

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



Dissertação

**Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora  
de quatro linhas para tratores de baixa potência**

**Bóris Kluwe Niemczewski**

Pelotas, 2012

Bóris Kluwe Niemczewski

**Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora  
de quatro linhas para tratores de baixa potência**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (linha de pesquisa: Avaliação, otimização e desenvolvimento de tecnologias em mecanização agrícola).

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis

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

Pelotas, 2012

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

N671d Niemczewski, Bóris Kluwe  
Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora de quatro linhas para tratores de baixa potência / Bóris Kluwe Niemczewski. – 88f. : il. color. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Pelotas, 2012. – Orientador Ângelo Vieira dos Reis; co-orientador Roberto Lilles Tavares Machado.

1.Agricultura familiar. 2.Mecanização.  
3.Dimensionamento. 4. Agronomia. 5. Máquinas agrícolas.  
I.Reis, Ângelo Vieira dos. II.Machado, Roberto Lilles Tavares.  
III.Título.

CDD: 631.3

**Banca examinadora**

Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis

Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado

Prof. Dr. Mário Leonardo Boéssio

Prof. Dr. Sérgio Junichi Idehara

Prof. Dr. Amauri Cruz Espírito Santo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar (PPG-SPAF) pela possibilidade de participar de pesquisas voltadas às necessidades desse setor tão importante para a agricultura brasileira.

Agradeço especialmente a ajuda profissional inestimável dos professores Doutores Ângelo Vieira dos Reis, Roberto Lilles Tavares Machado, Antônio Lilles Tavares Machado e também a paciência, a amizade e a disponibilidade demonstrada neste período que permaneci no Departamento de Engenharia Rural da FAEM/ UFPel sob suas orientações.

Aos professores da Coordenadoria do Curso de Mecânica Industrial do Instituto Federal Sul Rio-Grandense, que apoiaram a minha liberação para realização da Pós-Graduação, uma vez que é importante a dedicação integral para obtenção de resultados satisfatórios.

Agradeço particularmente, aos meus colegas o prof. Dr. Mário Leonardo Boéssio e prof. M. Márcio Waltzer Timm por seus conselhos, sua amizade e disponibilidade para incansáveis intervenções com as quais este trabalho pode ter um resultado adequado. Ao prof. Bruno Schuster, que me auxiliou com as soldas para a execução do protótipo.

À minha esposa Maria Conceição pela paciência, carinho, conselhos e força que são importantes na minha vida familiar e profissional.

A todos que participaram e contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento do presente estudo, pois só foi possível sua conclusão porque muitos colaboraram e participaram da sua elaboração.

Enfim...

**MUITO OBRIGADO A TODOS!**

## RESUMO

NIEMCZEWSKI, B.K. **Desenvolvimento de chassi de uma semeadora-adubadora de quatro linhas para tratores de baixa potência.** 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Na agricultura familiar, o trabalho é repetitivo, muito cansativo, e a mão de obra é reduzida. A mecanização é a solução. O agricultor pode não ter conhecimento para adquirir o equipamento adequado, e um trator mais potente aumenta os custos com óleo diesel e manutenção, dificultando seu desenvolvimento financeiro. Para tratores de baixa potência, na faixa de 18 kW ( $\approx 25$  cv) com tração dianteira auxiliar (TDA), nota-se que há poucas opções de escolha de semeadoras consideradas adequadas, e que as existentes não satisfazem as necessidades do agricultor. Nesse estudo, definiram-se os requisitos de projeto de um chassi para uma semeadora com características para pequenas propriedades, numa proposta de quatro linhas para ser tracionado por trator de baixa potência. A metodologia utilizada no projeto da concepção de semeadora, e conseqüentemente do chassi, foi desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, que se baseia em um modelo consensual que divide o processo de projeto em quatro fases principais: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. No presente trabalho foram abordadas apenas as fases de projeto informacional e de projeto conceitual. O detalhamento do referencial teórico dessa metodologia é apresentado por Reis e Forcellini (2002). Desenvolveu-se um modelo de carregamentos nesse chassi para dimensionamento, empregando *software* CAD 3D e análise do comportamento estrutural estático do mesmo, utilizando a técnica numérica de Análise de Elementos Finitos, levando em consideração os reais esforços a que a máquina em questão estaria sujeita. Para validação do modelo implementado pelo *software* Solidworks Simulation, submeteu-se um protótipo em escala real a carregamentos de forças verticais a fim de comparar os deslocamentos reais do modelo com os deslocamentos calculados pelo *software*. Concluiu-se que o modelo matemático é válido e que os cálculos da estrutura do chassi que foram realizados pelo *software* são confiáveis, mesmo não tendo sido realizados os carregamentos horizontais no ensaio prático. Apesar das deficiências observadas em virtude da impossibilidade da realização de carregamentos condizentes com a realidade de uso da máquina em campo, os resultados são considerados promissores nessa fase do desenvolvimento do produto. Com as soluções adotadas e com o dimensionamento pelo *software* SolidWorks Simulation, na concepção do chassi de reservatórios deslizantes, com quatro linhas, e a proposta de um dosador de adubo e um dosador de sementes para cada duas linhas, foi possível reduzir o peso do chassi protótipo em relação as máquinas comerciais observadas para a execução deste estudo.

Palavras-chave: Dimensionamento, agricultura familiar, mecanização.

## ABSTRACT

NIEMCZEWSKI, B.K. **Frame development of a planter with four rows for low power tractors.** 2012. 89 p. Master's Thesis (Master Science). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

In Family Farming, the work is repetitive, and very tiring, and the labor is limited. Mechanization is the solution. The farmer cannot have knowledge to acquire adequate equipment, and a more powerful tractor can raise the fuel and maintenance costs, making it difficult for him to profit. For low power tractors, in the range of 18 kW ( $\approx 25$  cv) with front wheel traction (FWT), there's only a few options of choice of planters considered adequate, and that the existing options are not satisfactory to the farmer needs. In this study, were defined the design requirements for a planter frame with characteristics for small properties, in a proposition of 4 rows to be pulled by a low power tractor. The methodology used in the design of the conception of the planter, and thus of the frame, was developed by the Santa Catarina University's Mechanical Engineering Department, which is based in a consensual model that divides the design process in 4 main phases: Informational Design, Conceptual Design, Embodiment Design and Detail Design. In the present work only the Informational and Conceptual Design phases were approached. The detailing of the referential theory of this methodology is shown by Reis and Forcellini (2002). The modeling of loading was developed for dimensioning the frame, employing a CAD 3D software and the analysis of the frame's structural static behavior, using the Finite Element Analysis technique, considering the actual work the machine would be subject to, was also done. To validate the model made by SolidWorks Simulation, a real scale prototype was subject to carrying vertical forces to compare the real deformations of the model with the displacements calculated by the software. The mathematical model was considered trustworthy, though the horizontal carrying was not conducted in the test. Despite the shortcomings observed owing to the impossibility of conducting loadings consistent with the reality of machine use in the field, the results are considered promising in this phase of product development. With the adopted solutions and the dimensioning done by the software SolidWorks Simulation, in the concept of the frame for sliding reservoirs, with four rows, and the proposal of just one fertilizer and seed meter for every two rows, it was possible to reduce the prototype frame's weight compared to the commercial machines observed for the execution of this study.

Keywords: structural design, family farming, mechanization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vista isométrica e lateral do chassi com plataforma única simplificada.....	14
Figura 2	Vista isométrica e lateral do chassi com plataformas de acesso aos reservatórios.....	15
Figura 3	Vista isométrica e lateral do chassi com suporte de reservatórios de chapas laterais.....	15
Figura 4	Vista isométrica e lateral do chassi de eixo porta ferramentas.	16
Figura 5	Elementos tetraédricos sólidos de primeira ordem.....	19
Figura 6	Elementos tetraédricos sólidos de segunda ordem.....	19
Figura 7	Elemento triangular de casca de primeira ordem.....	20
Figura 8	Elemento triangular de casca de segunda ordem.....	20
Figura 9	Elemento de viga.....	20
Figura 10	Representação dos graus de liberdade de um nó.....	21
Figura 11	Modelo do processo de projeto proposto.....	24
Figura 12	Etapas do projeto informacional.....	25
Figura 13	Etapas do projeto conceitual.....	27
Figura 14	Técnicas para seleção de variáveis de soluções.....	29
Figura 15	Dispositivo de fixação para ensaiar o protótipo do chassi.....	32
Figura 16	Montagem do ensaio – posicionamento dos relógios no chassi e das cordas para pendurar os pesos.....	32
Figura 17	Rasgo em “T”.....	33
Figura 18	Engate ao dispositivo de fixação.....	33
Figura 19	Posicionamento das cargas e dos relógios comparadores no chassi.....	33
Figura 20	Chassi com o máximo de carregamento vertical.....	34
Figura 21	Área das propriedades rurais pesquisadas.....	35
Figura 22	Área destinada à agricultura.....	35
Figura 23	Principais produtos agrícolas produzidos na propriedade.....	36
Figura 24	Outros implementos agrícolas utilizados nas operações de cultivo.....	37
Figura 25	Aplicação da ferramenta QFD (Casa da Qualidade).....	41
Figura 26	Estrutura funcional global do sistema de distribuição de adubo e semente.....	43
Figura 27	Funções parciais do chassi da semeadura de precisão.....	45
Figura 28	Funções elementares para o chassi da semeadora - adubadora.....	46
Figura 29	Estrutura funcional alternativa A.....	49

Figura 30	Estrutura funcional alternativa B.....	50
Figura 31	Matriz morfológica para semeadora adubadora.....	52
	(Continuação).....	53
	(Continuação).....	54
Figura 32	Vistas Isométrica e posteriores da concepção 1.....	55
Figura 33	Vistas Isométrica e posteriores da concepção 2.....	56
Figura 34	Vistas Isométrica e posteriores da concepção 3.....	56
Figura 35	Vista Isométrica e posterior da Concepção 1- Etapa II.....	62
Figura 36	Esquema de forças atuantes nos tubo a, b e c.....	63
Figura 37	Vista lateral da <b>linha equivalente</b> e da linha de plantio completa.....	64
Figura 38	Posicionamentos das cargas no chassi da semeadora–adubadora.....	65
Figura 39	Elementos sólidos – 1ª análise.....	66
Figura 40	Elementos sólidos – 2ª análise.....	67
Figura 41	Elementos sólidos – 3ª análise.....	68
Figura 42	Modificações no chassi, antes (esquerda) depois (direita).....	69
Figura 43	Análise por elementos de viga e elementos sólidos-1º estudo.	69
Figura 44	Configuração da secção do tubo quadrado.....	70
Figura 45	Análise por elementos de viga e elementos sólidos – 2º estudo	70
Figura 46	Ampliação da área de concentração de tensão.....	71
Figura 47	Vista Isométrica do chassi.....	72
Figura 48	Protótipo do chassi.....	72
Figura 49	Localização das cargas e deslocamentos nos ensaios de carregamento no chassi – 1º modelo matemático.....	74
Figura 50	Localização das cargas e deslocamentos nos ensaios de carregamento no chassi – 2º modelo matemático.....	76
Figura A1	Ensaio real: Medida de deslocamento de 0,65 mm.....	85
Figura A2	Viga bi-apoiada.....	86
Figura A3	Desenho da secção da viga bi-apoiada.....	86
Figura A4	Análise do deslocamento máximo da viga.....	87
Figura A5	Análise das tensões de flexão da viga bi-apoiada máxima.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Especificações de projeto da semeadora de precisão.....	40
Tabela 2	Hierarquia dos requisitos de projeto da semeadora-adubadora separados em terço superior, terço médio e terço inferior.....	42
Tabela 3	Entradas e saídas do sistema técnico (semeadoras em linha).....	44
Tabela 4	Notação, detalhamento e recomendações para as funções elementares utilizadas.....	46
	(Continuação).....	47
Tabela 5	Pontuação das estruturas funcionais alternativas em relação aos requisitos técnicos.....	51
Tabela 6	Resultados da aplicação da Matriz de avaliação às três concepções.....	60
Tabela 7	Comparações de concepções de semeadoras-adubadoras.....	73
Tabela 8	Medidas de deslocamentos do chassi, calculado e real – carregamento.....	75
Tabela 9	Medidas de deslocamentos do chassi, calculado e real – descarregamento.....	75
Tabela 10	Comparações referentes ao carregamento – 2° mod. Mat.....	77
Tabela 11	Comparações referentes ao descarregamento – 2° mod. Mat.....	78
Tabela A1	Comparação das medidas de deslocamento.....	87
Tabela A2	Comparação da tensão de flexão máxima.....	88

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Resultado da aplicação da técnica do <i>Julgamento da Viabilidade</i> às três concepções.....	57
Quadro 2	Resultado da aplicação da técnica da <i>disponibilidade de tecnologia</i> às três concepções restantes.....	58
Quadro 3	Resultados da aplicação da técnica do <i>Exame Passa (p)/Não Passa(np)</i> às concepções.....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1 Chassis de semeadoras-adubadoras para tratores de baixa potência.....	14
2.2 Aspectos agrônômicos da semeadura de milho.....	16
2.3 Elementos finitos.....	17
2.4 Metodologia de projeto.....	23
2.4.1 Projeto Informacional.....	25
2.4.2 Projeto Conceitual.....	26
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	31
3.1 Dimensionamento estrutural do chassi.....	31
3.2 Ensaio do chassi.....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
4.1 Identificação das necessidades dos clientes.....	35
4.2 Definição inicial do problema de projeto.....	39
4.3 Estabelecimento dos requisitos de projeto.....	39
4.4 Verificação do escopo do problema.....	42
4.5 Estabelecimento da função global e das funções parciais.....	43
4.6 Elaboração das estruturas funcionais alternativas.....	46
4.7 Seleção das estruturas funcionais.....	51
4.8 Pesquisa por princípios de solução.....	51
4.9 Concepções propostas para solução do problema.....	55
4.10 Seleção das concepções.....	57
4.11 Evolução da concepção 1.....	61
4.12 Dimensionamento do chassi.....	62
4.12.1 Especificações dos perfis utilizados.....	66
4.12.2 Modelo de cálculo estrutural pelo método de elementos finitos.....	66
4.13 Ensaio de carregamento do chassi em escala natural.....	73
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	80
<b>6 SUGESTÕES DE CONTINUIDADE</b> .....	80
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	81
<b>APÊNDICE A</b> .....	85

## 1 INTRODUÇÃO

Mesmo com as dificuldades inerentes a atividade agrícola, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009) a agricultura familiar brasileira emprega quase 75% da mão de obra no campo e é responsável pela segurança alimentar dos brasileiros, produzindo 87% da mandioca, 70% do feijão, 46% do milho, 38% do café, 34% do arroz, 21% do trigo e, na pecuária, 58% do leite, 59% do plantel de suínos, 50% das aves, 30% dos bovinos.

Na agricultura familiar os integrantes da família executam tarefas pesadas, repetitivas e cansativas. Têm dificuldades para expandir sua produção em virtude, principalmente, da falta de mão de obra que poderia ser minimizada com o uso de mecanização agrícola adequada.

Os programas de fomento à atividade da agricultura familiar do Governo Federal têm introduzido um grande número de máquinas no meio rural. De acordo com o Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA, 2010), foram adquiridos sete mil tratores pela Agricultura Familiar entre 1996 e 2006. Com o Programa Mais Alimentos foram contratados 27 mil tratores para os próximos sete anos. O programa conta com mais de 230 empresas fabricantes parceiras. Estimativas do setor indicam que para cada trator vendido é negociado pelo menos mais um implemento ou equipamento agrícola.

A pequena propriedade sempre foi deixada para o segundo plano nas relações comerciais em virtude das dificuldades financeiras, da falta de conhecimento e recursos técnicos dos pequenos agricultores.

No comércio há poucas opções de equipamentos adequados à agricultura de base familiar, na maioria das vezes são grandes demais, muito caros e com uma demanda de força de tração imprópria para a fonte de potência (trator) disponível.

Verifica-se que ocorre, com relativa frequência, uma escolha inadequada da potência necessária para executar os serviços de uma pequena propriedade agrícola, ou seja, a relação entre o tamanho da área a ser plantada, o trator mais adequado e o respectivo implemento a ser usado. O pequeno agricultor acaba adquirindo um trator com potência acima do necessário, e com isso seus gastos com a compra deste equipamento, óleo diesel e manutenção, são maiores, dificultando seu desenvolvimento financeiro.

Para tratores de baixa potência, na faixa de 18 kW ( $\approx 25$  cv) com tração dianteira auxiliar (TDA), nota-se que há poucas opções de escolha de semeadoras consideradas adequadas, e que as existentes não satisfazem as necessidades do agricultor. Ao se observar algumas semeadoras de um mesmo fabricante onde há variação do número de linhas de plantio de um modelo para outro, constatou-se que a maioria das máquinas de pequeno porte disponibilizadas origina-se do projeto de máquinas maiores, o que gera inúmeras inadequações quando se considera o seu uso em pequenas áreas. Ou seja, os chassis de máquinas maiores são reduzidos em seu comprimento para se fabricar um modelo com menor número de linhas, mas mantendo o dimensional dos perfis empregados nos projetos de máquinas de grande porte.

Uma semeadora com a estrutura superdimensionada vai ter preço mais elevado, e se for acoplada ao sistema de engate de três pontos de um trator de baixa potência, este certamente não terá capacidade para erguê-la, além de consumir mais potência para tracionar o peso desnecessário.

A inexistência de um chassi concebido especificamente para semeadoras-adubadoras de plantio direto de engate de três pontos, voltada às características dos pequenos agricultores, ou seja, leve, resistente e com preço acessível é um problema a ser resolvido.

Sendo assim, o objetivo geral da dissertação foi desenvolver um chassi para uma semeadora-adubadora de quatro linhas destinada ao plantio direto de milho, feijão ou soja em pequenas propriedades, que venha a ser tracionada por tratores de baixa potência empregando o conceito desenvolvido por Teixeira (2008) que utiliza apenas um dosador de sementes para duas linhas de semeadura. Esse conceito aqui é ampliado pela adoção de um dosador de adubo para duas linhas, com isso buscou-se uma redução do número de peças e conseqüentemente do peso e custo do equipamento.

Os objetivos específicos foram:

- a. Definir os requisitos de projeto de um chassi para uma semeadora com características para pequenas propriedades.
- b. Definir uma concepção de chassi para a proposta de quatro linhas para ser tracionado por trator de baixa potência.
- c. Desenvolver um modelo de carregamentos nesse chassi para dimensionamento, empregando *software* CAD 3D e análise do

comportamento estrutural estático do mesmo, utilizando a técnica numérica de Análise de Elementos Finitos, levando em consideração os reais esforços a que a máquina em questão estaria sujeita.

- d. Validar o *software* Soidworks Simutation, submetendo um protótipo em escala real a carregamentos de forças verticais a fim de comparar os deslocamentos reais do modelo com os deslocamentos calculados pelo *software*.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Chassis de semeadoras-adubadoras para tratores de baixa potência

Niemczewski et al. 2011, estudaram e analisaram chassis de semeadoras-adubadoras, existentes atualmente no mercado brasileiro, procurando determinar as diferentes concepções existentes. Para isso foram consideradas semeadoras acopladas por engate de três pontos; forma do chassi e complexidade; peso; elementos de segurança como corrimão, plataforma de acesso aos reservatórios; tipos de reservatório. Foram analisadas fotos e catálogos e foram feitos croquis dos chassis de uma forma simplificada.

Segundo os autores, as semeadoras pesquisadas podem ser classificadas em quatro tipos de concepções diferentes que são mostradas nas figuras 1, 2, 3 e 4.

Na primeira concepção analisada (Fig. 1), têm-se como característica principal os reservatórios de adubo e sementes que são separados, ou seja, um para cada linha estando os mesmos sobre o chassi, que é um quadro feito de cantoneiras com um eixo tubular quadrado na frente, onde são fixados os engates de três pontos, bem como as rodas que transmitem o movimento para os dosadores de adubo e sementes. Possui também uma plataforma de acesso aos reservatórios.

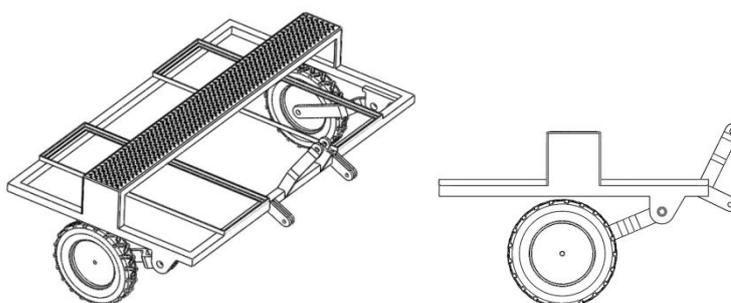


Figura 1. Vista isométrica e lateral do chassi com plataforma única simplificada.

Na segunda concepção analisada (Fig. 2), todos os reservatórios também são fixados no chassi. Os reservatórios de sementes são individualizados, ou seja, um para cada linha e o reservatório de adubo é único para todas as linhas. Os engates de três pontos são fixados num eixo tubular quadrado, onde as rodas de transmissão de movimento para os dosadores também são montadas. Possui uma plataforma de acesso aos reservatórios e corrimão de segurança.

