeto para identificar os componentes do sistema e suas inter-relações e criar uma representação do sistema em outra forma ou em um nível de abstração mais elevado para uma posterior modelagem, simulação e busca de nova solução. Nesta abstração, os mesmos autores descrevem o nível da função global do sistema, como podemos observar nos passos seguintes:

- 1º passo: examinado o produto físico ou desenho técnico do mesmo, determinam-se as relações do sistema técnico com o meio ambiente, selecionando e analisando as interfaces, ou as entradas e saídas, e, analisando e caracterizando o fluxo funcional entre as entradas e saídas.
- 2º passo: determinação e descrição do princípio de funcionamento do sistema. Isso pode ser feito, primeiramente, compondo os elementos funcionais, eliminando juntas fixas e elementos de funções auxiliares, simplificando a configuração na forma adequada da função. Em segundo lugar são ligados por linhas ou indicações de fluxo das funções representativas dos elementos;
- 3º passo: determinação e descrição da estrutura funcional. Separando os grupos funcionais, o sistema é representado por uma estrutura funcional e são determinadas ou medidas as grandezas funcionais envolvidas e as relações de entrada e saídas de cada função da estrutura;
- 4º passo: determinação e descrição da função global do sistema. A função principal e as secundárias ou parciais são substituídas por uma função global na sua forma mais abstrata, junto com as especificações do produto;
- 5º passo: estabelecida a abstração do sistema, esta pode ser utilizada para os objetivos seguintes: comparação da concepção e das especificações de produtos concorrentes; cópia de um produto existente; reprojeto paramétrico; reprojeto adaptativo, com variação de alguns princípios de solução; e invenção da nova solução para contornar privilégios de patente;

- 6º passo: nos casos de reprojeto paramétrico e/ou adaptativo do próprio produto ou de invenção de nova solução para contornar proteções de patentes, o procedimento para chegar no novo produto é desenvolver as estruturas funcionais variantes com o objetivo de encontrar uma estrutura melhor, montar a matriz morfológica de princípios de solução e desenvolver concepções alternativas.

No que se refere a cópia ou engenharia reversa de produtos não patenteados, ou até mesmo a busca de novos princípios de solução para contornar invenções patenteadas, para Back (2008), também são atividades normalmente efetuadas e legais.

3 METODOLOGIA

Na elaboração do presente estudo utilizou-se das fases do projeto informacional e projeto conceitual da metodologia de Projeto de Desenvolvimento de Produto, sendo estes julgados necessários pelo autor da monografia. Outras referências anteriormente apresentadas foram utilizadas como apoio, sem serem citadas neste capítulo, porém, de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 PROJETO INFORMACIONAL

A fase do projeto informacional destina-se a definição das especificações de projeto do produto, sendo a primeira fase do projeto de produto, onde acontece a primeira reunião da equipe de desenvolvimento para a apresentação do plano do projeto (BACK, 2008). O mesmo autor salienta que uma vez iniciada a execução do plano de projeto, são realizadas diversas tarefas que buscam a definição dos fatores de influência no projeto do produto e que a partir dos requisitos dos usuários são definidos os requisitos de projeto do produto, considerando diferentes atributos: funcionais, ergonômicos, de segurança, de confiabilidade, de modularidade, estéticos e legais.

Segundo Amaral (2006), o objetivo dessa fase é, a partir das informações levantadas no planejamento e em outras fontes, elaborar um conjunto de informações, de forma a ser o mais completo possível, sendo chamado de especificações-meta do produto. Segundo o mesmo autor, estas informações além de orientar a geração de soluções, fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados posteriormente nas etapas do processo de desenvolvimento do produto.

A metodologia descrita por Mantovani (2011) propõe as seguintes etapas:

- Pesquisa de informações sobre o tema do projeto;
- Identificar as necessidades dos clientes;
- Estabelecer os requisitos dos clientes;
- Estabelecer os requisitos do projeto;
- Hierarquizar os requisitos do projeto;

- Estabelecer as especificações do projeto.

3.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto

Para Mantovani (2011), nesta etapa é estabelecido o ciclo de vida do produto e realizada uma pesquisa, a fim de levantar o maior número possível de informações técnicas para a obtenção de fonte de dados do projeto do produto em busca de produtos similares existentes atualmente no mercado.

3.1.2 Identificar as necessidades dos clientes

Segundo Mantovani (2011), se aplica aqui um questionário, a fim de obter as principais necessidades dos clientes do projeto. O mesmo autor ainda afirma que o resultado do questionário deve ser interpretado de forma a listar as necessidades dos clientes.

Back (2008), temos dois tipos de usuários: Usuários externos: são pessoas ou organizações que irão usar ou consumir o produto e devem ser considerados posteriormente; e usuários internos: são aqueles envolvidos no setor produtivo, compreendendo as atividades de planejamento, gerência projeto, fornecimento, fabricação, embalagem, manipulação e transporte de produto.

Para Amaral (2006), nesta fase busca-se levantar as necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida. Essas necessidades se dão na forma de variáveis e podem ser obtidas com o uso de listas de verificações ou por meio de observação direta, entrevistas e grupos de foco, ou também, utilizando qualquer método de interagir com os diferentes tipos de clientes. O autor ainda afirma que é necessário fazer um processamento dessas necessidades inicialmente obtidas, classificando-as, organizando-as e agrupando-as.

3.1.3 Estabelecer os requisitos do cliente

Mantovani (2011), ressalta que nesta etapa os requisitos dos clientes são obtidos a partir da transformação das necessidades dos clientes para uma linguagem de engenharia, onde são identificadas nas fases do ciclo de vida do produto.

As necessidades são desdobradas e transformadas em linguagem de engenharia a fim de entender a real necessidade do cliente, pela qual poderá tornar-se uma das funções do produto.

O principal objetivo de determinar o que os clientes esperam do produto (voz dos clientes) é achar os requisitos que realmente agradam e surpreendem positivamente os clientes, pois geram benefícios que os clientes não esperam. Esses requisitos que causam impacto no cliente agrupam características e qualidades do produto não-verbalizadas na maioria das vezes pelos clientes, que representam os desejos ocultos e desconhecidos, insatisfações toleradas ou expectativas até agora não alcançadas (AMARAL, 2006).

3.1.4 Estabelecer os requisitos do projeto

Back (2008) ressalta que os requisitos do cliente são transformados em características de engenharia, que são os requisitos do projeto, onde características físicas que irão satisfazer os requisitos dos clientes começam a ser atribuídos ao produto, gerando uma lista, chamada de requisitos de projeto.

Para Amaral (2006) a obtenção dos requisitos do projeto a partir dos requisitos dos clientes se constitui na primeira decisão física sobre o produto que está sendo projetado. Essa ação irá definir os parâmetros mensuráveis, associados as características definitivas que terá o produto. A obtenção desses requisitos poderá ser feita utilizando-se diferentes meios, tais como: brainstorm, check-list e informações de outros projetos.

3.1.5 Hierarquizar os requisitos do projeto

Mantovani (2011) salienta que nesta etapa utilizamos o diagrama de Mudge e a matriz QFD (Quality Function Deployment), também chamada de matriz da casa da qualidade, com o objetivo de auxiliar a transformação das necessidades dos clientes em características possíveis de serem mensuradas. Os requisitos dos clientes e projetos anteriormente descritos são mensurados nesta etapa e ranqueados pelo grau de importância e relacionamento entre si.

De acordo com Amaral (2006), os principais benefícios de utilizarmos Mudge e QFD são: redução do número de mudanças de projeto; diminuição do ciclo de projeto; redução dos custos de início de operação; redução de reclamações de garantia; favorece a comunicação entre os diferentes agentes que atuam no desenvolvimento do produto, principalmente marketing e engenharia; traduz as vontades dos clientes; possibilita a percepção de quais características que deverão receber maior atenção.

3.1.6 Estabelecer as especificações do projeto

Estas especificações são uma complementação dos requisitos do projeto através de metas, objetivos, avaliação da meta, e fatores que deverão ser evitados. Seguindo o raciocínio, Mantovani (2011) indica usar o quadro de especificações do projeto, que tem como base a classificação obtida pelo cruzamento dos requisitos do projeto com os requisitos do cliente da etapa anterior. O mesmo autor ainda cita que as especificações de projeto serão as principais informações que serão levadas para a próxima fase de projeto de produto, a fase do projeto conceitual.

3.1.7 Avaliar e aprovar fase

Segundo Amaral (2006), ao final de cada fase do desenvolvimento do projeto é essencial adotar uma revisão e aprovação formal dos produtos. Desta forma tem-se a necessidade da avaliação da metodologia aplicada ao término de cada uma das fases do projeto de produto, a fim de evitar o retrabalho tardio, caso seja necessário.

3.2 PROJETO CONCEITUAL

Na fase do projeto conceitual, as atividades da equipe de projeto relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto (AMARAL, 2006). Segundo ele a busca por soluções já existentes pode ser feita pela observação de produtos concorrentes ou similares descritos em livros, artigos, catálogos e base de dados de patentes, ou até mesmo por benchmarking.

Segundo Amaral (2006), a representação das soluções pode ser feita por meio de esquemas, croquis e desenhos que podem ser manuais ou computacionais, e em muitas vezes são realizados em conjunto com a criação e que a seleção das soluções é feita com base em métodos apropriados que se apoiam nas necessidades ou requisitos previamente definidos.

Para Mantovani (2011) nesta fase aplica-se as etapas de verificação do escopo do problema, é estabelecida sua estrutura funcional, pesquisa-se por princípios de solução, onde estes princípios são combinados, seleciona-se as combinações, evolui-se em variantes de concepção e finaliza-se analisando as concepções.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, Back (2008) complementa que nessa etapa são geradas as soluções alternativas que atendam as especificações definidas, e que a equipe de projeto deve, no início do trabalho, ter por objetivo a criação de várias soluções de alternativas para o mesmo problema, pois desta forma pode-se comparar e combinar maiores números de soluções, facilitando a escolha da melhor e mais inovadora concepção para o produto.

3.2.1 Verificar o escopo do problema

Sendo a primeira fase do projeto conceitual, Amaral (2006) comenta que nesta etapa busca-se fazer um estudo compreensivo do problema num plano abstrato, abrindo caminho para melhores soluções, ignorando assim, tendências de resultados pessoais como experiências, preconceitos e convenções, que podem levar o projeto a limitações de soluções.

Para Forcellini (2002) cria-se nesta fase um estudo do problema através do entendimento do problema, para gerar a melhor solução possível, sendo necessário ignorar o que seja particular ou casual, e focar no que é essencial, prevenindo que o projetista interfira nas especificações e resultados que o problema possa trazer.

3.2.2 Estabelecer a estrutura funcional

Segundo Forcellini (2002) nesta etapa a formulação do problema é realizada de forma ainda abstrata, através das funções que o produto deve realizar, não

dependendo de soluções particulares, tendo seu ponto de partida com a abstração feita na etapa anterior, permitindo o estabelecimento criterioso da função global do sistema, tendo por resultado final a estrutura das funções elementares do projeto.

Back (2008) cita que o primeiro passo desta etapa é a definição da função global do problema para o qual se procura uma solução e tem início a partir das especificações de projeto obtidas na etapa anterior, estabelecendo uma formulação ou declaração condensada da função global do sistema e as interfaces com outros sistemas técnicos e o meio ambiente.

No modelo funcional, a partir de uma análise das especificações do projeto do produto e das funções inicialmente identificadas, o primeiro passo é dado na busca de uma estrutura de funções para o produto projetado com a elaboração de uma descrição da função total, ou global deste produto (AMARAL, 2006).

3.2.3 Pesquisar princípios de solução

Segundo Forcellini (2002) o principal objetivo desta fase é transformar o abstrato em concreto, da função até a forma, onde as sub funções da estrutura funcional que foram escolhidas devem ser aplicadas a um princípio de solução. Partindo deste entendimento, será necessário buscar um efeito físico para chegar ao objetivo de ter vários efeitos, assim chegando em uma solução para os problemas.

Para Mantovani (2011) nesta etapa direcionamos as seleções das funções estabelecidas na fase anterior, buscando informações para comparar os sistemas e funções que poderiam caracterizar um produto existente, portanto, compara-se experiências já obtidas, conhecimentos, bibliografias, patentes, dentre outros, onde são aplicados diversos métodos convencionais, intuitivos e discutivos. É recomendado o uso da matriz morfológica para fazer a compilação dos dados obtidos.

3.2.4 Combinar princípios de solução

Para Back (2008), após finalizadas as descrições da função do produto que geram a função global, que é decomposta para chegar-se as funções elementares, chega-se a um número limitante das funções típicas e aplica-se o método da matriz

morfológica combinando os princípios de solução para a geração de soluções alternativas. O autor ainda salienta que neste processo soluções criativas são encontradas, às vezes, formando novas combinações para as funções, objetos, processos ou ideias já existentes.

Amaral (2006) complementa que na matriz morfológica é relacionado simultaneamente as funções que compõem a estrutura funcional e as diversas possibilidades de soluções para as mesmas, obtendo assim inúmeras configurações com os mais variados princípios, a qual aumenta a gama de possibilidades e as chances de percepção de soluções não esperadas.

3.2.5 Selecionar combinações

Na atividade anterior são gerados o maior número de soluções possíveis. Para esta etapa, Back (2008) recomenda o uso de critérios generalizados e qualitativos em menor número, para segregar somente as concepções viáveis. Back (2008) ainda afirma que os critérios utilizados devem ser claramente definidos, independentes, não ambíguos, redigidos positivamente, igualmente aplicáveis a todas as concepções e que avaliam um único atributo de qualidade.

Seguindo nesta linha, Amaral (2006) diz que uma das maneiras mais usuais para a avaliação das várias alternativas de concepção geradas é utilizando-se uma matriz, na qual as alternativas e os critérios de avaliação são colocados na primeira linha e primeira coluna, respectivamente. Este método é conhecido como Método de Pugh ou Método da Matriz de Decisão.

Os critérios de avaliação podem ser algumas ou todas as especificações, e, para os casos em que as concepções geradas estão representadas com um nível elevado de abstração, as necessidades dos clientes podem ser tomadas como critérios. Além desses, poderão ser adicionados outros critérios relacionados a outros aspectos, tais como: estética do produto, e parcerias de co-desenvolvimento (AMARAL, 2006, p. 282).

3.2.6 Evoluir em variantes de concepção

Para Amaral (2006) esta etapa nada mais é do que um refinamento da atividade anterior, onde são identificados e analisados os aspectos críticos do produto observados no ciclo de vida do mesmo. De maneira a detalhar um modelo

de concepção para ser possível verificar custos, peso, e dimensões totais aproximadas, usando uma linguagem gráfica, ou seja, em forma de esboços ou desenhos esquemáticos.

Segundo Mantovani (2001), para dar continuidade ao projeto deve ser feita uma concepção do nível de detalhamento para verificar sua viabilidade, também ser representados os princípios de solução que foram obtidos na última etapa, antes de ser tomado qualquer tipo de decisão sobre qual solução escolher. Sendo assim, a partir desta escolha, devem ser usados esboços para que o produto possa executar as funções principais, tornando-se assim realmente viável.

3.2.7 Avaliar e aprovar fase

Mantovani (2001) afirma que nesta etapa aplicamos a matriz de avaliação e que a escolha do conceito final deve ocorrer comparando as concepções, procurando por pontos fracos, e que no resultado da avaliação tenha um equilíbrio entre os requisitos, para que na próxima fase (projeto preliminar) não ocorram surpresas ou verificação tardia dos pontos fracos.

Para Amaral (2006) esta etapa é similar a etapa do projeto informacional, com a diferença de que agora falamos em especificações físicas, onde podemos julgar mais precisamente a concepção desejada, para isso devem ser considerados os seguintes itens:

- Existe alguma limitação tecnológica?
- Possui viabilidade econômica?
- As especificações de custo estão sendo atendidas?
- A segurança e as funções operacionais são conhecidas?

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão descritos os resultados decorrentes da aplicação do projeto informacional e projeto conceitual que englobam a metodologia de projeto de produto, apresentadas na etapa anterior, bem como uma análise de redução de custo, chegando-se a escolha de uma concepção que melhor atenda os requisitos do projeto.

4.1 PROJETO INFORMACIONAL

4.1.1 Pesquisa de informação sobre o tema do projeto

Nesta etapa ocorre a determinação do ciclo de vida do produto e de seus clientes ao longo de todo seu caminho, sendo desde o projeto até o descarte. Como mostrado no Quadro 1, seu ciclo de vida relaciona todos tipos de clientes ao longo das fases que irá percorrer.

Quadro 1 – Ciclo de vida do produto

Fases do ciclo de vida	Clientes ao longo do ciclo de vida		
	Internos	Intermediários	Externos
Projeto	Engenharia de produto		
Teste	Departamento de testes e validação		
Produção	Engenharia de Produto e Manufatura		
Comercialização		Marketing e vendas	Concessionárias
Utilização			Cliente Final
Descarte			Cliente/ Concessionária

Fonte: Elaborado pelo autor

A elaboração deste ciclo de vida do produto baseou-se na aplicação da metodologia, onde são atribuídas cinco fases, relacionadas com os tipos de clientes, sendo descrito as etapas que o produto passará, bem como cada cliente ao longo deste percurso. Os clientes deste processo foram definidos para obter-se maior abrangência possível de mapeamento do produto dentro do seu ciclo de vida, sendo dividido entre internos, intermediários e externos.