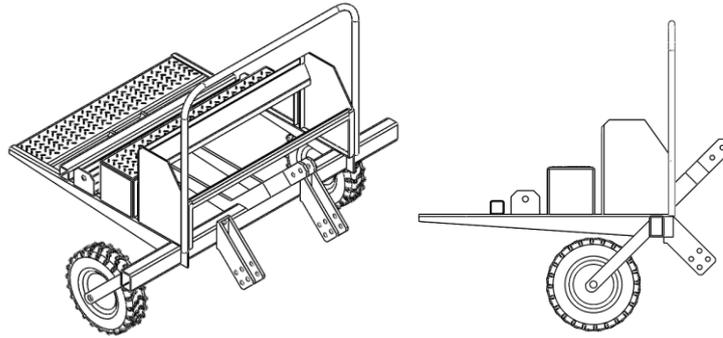


Figura 2. Vista isométrica e lateral do chassi com plataformas de acesso aos reservatórios.

Na terceira concepção analisada (Fig. 3), uma estrutura é montada no chassi para apoiar o reservatório de adubo, que pode ser único para todas as linhas ou ser individual para cada linha. Os reservatórios de sementes são montados individualmente em cima de cada linha e não no chassi. Os engates de três pontos são fixados num eixo tubular quadrado, onde as rodas de transmissão de movimento para os dosadores também são montadas. Não possui plataforma de acesso e nem corrimão de segurança, o que dificulta o carregamento dos reservatórios de adubo.

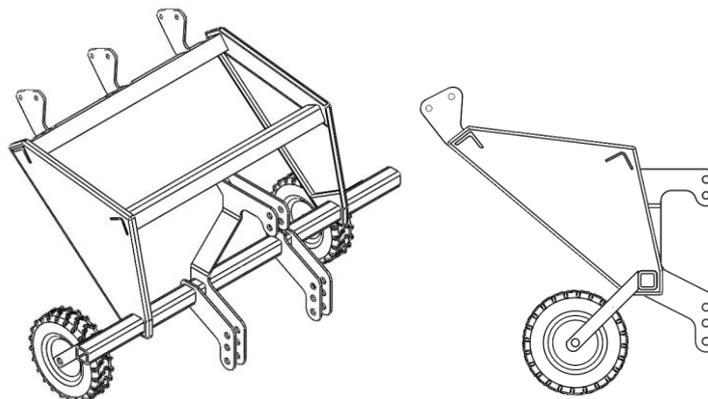


Figura 3. Vista isométrica e lateral do chassi com suporte de reservatórios de chapas laterais.

Na quarta concepção analisada (Fig. 4), o chassi é constituído de um eixo tubular quadrado, onde as linhas são fixadas (eixo porta ferramentas). Os reservatórios de adubo e sementes são individuais para cada linha e são fixados diretamente sobre as mesmas. Os engates de três pontos são fixados num eixo tubular quadrado e as rodas de transmissão de movimento para os reservatórios são montadas diretamente no final de cada linha. Não possui plataforma e nem corrimão

de segurança, pois os reservatórios estão posicionados em uma altura adequada que facilita o acesso.

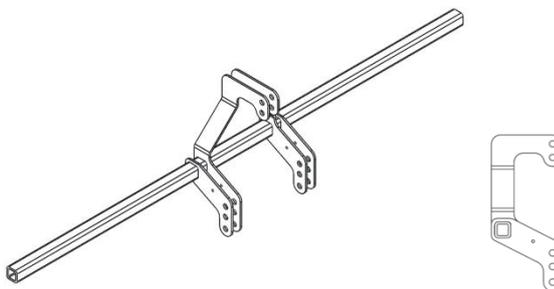


Figura 4. Vista isométrica e lateral do chassi de eixo porta ferramentas.

No Brasil, de acordo com as características do agricultor de base familiar, essa classificação apontou na direção de uma concepção mais simplificada, que seria a de menor custo final, mais adequada a tratores de baixa potência de quatro rodas e com tração dianteira auxiliar.

## 2.2 Aspectos agronômicos da semeadura de milho

Para a definição das dimensões externas do chassi (largura), o conhecimento dos aspectos agronômicos do cultivo de milho é determinante, em virtude do mesmo ter as distâncias entre linhas maiores do que as culturas de feijão e soja. Os principais aspectos baseiam-se na densidade populacional e nos espaçamentos entre linhas.

No cultivo de milho, a densidade populacional pode variar com o objetivo da exploração. Na produção de milho verde, por exemplo, a densidade populacional mais adequada para obter uma boa produtividade de espigas comerciais deve variar entre 35 mil a 55 mil plantas  $ha^{-1}$ , portanto, uma população menor do que a normalmente utilizada para a produção de grãos. Quanto aos espaçamentos, verifica-se uma tendência de maior redução chegando a valores de 0,45 a 0,50 m (PEREIRA FILHO e CRUZ, 2002).

Segundo Demétrio et. al.(2008), a produtividade do milho aumenta com a redução no espaçamento entre linhas para os híbridos avaliados (P30F80 e P30K73). O incremento na densidade populacional de milho aumenta a altura das plantas e da inserção da primeira espiga e reduz o número de grãos por espiga. O melhor arranjo das plantas de milho para os híbridos avaliados é de 0,40 m de

espaçamento entre linhas e de 75 mil e 80 mil plantas por hectare de densidade populacional.

Analisando os aspectos de densidade populacional e espaçamento entre linhas de plantio de milho, consideramos as características do agricultor de base familiar que precisa se deslocar entre as linhas para executar o controle das plantas invasoras e a colheita manual. Com isso considerou-se a distância máxima entre as linhas de 0,75m.

### **2.3 – Elementos finitos**

Segundo Thomas (2003): É crescente a utilização de métodos numéricos para solução de problemas em engenharia. Ferramentas matemáticas, computacionais ou não, que fornecem soluções teóricas para estes problemas são chamadas de métodos numéricos. A crescente utilização do computador permitiu o desenvolvimento de poderosos métodos e técnicas numéricas para a solução de problemas complexos. Com o uso do computador é possível realizar integrações e diferenciações numéricas, além de solucionar sistemas e equações lineares ou não. A utilização de métodos como diferenças finitas, volumes finitos e elementos finitos permitiu o surgimento de poderosos *softwares* para solução de problemas comuns em engenharia.

De acordo com o Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (DEMAR-EEL-USP), o chamado *Método dos elementos finitos* (MEF) consiste em diferentes métodos numéricos que aproximam a solução de problemas de valor de fronteira descritos tanto por equações diferenciais ordinárias quanto por equações diferenciais parciais através da subdivisão da geometria do problema em elementos menores, chamados *elementos finitos*, nos quais a aproximação da solução exata pode ser obtida por *interpolação* de uma solução aproximada.

O MEF é amplamente utilizado para resolver problemas estruturais, térmicos e de vibração. É possível analisar qualquer forma. O ponto de partida para qualquer análise é o modelo geométrico, ou seja, uma peça ou várias que fazem parte de um conjunto ou montagem. Para esse modelo são atribuídas as propriedades de materiais, definida as cargas e as restrições. Logo a seguir, como sempre acontece quando se utiliza uma ferramenta baseada no método de aproximações numéricas, é feita a *discretização* do modelo a ser analisado.

O processo de *discretização*, mais conhecido como *geração de malha*, divide a geometria em entidades relativamente pequenas e com formas simples, camadas de elementos finitos. Os elementos são chamados de “finitos” para enfatizar de que eles não são infinitamente pequenos, mas apenas razoavelmente pequenos em comparação com o tamanho global do modelo ou peça. Os programas de geração de malha automática (*automeshers*) podem criar malhas de forma confiável em quase todas as geometrias sólidas e de superfície, utilizando somente formas tetraédricas e triangulares. Elementos de outras formas, como elementos hexaédricos (tijolos), não podem ser criados de maneira confiável pelos geradores automáticos de malhas atuais. Essa limitação não é específica do programa de criação de malhas do SolidWorks Simulation. Ainda não inventaram um programa confiável para criação de malha com elementos hexaédricos.

Segundo AVELINO (2005), a precisão do método depende da quantidade de nós, do tamanho e tipo de elementos presentes na malha.

Atualmente há cinco tipos de elementos disponíveis no *software* SolidWorks Simulation:

1. – Elementos tetraédricos sólidos de primeira ordem.
2. – Elementos tetraédricos sólidos de segunda ordem.
3. – Elementos triangulares de casca de primeira ordem.
4. – Elementos triangulares de casca de segunda ordem.
5. – Elementos de vigas.

Os elementos tetraédricos de primeira ordem modelam o campo de deslocamento de primeira ordem (linear) em seu volume, ao longo de faces e arestas. Cada elemento tem no total quatro nós, um em cada canto. Na figura 5, é mostrado esse elemento antes e após a deformação, e também o mapeamento das geometrias curvilíneas que não é precisa, porque as arestas e as faces devem permanecer retas e planas depois que os elementos sofrerem uma deformação sob a aplicação de uma carga.

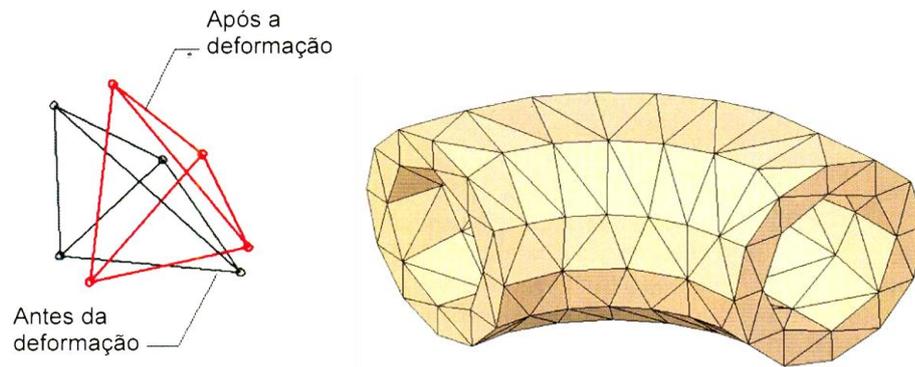


Figura 5 - Elementos tetraédricos sólidos de primeira ordem.  
Fonte: SolidWorks (2010)

Os elementos tetraédricos sólidos de segunda ordem modelam o campo de deslocamento de segunda ordem (parabólico) e, conseqüentemente, o campo de tensões de primeira ordem (linear). Cada elemento tem dez nós (quatro nós de cantos e seis nós de meio). Na figura 6 se tem a representação de um elemento tetraédrico de segunda ordem, antes e após a deformação. Este elemento permite um mapeamento preciso da geometria curvilínea, porque as arestas e as faces podem assumir formas curvilíneas se os elementos precisarem mapear geometrias curvas e/ou quando experimentarem deformações sob uma carga.

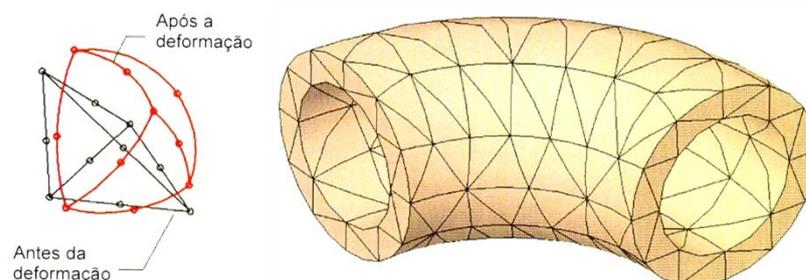


Figura 6 - Elementos tetraédricos sólidos de segunda ordem.  
Fonte: SolidWorks (2010)

O elemento triangular de casca de primeira ordem tem três nós (todos nos cantos) e em cada nó se tem seis graus de liberdade. Na figura 7 se tem a representação desse elemento antes e após a deformação e também a representação de um tubo curvo com uma superfície de plano médio e a malha dessa superfície com elementos de casca de primeira ordem, onde o mapeamento da geometria curvilínea é impreciso. Esse resultado lembra o resultado demonstrado anteriormente na figura 5, na qual os elementos de primeira ordem mapearam de forma imprecisa as geometrias curvilíneas.

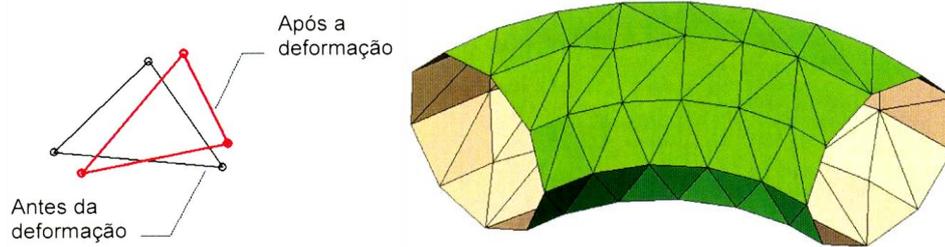


Figura 7 – Elemento triangular de casca de primeira ordem

Fonte: SolidWorks (2010)

O elemento triangular de casca de segunda ordem tem seis nós: três nós de canto e três no meio da aresta, podendo modelar o campo de deslocamento de segunda ordem e o campo de tensão de primeira ordem. Na figura 8, se tem a representação desse elemento antes e após a deformação. Também as arestas e as faces dos elementos podem assumir formas curvilíneas precisas no processo de geração de malha quando for necessário mapear geometrias curvas e/ou durante o processo de deformação sob uma carga.



Figura 8 - Elemento triangular de casca de segunda ordem

Fonte: SolidWorks (2010)

E por último os elementos de viga de dois nós que ao contrário dos elementos de casca e sólidos de primeira ordem, modelam as duas deflexões para fora do plano como funções cúbicas e as translações axiais e as rotações torcionais como lineares. Cada elemento tem seis graus de liberdade em cada nó final e a forma desse elemento inicialmente é reta, mas pode assumir a forma de uma função cúbica depois que ocorrer a deformação, conforme figura 9.

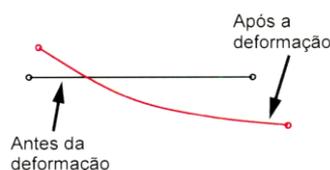


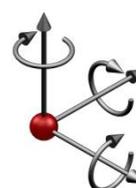
Figura 9 – Elemento de viga

Fonte: SolidWorks (2010)

Os graus de liberdade de um nó numa malha de elementos finitos determinam a habilidade do mesmo para executar translações. O número de graus de liberdade que um nó possui depende do tipo de elemento, ou seja, elementos tetraédricos possuem nós com três graus de liberdade, sendo os três de translação. Já os elementos triangulares possuem nós com seis graus de liberdade, sendo três de translação e três de rotação. Na figura 10 se tem a representação dos graus de liberdade de um nó.



Nó com três graus de liberdade



Nó com seis graus de liberdade

Figura 10 – Representação dos graus de liberdade de um nó.

Cada grau de liberdade de cada nó de uma malha de elementos finitos constitui uma incógnita. Em uma análise estrutural, os graus de liberdade atribuídos aos nós podem ser pensados como deslocamentos de nós. Os deslocamentos inicialmente são desconhecidos e são sempre calculados primeiro.

Se forem usados elementos sólidos, três componentes de deslocamento, ou três graus de liberdade (três incógnitas) por nó, devem ser calculados. Usando elementos de casca, seis componentes de deslocamento, ou seis graus de liberdade por nó (seis incógnitas), devem ser calculados. Todos os outros aspectos da análise, como deformações e tensões, são calculados com base nos deslocamentos.

Segundo Azevedo (2003), o Método dos Elementos Finitos (MEF) apresenta atualmente um nível de desenvolvimento que permite a sua utilização pela generalidade dos projetistas de estruturas. Enquanto que no passado muitos dos utilizadores do MEF estavam também envolvidos na respectiva programação em computador, verifica-se hoje em dia que a quase totalidade dos projetistas de estruturas apenas se preocupa com a utilização do correspondente *software* e com a interpretação dos resultados obtidos. Devido à grande complexidade associada ao desenvolvimento de modernos programas de computador dispondo de uma interface gráfica intuitiva, o desenvolvimento de *software* tem sido cada vez mais restringido às empresas especializadas. Por este motivo, o utilizador programador quase desapareceu, dando lugar ao mero utilizador. Perante um problema de análise de

estruturas e dispondo de um *software* intuitivo, é perfeitamente acessível a um projetista a obtenção de resultados credíveis, mesmo quando não tem acesso à fonte do código computacional ou quando desconhece as características do modelo que está a utilizar.

Azevedo (2003) ainda comenta que: Uma vez que o projetista não tem acesso aos modelos que estão programados, nem tem bases para a sua compreensão, procederá à utilização do *software* de acordo com o treino que recebeu ou com base em sucessivas improvisações. Também comenta dos potenciais perigos de não perceber eventuais erros na introdução dos dados, a ausência de correspondência entre o modelo selecionado e a estrutura que será analisada, o fato de serem desprezadas importantes condicionantes, etc.

Portanto, deve-se ter cuidado em usar um *software*. Este deve ser amplamente aceito no mundo e atualizado anualmente.

Fonseca et al. (2002) apresentam uma metodologia experimental para determinação do fator concentração de tensões, com base na técnica de extensometria, aplicada em placas com furos circulares. Esse trabalho mostra as comparações dos resultados experimentais com os resultados numéricos obtidos em códigos comerciais: ANSYS<sup>®</sup> e COSMOS/M<sup>®</sup> e de um programa desenvolvido pelos autores FEMSEF. Neste estudo foram comparados resultados do fator concentração de tensões  $K_t$ , e nessa comparação não foi feita nenhuma análise das diferenças entre os resultados para determinar quantitativamente se os mesmos estão corretos ou não. Somente conclui que “se observa uma *convergência de valores* das soluções obtidas, *comparáveis* com as curvas teóricas referenciadas”.

Fonseca et al. (2004) comentam: “Neste artigo apresenta-se o desenvolvimento de uma formulação para a caracterização do estado de tensão e deformação em sistemas tubulares de parede fina utilizando o método dos elementos finitos. Desenvolveu-se um elemento finito de dois nós, com base num campo de deslocamentos para uma série de Fourier para obtenção de deslocamentos de distorção da secção reta da estrutura. É apresentado um estudo numérico para cálculo do campo de deslocamentos e tensões numa estrutura tubular tridimensional. Comparam-se os resultados obtidos com os dos programas comerciais COSMOS<sup>®</sup> e ANSYS<sup>®</sup>. Instrumentou-se uma estrutura tubular para obtenção do campo de tensões, utilizando a extensometria. As vantagens do uso deste novo elemento referem-se na simplicidade da geração de malha de elementos

finitos, no esforço computacional despendido reduzido e na facilidade de recolha dos resultados em qualquer secção reta da estrutura.” Para esse artigo Fonseca conclui: “A estrutura tubular instrumentada permitiu obter resultados *comparáveis* com os campos de tensão obtidos numericamente. A sobreposição dos deslocamentos devidos à distorção da secção, na formulação do campo de deslocamentos de viga rígida, permite obter resultados *comparáveis* com outros elementos finitos disponíveis em código, de uma forma fácil e simples”.

Nota-se que novamente nesse artigo não houve uma análise das diferenças de uma forma quantitativa, apenas a apresentação dos resultados em gráficos, comentando que os resultados são comparáveis. Não foram encontrados nesses e em outros artigos, critérios quantitativos para a validação desse tipo de modelos.

#### **2.4 – Metodologia de projeto**

A metodologia utilizada no projeto da concepção de semeadora, e conseqüentemente do chassi, foi desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, que se baseia em um modelo consensual que divide o processo de projeto em quatro fases principais: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Ao final de cada etapa obtêm-se como resultados as especificações do projeto, a concepção do produto, o leiaute definitivo e a documentação do produto, respectivamente. O detalhamento do referencial teórico dessa metodologia é apresentado por Reis e Forcellini (2002).

No presente trabalho foram abordadas apenas as fases de projeto informacional e de projeto conceitual. A criação de uma equipe de projeto multidisciplinar também faz parte da metodologia proposta e tem por objetivo fazer com que as definições sejam discutidas de acordo com visões diferentes sobre os problemas que se apresentam. Para facilitar a execução das diversas etapas do processo de projeto, a equipe foi reunida em diferentes momentos de tomada de decisão para aplicação das ferramentas de projeto.

A utilização dessa metodologia permite organizar as informações, os resultados e os momentos de tomada de decisão de modo que o conhecimento sobre o problema de projeto e suas respectivas soluções aumente a cada etapa, sendo cada vez mais completos. A Fig. 11 representa a seqüência de fases da metodologia proposta.