Inicialmente na parte do projeto temos a engenharia de produto como cliente principal, responsável pela elaboração do mesmo. Após completa a fase de projeto, dá início a produção do item, tendo como responsáveis a engenharia de manufatura, que se encarregará de apoiar a produção, juntamente com a engenharia de produto dando suporte para possíveis ajustes. Na sequência temos a fase de testes do produto, onde o departamento de testes e validações se encarrega de complementar. Após passado o processo “fabril”, passamos para a área da comercialização, onde temos a equipe de marketing, juntamente com as concessionárias responsáveis pelas vendas. Sua utilização ficará a cargo do cliente final, que por sua vez encerra o processo do ciclo de vida juntamente com a concessionária no momento do descarte final.

4.1.2 Identificação das necessidades dos clientes

Para a elaboração desta fase, bem como o acarretamento de todo projeto seguinte, foram identificadas somente as necessidades dos clientes internos, sendo eles engenharia de produto, engenharia de manufatura e departamento de testes e validação do produto, onde o levantamento dessas necessidades foi realizado na primeira reunião do time multifuncional responsável pelo projeto em questão. Foram levantados os pontos mais relevantes definidos pelo time, onde os resultados foram compactados para quinze requisitos de cliente, que serão apresentados nos próximos passos.

4.1.3 Estabelecimento dos requisitos dos clientes

A partir das informações obtidas na etapa anterior, elaborou-se o Quadro 2, onde encontramos compactados segundo a metodologia, de forma mais organizada, gerando maior eficiência e clareza para o projeto, os requisitos dos clientes internos.

Quadro 2 – Requisitos dos clientes

Fases do ciclo de vida	Requisitos dos clientes
Projeto	Baixa complexidade fabricação Não acumular adudo/sujeira nas torres e longarina Utilizar itens de prateleira Baixo peso
Testes	Detalhamento correto do projeto, sem erros de dimensionamento
Produção	Se produzida internamente, a peça deve ser simples de fabricar Oportunidades de encaixe sextavado para cabeça dos parafusos Montagem simples Desmontagem simples
Comercialização	Baixo custo
Utilização	Resistir por toda vida útil da máquina Fácil acesso para manutenção Seguro Manter torque nos parafusos.
Descarte	Descarte correto

Fonte: Elaborado pelo autor

Este quadro nos traz uma visão específica dos requisitos, onde podemos de forma efetiva mapear o requerimento de cada área, a fim de poder trabalhar mais assertivamente em cada requisito, bem como aumentar as chances de sucesso do projeto final.

4.1.4 Definição dos requisitos do projeto

Após a definição dos requisitos dos clientes na etapa anterior, para esta etapa aplicou-se o quadro sugerido por Amaral (2006), que possibilita uma melhor adequação com os termos adquiridos com o levantamento dos requisitos dos clientes.

Da mesma forma que foram obtidos os requisitos dos clientes, os requisitos do projeto foram obtidos informalmente juntamente com o time multifuncional responsável pelo projeto, mostrados no Quadro 3, que totalizaram 14 requerimentos, tendo alguns requisitos iguais ou semelhantes com os do cliente.

Quadro 3 – Requisitos do projeto

Básicos	Funcionamento	Sustentar caixas de adubo
---------	---------------	---------------------------

		Fixação da longarina com chassi que não perca torque Suportar esforços de tração e compressão da máquina
	Econômico	Aumentar vida útil Reduzir custo
	Ergonômico	Fácil acesso
	Segurança	Permitir montagem por cima do chassi, com trava para não cair no chão
	Legal	Atender normas vigentes para todos componentes
	Ambiental	Utilizar matéria-prima de menor impacto possível ao meio ambiente
	Confiança	Suportar mesmas cargas que o sistema atual
Ciclo de vida	Fabricação	Construção simples
	Montagem	Ferramentas existentes na fábrica Montagem simples
	Uso	Operação simples
Materiais	Geometria	Design harmônico com o resto da máquina
	Materiais (especificação)	Baixo peso Cor padrão da empresa Utilizar itens de prateleira

Fonte: Adaptado de Amaral (2006)

4.1.5 Hierarquização dos requisitos do projeto

Com o auxílio do diagrama de Mudge para esta etapa, foi realizada a hierarquização dos requisitos dos clientes, de forma a comparar um requisito perante o outro, gerando uma pontuação para esse processo, sendo que quanto maior a pontuação, mais importante é o requisito. Desta forma foram adicionadas as letras A, B e C nas comparações, com o intuito de identificar o quão mais importante um requisito é, em relação ao outro. Podemos observar esse processo aplicado na figura 7 a seguir.

Figura 7 – Diagrama de Mudge

DIAGRAMA DE MUDGE
Número de Requisitos

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Soma	%	VC
1	2A	1C	1C	5A	6C	7A	8C	9C	10A	11B	12B	13A	14A	15C	2	1%	1
	2	2A	2A	5B	2B	2C	2B	2B	10A	2C	2C	13C	14C	2B	30	9%	5
		3	3C	5A	6B	7A	8B	9C	10A	11A	12B	13A	14A	15C	1	0%	1
			4	5A	6B	7B	8C	9C	10A	11B	12C	13A	14A	4C	1	0%	1
				5	5A	5C	5B	5B	10B	5C	5B	13C	5C	5B	38	12%	7
					6	7A	6B	6B	10A	11B	12C	13A	14B	6C	14	4%	3
						7	7B	7B	10A	11C	7C	13B	14B	7B	28	9%	5
							8	8C	10A	11A	8C	13A	14A	8C	8	2%	1
								9	10A	11A	12C	13A	14A	9C	4	1%	1
									10	10B	10A	13C	10C	10A	57	17%	10
										11	11A	13A	14C	11A	38	12%	7
											12	13A	14A	12C	10	3%	2
												13	13C	13A	52	16%	10
													14	14A	43	13%	8
														15	3	1%	1
															Total	329	100%

A =	5	Muito mais importante
B =	3	Medianamente mais importa
C =	1	Pouco mais importante

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir, no Quadro 4 podemos visualizar os requisitos identificados de acordo com seu grau de importância em uma escala decrescente do maior para o de menor importância.

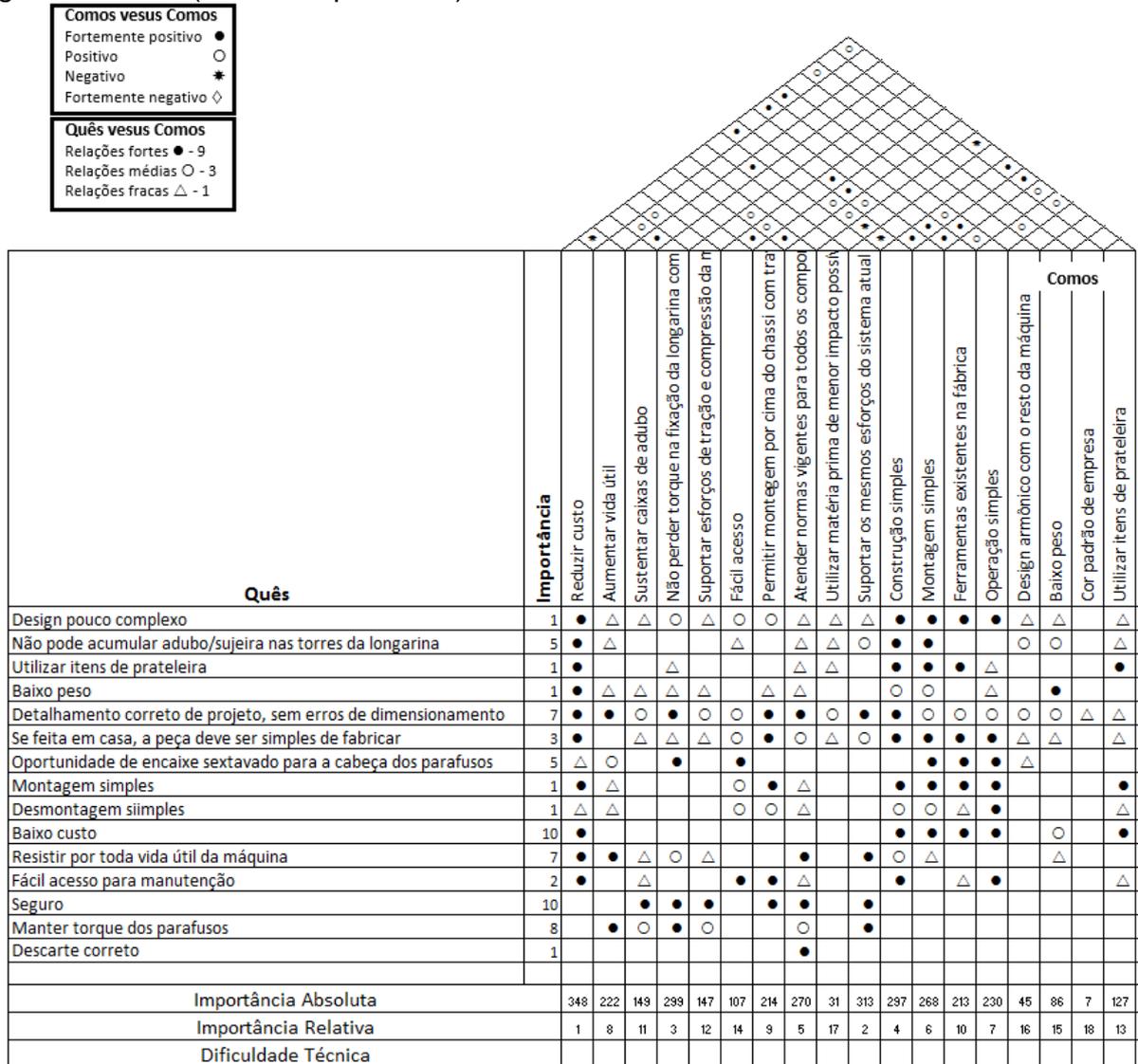
Quadro 4 – Classificação dos Requisitos dos Clientes por ordem de importância