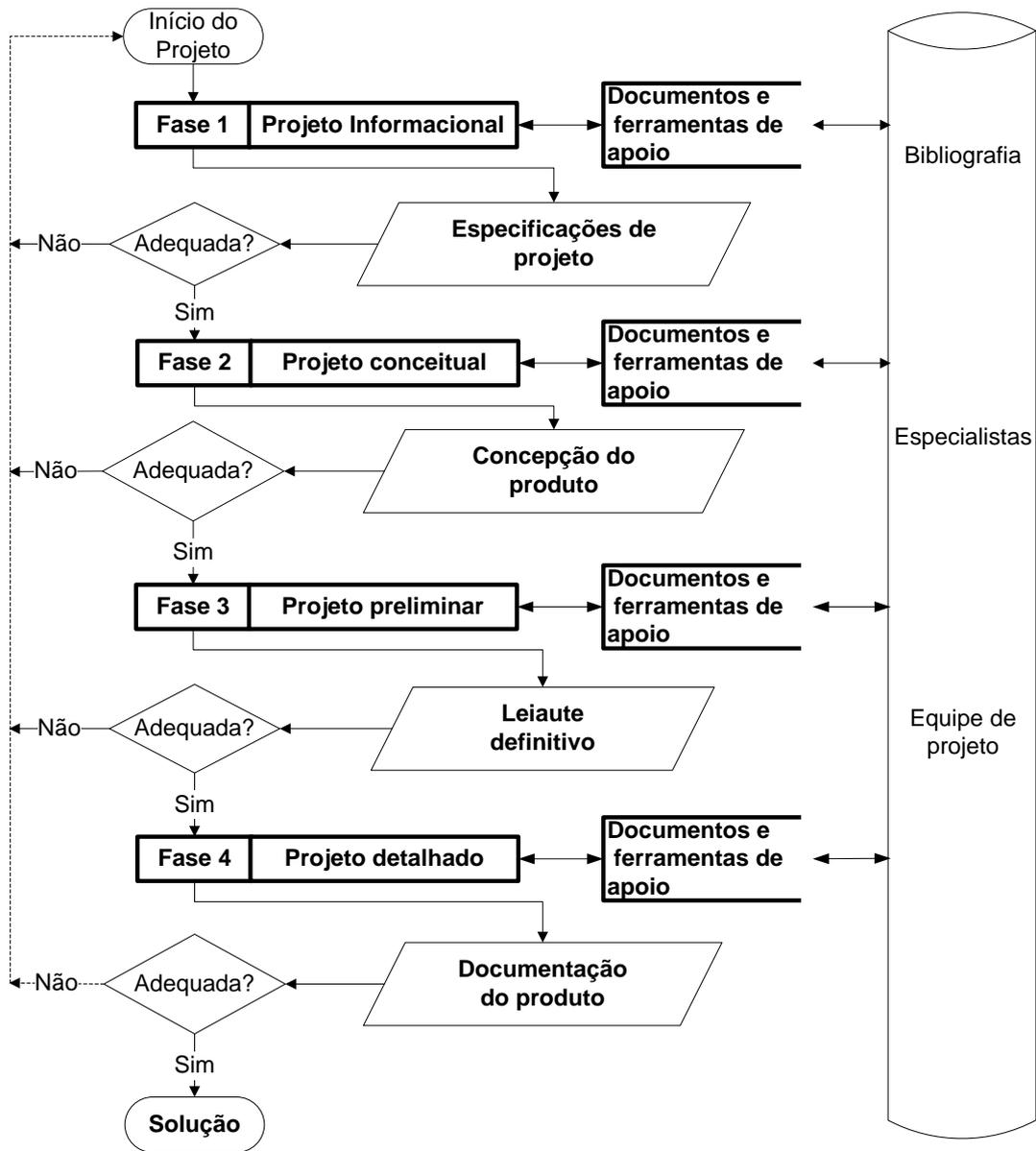


Figura 11 - Modelo do processo de projeto proposto.  
Fonte: REIS, 2003.

Segundo Forcellini (2003), com as fases iniciais do desenvolvimento do projeto concluídas (projeto informacional e projeto conceitual) tem-se 80% do custo do projeto já comprometido, fazendo com que as decisões tomadas nessas fases sejam essenciais para o êxito do produto.

### 2.4.1 – Projeto Informacional

O ponto de partida dessa etapa do projeto é o problema que deu origem a necessidade de desenvolvimento de um novo produto. O esclarecimento da tarefa consiste na análise detalhada do problema de projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao seu pleno entendimento (FORCELLINI, 2003).

As etapas do projeto informacional são apresentadas na Fig.12.

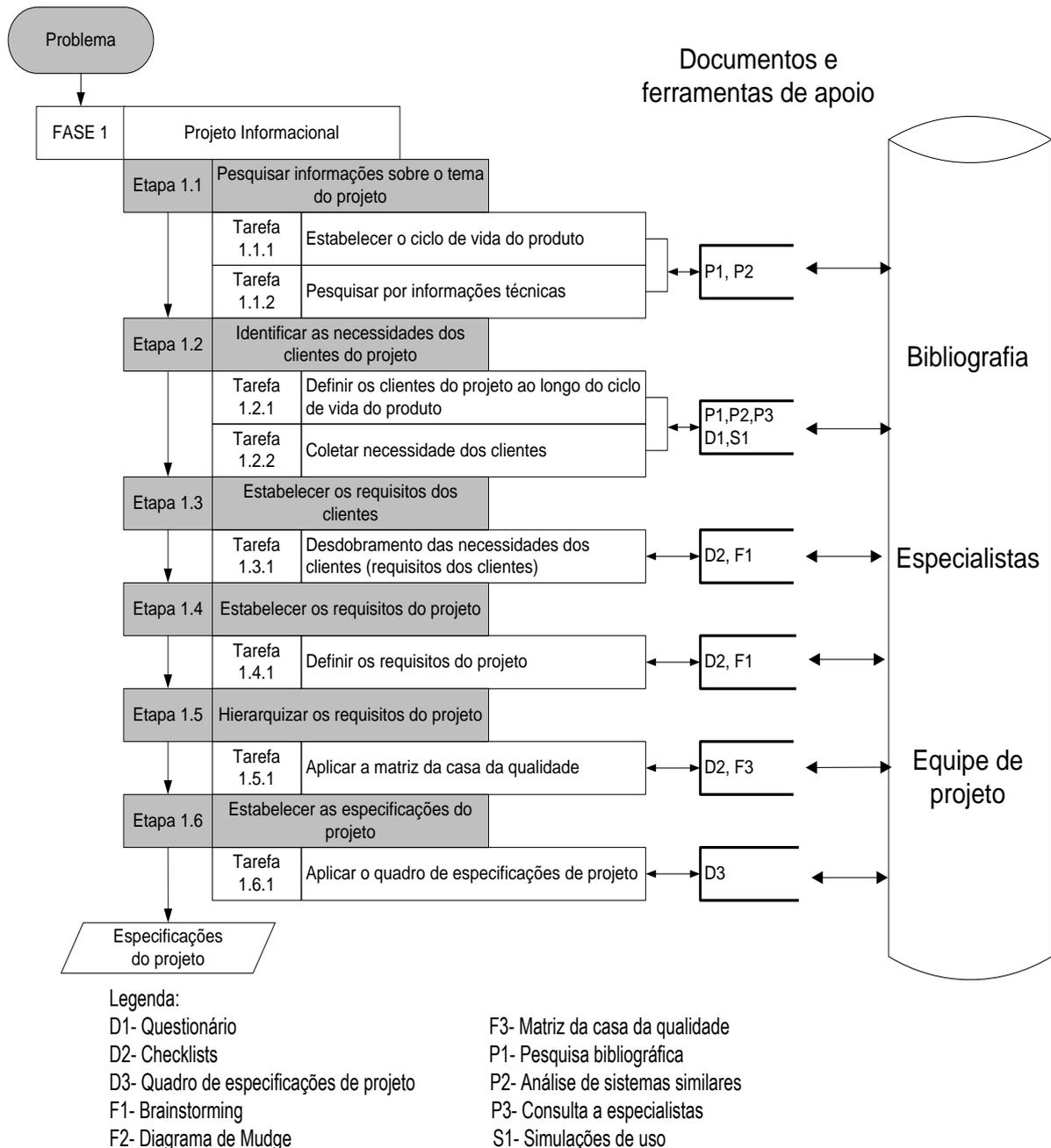


Figura 12 - Etapas do projeto informacional.  
Fonte: REIS, 2003.

O estabelecimento do problema de projeto foi baseado nas necessidades de uma parcela de agricultores do sul do Estado do Rio Grande do Sul em termos de mecanização agrícola. Para realização deste levantamento, foram utilizados os dados dos pesquisadores Teixeira (2008) e Andersson (2010), desta forma estabeleceu-se o perfil deste grupo característico de agricultores quanto as suas condições sócio-econômicas, seu modo de produção e as necessidades desse segmento em termos de mecanização agrícola. Com a análise destes dados foram definidas as necessidades dos clientes (agricultores de base familiar) para se determinar as características da máquina agrícola (produto) a ser desenvolvida. Para isso foram realizadas as seguintes etapas:

- a) Estabelecimento do ciclo de vida do produto e de seus respectivos clientes;
- b) Adaptação das necessidades dos clientes à linguagem de engenharia, passando a serem denominadas de requisitos dos clientes;
- c) Estabelecimento, a partir dos requisitos dos clientes, dos requisitos de projeto que devem ser mensuráveis, afim de que seja possível avaliá-los através de sensores (métodos ou instrumentos de avaliação).
- d) Hierarquização dos requisitos do projeto e aplicação da matriz da casa da qualidade, também conhecida como 1ª Matriz do QFD (*Quality Function Deployment* – desdobramento da função qualidade).

Com a definição das especificações de projeto, concluiu-se a fase do projeto informacional.

#### **2.4.2 – Projeto Conceitual**

O projeto conceitual é considerado uma das fases mais importantes no desenvolvimento de um projeto. As decisões que forem tomadas nesta fase afetarão diretamente as fases posteriores.

As etapas desenvolvidas no projeto conceitual seguiram a metodologia proposta e são representadas pela Fig. 13.

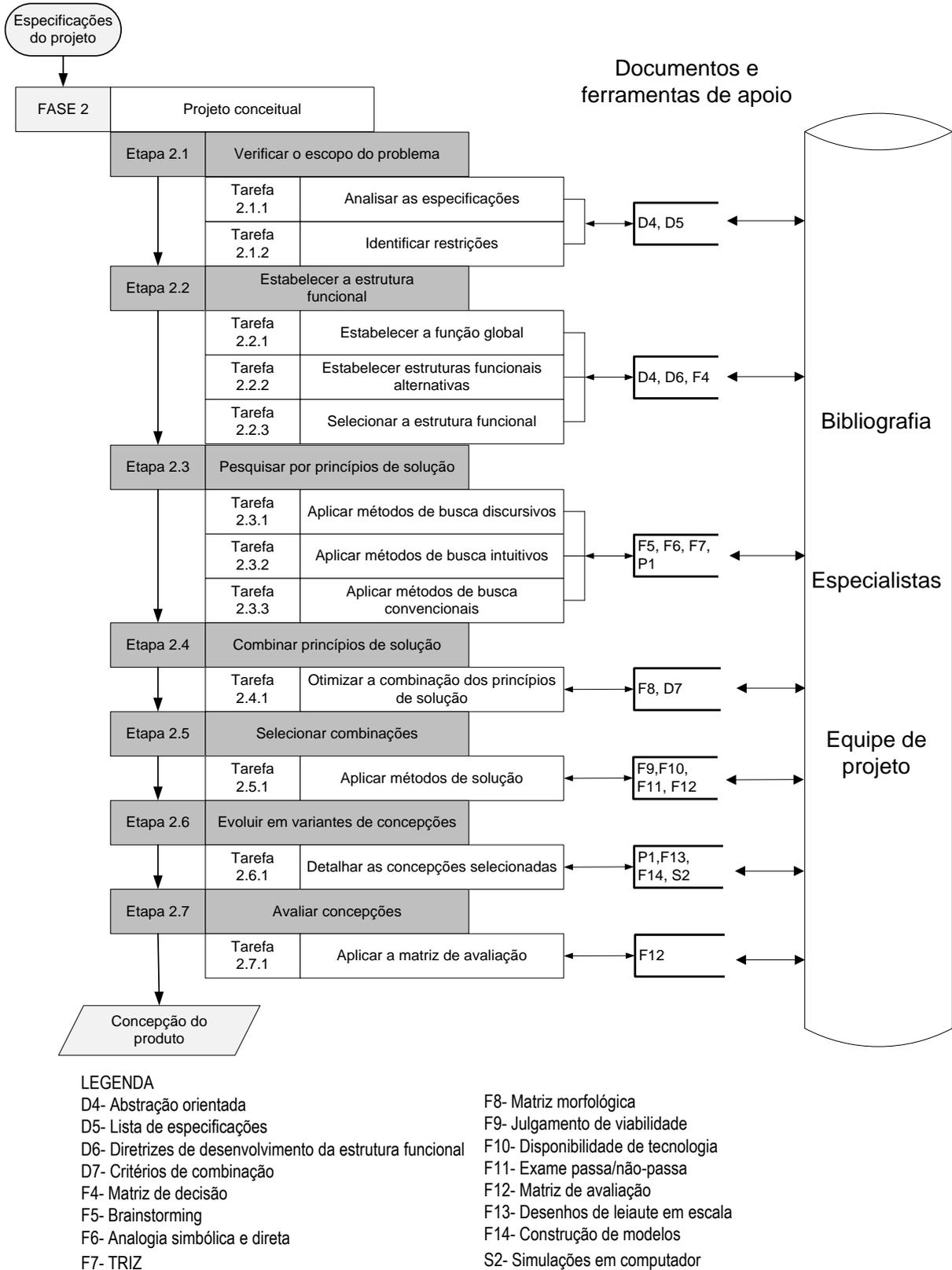


Figura 13 - Etapas do projeto conceitual.  
 Fonte: REIS, 2003.

Inicialmente, após a análise das especificações de projeto e suas restrições, foi estabelecida a função global do equipamento e sua interface com o sistema periférico.

Para a definição das estruturas funcionais foram analisadas as estruturas funcionais parciais padronizadas, que posteriormente foram desdobradas em estruturas elementares. Os posicionamentos das funções parciais estão relacionados prioritariamente com a seqüência de movimentação do material (sementes), contudo os aspectos de energia e sinal são também representados.

As estruturas funcionais alternativas foram analisadas de acordo com aspectos técnicos e de custo através do método da Matriz de Decisão para o estabelecimento das mais viáveis. Os critérios de decisão foram baseados nos requisitos de projeto e dos clientes considerados mais importantes. Os pesos desses requisitos foram transformados em um número compreendidos entre zero e 10 de acordo com os resultados da Casa da Qualidade (QFD). A pontuação do requisito de projeto mais importante ficou com peso 10 e os requisitos de projeto restantes ficaram relacionados proporcionalmente ao mesmo. Quanto aos requisitos dos clientes, as porcentagens foram relacionadas aos pesos atribuídos ao valor do consumidor na Casa da Qualidade, sendo considerado 100% o que apresentar o maior valor.

Após a análise das estruturas funcionais, estas foram organizadas, em uma Matriz Morfológica, para a identificação dos princípios de solução para cada uma das funções elementares. Esses princípios foram dispostos na matriz de acordo com a maior viabilidade de uso, sendo suas escolhas baseadas, principalmente na classificação dos requisitos de projeto, buscando a padronização de componentes e a facilidade de execução.

Para a escolha da solução mais adequada ao problema e minimização do risco de eliminar uma solução que poderia ser promissora, foram empregados métodos sistemáticos de seleção. Ullman (1992) apud Back & Forcellini (1997) apresenta um procedimento que utiliza quatro técnicas diferentes para reduzir as variantes geradas a umas poucas, mas promissoras, soluções. A seqüência do uso dessas técnicas é mostrada na fig. 14.

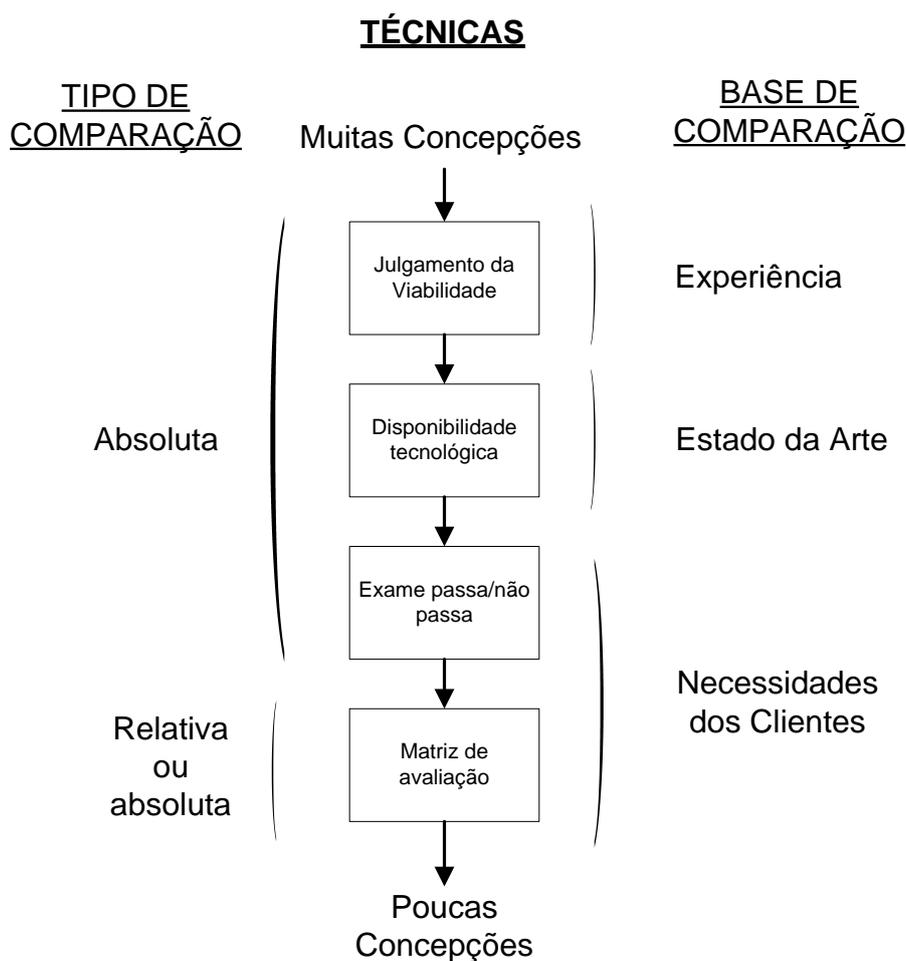


Figura 14 – Técnicas para seleção de variáveis de soluções  
 Fonte: adaptado de Back & Forcelline, 1997

Na técnica do **juízo da viabilidade**, verifica-se, com base na experiência dos membros da equipe, se a solução enquadra-se numa das seguintes condições: *não viável*, *condicionalmente viável*, deve ser considerada (*viável*). As soluções enquadradas como *condicionalmente viável* e *viável* seguem adiante para a próxima técnica. Para a solução *não viável*, deve-se saber com clareza as razões que levaram a esse juízo.

A técnica da **Disponibilidade de tecnologia** busca respostas para perguntas como: pode a tecnologia ser produzida através de processos conhecidos? Os parâmetros funcionais críticos são conhecidos? A sensibilidade dos parâmetros operacionais é conhecida? Os modos de falha são conhecidos? E assim por diante. Caso sejam obtidas muitas respostas negativas para uma determinada solução, há indicativos de que a tecnologia proposta não se encontra amadurecida para ser empregada no projeto.

Na técnica do **Exame passa/não-passa**, as soluções são confrontadas com as necessidades dos clientes de maneira absoluta. As necessidades são transformadas em questões a serem aplicadas a cada uma das variantes de solução. As questões devem ser respondidas com *sim* ou *possivelmente* (passa) ou *não* (não passa). As soluções que obtiverem poucas respostas *não passa* são as mais promissoras, indicando que a variante pode ser modificada ao invés de ser eliminada.

Na técnica da **Matriz de avaliação**, as variantes de solução são comparadas entre si com relação aos **critérios técnicos** junto aos requisitos dos clientes, utilizando o **peso relativo dos requisitos** quantificados de 1 até 10 pelo QFD. Das concepções é escolhida uma como **referência**, ou seja, a que supostamente se acredite que é a melhor em relação às outras. Novamente a equipe de projeto se reúne para avaliar as duas concepções que não são a referência, avaliando critério por critério definindo pesos de -2, -1, 0, 1 ou 2 para cada um dos critérios. Os valores negativos (-2 e -1) são para critérios técnicos que são piores do que a referência. Os valores positivos (1 e 2) são para critérios melhores do que a referência, e o valor zero (0) é usado quando o critério técnico não tem diferença com a concepção de referência. A pontuação de cada referência é feita através do somatório da multiplicação de cada peso relativo do requisito pelos valores definidos pela equipe de projeto para cada critério técnico (os pesos de -2 a 2).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Dimensionamento estrutural do chassi**

Todo o cálculo estrutural foi feito pelo *software* Solidworks Simulation 2009 licenciado para o Instituto Federal Sul–Rio–grandense Campus Pelotas.

Para facilitar a execução das diversas etapas do processo de projeto, foi criada uma equipe de projeto multidisciplinar que se reuniu em diferentes momentos de tomada de decisão para aplicação das ferramentas de projeto. Essa equipe foi formada por engenheiros agrícolas, professores, engenheiros mecânicos e arquitetos.