CLASSIFICAÇÃO POR IMPORTÂNCIA		
1º	10	Baixo custo
2º	13	Seguro
3º	14	Manter torque dos parafusos
4º	11	Resistir por toda vida útil da máquina
5º	5	Detalhamento correto de projeto, sem erros de dimensionamento
6º	2	Não pode acumular adubo/sujeira nas torres da longarina
7º	7	Oportunidade de encaixe sextavado para a cabeça dos parafusos
8º	6	Se feita em casa, a peça deve ser simples de fabricar
9º	12	Fácil acesso para manutenção
10º	8	Montagem simples
11º	9	Desmontagem simples
12º	15	Descarte correto
13º	1	Design pouco complexo
14º	4	Baixo peso
15º	3	Utilizar itens de prateleira

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta etapa também foi utilizada como ferramenta auxiliar, a Matriz da casa da Qualidade, ou simplesmente chamada de ferramenta do QFD. Sua aplicação aumenta a confiabilidade da hierarquização dos requisitos, possibilitando uma melhor distinção dos assuntos com maior e menor importância para se gastar energia no projeto de desenvolvimento de produto. A partir do descrito pode-se observar na Figura 8 a aplicação da Matriz da Qualidade.

Figura 8 – QFD (Casa da qualidade)



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.6 Estabelecimento das especificações do projeto

Na etapa anterior foram definidos os níveis de importância dos requisitos. Nesta etapa, de forma a melhorar o julgamento de cada requisito, foi imposta uma

meta para cada um deles, em forma de porcentagem, mostrando assim seu grau de importância de cumprimento em relação aos demais. Também foram adicionados campos para sua forma de avaliação, mensurando a obtenção das especificações requeridas e temos também um último campo listando os aspectos indesejados de cada função, a fim de um melhor mapeamento para se poder trabalhar de forma que o projeto não tenda a estes aspectos.

Podemos observar nos quadros 5, 6 e 7, os requisitos divididos pelo grau de importância em três partes, onde a primeira é o terço superior, a segunda o terço médio e a terceira o terço inferior, em ordem decrescente respectivamente.

Quadro 5 – Terço superior

	Requisito	Valor meta	Forma de avaliação	Aspectos indesejados
1	Reduzir custo	- 10%	Análise de custo	Reprojeto de todo o sistema
2	Aumentar vida útil	+ 10%	Teste de campo	Aumento de custo
3	Sustentar caixas de adubo	100%	Teste de campo	Aumento de peso
4	Não perder torque na fixação da longarina com chassi	100%	Teste de campo	Aumento de custo
5	Suportar esforços de tração e compressão da máquina	100%	Teste de campo	Aumento de custo
6	Fácil acesso	Fácil encaixe das ferramentas	Teste virtual	Mudança de projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6 – Terço médio

	Requisito	Valor meta	Forma de avaliação	Aspectos indesejados
7	Permitir montagem por cima do chassi com trava para não cair no chão	Suporte dianteiro com trava	Análise de processo de montagem	Limitação de design dos componentes
8	Atender normas vigentes para todos os componentes	100%	Análise do projeto	Aumentar complexidade de projeto
9	Utilizar matéria prima de menor impacto possível ao meio ambiente	65%	Inspeção de segurança	Aumento de custo dos materiais
10	Suportar os mesmos esforços do sistema atual	98%	Teste de campo	Reprojeto de todo o sistema
11	Construção simples	80%	Análise do projeto	Não atender a todas as normas aplicadas e qualidade do produto
12	Montagem simples	75%	Análise do	Peças fora do ajuste de

			processo de montagem	tolerância correto
--	--	--	----------------------	--------------------

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 7 – Terço inferior

	Requisito	Valor meta	Forma de avaliação	Aspectos indesejados
13	Ferramentas existentes na fábrica	Usar todas possíveis	Análise do projeto e processo de fabricação	Limitação de design dos componentes
14	Operação simples	80%	Teste de campo	Aumento de custo
15	Design harmônico com o resto da máquina	70%	Análise do projeto	Aumento de custo
16	Baixo peso	-5%	Pesagem do produto	Reprojeto0 de todo o sistema
17	Cor padrão de empresa	100%	Comparação com demais componentes da máquina	Limitação visual
18	Utilizar itens de prateleira	60%	Análise das especificações dos materiais	Limitação de projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.7 Avaliação e aprovação de fase

Ao final do projeto informacional, constatou-se a eficácia da metodologia até aqui empregada, pois a tendência de resultados do projeto está caminhando lado a lado com os requisitos de cliente e projeto, indicando que as ferramentas utilizadas possuem uma boa credibilidade, permitindo seguir em frente com o desenvolvimento do projeto conceitual do presente trabalho.

4.2 PROJETO CONCEITUAL

Nesta segunda etapa do projeto, foram desenvolvidas e definidas as soluções conceituais que darão forma ao produto requerido das etapas anteriores. Para isso foi aplicada a metodologia referenciada com suas subfases que serão apresentadas a seguir.

4.2.1 Verificação do escopo do problema

Para esta etapa, utilizaram-se os dados resultantes da aplicação da ferramenta de QFD e diagrama de Mudge, ambas aplicadas no projeto informacional, a fim de coletar os dados de forma clara e objetiva, deixando de lado qualquer tendência que o projetista possa ter na elaboração das concepções.

O escopo principal desta fase, leva em consideração os requisitos mais importantes, podendo-se omitir os requisitos menos importante, porém deve-se considera-los para não correr o risco de tirar as especificações necessárias requeridas de um item, mesmo que ela não tenha um alto grau de prioridade. Abaixo estão listados os principais requisitos do projeto:

- Reduzir custo;
- Aumentar vida útil;
- Sustentar caixas de adubo;
- Não perder torque na fixação da longarina com o chassi;
- Suportar esforços de tração e compressão da máquina;
- Fácil acesso.

Para Back (2008), o próximo passo desta etapa é transformar as informações quantitativas e qualitativas, a fim de chegar um conceito harmônico. Podemos observar essa definição abaixo:

- Reduzir o custo de fabricação aumento a vida útil do conjunto;
- Suportar esforços de tração e compressão sem perder torque de fixação de parafusos;
- Sustentar as caixas de adubo e permitindo fácil acesso para montagem e manutenção.

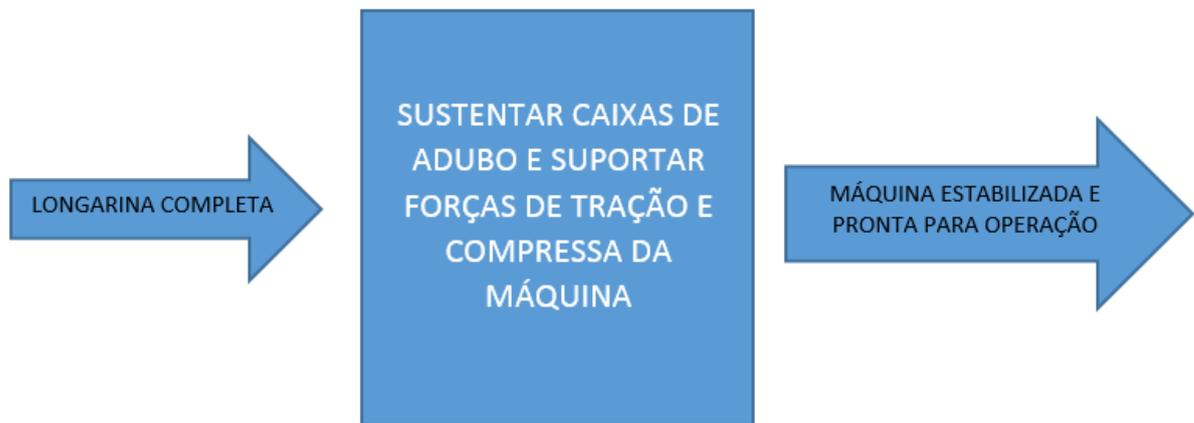
Desta forma Amaral (2006) afirma que conseguimos deixar os requisitos mais refinados e diretos, acarretando na maior facilidade para elaboração de sua estrutura funcional como um todo. Sendo assim, podemos reformular os requisitos em uma maior harmonia:

Reduzir o custo do projeto como um todo, garantindo que sua estrutura suporte as caixas de adubo, bem como as forças de tração e compressão da máquina sem perder o torque dos conjuntos parafusados, ao passo em que tenha um fácil acesso em geral, tanto para montagem como para manutenção.

4.2.2 Estabelecimento da estrutura funcional

Para um melhor entendimento das operações básicas e fundamentais dos sistemas, desenvolveu-se a função global, na qual podemos observar qual é a função principal do projeto, bem como as entradas e saídas desta função, como podemos visualizar na Figura 9 a seguir.

Figura 9 – Função Global da longarina completa



Fonte: Elaborado Pelo autor

Com a estrutura funcional geral estabelecida, parte-se para o desdobramento da função global, onde começa-se a obter as funções mais específicas necessárias para a composição das concepções. A partir da Figura 10 pode-se compreender melhor este desdobramento.

Figura 10 – Estrutura funcional simplificada

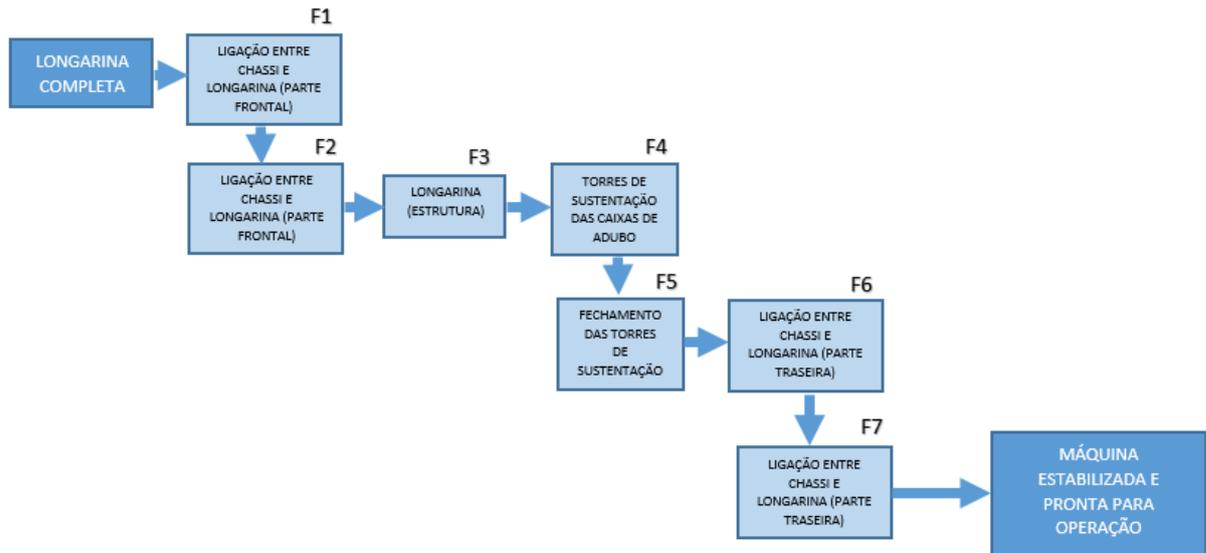


Fonte: Elaborado pelo autor

O próximo passo para esta etapa, foi definir de maneira genérica, como cada função se alinha com o sistema como um todo. Aqui cada função é relacionada com as demais na sua ordem de execução, relatando as entradas e saídas de cada uma dessas funções como longarina completa, energia e regulagens.

A estrutura funcional abrange todas as etapas que precisam ser desenvolvidas para atender as requisições de projeto. Porém, temos a possibilidade de detalhar e expandir algumas funções gerais e funções básicas, a fim de se ter uma maior acuracidade na elaboração das concepções. Este segundo desdobramento pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 – Estrutura funcional



Fonte: Elaborado pelo autor

No quadro 8 é possível identificar cada função do desdobramento acima realizado, assim como uma breve descrição de suas características funcionais, entradas e saída.

Quadro 8 – Descrição das funções

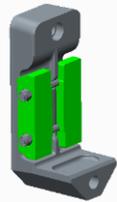
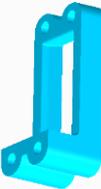
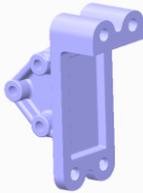
Função	Descrição	Entradas	Saídas
F1 -Ligação entre chassi e longarina parte frontal (peça externa)	Une a parte frontal da longarina completa com o chassi	Energia (montar ligação frontal)	Ligação frontal montada
F2 - Ligação entre chassi e longarina parte dianteira (peça interna)	Une a parte frontal da longarina completa com o chassi	Energia (montar ligação frontal)	Ligação frontal montada
F3- Longarina (estrutura)	Estrutura principal do conjunto	Energia (montar conjunto completo)	Conjunto montado (máquina estabilizada)
F4 - Torres de sustentação das caixas de adubo	Sustenta as caixas de adubo da máquina	Energia (montar torres)	Torres montadas na longarina
F5 - Fechamento das torres de sustentação	Fixa as torres de sustentação no eixo das caixas de adubo	Energia (montar fechamento)	Torres fixadas na parte superior
F6 - Ligação entre chassi e longarina parte traseira (peça interna)	Une a parte traseira da longarina completa com o chassi	Energia (montar ligação traseira)	Ligação traseira montada
F7 - Ligação entre Chassi e longarina parte traseira (peça externa)	Une a parte traseira da longarina completa com o chassi	Energia (montar ligação traseira)	Ligação traseira montada

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.3 Pesquisa dos princípios de solução

Fase em que se começa a dar forma ao projeto, onde designamos as formas que cada função acima descrita irá ter, deste modo foram criadas para cada função, de uma a três concepções de solução. Essas concepções possuem características específicas e são diferentes umas das outras. O modelamento destas concepções pode ser analisado no Quadro 9.

Quadro 9 – Matriz Morfológica da longarina completa

Funções Elementares	Matriz Morfológica		
	1	2	3
F1 - Ligação entre chassi e longarina parte frontal (peça externa)			
F2 - Ligação entre chassi e longarina parte dianteira (peça interna)			
F3- Longarina (estrutura)			
F4 - Torres de sustentação das caixas de adubo			
F5 - Fechamento das torres de sustentação			
F6 - Ligação entre chassi e longarina parte traseira (peça interna)			
F7 - Ligação entre Chassi e longarina parte traseira (peça externa)			

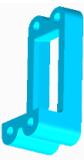
Fonte: Elaborado pelo autor

A matriz morfológica acima citada nos traz o método de busca discursivo, onde foi utilizado dos princípios do método descritos na metodologia, combinando com os métodos de busca convencionais, onde foram considerados alguns estudos anteriores já desenvolvidos na empresa onde o trabalho foi realizado.

4.2.4 Combinação dos princípios de solução

Baseado nas alternativas geradas na matriz morfológica, obtemos os princípios de soluções necessários para atender os requisitos gerados pelo projeto. Alguns princípios poderiam ter mais combinações possíveis, porém, optou-se por utilizar somente as combinações que realmente atendam as expectativas dos clientes e do projeto. O quadro 10 traz as quatro principais e mais coerentes combinações possíveis para atender função global do projeto.