Depois de definida a concepção do chassi e feitas as modificações propostas pelo grupo de projeto, o mesmo foi redesenhado e dimensionado, levando em consideração as distâncias máximas e mínimas entre linhas, os pesos de adubo e sementes, o peso máximo de cada linha de plantio e as forças horizontais e verticais máximas em cada sulcador.

O objetivo do dimensionamento foi verificar se a estrutura do chassi, para quatro linhas de plantio, resiste aos esforços propostos com relação à tração e elevação pelo engate de três pontos.

#### **3.2 Ensaio do chassi**

Para se testar o funcionamento do modelo de cálculo estrutural em laboratório, foi fabricado o protótipo do chassi em escala real e aplicados os carregamentos verticais com as mesmas forças pesos que foram consideradas nos cálculos pelo *software*.

Foram feitas as medições dos deslocamentos da estrutura de acordo com o carregamento real dos pesos correspondentes ao dos dosadores de adubo e reservatórios, pesos dos dosadores de sementes e reservatórios, todos com carga máxima de adubo e sementes. Também se considerou o peso das quatro linhas em situação de pior hipótese, ou seja, na distância máxima entre linhas. Essas medições de deslocamento da estrutura do chassi foram feitas com relógios comparadores das marcas Starrett e Mitutoyo, modelo comum, com deslocamento máximo de 10 mm com uma resolução de 0,01 mm.

Para se executar os ensaios de deslocamento, a estrutura do chassi foi fixada pelos três pontos de acoplamento em dispositivos que substituí os engates de três pontos do trator. Este dispositivo de fixação (fig. 15) foi acoplado a um bloco de

Ferro Fundido de dimensões externas de 1,00 m x 0,80 m x 0,63 m, com massa aproximada de uma tonelada. Em duas destas faces existem rasgos em “T”, e em uma delas foram posicionados os dispositivos de fixação dos três pontos do chassi.

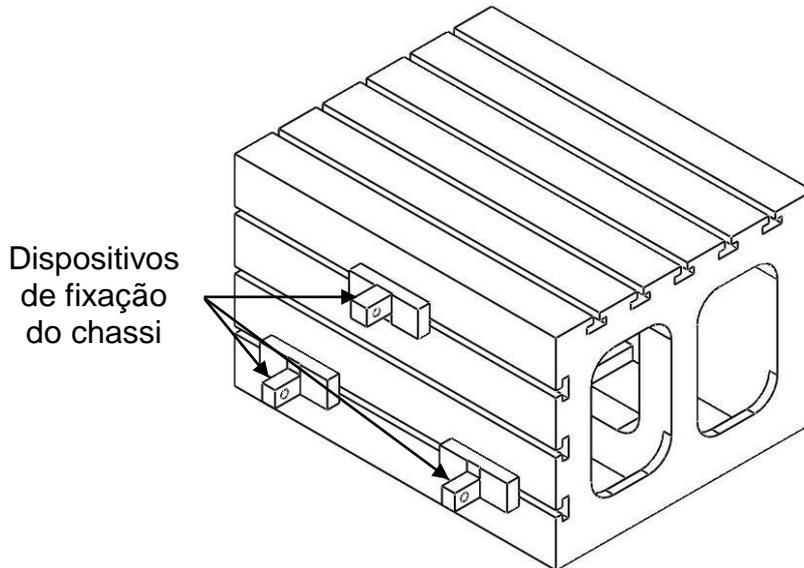


Figura 15 – Dispositivos de fixação para ensaiar o protótipo do chassi.

Para validar o modelo matemático utilizado no *software*, foram feitos ensaios de carregamento vertical na estrutura do protótipo e o mesmo foi feito na simulação no Solidworks Simulation e seus resultados comparados.

Nas figuras 16, 17 e 18, é mostrado como foi executada a montagem do ensaio do chassi e como este foi fixado no bloco de Ferro Fundido. O posicionamento dos cabos empregados para pendurar os pesos e os relógios comparadores para medir o deslocamento do chassi sob a influência dos mesmos.



Figura 16 – Montagem do ensaio – posicionamento dos relógios no chassi e dos cabos para pendurar os pesos.



Figura 17 – Rasgo em “T”



Figura 18 – Engate ao dispositivo de fixação

Em princípio posicionaram-se os relógios comparadores em três pontos fixos principais na estrutura do chassi. Antes da aplicação da carga os relógios foram zerados.

A seguir iniciou-se a aplicação das cargas no protótipo do chassi, referente as reações dos pesos das linhas de plantio, dos dosadores de adubo e reservatórios, dos dosadores de sementes e reservatórios, todos com carga máxima de adubo e sementes em posição de pior cenário. Para a posição das linhas de plantio, o pior cenário é a distância máxima entre linha (0,75 m). Para a posição dos pesos dos dosadores e reservatórios carregados, o pior cenário é no centro de cada tubo *c/* costura.

A aplicação dos pesos e seu posicionamento são mostrados na figura 19, onde a cada aplicação de carga mediu-se o deslocamento da estrutura nas posições 1, 2 e 3, em que estavam localizados os relógios comparadores usados para as medições.

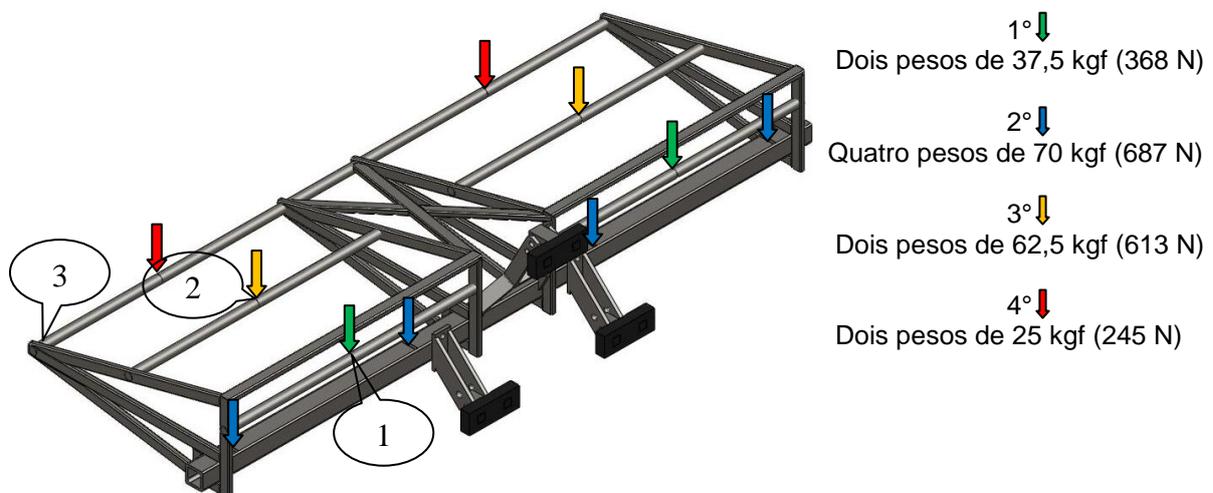


Figura 19 – Posicionamento das cargas e dos relógios comparadores no chassi.

Na figura 20 tem-se representado o total de pesos carregados na estrutura do chassi, que foi de 530 kgf (5.199 N).



Figura 20 – Chassi com o máximo de carregamento vertical.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Identificação das necessidades dos clientes

Analisados os dados de Teixeira (2008) e Andersson (2010), que estudaram em campo a agricultura familiar, nas localidades de Pelotas, Canguçu, São Lourenço do Sul, Jaguarão, Herval, Arroio do Padre e Morro Redondo, obtiveram-se informações referentes ao tamanho das propriedades rurais pesquisadas (Fig. 21) e a área destinada ao plantio nestas propriedades (Fig. 22).

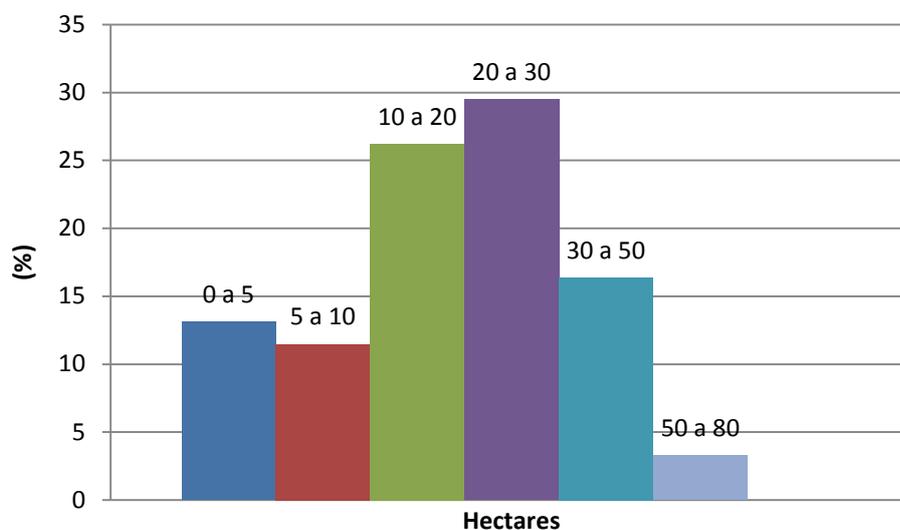


Figura 21 - Área das propriedades rurais pesquisadas

Fonte: adaptado de Teixeira (2008) e Andersson (2010)

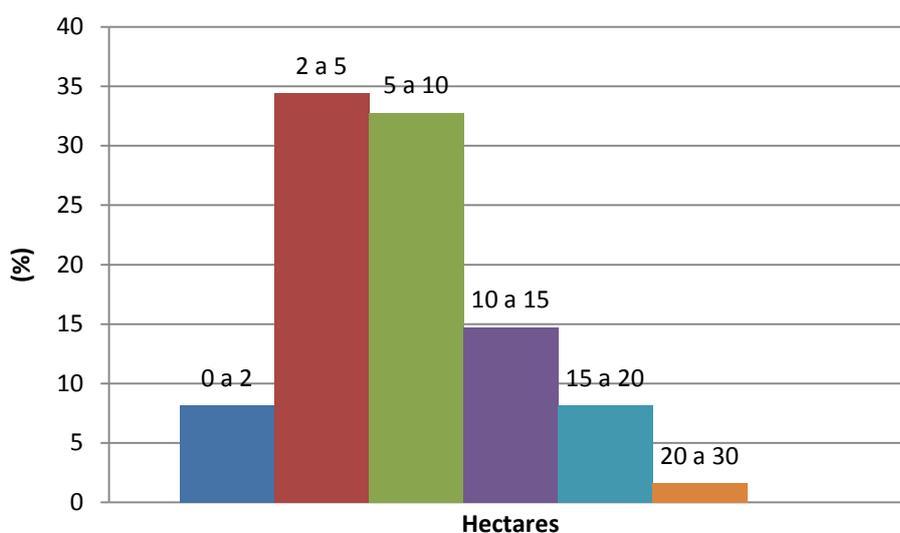


Figura 22 - Área destinada à agricultura

Fonte: adaptado de Teixeira (2008) e Andersson (2010)

Através da análise das características das propriedades rurais verificou-se que 55,7% do total dos agricultores possuem áreas de 10 a 30 ha e que a área utilizada para o plantio é de 2 a 10 ha (Fig. 21 e 22).

Os principais produtos agrícolas produzidos, por ordem de importância, são: milho, feijão, hortaliças, abóbora, batata-doce, batata, mandioca, melancia e soja (Fig. 23). Estes três tipos de grãos (feijão, milho e soja) podem ser semeados com semeadoras de precisão uma vez que se caracterizam como grãos graúdos, podendo ter suas sementes individualizadas em um mecanismo dosador.

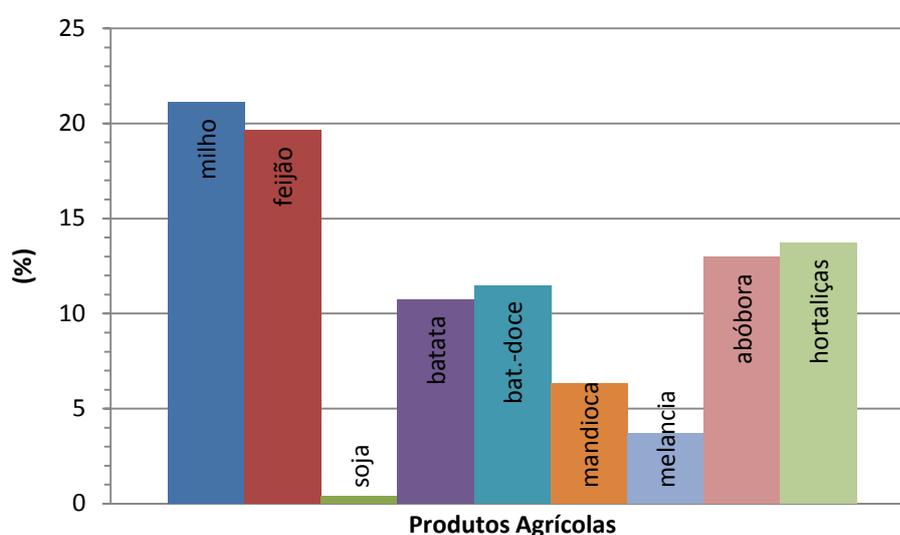


Figura 23 - Principais produtos agrícolas produzidos na propriedade.

Fonte: adaptado de Teixeira (2008) e Andersson (2010)

Em relação a outros implementos utilizados, 80% dos entrevistados utilizam semeadoras manuais (popularmente conhecidas como *saraquás* ou *matracas*) para realizar as operações de semeadura de grãos graúdos, como milho e feijão. Sabe-se que essa operação requer muito esforço físico e tempo para ser executada, diminuindo a produtividade do trabalho agrícola. Outro aspecto a ser ressaltado é a falta de outros implementos específicos para adubação e tratamentos culturais (Fig. 24).

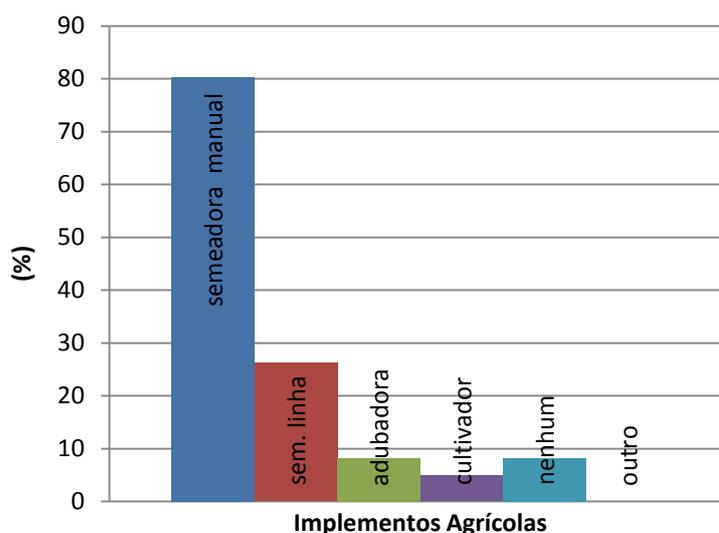


Figura 24 - Outros implementos agrícolas utilizados nas operações de cultivo.

Fonte: adaptado de Teixeira (2008) e Andersson (2010)

Além do trator de quatro rodas, a semeadora de milho e feijão foi o equipamento que se apresentou como a maior necessidade dos produtores. Este dado está de acordo com a questão relacionada ao tipo de máquina utilizada atualmente pelos produtores para esse tipo de operação, já que a maioria realiza a semeadura destas culturas com semeadoras manuais, segundo Teixeira (2008).

As necessidades dos clientes, segundo a metodologia de projeto, devem ser transformadas em linguagem técnica de modo a facilitar seu entendimento. Após esta conversão a equipe de projeto estabeleceu os seguintes requisitos de cliente para a semeadora de precisão:

a) Ser resistente ao desgaste nos sulcadores de adubo: para se evitar freqüentes regulagens e trocas dos sulcadores os mesmos têm de ter uma durabilidade adequada.

b) Ter precisão na profundidade de semeadura: para que a semeadura seja adequada, o controle da profundidade de semente deverá ser preciso.

c) Ser segura ao operador: com partes móveis protegidas, acabamento superficial e ausência de cantos vivos;

d) Ter baixo peso: principalmente para redução de custo, para facilitar o transporte, o uso e as manobras;

e) Ter boa durabilidade: a durabilidade é importante já que a máquina deverá ser utilizada por várias safras, resultando na amortização progressiva do investimento inicial.

f) Ser fácil de transportar: indica a facilidade para o transporte da máquina até a lavoura;

g) Ter baixo custo: em virtude da situação econômica dos produtores e para concorrer comercialmente com as semeadoras existentes no mercado;

h) Ter peças padronizadas: o uso de componentes padronizados facilita na aquisição e montagem dos mesmos.

i) Ser bonita: o aspecto geral da máquina tem de ser agradável aos olhos para que se consiga uma venda adequada do produto.

j) Ter processo de fabricação simples: relacionado principalmente ao uso de processos de fabricação já consolidados, ao uso de componentes padronizados e à redução do número total de componentes que farão parte da máquina;

k) Ser fácil de acoplar: deve estar dentro da norma de engate traseiro de três pontos NBR ISO 730-1.

l) Ser eficaz no corte da palha: para se evitar o embuchamento da palha no sulcador de adubo o corte da palha tem de ser perfeito.

m) Ser de simples manutenção: com partes fáceis de manter e desmontar, sem a necessidade de um grande número de ferramentas nem de ferramentas especiais;

n) Ser precisa na deposição de sementes: conforme determinam os requisitos agronômicos para cada cultura.

o) Ser fácil de reabastecer: o abastecimento deverá ter fácil acesso e ser feito do chão, sem a necessidade de subir na máquina.

p) Ter menor número de reabastecimentos: apesar dos reservatórios serem pequenos em virtude do baixo peso do equipamento estes tem de ser adequados para que não se tenha de parar muitas vezes durante a operação de plantio.

q) Ter visibilidade na quantidade nos reservatórios: os reservatórios deverão ter uma faixa lateral transparente para que o operador possa visualizar o nível dos reservatórios (sementes e adubo).

r) Ser fácil de montar; etapa do processo de fabricação que indica a facilidade de montar os componentes (intercambiabilidade de peças e uso de ferramentas simples e de número reduzido)

s) Ser fácil de regular: a fim de facilitar a preparação e utilização da máquina.

t) Ser fácil de operar: como a utilização da semeadora será em pequenas propriedades rurais, serão realizadas muitas manobras nas cabeceiras das lavouras, sendo então este item muito importante para redução do esforço do operador;

#### **4.2 Definição inicial do problema de projeto**

Baseado em levantamentos realizados por Teixeira (2008) e Andersson (2010) com produtores da região sul do Rio Grande do Sul foi definido o objetivo principal do projeto:

Desenvolver um chassi para uma semeadora-adubadora de quatro linhas destinada ao plantio direto de milho, feijão e soja para pequenas propriedades, que possa ser tracionada por tratores de baixa potência ( $\approx 25$  cv).

#### **4.3 Estabelecimento dos requisitos de projeto**

Baseando-se nos requisitos dos clientes foram estabelecidos os requisitos de projeto que são características técnicas mensuráveis, expressas em linguagem de engenharia, visando facilitar a compreensão e o acompanhamento de todos os envolvidos no processo de projeto.

Os requisitos de projeto que representaram de maneira mais ampla os requisitos dos clientes são apresentados na Tab. 1, onde foram definidas as metas a serem atingidas, as unidades de cada requisito, os sensores de avaliação de cada meta e as saídas indesejáveis dos requisitos de projeto determinados para a máquina completa, ou seja, a semeadora-adubadora de baixa potência para a agricultura familiar. Estes mesmos requisitos serão aplicados para o projeto do chassi que é a proposta desta dissertação.

Tabela 1 - Especificações de projeto da semeadora de precisão.