Quadro 10 – Princípios de solução

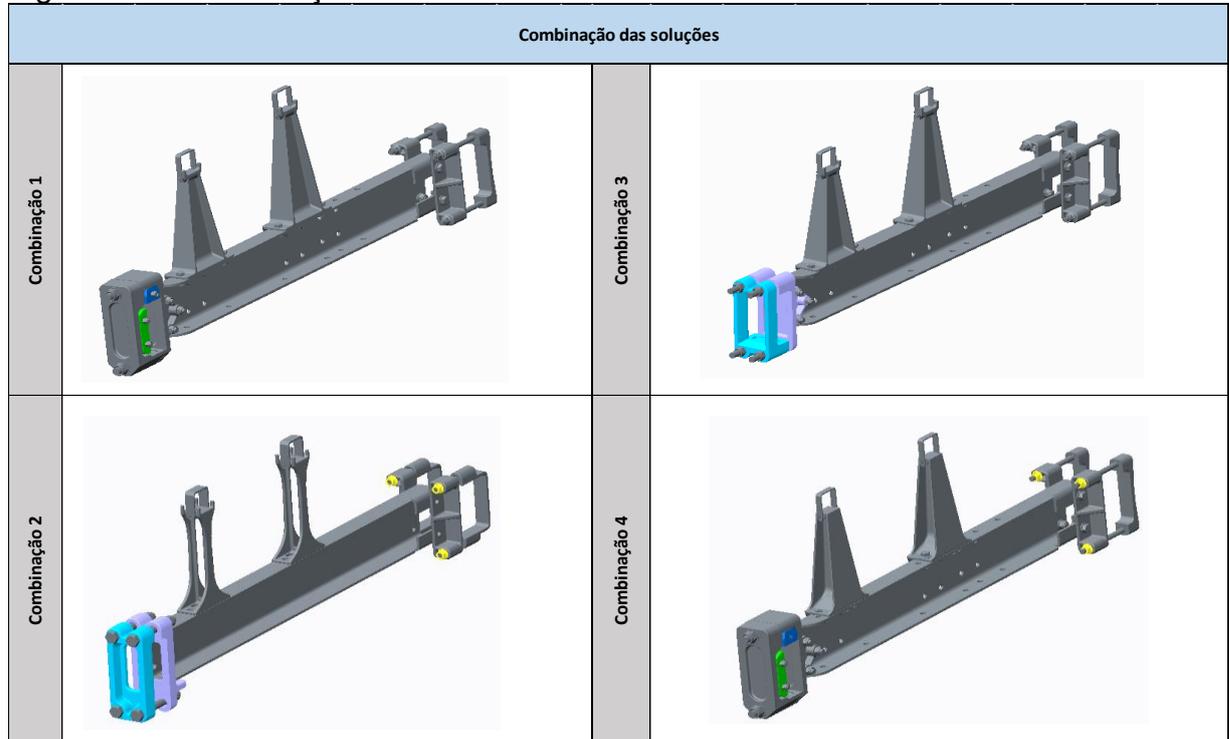
Funções Elementares	Matriz Morfológica			
	1	2	3	4
F1 - Ligação entre chassi e longarina parte frontal (peça externa)				
F2 - Ligação entre chassi e longarina parte dianteira (peça interna)				
F3- Longarina (estrutura)				
F4 - Torres de sustentação das caixas de adubo				
F5 - Fechamento das torres de sustentação				
F6 - Ligação entre chassi e longarina parte traseira (peça interna)				
F7 - Ligação entre Chassi e longarina parte traseira (peça externa)				

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta etapa realizou-se uma análise detalhada das combinações, e foram descartadas algumas possibilidades por não condizerem com as reais necessidades dos clientes e do projeto, analisadas assim pelo time multifuncional responsável pelo projeto.

Desta forma chegou-se na concepção de 4 concepções que atendem o projeto como um todo. Pode-se observar essas combinações na Figura 12.

Figura 12 – Combinações alternativas



Fonte: Elaborado pelo autor

A combinação um e quatro possuem a mesma estrutura central de chapa, e apresentam as mesmas ligações traseiras e dianteiras da longarina com o chassi em ferro fundido, diferenciando entre si apenas pelas torres de sustentação das caixas de adubo, ambas feitas em ferro fundido, descrita como (F4) no Quadro 10 anteriormente mostrado, sendo que o design da combinação quatro possui uma complexidade de fabricação maior comparado com a da combinação um.

Comparando a combinação dois com a combinação três, vemos semelhança somente na peça interna da ligação traseira entre chassi e longarina, descrita como (F6) no Quadro 10 anteriormente apresentado. Portanto elas serão apresentadas separadamente, tendo cada um uma breve comparação com as demais.

Na combinação dois, temos um design simplificado da ligação dianteira da longarina com o chassi, feito em ferro fundido. As torres de sustentação das caixas de adubo possuem design inovador, porém com alta complexidade de fabricação e também permite o acúmulo de adubo e sujeira na sua estrutura. A peça externa da

ligação traseira da longarina com o chassi, descrita como (F7) no Quadro 10 anteriormente apresentado, apresenta um design que acompanha a curva do tubo do chassi, feito em ferro fundido.

A combinação três diferencia-se da combinação um apenas na ligação dianteira entre longarina e chassi, ditos itens (F1 e F2) no Quadro 10, apresentado anteriormente. Na combinação um temos um design mais robusto, com a aplicação de cunhas para eliminar a folga da ligação durante a operação da máquina, o que acarreta em um custo um pouco mais elevado se comparado com a ligação três, que possui um design mais simplificado, ambas feitas em ferro fundido.

4.2.5 Seleção das combinações

Após geradas as possíveis combinações na etapa anterior, a metodologia prevê que a forma mais adequada de selecionar estas combinações se dá através do uso da matriz de decisão. Desta forma temos uma comparação direta entre os requisitos de clientes, de forma a ser mais preciso na hora da escolha da melhor combinação. Podemos observar a aplicação da matriz de decisão no Quadro 11, onde mostrou-se que a combinação 1 obteve maior pontuação na comparação direta com as demais.

Quadro 11 – Matriz de decisão

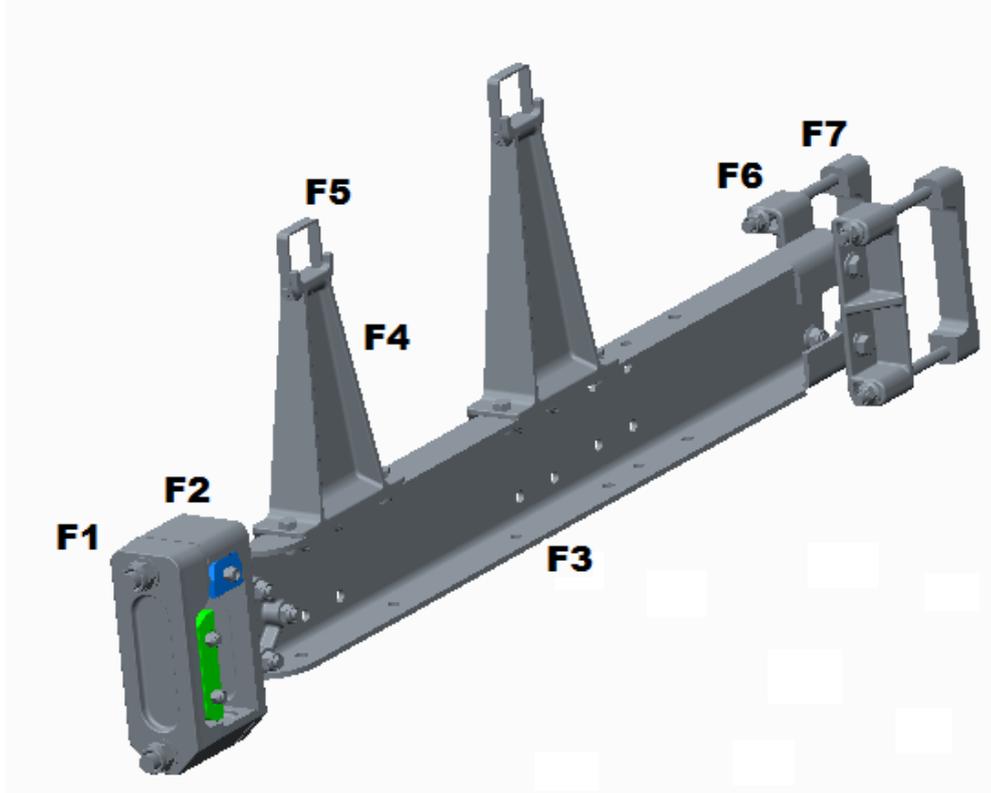
Requisitos dos clientes	Vc	Combinação 1		Combinação 2		Combinação 3		Combinação 4	
		Nota	Ponderação	Nota	Ponderação	Nota	Ponderação	Nota	Ponderação
Baixa complexidade de fabricação	1	2	2	2	2	4	4	2	2
Não pode acumular adubo/sujeira nas torres da longarina	5	5	25	1	5	5	25	2	10
Utilizar itens de prateleira	1	3	3	3	3	3	3	3	3
Baixo peso	1	3	3	5	5	4	4	3	3
Detalhamento correto de projeto, sem erros de dimensionamento	7	4	28	4	28	4	28	4	28
Se feita em casa, a peça deve ser simples de fabricar	3	3	9	4	12	3	9	3	9
Oportunidade de encaixe sextavado para a cabeça dos parafusos	5	5	25	2	10	5	25	5	25
Montagem simples	1	4	4	5	5	5	5	4	4
Desmontagem siimples	1	4	4	5	5	5	5	4	4
Baixo custo	10	3	30	5	50	4	40	4	40
Resistir por toda vida útil da máquina	7	4	28	4	28	4	28	4	28
Fácil acesso para manutenção	2	4	8	4	8	4	8	4	8
Seguro	10	4	40	4	40	4	40	4	40
Manter torque dos parafusos	8	5	40	3	24	3	24	5	40
Descarte correto	1	3	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL			252		228		251		247

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.6 Evoluir em variantes de concepção

Após a aplicação passo a passo da metodologia nas fases anteriores, chegamos a concepção que mais se adequa as necessidades do projeto como um todo. Nessa etapa foi realizada uma análise detalhada de cada componente da combinação escolhida através da matriz de decisão. Na figura 13 abaixo podemos analisar separadamente a combinação final do projeto.