	<b>Descrição</b>	<b>Meta</b>	<b>Unid.</b>	<b>Sensor</b>	<b>Saída indesejável</b>
<b>1</b>	Vida útil dos sulcadores	Durabilidade de 2 safras em solo abrasivo De 12 a 17 horas em solo franco arenoso.	h	Análise de bibliografias sobre diferentes materiais	Aumento de custo ou dificuldade de aquisição de material.
<b>2</b>	Precisão na dosagem de sementes	Acima de 60% das sementes na faixa de espaçamentos aceitáveis	% espaç. Aceitáveis	Medição dos espaçamentos e comparação com a norma.	Adotar dosadores de custo elevado.
<b>3</b>	Profundidade de semeadura	De 0,03 a 0,08 m	m	Testes de campo	Elevar o custo da máquina.
<b>4</b>	Precisão na dosagem de adubo	±5% da razão de distribuição desejada	%	Teste de campo	Acréscimo na despesa, rentabilidade
<b>5</b>	Profundidade de adubação	De 0,10 a 0,15 metros	m	Teste de campo	Aumento da potência,
<b>6</b>	Peso total do implemento	Menor que 450 kg (bruto), carregado	kg	Através de CAD e balança	Ultrapassar a capacidade de levante dos tratores
<b>7</b>	Vida útil	10 anos	anos	Análise de projetos e materiais	Aumento dos custos e ou super dimensionamento
<b>8</b>	Custo de fabricação	Adequação aos valores que os produtores podem pagar (R\$ 2.500 – 3.500)	R\$	Pesquisa de mercado	Valor maior as apresentadas no mercado
<b>9</b>	Peças padronizadas	60% em peças	%	Análise de projeto e pesquisa de mercado	Dificuldade na aquisição de peças de reposição
<b>10</b>	Tempo de regulagem	Menor possível	horas	Teste de campo	Quebras, peças perdidas, tempo de regulagem elevado
<b>11</b>	Tempo de acoplamento	De 5 a 10 minutos	min	Teste de campo	Tempo elevado, mais de uma pessoa para executar a tarefa, posição desconfortável (anatomicamente)
<b>12</b>	Massa de palha a ser cortada	A partir de 4 t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	Testes de campo	Aumentar o peso da máquina.
<b>13</b>	Tempo de manutenção	De 15 a 20 minutos	min.	Testes de campo	Não realização da tarefa, tempo de manutenção elevado
<b>14</b>	Tempo de abastecimento (semente e adubo)	De 5 a 10 minutos por abastecimento completo	min	Teste de campo	Tempo elevado para execução da tarefa
<b>15</b>	Volume do reservatório de adubo	De acordo com o peso dos diferentes tipos de adubo – 55 litros p/ duas linhas.	L	Análise do projeto	Rendimento operacional, maior gasto de energia
<b>16</b>	Volume do reservatório de sementes	De acordo com o peso dos diferentes tipos de sementes – 30 litros p/ duas linhas.	L	Análise do projeto	Rendimento operacional, maior gasto de energia
<b>17</b>	Potência de acionamento	Potência máxima requerida 13,6 kW	kW	Teste de campo	Não ser possível de tracionar
<b>18</b>	Força de acionamento	10 kN	kN	Teste de campo	Não ser possível de tracionar
<b>19</b>	Velocidade de operação	Abaixo de 1,5 m s <sup>-1</sup>	m s <sup>-1</sup>	Teste de campo	Baixo rendimento operacional
<b>20</b>	Centro de gravidade	Maior proximidade com engate de 3 pontos	m (x, y, z)	Análise de projeto	Não ser possível de levantar pelo sistema hidráulico

A aplicação da ferramenta QFD (Quality Function Deployment ou Desdobramento da Função Qualidade) foi realizada pela equipe de projeto, estabelecendo os níveis de relacionamento entre os requisitos de projeto e os requisitos dos clientes.

Os resultados obtidos estão indicados na Fig. 25.

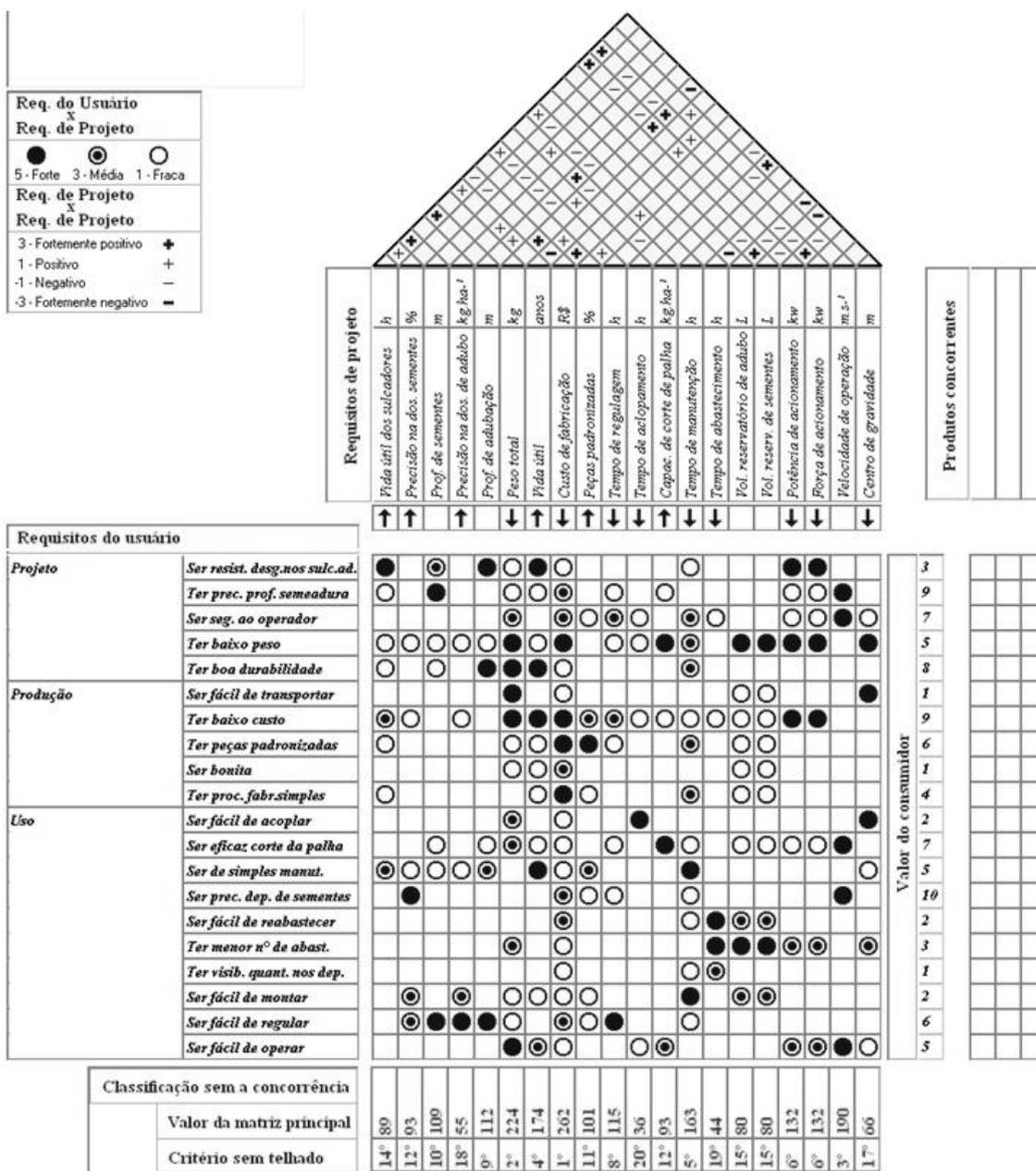


Figura 25 – Aplicação da ferramenta QFD (Casa da Qualidade).

A hierarquia dos requisitos de projeto da semeadora-adubadora ficou da seguinte maneira, conforme Tab. 2 (sem o uso do telhado da casa da qualidade):

Tabela 2 – Hierarquia dos requisitos de projeto da semeadora-adubadora separados em terço superior, terço médio e terço inferior.

<b>Classificação</b>	<b>Requisitos de projeto</b>	<b>Pontuação</b>
1 <sup>o</sup>	Custo de fabricação	262
2 <sup>o</sup>	Peso total do implemento	224
3 <sup>o</sup>	Velocidade de operação	190
4 <sup>o</sup>	Vida útil	174
5 <sup>o</sup>	Tempo de manutenção	163
6 <sup>o</sup>	Potência de acionamento	132
6 <sup>o</sup>	Força de acionamento	132
7 <sup>o</sup>	Tempo de regulagem	115
8 <sup>o</sup>	Profundidade de adubação	112
9 <sup>o</sup>	Profundidade de sementes	109
10 <sup>o</sup>	Peças padronizadas	101
11 <sup>o</sup>	Precisão na dos. de sementes	93
11 <sup>o</sup>	Massa de palha a ser cortada	93
12 <sup>o</sup>	Vida útil dos sulcadores	89
13 <sup>o</sup>	Vol. Reservatório de adubo	80
13 <sup>o</sup>	Vol. Reservatório de sementes	80
14 <sup>o</sup>	Centro de gravidade	66
15 <sup>o</sup>	Precisão na dosagem de adubo	55
16 <sup>o</sup>	Tempo de abastecimento	44
17 <sup>o</sup>	Tempo de acoplamento	36

A partir desta hierarquização é possível decidir e optar pelos requisitos mais importantes para o projeto da semeadora e direcionar para o desenvolvimento do chassi, que é o objetivo principal desse trabalho.

#### **4.4 – Verificação do escopo do problema**

Após a análise das especificações de projeto, a equipe concluiu que não serão desenvolvidos novos princípios de solução, mas sim dimensionar o chassi de acordo com a potência nominal de no mínimo 18 kW (trator de quatro rodas com tração dianteira auxiliar) e que este chassi deverá sustentar todos os outros componentes da semeadora, cujo peso total não deverá ultrapassar 450 kg carregada com semente e adubo, que é a força de levante máxima no engate traseiro de três pontos para tratores com essa potência nominal.

A semeadora deverá possuir quatro linhas, com possibilidade de regulagem das distâncias entre linhas de 0,45 e 0,75 m. Também um reservatório de sementes e dosador com duas saídas para se utilizar em duas linhas, conforme o conceito utilizado por Teixeira (2008). Da mesma forma aplicando este princípio para a dosagem de adubo de um reservatório para duas linhas, com isso se diminuindo o

peso da semeadora-adubadora. Os reservatórios de semente e adubo deverão possuir regulagem longitudinal, para se posicionar acima e entre duas linhas. Para a utilização desta proposta construtiva os reservatórios não poderão ser fixados sobre as linhas, e sim, sobre o chassi, pois o peso do reservatório ficaria somente sobre uma das linhas, comprometendo a distribuição uniforme do peso. Ficou definido também, que as linhas utilizadas não serão desenvolvidas ou projetadas de maneira diferente às utilizadas nas semeadoras-adubadoras comercialmente existentes, porque são soluções que podem ser adequadas aos requisitos de projeto.

O escopo do problema se configura, basicamente, na disposição dos componentes em novos leiautes e no atendimento aos fatores limitantes do projeto, facilidade nas regulagens necessárias além da possibilidade do levante do equipamento pelo trator no engate traseiro de três pontos.

#### 4.5 – Estabelecimento da função global e das funções parciais

Na Fig. 26 é apresentada a função global de um sistema destinado à implantação de culturas anuais de grãos, com o adubo e as sementes distribuídas ao longo de uma linha de semeadura e sua interação com o usuário e o ambiente. Também se identifica as fronteiras desse sistema, de forma a deixar evidente quais os aspectos são priorizados. Nesse caso da semeadora – adubadora em linha o estudo da função global e das funções parciais serão feitos na sua totalidade em virtude da interação dos elementos que são ligados ao chassi e a influência destes no comportamento funcional do chassi. Para que se tenha uma real informação das forças envolvidas na estrutura do chassi foram levados em consideração todos os elementos que estarão ligados ao chassi (nosso objeto de estudo).

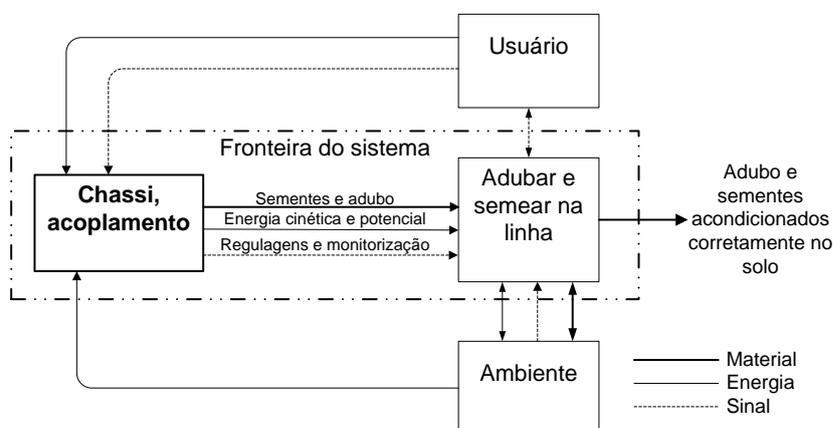


Figura 26 – Estrutura funcional global do sistema de distribuição de adubo e semente.

Na Tab. 3 as entradas e as saídas do sistema técnico (adubo e semeadoras em linha) são detalhadas em termos de material, energia e sinal.

Tabela 3 – Entradas e saídas do sistema técnico (semeadoras em linha).

Representação	Entrada	Saída
Material (fluxo principal) →	Adubo e sementes desorganizadas na máquina	Adubo depositado no solo e sementes uniformemente espaçadas no solo e na profundidade adequada segundo densidade de semeadura previamente definida
Energia →	Energia cinética e potencial proveniente do contato com o solo	Energia perdida por atrito, calor, fluxo de massa (adubo, sementes, ar)
Sinal ---→	Regulagens (rotação do dosador, profundidade do sulco, força vertical sobre a linha)	Sinal de monitorização, mostrando o número de sementes por metro linear (opcional)

--- Fronteira do sistema

A função global esclarece o problema de projeto e serve como referência para as decomposições funcionais posteriores. A partir da estrutura global foram identificadas as funções parciais F1, F2, F3, F4, F5 e F6 que são comuns ao chassi semeadora – adubadora. A função F1 corresponde ao sistema de engate de três pontos do trator. A função F2 é relacionada para suportar as linhas, tanto o seu peso como o esforço de tração. A função F3 indica onde montar os marcadores de linha. A função F4 é a de suportar os reservatórios e dosadores de adubo. A função F5 é de suportar roda de acionamento dos mecanismos dosadores. E por último a função F6 que é a de suportar os reservatórios e dosadores de sementes. Essas funções parciais compõem a representação inicial da estrutura funcional do chassi da semeadora de precisão e estão indicadas na Fig. 27.

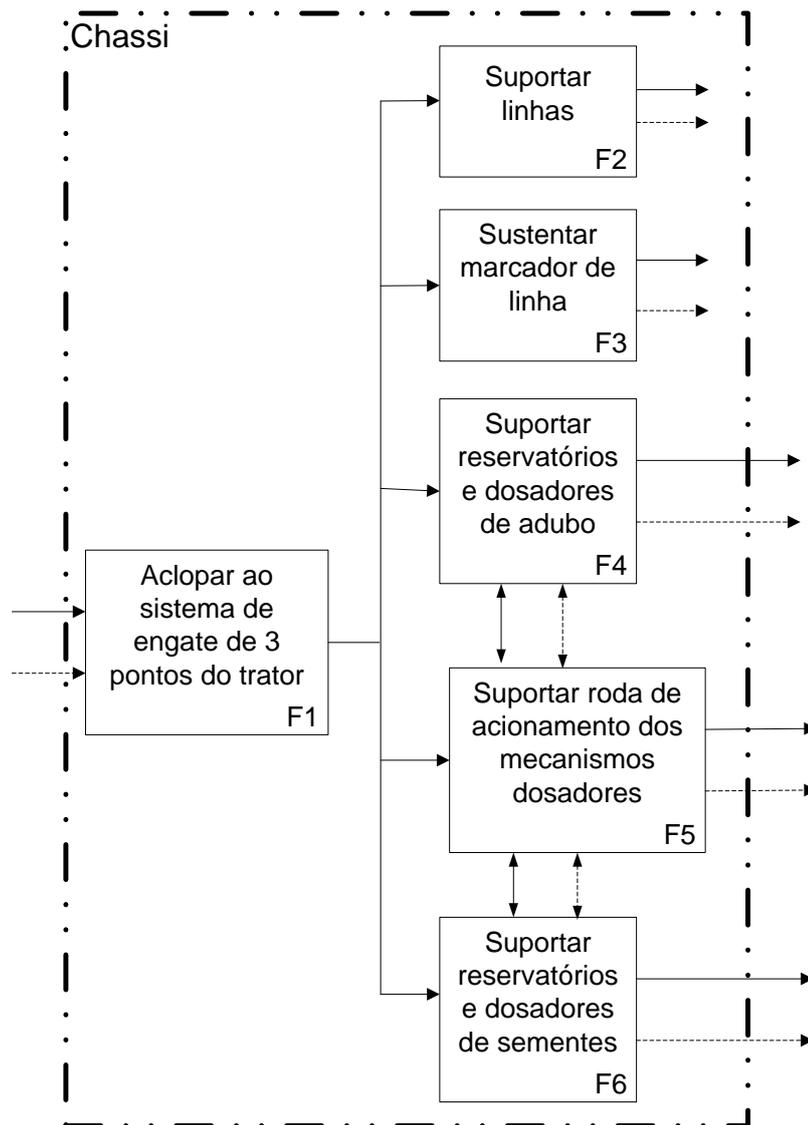


Figura 27 - Funções parciais do chassi da semeadura de precisão.

A função F2 admite algumas subdivisões que, no caso, correspondem ao último nível de desdobramento da função global sendo chamadas de funções elementares (Fig. 28).

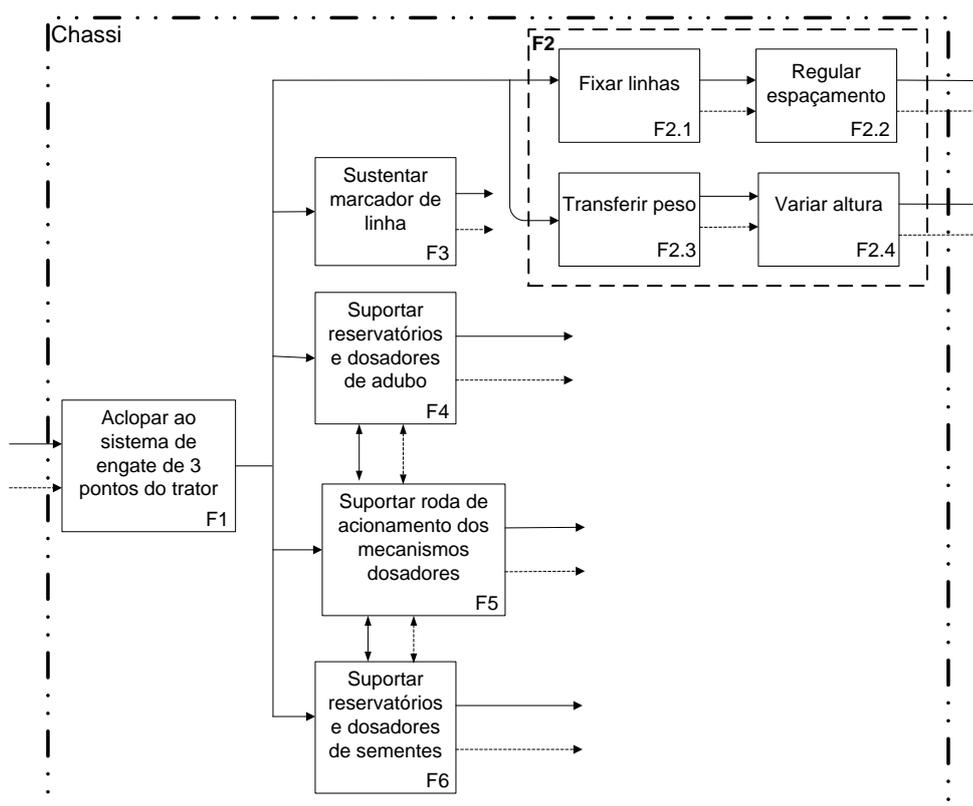


Figura 28 - Funções elementares para o chassi da semeadora – adubadora.

#### 4.6 – Elaboração das estruturas funcionais alternativas

A elaboração de estruturas funcionais alternativas tem por objetivo formular o problema de projeto a partir das funções parciais e elementares que a máquina irá desempenhar. A Tab. 4 indica a notação, o detalhamento e as recomendações das funções elementares utilizadas nas estruturas funcionais alternativas.

Tabela 4 – Notação, detalhamento e recomendações para as funções elementares utilizadas.

Notação	Função elementar resumida	Detalhamento da função elementar e recomendações gerais
F1	Acoplar ao sistema de engate de 3 pontos do trator	O acoplamento à fonte de tração mecânica deverá permitir o uso de um trator de 4 rodas c/ tração dianteira auxiliar (TDA) para engate traseiro de três pontos, conforme NBR ISO 730-1 categoria 1 de engate para tratores de baixa potência até 48 kW .
F2.1	Fixar linhas	Maneira como as linhas são fixadas no chassi.
F2.2	Regular espaçamento	Maneira como é feita a regulagem da distância entre as linhas.
F2.3	Transferir peso	Maneira como é feita a transferência de peso do chassi para as linhas.