Figura 13 – Combinação final do projeto

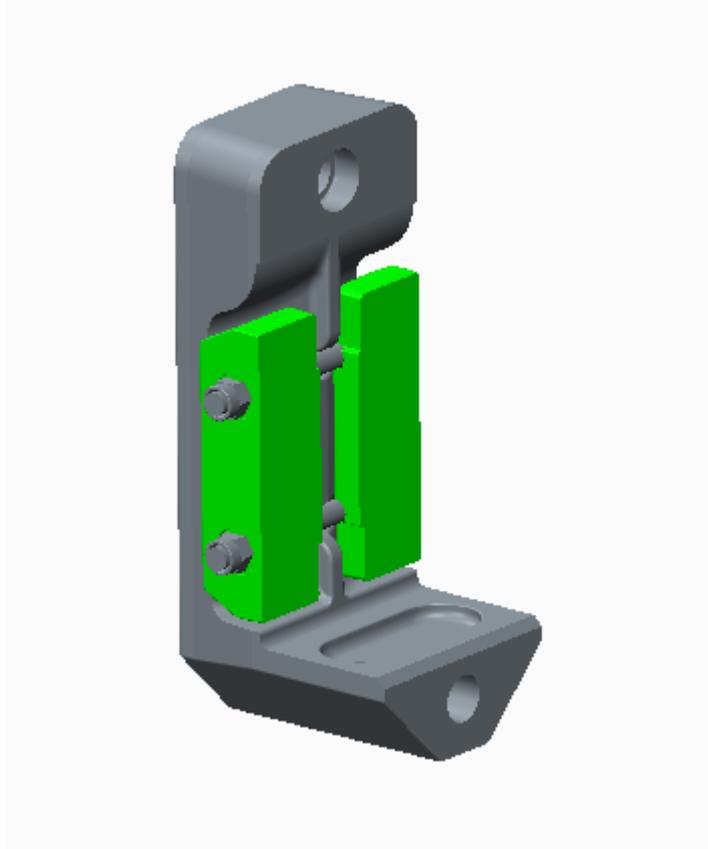


Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da combinação final, a solução será apresentada por partes, de acordo com a suas funções específicas, apresentadas anteriormente nos Quadros 9 e 10. Desta forma teremos um melhor entendimento de todas as partes que compõe a concepção final.

Como podemos observar na Figura 14, item (F1), a peça externa da ligação dianteira da longarina com o chassi, foi projetada utilizando cunhas, sendo duas peças desta na posição vertical de forma a confrontar o tubo do chassi na hora do aperto, desta forma tornando a ligação rígida e eliminando as folgas com o tubo do chassi. Seu corpo e as cunhas são constituídas de ferro fundido.

Figura 14 – Peça externa da ligação dianteira entre chassi e longarina



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 15, traz as especificações do item (F2), peça interna da ligação dianteira entre chassi e longarina. Possui sistemas de cunhas, para eliminar as folgas com a parte superior do tubo do chassi e complementar o item (F1). Possui design especial na parte traseira para possibilitar o acoplamento com a estrutura central (F3). O material utilizado tanto para as cunhas quanto para a peça é o ferro fundido.

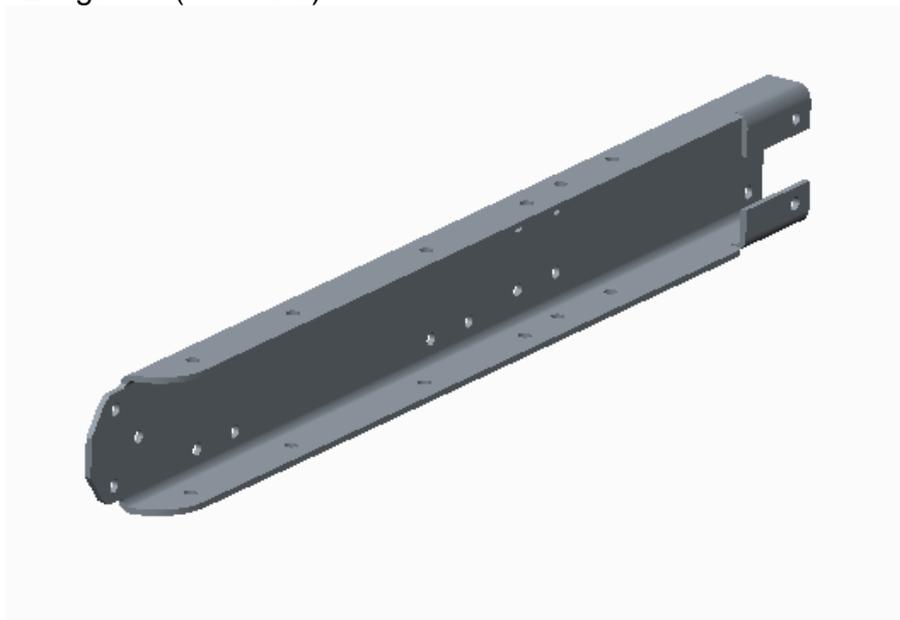
Figura 15 – Peça interna da ligação dianteira entre chassi e longarina



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a estrutura central da longarina, item (F3) utilizou-se chapa dobrada e com alguns cortes, com design de forma a melhor acoplar com as ligações dianteiras e traseiras, reduzindo custo do conjunto e possibilitando a montagem para ambos os lados do chassi. Essa definição pode ser vista na Figura 16.

Figura 16 – Longarina (estrutura)



Fonte: Elaborado pelo autor

Na sustentação das caixas de adubo, item (F4), tem-se um design constituído com ferro fundido, sua ligação na parte inferior permite a fixação na lateral da estrutura central (F3), bem como na parte superior, acarretando em maior estabilidade na sustentação para as caixas de adubo. Na parte superior possui dois ressaltos, de forma ajudar no seu acoplamento para montagem das caixas de adubo, como podemos visualizar na Figura 17.

Figura 17 – Torres de sustentação das caixas de adubo



Fonte: Elaborado pelo autor

O fechamento das torres de sustentação, item (F5), é constituído por chapa dobradas com furos, com a finalidade estabilizar da melhor forma a parte superior das torres de sustentação das caixas de adubo (F4). É acoplada depois da montagem do sistema, a fim de garantir o alinhamento do conjunto. Essa definição pode ser observada na Figura 18.

Figura 18 – Fechamento das torres de sustentação



Fonte: Elaborado pelo autor

O item (F6) se trata da peça interna da ligação traseira entre chassi e longarina, constituída de forma a melhor acoplar o a estrutura central (F3) com o chassi da parte traseira. Desenvolvida em ferro fundido, essa peça tem aplicação para todos as soluções apresentadas anteriormente. A peça pode ser visualizada em detalhes da Figura 19.

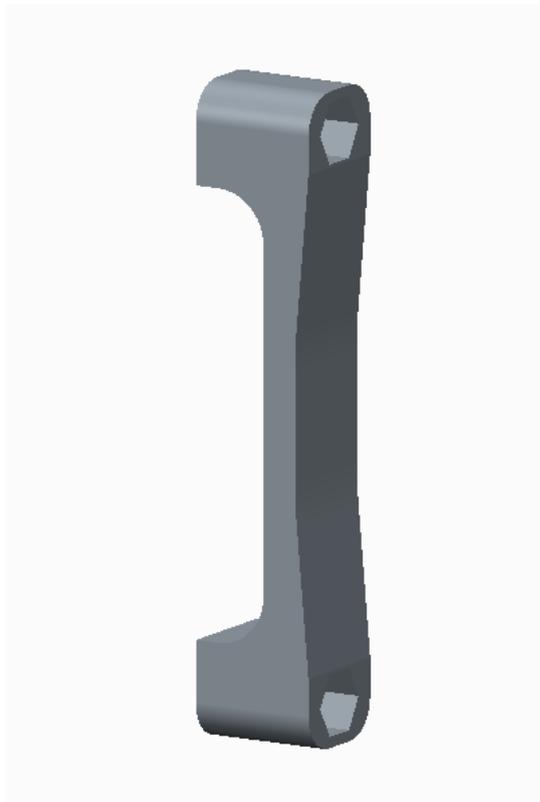
Figura 19 – Peça interna da ligação traseira entre chassi e longarina



Fonte: Elaborado pelo autor

A última parte que compõe o sistema, dita item (F7), é a peça externa da ligação traseira entre chassi e longarina, desenvolvida em ferro fundido, projetada para um melhor acoplamento e distribuição das forças de aperto com o tubo do chassi, pode ser visualizada na Figura 20.

Figura 20 – Peça externa da ligação traseira entre chassi e longarina



Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.7 Avaliação e aprovação de fase

Após a execução de todos os passos do projeto conceitual, precisou-se avaliar se a metodologia aplicada condiz com os resultados encontrados, e se, de fato são satisfatórios. Para isso desenvolveu-se uma breve análise do processo decorrido até aqui.

A combinação escolhida ao longo de toda metodologia e internalizada a partir da matriz de decisão, se mostrou satisfatória e atende todos os requisitos estabelecidos neste projeto, pois está aliada com um design não muito complexo, onde será possível a fabricação dos componentes eliminando alguns processos da fábrica recorrentes a substituição de itens soldados por itens ferro fundido.

Com isso, encerra-se o projeto conceitual, e com base nos resultados obtidos até aqui, esta fase está aprovada, pois a concepção gerada atende as especificações do projeto como um todo.

4.3 ANÁLISE DE REDUÇÃO DE CUSTO

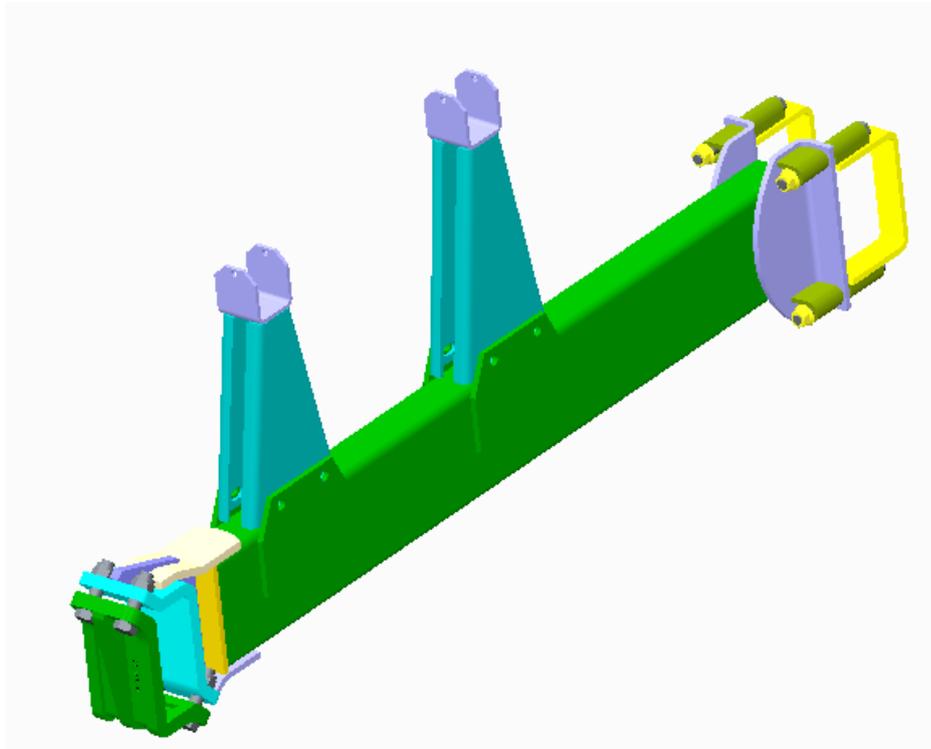
Como parte elementar do processo de desenvolvimento do produto acima descrito, a análise do custo de reprojeto do sistema tem um impacto muito grande para o sucesso do projeto, uma vez que é o principal requisito na elaboração da metodologia.

Analisando a Figura 12 anteriormente apresentada, tem-se as quatro combinações que melhor encaminham o problema de pesquisa, sendo que a cada etapa do design dos componentes, fez-se estimativas de custo para os mesmos, a fim de garantir que o projeto cumprisse seu objetivo principal de redução de custo. Para cada uma destas combinações, previu-se o seguinte custo de fabricação:

- Combinação 1: R\$ 570,00;
- Combinação 2: R\$ 510,00;
- Combinação 3: R\$ 490,00;
- Combinação 4: R\$ 600,00.

A figura 21 nos traz a imagem da longarina completa utilizada atualmente pela fabricante no modelo de máquina estudado em questão. Esse conjunto apresenta um conceito de fixação dianteiro com o chassi da máquina que se prova não eficiente por evidenciar problemas de quebra com o equipamento em funcionamento, ao passo que possui uma elevada quantidade de itens soldados em sua composição. Seu custo de fabricação é de aproximadamente R\$ 680,00.

Figura 21 – Conjunto atual do fabricante



Fonte: John Deere, adaptado pelo autor.

A combinação 1, escolhida através da matriz de decisão, apresenta na sua constituição, em todos os seus componentes, exceto na estrutura central e fechamento das torres de sustentação, peças feitas em ferro fundido, significando que não há processos de fabricação para estes componentes dentro da fábrica, resultando na redução de custo na parte do processo por si só.

Analisando os custos dos materiais envolvidos na fabricação do conjunto como um todo, obtivemos uma estimativa de redução de custo do conjunto final de aproximadamente R\$ 110,00 do valor atual. Considerando que utiliza-se 4 conjuntos de longarina por chassi da máquina, onde a produção anual é de aproximadamente 1000 unidades, obtém-se uma redução de custo de R\$ 440,00 por chassi, resultando em uma redução de custo anual de aproximadamente R\$ 440.000,00.

CONCLUSÕES

O reprojeto das longarinas para a semeadora adubadora iniciou-se da necessidade de melhoria na fixação entre a longarina e o chassi da máquina. A partir da identificação dessa oportunidade, a utilização da metodologia de projeto de produto se mostrou de grande importância, uma vez que foram compilados os requisitos mais importantes juntamente com os de médio e pouco impacto no projeto, permitindo um melhor refinamento, acarretando em um resultado mais consistente do produto final.

A metodologia de projeto de produto também traz como escopo a criação de um time multifuncional responsável pelo projeto, que neste caso se mostrou de grande valia no apoio para se chegar no resultado desejado, uma vez que time contava com profissionais de todas as áreas envolvidas, dando maior visibilidade ao projeto. Desta forma foi possível selecionar de maneira mais clara os objetivos e requisitos que o projeto teve, bem como uma melhor visão na escolha dos conceitos pertinentes da aplicação da metodologia.

O projeto conceitual traz ótimas expectativas para as etapas seguintes, pois, em todo seu processo utilizou-se de ferramentas apropriadas para o desenvolvimento das partes em questão, onde constatou-se uma estimativa de redução de custo significativa no projeto como um todo, provando sua importância e viabilidade econômica.

Com tudo, espera-se também uma melhora na fixação das longarinas com o chassi, através do desenvolvimento do sistema de aperto utilizando cunhas para eliminação das folgas pertinentes, sendo avaliado nas etapas seguintes do projeto, que não foram desenvolvidas neste trabalho.

Sendo assim, conclui-se o trabalho que por sua vez possibilitou a aplicação de uma metodologia consistente, permitindo colocar em prática o passo a passo da atuação do engenheiro de produto, adquirindo conhecimento de suma importância para a formação de engenharia mecânica, atingindo seus principais objetivos de maneira satisfatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, D. C. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2006

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.

FORCELLINI F. A. **Desenvolvimento de Produtos e sua importância para a competitividade**. 2002.

MANTOVANI, C. A. **Metodologia de projeto de produto**. Faculdade Horizontina 2011. Baseado em REIS, A. V. Desenvolvimento de concepção para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas. Florianópolis. 2003. Tese – PPGEM – UFSC. Trabalho não publicado.

MIALHE, L.G. **Máquinas Agrícolas para Plantio**. São Paulo: Millennium, 2012.

SANTOS FILHO, A. G dos; SANTOS J. E. G. G. dos. **Apostila de Máquinas**.