Tabela 4 – Notação, detalhamento e recomendações para as funções elementares utilizadas.(continuação)

F2.4	Variar altura	As linhas têm movimento em função da irregularidade do solo, ou seja, variam a altura em relação ao chassi.
F4	Suportar reservatórios e dosadores de adubo	Fixação e posicionamento dos reservatórios e dosadores de adubo no chassi.
F5	Suportar rodas de acionamento dos mecanismos dosadores.	Maneira como é fixada no chassi a roda de acionamento dos mecanismos dosadores e como é feita a transferência de peso do chassi para manter o contato da roda com o solo.
F6	Suportar reservatórios e dosadores de sementes	Fixação e posicionamento dos reservatórios e dosadores de sementes no chassi.
F7	Armazenar Adubo	Reservatório de Adubo adaptado sobre o mecanismo dosador.
F8	Alimentar dosador de adubo	Sistema duplo de captação de adubo.
F9	Acionar mecanismo	Acionamento do mecanismo dosador de adubo e sementes ou ambos.
F10	Dosar adubo p/ duas linhas	O dosador utilizado será o de dupla saída
F11	Abrir solo p/ o adubo	Refere-se ao sulcador utilizado para abrir o sulco para o adubo.
F12	Depositar adubo	Tubo condutor de adubo do mecanismo dosador até o solo.
F13	Armazenar sementes	Reservatório de sementes adaptado sobre o mecanismo dosador.
F14	Alimentar dosador de sementes	Sistema duplo de captação e individualização de sementes.
F15	Dosar sementes p/ duas linhas	O dosador utilizado será o de disco horizontal com dupla saída.
F16	Abrir solo para as sementes	Refere-se ao sulcador utilizado para abrir o sulco para as sementes.
F17	Depositar sementes	Tubo condutor de sementes do mecanismo dosador até o solo.
F18	Acondicionar adubo e semente	Recobrir c/ solo e compactar solo

A função elementar F5 – Suportar rodas de acionamento dos mecanismos dosadores – refere-se à transmissão de movimento do solo para os dosadores de adubo e sementes. Analisando esta função elementar, duas estruturas alternativas foram geradas:

– Estrutura funcional alternativa A – tem duas rodas que vão transmitir o movimento para os dosadores de adubo e sementes. Uma roda para o dosador de adubo e outra para o dosador de sementes.

– Estrutura funcional alternativa B – tem uma roda que vai transmitir o movimento para os dosadores de adubo e sementes, simultaneamente.

Nas Fig. 29 e 30 encontram-se as estruturas funcionais alternativas propostas.

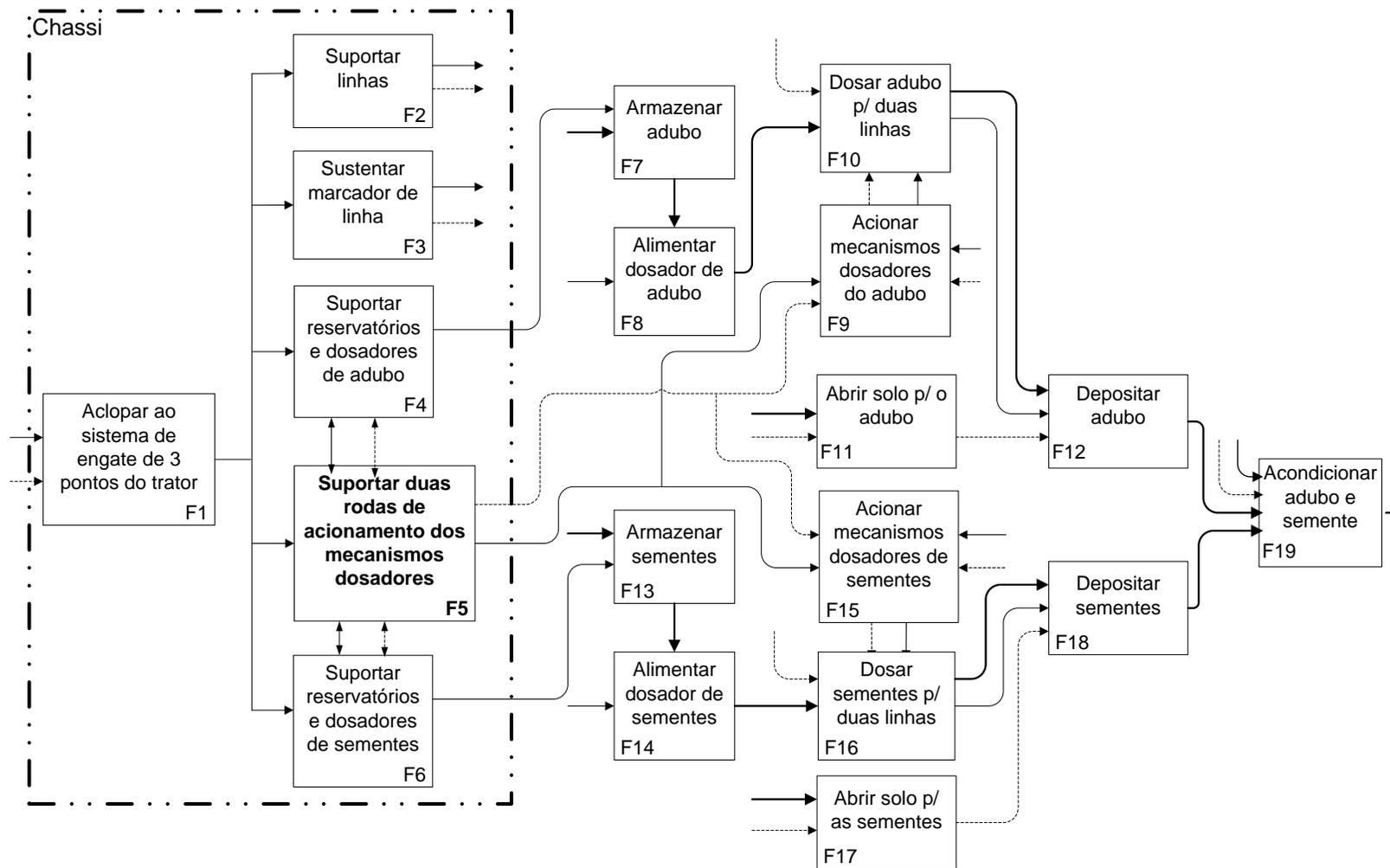


Figura 39 - Estrutura funcional alternativa A.

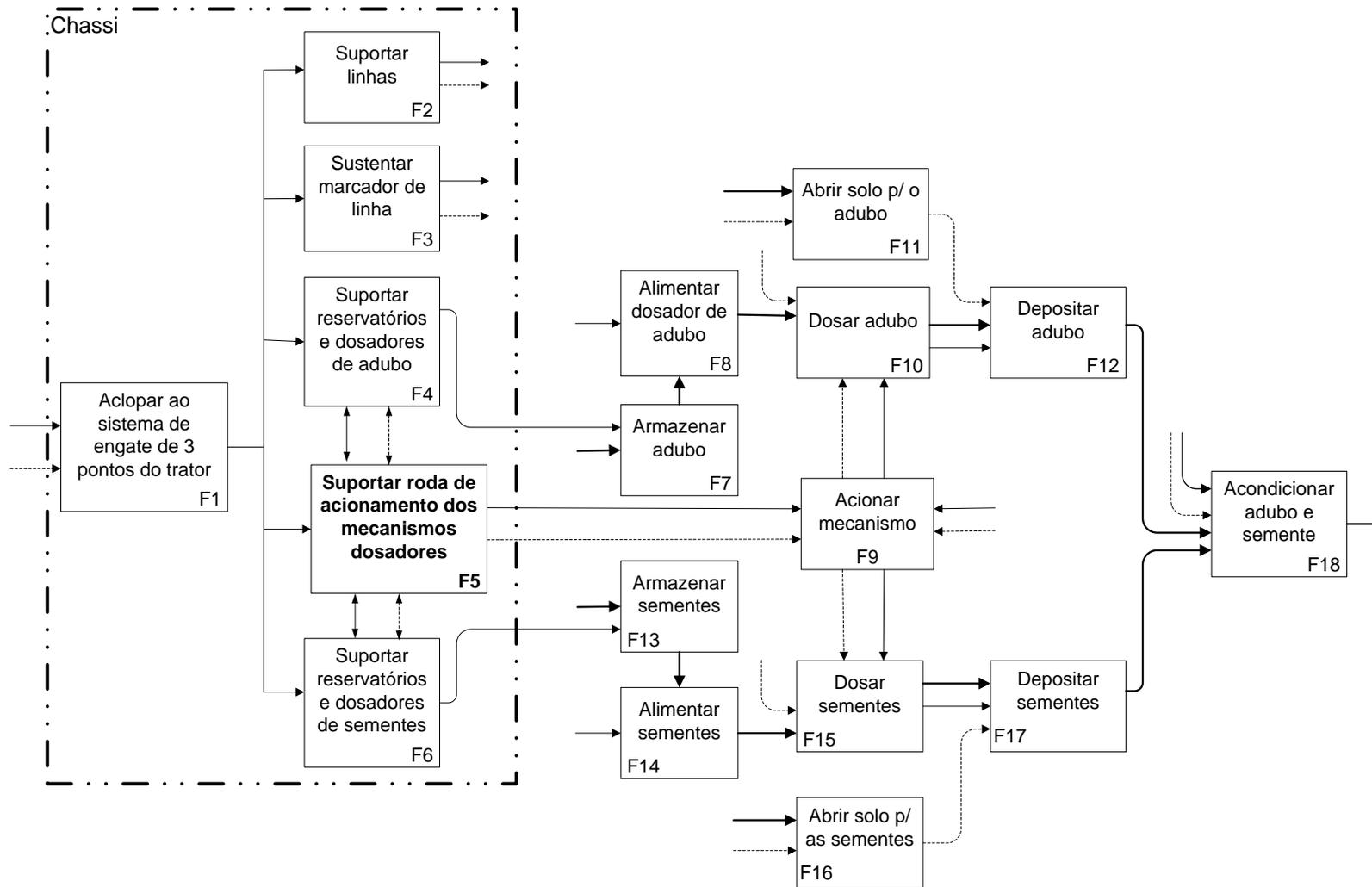


Figura 30 - Estrutura funcional alternativa B.

#### 4.7 – Seleção das estruturas funcionais

Para seleção da estrutura funcional mais viável à continuidade do projeto foi utilizada a ferramenta Matriz de Decisão. Os requisitos de projeto e dos clientes selecionados foram agrupados em critérios técnicos. A matriz de decisão é apresentada na Tab. 5.

Tabela 5 - Pontuação das estruturas funcionais alternativas em relação aos requisitos técnicos.

Critérios Técnicos Requisitos de projeto e dos clientes	Hierarquia dos requisitos	Peso dos requisitos	Estruturas Funcionais	
			A	B
			2 rodas	1 roda
Custo de Fabricação	262	10,00	5	10
Peso total do implemento	224	8,55	5	10
Velocidade de operação	190	7,25	1	1
Vida útil	174	6,64	1	1
Tempo de manutenção	163	6,22	5	10
Potência de acionamento	132	5,04	5	5
Força de acionamento	132	5,04	5	5
Tempo de regulagem	115	4,39	5	5
Profundidade de adubação	112	4,27	1	1
Profundidade de sementes	109	4,16	1	1
Peças padronizadas	101	3,85	1	1
Precisão na dosagem de sementes	93	3,55	10	5
Massa de palha a ser cortada	93	3,55	1	1
Vida útil dos sulcadores	89	3,40	1	1
Vol. Reservatório de adubo	80	3,05	1	1
Vol. Reservatório de sementes	80	3,05	1	1
Centro de gravidade	66	2,52	1	5
Precisão na dosagem de adubo	55	2,10	1	1
Tempo de abastecimento	44	1,68	1	1
Tempo de acoplamento	36	1,37	1	1
<b>Soma total Critérios Técnicos</b>			<b>278,59</b>	<b>394,77</b>

Obs.: Pontuação das estruturas funcionais: 10 = alto, 5 = médio e 1 = baixo.

Como resultado, a **estrutura funcional B** obteve as melhores avaliações, quanto aos critérios técnicos e foi considerada para a continuidade do projeto.

#### 4.8 – Pesquisa por princípios de solução

Como foi definido no escopo do problema, foram utilizados, ao máximo, princípios de solução já desenvolvidos comercialmente (sistemas padronizados) a fim de reduzir os custos envolvidos no projeto. Os princípios de solução foram organizados em uma matriz morfológica (Fig. 31) sendo que os mais utilizados ou

com maior possibilidade de uso foram dispostos progressivamente da esquerda para a direita.

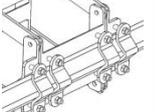
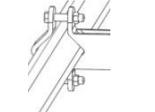
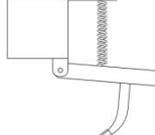
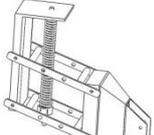
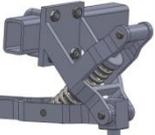
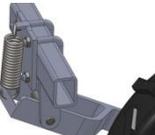
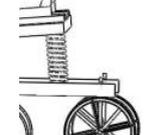
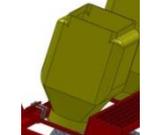
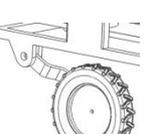
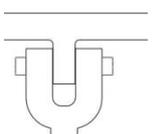
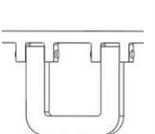
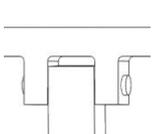
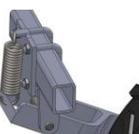
FUNÇÃO	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO				
F1- Acoplar ao sistema de engate de três pontos do trator	 <p>Engate de 3 pontos soldados no chassi</p>	 <p>Engate de 3 pontos aparafusados no chassi</p>	 <p>Engate de 3 pontos aparafusados e soldados no chassi</p>		
F2. 1 – Fixar linhas F2. 2 – Regular espaçamento	 <p>Suporte de linha aparafusado com abraçadeira</p>	 <p>Fixação da linha c/ articulação no suporte</p>	 <p>Fixação de linha pantográfica</p>	 <p>Tubo quadrado com braçadeira e parafusos</p>	 <p>Tubo com braçadeira e manipulô</p>
F2. 3- Transferir peso	 <p>Transferência de peso do chassi para linha c/ mola</p>	 <p>Transferência de peso do chassi para a linha pantográfica</p>	 <p>Transferência de peso p/ linha por mola inclinada</p>	 <p>Transferência de peso p/ a roda de acionamento dos mecanismos</p>	
F2.4 – Variar altura ou Regular profundidade do sulco	 <p>Roda reguladora da profundidade</p>	 <p>Suporte deslizante</p>	 <p>Braçadeira</p>	 <p>Barra com furos</p>	 <p>Barra com entalhes</p>
F3 – Montar marcadores de linhas	Para essa função não tem representado os princípios de solução por que os marcadores de linhas serão usados os que já existem no mercado.				
F4 – Suportar reservatórios e dosadores de adubo	 <p>Reservatório de adubo fixado no chassi</p>				
F5 – Suportar roda de acionamento dos mecanismos dosadores	 <p>Suporte da roda soldado</p>	 <p>Suporte da roda soldado</p>	 <p>Suporte da roda soldado</p>	 <p>Suporte da roda soldado</p>	 <p>Suporte aparafusado</p>
F6 – Suportar reservatórios e dosadores de sementes	 <p>Reserv. de semente fixado no chassi</p>				

FIGURA 31 – Matriz morfológica para semeadora adubadora.

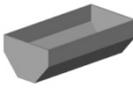
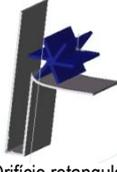
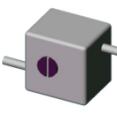
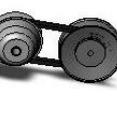
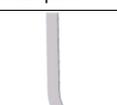
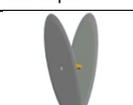
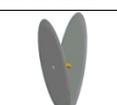
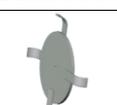
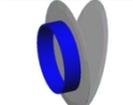
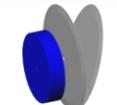
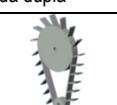
F7 – Armazenar adubo	 Reservatório individual – formato misto	 Reservatório individual – cilíndrico	 Reservatório conjunto – trapezoidal	 Reservatório conjunto – formato misto	 Reservatório individual – cônico
F8 – Alimentar dosador de adubo: F8. 1 – Captar adubo	 Orifício circular	 Cone de captação	 Orifício retangular	 Orifício retangular c/ rotor	 Orifício retangular c/ rampa
F8. 2 – Transportar adubo	 Tubo flexível	 Tubo telescópico	 Tubo pneumático	 Helicóide	
F9 – Acionar mecanismo dosad. de adubo e sementes: F9. 1 – Conduzir movimento	 Eixo	 Rodas dentadas e correntes	 Engrenagens cônicas	 Engrenagens cilíndricas	 Polias e correia
F9. 2 – Ajustar Rt para dosar adubo e sementes.	 Rodas dentadas e correntes	 Cj. de engrenagens – caixa Norton	 Engrenagens cilíndricas	 Caixa de câmbio	 Polias variadoras
F 10 – dosar adubo	 Eixo c/ pás rotativas	 Eixo com roscas opostas	 Rotor acanalado reto	 Rotor acanalado helicoidal	 Eixo helicoidal
F11.1 – Cortar palha	 Disco simples	 Disco duplo =s	 Disco duplo ≠s	 Disco ondulado	 Enxada rotativa
F11.2 – Romper solo	 Facão	 Guilhotina	 Disco duplo =s	 Disco duplo ≠s	 Enxada rotativa
F11.3 – Controlar profundidade	 Pressão de mola		 Aro metálico	 Roda	 Roda dupla
F12 – Depositar adubo	 Tubo reto	 Tubo flexível	 Tubo telescópico	 Tubo pneumático	 Correia dentada

FIGURA 31 – Matriz morfológica para semeadora adubadora (continuação).

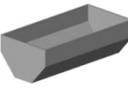
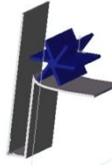
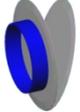
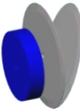
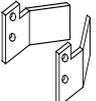
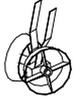
F13 – Armazenar sementes	 Reservatório individual – formato misto	 Reservatório individual – cilíndrico	 Reservatório conjunto – trapezoidal	 Reservatório conjunto – formato misto	 Reservatório individual – cônico
F14 – Alimentar dosador de semente. F14.1 – Captar sementes	 Orifício circular	 Cone de captação	 Orifício retangular	 Orifício retangular c/ rotor	 Orifício retangular c/ rampa
F14.2 – Transportar sementes	 Tubo flexível	 Tubo telescópico	 Tubo pneumático	 Helicóide	
F15 – Dosar sementes.	 Disco horizontal com duas saídas	 Disco horizontal com uma saída			
F16 – Abrir solo: F16. 1 – Romper solo	 Facão	 Guilhotina	 Disco duplo =s	 Disco duplo ≠s	 Enxada rotativa
F16. 2 – Controlar profundidade	 Aro metálico	 Roda	 Roda dupla		
F17 – Depositar sementes	 Tubo com curvatura	 Tubo reto	 Tubo flexível	 Tubo telescópico	 Correia dentada
F18 – Acondicionar adubo e sementes F18.1–Recobrir com solo	 Discos	 Discos inclinados	 Chapas	 Corrente	
F18.1 – Compactar solo	 Rodas convergentes	 Roda metálica	 Rodas de borracha	 Discos inclinados	 Roda maciça cônica
	 Rodas de borr. c/ recesso	 Roda maciça cilíndrica			

FIGURA 31 – Matriz morfológica para semeadora adubadora (continuação).

#### 4.9 Concepções propostas para solução do problema

As escolhas utilizadas no desenvolvimento das concepções foram baseadas nos critérios definidos principalmente pela Casa da Qualidade (QFD). Como as concepções do presente trabalho se referem ao chassi da semeadora-adubadora os princípios de solução apresentados na matriz morfológica da figura 31, foram utilizados para se definir os carregamentos que o chassi estará sujeito e para fins de cálculo dos esforços que o mesmo sofrerá. Isso dá maior precisão no dimensionamento dos perfis que serão utilizados na fabricação do chassi.

A seguir serão apresentadas três diferentes concepções de chassis.

Na Figura 32, tem-se o **chassi da concepção 1** que foi desenvolvido para que os reservatórios de adubo e sementes venham a ser deslocados lateralmente e posicionando-os no centro de duas linhas, já que os dosadores alimentam duas linhas por vez. O sistema é deslizante nos tubos do chassi, facilitando a regulagem nas diferentes distâncias entre linhas de 0,45 m a 0,75 m.

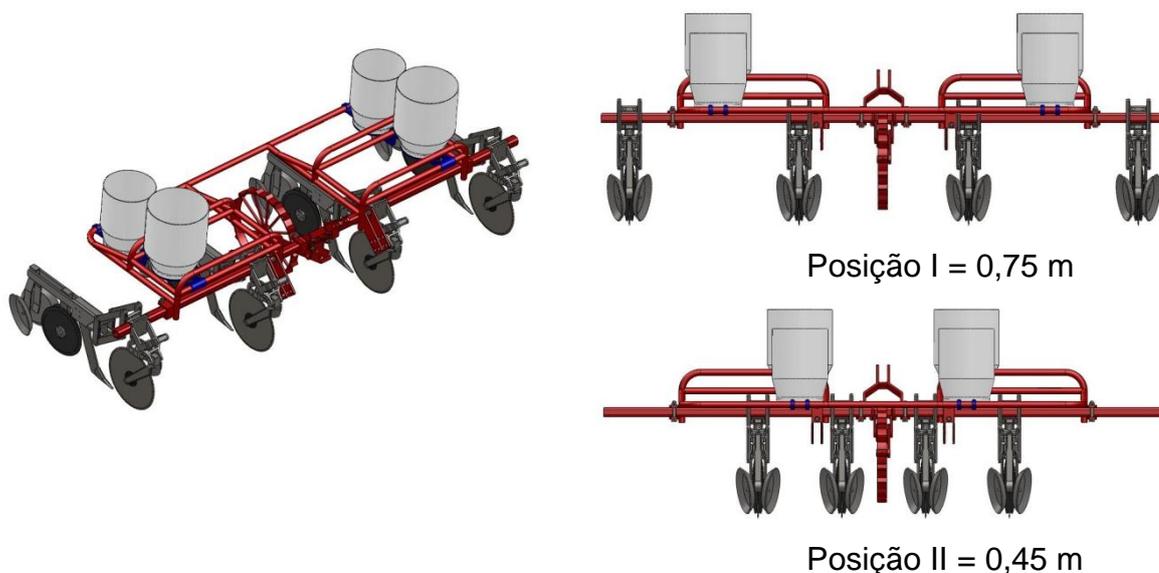


Figura 32 – Vistas Isométrica e posteriores da concepção 1.

Na Figura 33, encontra-se o **chassi da concepção 2** desenvolvido para que os reservatórios de adubo e sementes possam ser deslocados em torno de um eixo vertical, posicionando-se entre duas linhas. O sistema funciona como se fosse uma dobradiça em que o movimento é um meio círculo, facilitando a regulação nas diferentes distâncias entre linhas de 0,45 m a 0,75 m.

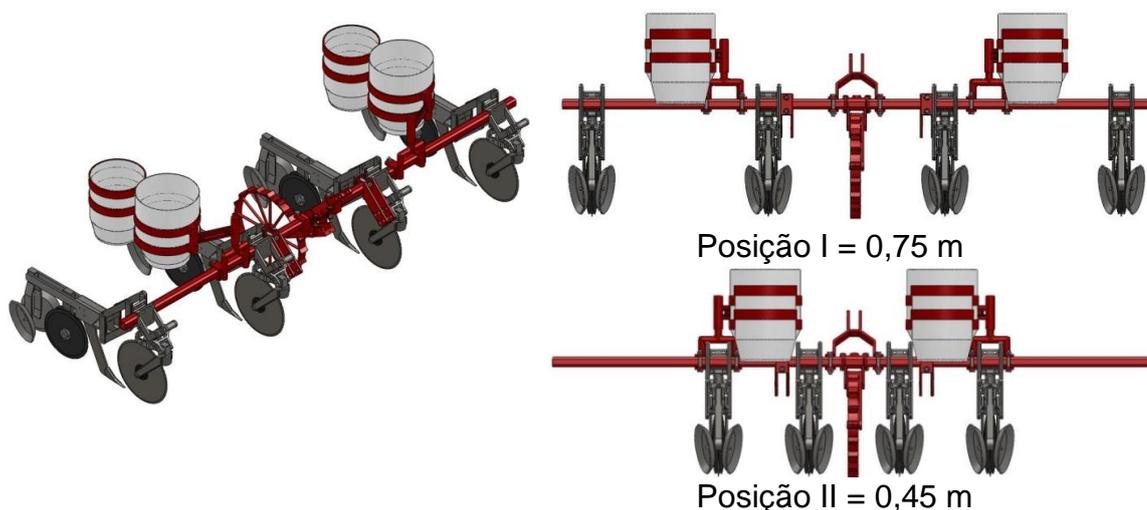


Figura 33 – Vistas Isométrica e posteriores da concepção 2.

Na Figura 34, está o **chassi da concepção 3** que foi desenvolvido para que os reservatórios de adubo e sementes venham a ser colocados somente em duas posições. São fixados por duas barras laterais para manter os reservatórios alinhados no centro de duas linhas. O sistema é de encaixe permitindo duas distâncias entre linhas de 0,45 m e de 0,75 m.

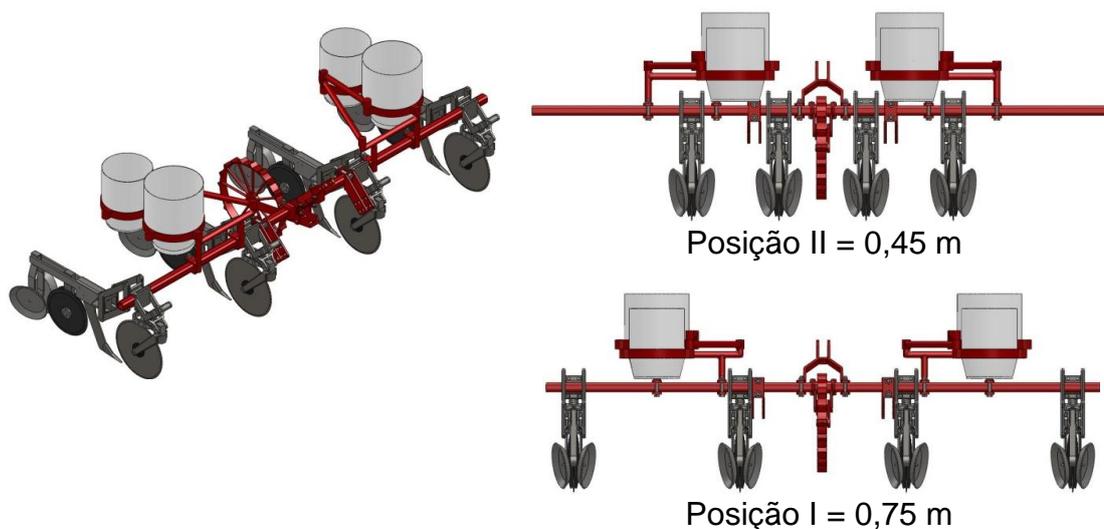


Figura 34 – Vistas Isométrica e posteriores da concepção 3.

#### 4.10 Seleção das concepções

Para a seleção das concepções, inicialmente se utilizou a técnica do Julgamento da viabilidade, que se baseia na experiência dos membros da equipe de projeto, definindo se as soluções se enquadram como, *viável*, não viável ou condicionalmente viável. No quadro 1 estão os resultados da aplicação desta técnica.

QUADRO 1 – Resultado da aplicação da técnica do *Julgamento da Viabilidade* às três concepções.

CONCEPÇÃO	VIÁVEL	Condicionalmente VIÁVEL	NÃO VIÁVEL	OBSERVAÇÕES
1	x			
2		X		Resolver problemas de fadiga no eixo articulado.
3		X		Resolver problemas de vibração no suporte de encaixe e precisão de deposição de sementes.

Por meio do quadro acima se verificou que todas as concepções são possíveis de fabricação, visto que nenhuma delas foi considerada **não viável**. As concepções que foram consideradas **condicionalmente viáveis** poderão sofrer modificações de projeto para se tornarem **viáveis**.

Na **concepção 2**, deverá se resolver o problema de geração de um peso de mais ou menos 125 kgf em balanço sobre o mancal que sustentará os reservatórios e os dosadores de adubo e sementes, além de se dimensionar adequadamente o eixo do mancal para suportar este peso, o qual deverá resistir ao movimento dinâmico que o solo irregular produzirá no sistema de fixação (fadiga no eixo). Esta vibração, proveniente do solo irregular de uma lavoura e a provável perda da precisão na deposição de sementes, e o aumento da distância entre os elementos da transmissão aos dosadores, são problemas a serem resolvidos.

Na **concepção 3** deverá ser resolvido o problema dos espaçamentos fixos (apenas 0,45m e 0,75m) e também os mesmos problemas de rigidez da **concepção 2**.

Como o julgamento da viabilidade não definiu qual das concepções foi a melhor, tornou-se necessário aplicar a técnica de avaliação da **Disponibilidade de tecnologia**.

Na avaliação da **Disponibilidade de tecnologia** para escolher uma das concepções, foram elaboradas oito perguntas, de forma que a resposta sim tenha conotação positiva e uma resposta não, conotação negativa no âmbito da avaliação.

As perguntas foram:

- 1) A tecnologia pode ser produzida através de processos conhecidos?
- 2) Os componentes podem ser desenvolvidos sem o uso de tecnologia complexas ou pouco conhecida?
- 3) A concepção pode ser produzida com materiais de uso comum?
- 4) A concepção pode ser projetada e produzida sem a necessidade de desenvolvimento de tecnologia específica?
- 5) Os princípios físicos empregados na concepção encontram-se plenamente entendidos?
- 6) Os parâmetros funcionais críticos são conhecidos?
- 7) A sensibilidade dos parâmetros operacionais é conhecida?
- 8) Os modos de falha são conhecidos ou facilmente identificáveis?

A equipe de projeto respondeu estas perguntas e os resultados da avaliação da disponibilidade de tecnologia são apresentados no QUADRO 2.

QUADRO 2 – Resultado da aplicação da técnica da *disponibilidade de tecnologia* às três concepções restantes.

CONCEPÇÃO	RESPOSTAS								RESULTADO FINAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>1</b>	S	S	S	S	S	S	S	S	Sim
<b>2</b>	S	S	S	N	S	S	N	S	Sim
<b>3</b>	S	S	S	S	S	S	S	S	Sim

Com estes dados definiu-se que as concepções são possíveis de fabricação, visto que todas elas possuem disponibilidade de tecnologia. Mesmo que a **concepção 2** apresente problemas no sistema de fixação como vibração, travamento do movimento lateral, provável perda de precisão na deposição de sementes, fadiga no eixo articulado, estes são problemas que podem ser resolvidos, segundo a equipe de projeto.

Como o julgamento da disponibilidade técnica não definiu qual das concepções é a melhor, tornou-se necessário aplicar a técnica do **Exame passa/não passa** que é baseado nas necessidades dos clientes.

Foram elaboradas 9 questões baseadas nas necessidades dos clientes e que se relacionam com o chassi da semeadora:

- 1 – A concepção é a que tem baixo custo?
- 2 – A concepção é a que tem baixo peso?
- 3 – A concepção vai apresentar boa durabilidade?
- 4 – Devido à altura dos reservatórios de sementes nas distâncias entre linhas de 0,75 m a concepção vai ter precisão na deposição de sementes?
- 5 – Com a disposição dos reservatórios, a concepção vai ser fácil de reabastecer?
- 6 – A concepção é segura ao operador?
- 7 – A concepção é fácil de montar?
- 8 – A concepção é de fabricação simples?
- 9 – A concepção é fácil de regular?

A equipe de projeto respondeu estas perguntas e os resultados da aplicação da técnica do *Exame Passa /Não Passa*, para decidir qual das concepções é a melhor, são apresentados no QUADRO 3 abaixo.

QUADRO 3 – Resultados da aplicação da técnica do *Exame Passa (p)/Não Passa(np)* às concepções.

CONCEPÇÃO	RESPOSTAS									RESULTADO FINAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	p	p	p	p	p	p	p	np	p	p
2	p	p	np	p	p	p	p	p	p	p
3	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p

Os participantes da aplicação da técnica do *Exame Passa (p)/Não Passa(np)*, apontaram para a **concepção 1** que a mesma não seria de fabricação simples em virtude das dobras dos tubos não terem precisão para execução de peças iguais, podendo gerar erros construtivos.

Na **concepção 2** o chassi foi considerado não durável, porque o mesmo sofreria fadiga no eixo vertical quando estivesse em uso no campo.

Como resultado final da aplicação da técnica do *Exame Passa (p)/Não Passa(np)*, ficou definido que todas as concepções passaram. Como se tem a necessidade de se definir somente uma das concepções foi aplicado à técnica da **Matriz de Avaliação**.

Na tabela 6 são apresentados os resultados da **Matriz de avaliação** às três concepções.

TABELA 6 – Resultados da aplicação da **Matriz de avaliação** às três concepções.

CRITÉRIOS TÉCNICOS (REQUISITOS DOS CLIENTES)	Peso relativo do requisito (QFD)	CONCEPÇÕES		
		1 (referência)	2	3
Ter baixo custo	9	0	+1	+1
Ter baixo peso	5	0	0	0
Ter boa durabilidade	8	0	-2	-1
Ser precisa na deposição de sementes	10	0	-1	0
Fácil de reabastecer	2	0	0	0
Ser eficaz no corte da palha	7	0	0	0
Ser seguro ao operador	7	0	0	0
Ser fácil de montar	2	0	+2	+1
Ser bonito	1	0	0	0
Ser fácil de acoplar	2	0	0	0
Ter peças padronizadas	6	0	0	0
Ser de simples manutenção	5	0	-1	-1
Ter processo de fabricação simples	4	0	+1	+2
Ser fácil de operar	5	0	0	0
Ser fácil de regular	6	0	-1	-2
Ser resistente ao desgaste nos sulcadores	3	0	0	0
Ser fácil de transportar	1	0	0	0
Ter menor número de abastecimento	3	0	0	0
Ter visibilidade da quantidade de semente e adubo nos depósitos	1	0	0	0
TOTAL		0	-20	-6

Obs.: +2, quando o critério é atendido muito melhor que a referência;  
+1, quando o critério é atendido melhor que a referência;  
0, quando o critério é atendido tão bem quanto a referência;  
-1, quando o critério não é atendido tão bem quanto à referência;  
-2, quando o critério é atendido muito pior que a referência.

Conforme se pode observar na TABELA 6, a **concepção 2** obteve uma pontuação total inferior à referência (-20). Esse resultado deve-se, principalmente, a possibilidade de quebra por fadiga dos suportes dos adubos e sementes em virtude da vibração dos mesmos durante o trabalho, que pode prejudicar o processo de deposição de sementes, comprometendo a manutenção e a regulagem do equipamento.

A **concepção 3** também obteve uma pontuação total inferior à referência (-6). Esse resultado deve-se a uma possível vibração dos reservatórios de sementes durante o trabalho, comprometendo a dosagem de sementes. Nessa concepção os reservatórios de adubo e sementes são colocados somente em duas posições fixas a de 0,45 m e a de 0,75 m e conectadas por duas barras laterais para manter os reservatórios alinhados no centro de duas linhas de plantio. Também o operador deverá levantar os reservatórios para encaixá-los na posição enquanto que as outras duas concepções, a I e a II, podem ter qualquer medida entre 0,45 m a 0,75 m, e o deslocamento dos reservatórios para as regulagens de distância é feita sem o operador levantar os reservatórios. Portanto a **concepção 1**, referência, foi a escolhida, porém foram sugeridas, pela equipe de projeto, algumas modificações a ser feitas para facilitar a fabricação do chassi, como por exemplo:

- Evitar as dobras, porque se perde a precisão dimensional e há uma dificuldade na repetição de outra peça igual, tornando necessário se montar gabaritos de montagem para a fabricação.

- A estrutura deverá ser travada lateralmente para se melhorar a resistência.

Portanto a **Concepção 1**, que foi a escolhida ainda deverá evoluir no sentido de ter sua construção simplificada.

#### 4.11 Evolução da concepção 1

Para essa concepção (Fig. 32) foram sugeridas algumas mudanças, a fim de facilitar a fabricação do chassi. Também foi considerado que o chassi, nessa idéia inicial, não apresentava travamento de movimento lateral, comprometendo a sua resistência quando sob o efeito de cargas transversais à direção do deslocamento.

Na figura 35, têm-se as modificações sugeridas pela equipe de projeto e um aumento lateral dos tubos onde os reservatórios podem deslizar lateralmente posicionando-se no centro das linhas.

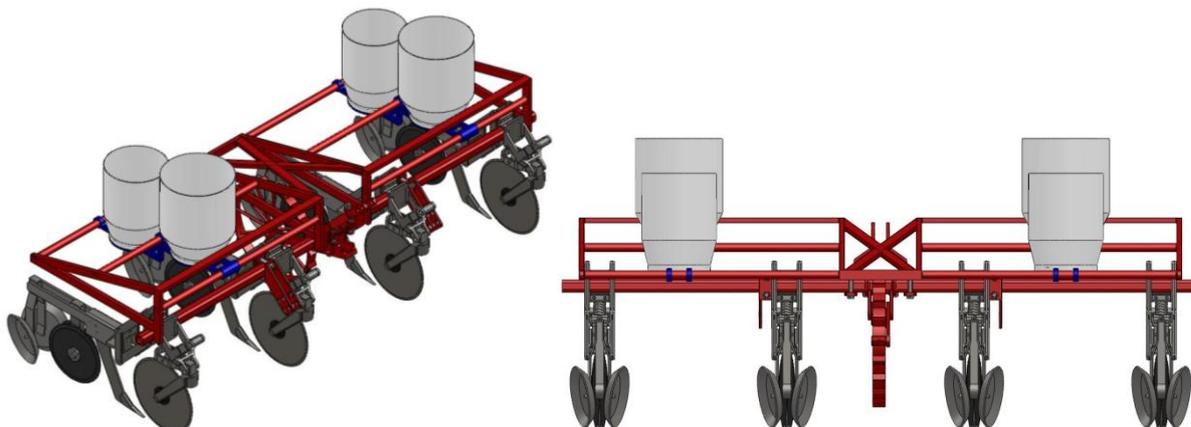


Figura 35 – Vista Isométrica e posterior da Concepção 1 - Etapa II.

O aumento lateral foi executado para facilitar a regulação das linhas e para evitar obstáculos no seu deslocamento. Ou seja, o operador na hora de mudar as distâncias entre as linhas de plantio (0,45 m até 0,75 m) só necessita afrouxar os parafusos da linha e deslizá-la para a posição correta, sem a necessidade de retirá-la e recolocá-la em outra posição.

O engate superior poderá ser soldado ao invés de aparafusado em virtude de não haver necessidade de trocar de posição, tornando-se mais rígido do que se fosse aparafusado. Os engates inferiores são aparafusados para se ter a possibilidade de se posicionar melhor as quatro linhas da semeadora, já que as mesmas poderão variar de 0,45 m até 0,75 m.

Após definido o dimensional externo do chassi fez-se uma pesquisa de materiais com fornecedores de aço para a definição aproximada dos perfis. O aço escolhido foi o SAE 1010 ou SAE 1020, pela sua maior soldabilidade e facilidade de se encontrar no mercado. Com isso foi feito um desenho através do *software* Solidworks Simulation, através do qual se executaram os cálculos que possibilitaram determinar os perfis mais adequados, em função dos esforços que o chassi será submetido.

#### 4.12 – Dimensionamento do chassi

Definiram-se as forças e carregamentos a que o chassi estaria submetido quando em trabalho em uma lavoura, que foram:

- A distribuição de carga referente ao peso do reservatório de adubo cheio (50 kgf) mais o peso do dosador de adubo (25 kgf) num total de 75 kgf (736 N), posicionado no centro dos tubos **b** e **c**. E o peso do reservatório de sementes cheio

(25 kgf) mais o peso do dosador de sementes (25 kgf) num total de 50 kgf (491 N), posicionado no centro dos tubos **a** e **b** (figura 36).

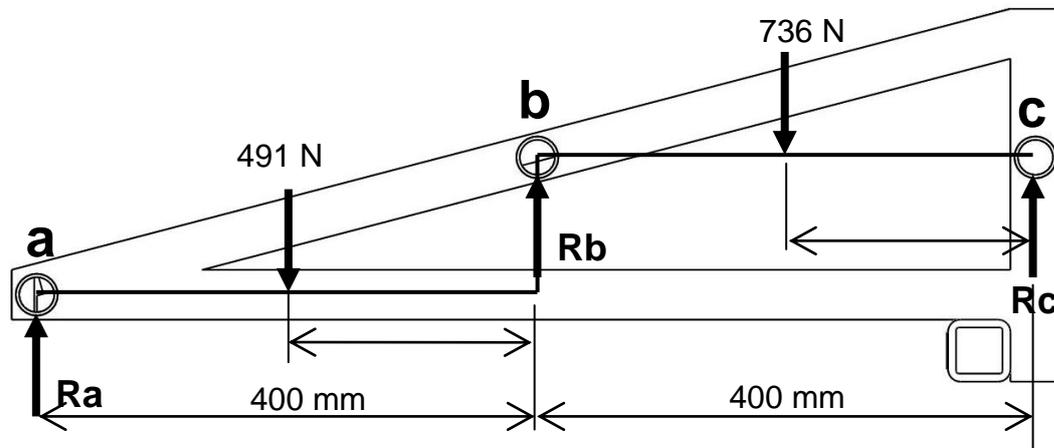
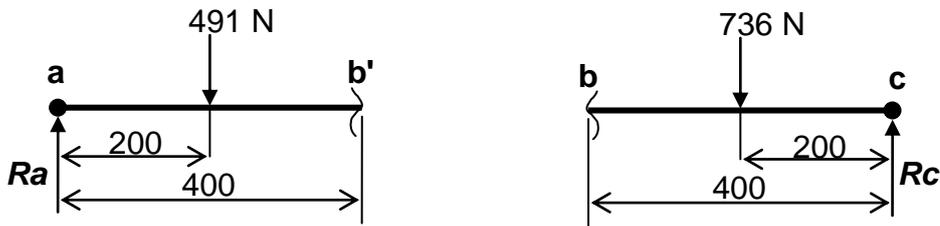


Figura 36 – Esquema de forças atuantes nos tubo a, b e c.

Posteriormente foram calculadas as reações nos pontos a, b e c, tendo-se então  $R_a$ ,  $R_b$  e  $R_c$ . Segundo o método das seções, pode-se separar o trecho em dois “ab” e “bc”, ficando:



$$\sum M_{b'} = 0 \quad (4.1)$$

$$491 \times 200 - R_a \times 400 = 0 \rightarrow R_a = 245 \text{ N}$$

$$\sum M_b = 0$$

$$736 \times 200 - R_c \times 400 = 0 \rightarrow R_c = 368 \text{ N}$$

$$\text{Se } \sum F_y = 0 \quad (4.2)$$

Então:

$$R_a + R_b + R_c - 1226 = 0 \rightarrow R_b = 613 \text{ N}$$

Na determinação da distância máxima entre as linhas de plantio, levou-se em consideração trabalhos comprovando o aumento da produtividade na semeadura do milho com a diminuição dos espaçamentos entre linhas e o aumento da densidade populacional por hectare, assim, a distância máxima entre linhas foi determinada em 0,75 m para o projeto do chassi da semeadora-adubadora para tratores de baixa potência.

A medida da largura do chassi foi calculada, usando-se a distância máxima entre linhas e multiplicando-se pelo número dos espaços entre as linhas mais 0,3 m. Com isso se definiu a largura do chassi para 2,55 m.

No peso de cada linha considerou-se o valor de no máximo 70 kgf, sendo quatro linhas, tem-se 280 kgf distribuídos no eixo tubular de secção quadrada, nas distâncias máximas de 0,75 m entre linhas.

Para efeito de cálculo do chassi e devido à complexidade da linha de plantio, foi criado um “dispositivo teórico” para suportar as forças. Este dispositivo teórico possui o peso da linha (70 kgf) estando localizado na ponta do sulcador, onde são aplicadas as forças horizontais e forças verticais, que são as forças de reação entre o solo e o sulcador. Para facilitar o entendimento elaborou-se a figura 37, a qual vem a ser a representação gráfica do dispositivo teórico, que de agora em diante será chamado de **linha equivalente**, substituindo a linha de plantio completa no cálculo.

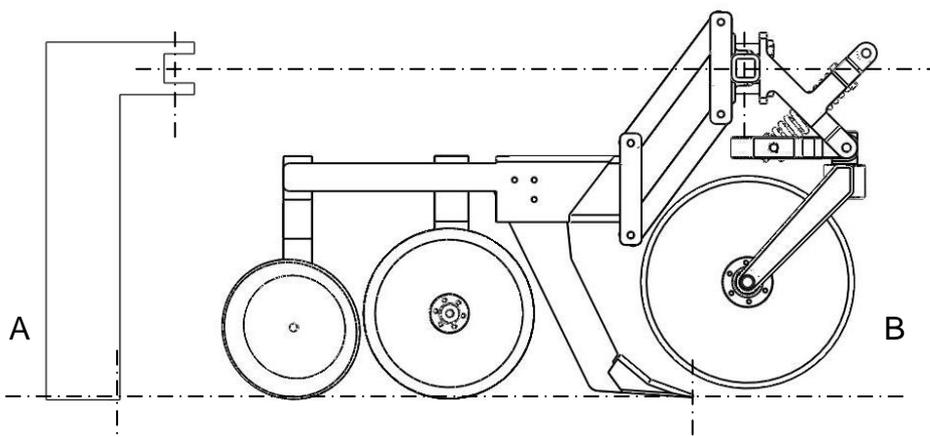


Figura 37 – Vista lateral da **linha equivalente** (A) e da linha de plantio completa (B).

Na definição das forças atuantes no sulcador foram utilizados os dados obtidos por TRÖGER (2010) e ESPÍRITO SANTO (2005).

Observando-se os resultados apresentados por esses autores, verifica-se que existe uma grande variação nas forças horizontais e verticais. Segundo TRÖGER (2010), que pesquisou seis diferentes tipos de sulcadores, se tem uma força horizontal mínima de 1.034 N e uma máxima de 1.755 N, para a força vertical o valor mínimo obtido foi de 477 N e o máximo de 845 N.

Segundo ESPÍRITO SANTO (2005), os valores da força horizontal numa ponteira sulcadora de adubo variou de 1.683 N para a ponteira nova e 2.500 N, na

ponteira com 46% de desgaste. Já a força vertical mínima foi de 990 N e máxima encontrada de 1.101 N.

Considerando que no dimensionamento do chassi, este deverá suportar a pior hipótese de carga, portanto definiu-se a força horizontal como sendo de 2.500 N e a força vertical de 990 N.

Assim definiu-se o valor e posicionamento das forças que atuam sobre o chassi, as quais se encontram esquematizadas na figura 38.

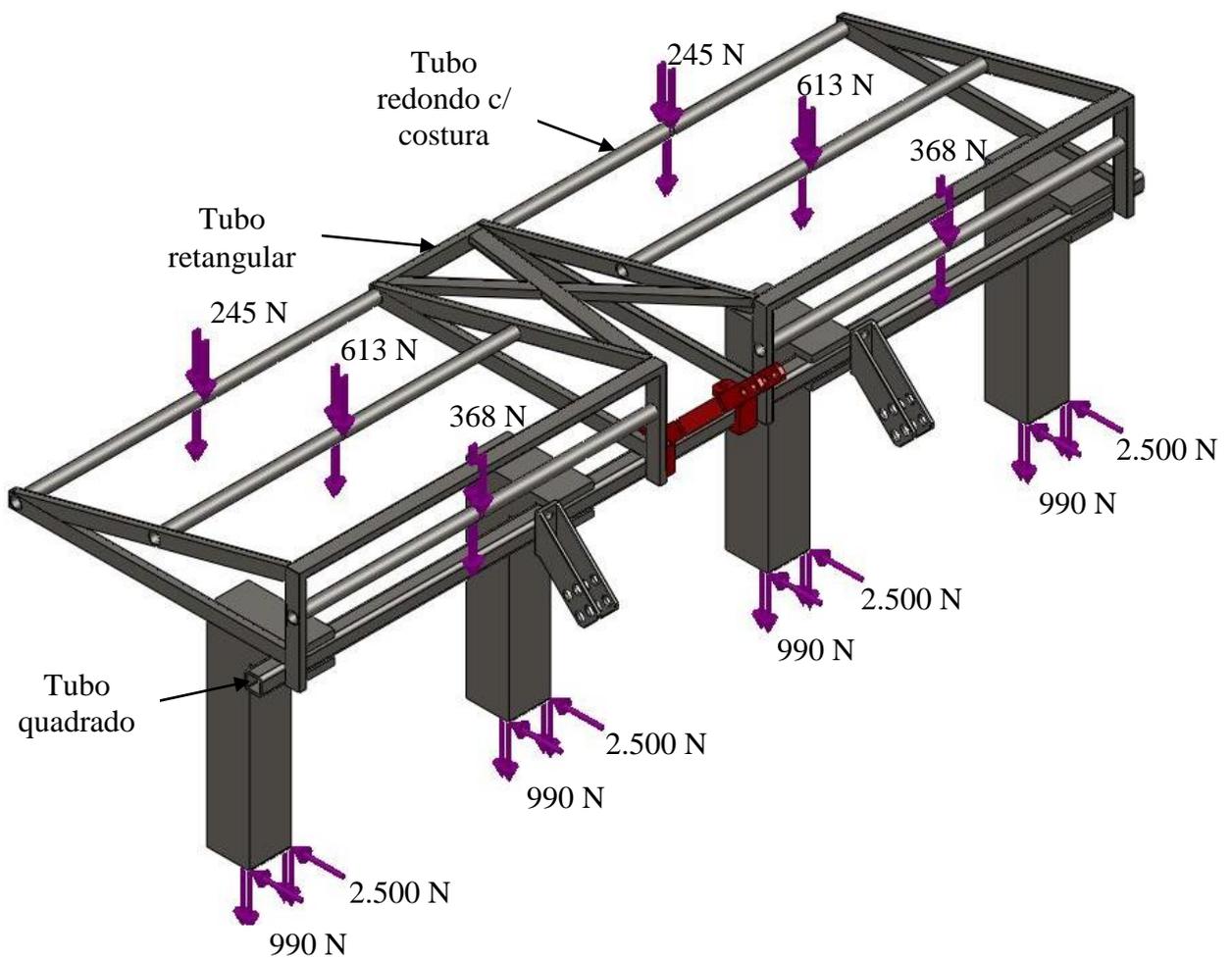


Figura 38 – Posicionamentos das cargas no chassi da semeadora–adubadora

Este foi o primeiro modelo matemático utilizado para o cálculo.

#### 4.12.1 – Especificações dos perfis utilizados.

O material selecionado para utilização na confecção do chassi foi o aço SAE 1010 laminado a quente, com limite de escoamento de 180 MPa, que é o material mais comum e fácil de encontrar. Para as linhas equivalentes optou-se pelo o aço SAE 1045, que apresenta limite de escoamento de 530 MPa, sendo quase três vezes mais resistente que o aço SAE 1010, isso porque as linhas equivalentes terão a função de transmitir os esforços, substituindo as linhas de plantio, que não fazem parte do chassi.

Na escolha do material levaram-se em consideração dois requisitos:

Facilidade de aquisição e soldagem dos perfis. Levando em conta estas premissas escolheram-se os seguintes perfis para a confecção do chassi.

- Tubo quadrado com secção 50 x 50 mm e espessura de 8 mm.
- Tubo retangular com secção de 40 x 20 mm e espessura de 2 mm.
- Tubo redondo com costura, apresentando diâmetro externo de 33,7 mm e espessura de 2,65 mm.

Para os engates inferiores e engate superior, optou-se pelo mesmo material utilizado nas semeadoras existentes no mercado, sendo estes respectivamente:

- Barra chata com secção de 76,2 x 12,7 mm
- Barra chata com secção de 50,8 x 12,7 mm

#### 4.12.2 Modelo de cálculo estrutural pelo método de elementos finitos

Na figura 39, tem-se a configuração da primeira análise realizada por elementos sólidos e executada no *software* SolidWorks Simulation.

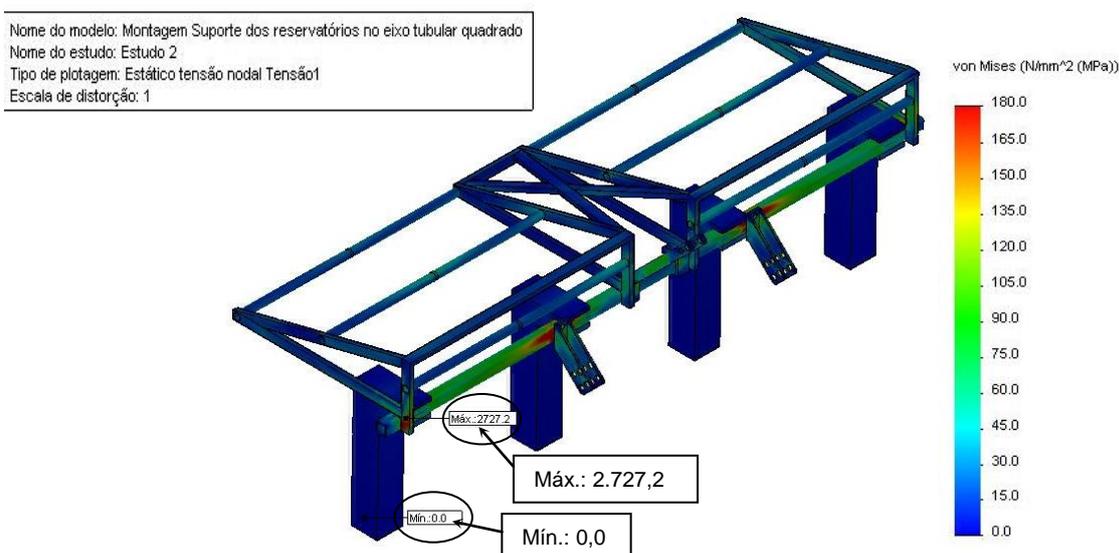


Figura 39 – Elementos sólidos – 1ª análise.

Por meio desta análise encontrou-se uma tensão máxima de 2.727 MPa, bem superior ao limite de escoamento do material, o qual é de 180 MPa. Desta forma evidenciou-se a necessidade de se mudar o projeto no que se refere as laterais do chassi, acrescentando-se mais um reforço inferior. Também foi necessário pesquisar junto aos fabricantes um eixo tubular quadrado maior optando-se por um com secção de 70 x 70 mm e espessura de 10 mm.

Desta forma com a mudança do tubo quadrado se realizou um novo cálculo, segunda análise, a qual é apresentada na figura 40.

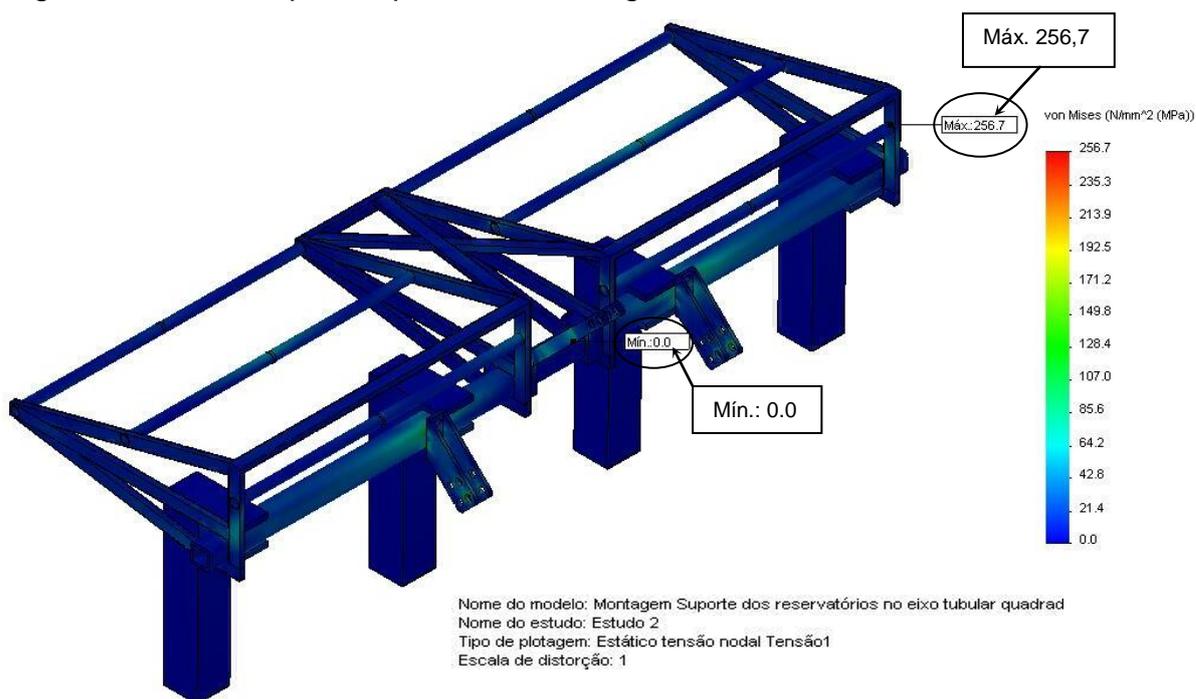


Figura 40 – Elementos sólidos – 2ª análise.

Analisando-se esta figura, verifica-se uma tensão concentrada de 256,7 MPa, a qual está acima da tensão de escoamento de 180 MPa do aço SAE 1010. Antes de se modificar qualquer parte da estrutura, foram considerados na estrutura alguns raios de arredondamento dos perfis, onde estas tensões tinham uma concentração, vindo a ser esta a terceira análise. Com isso recalculou-se novamente a estrutura obtendo-se uma melhoria na tensão concentrada, a qual ficou em torno 156,4 MPa (figura 41).

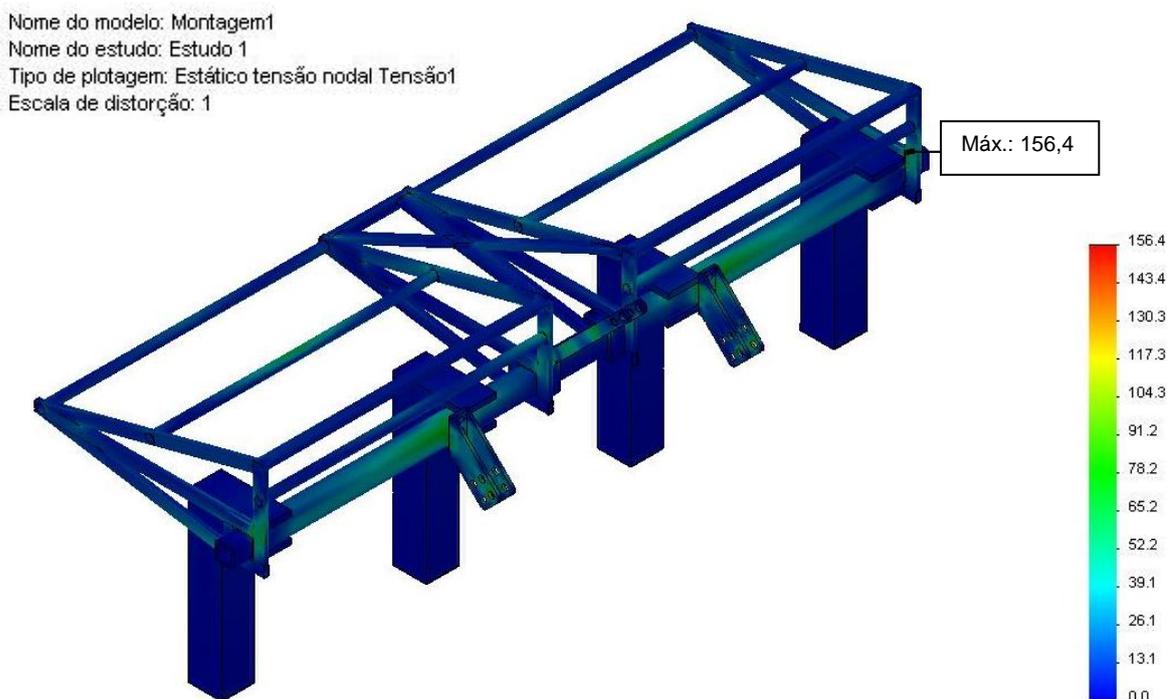


Figura 41 – Elementos sólidos – 3ª análise.

Para verificar a precisão do cálculo, a estrutura foi analisada utilizando elementos de viga nos pontos onde se tem os tubos e os perfis retangulares, ou seja, no suporte dos reservatórios e elementos sólidos no tubo quadrado, no engate superior, nos engates inferiores e nas linhas equivalentes. Também para esse estudo considerou-se que o engate superior não mais encontrava-se aparafusado e sim soldado, mudando sua geometria (sem deixar de observar o que estabelece a norma NBR ISO 730-1, que trata da geometria do engate de três pontos do trator). Assim, o mesmo não mudou de lugar durante as regulagens de distância entre as linhas de plantio. Também a união soldada possui um custo de confecção inferior ao da união aparafusada. Já os engates inferiores, aparafusados, foram posicionados em uma distância entre centros de 0,56 m.

Na figura 42 apresentam-se as mudanças executadas no chassi para facilitar a fabricação do mesmo. O tubo retangular, posicionado na parte posterior do chassi, foi substituído pelo tubo redondo com costura, originando uma única peça.

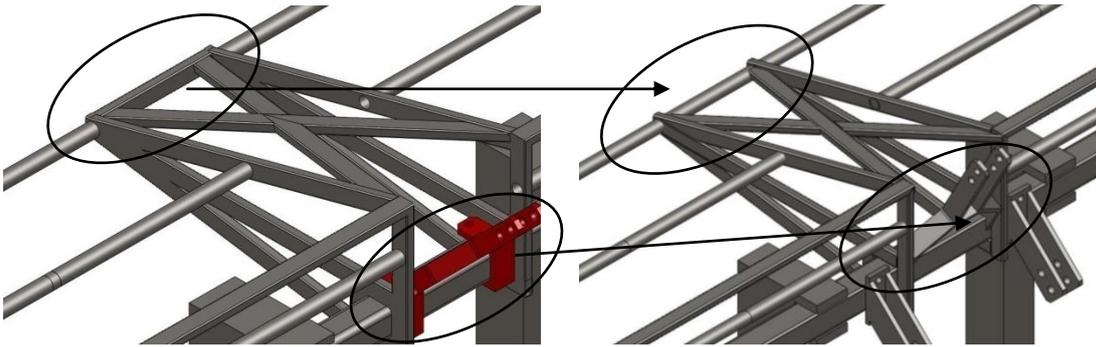


Figura 42 – Modificações no chassi, antes (esquerda) depois (direita).

Na figura 43 apresenta-se a distribuição das tensões na estrutura, utilizando elementos de viga e elementos sólidos para o cálculo feito pelo *software* SolidWorks Simulation.

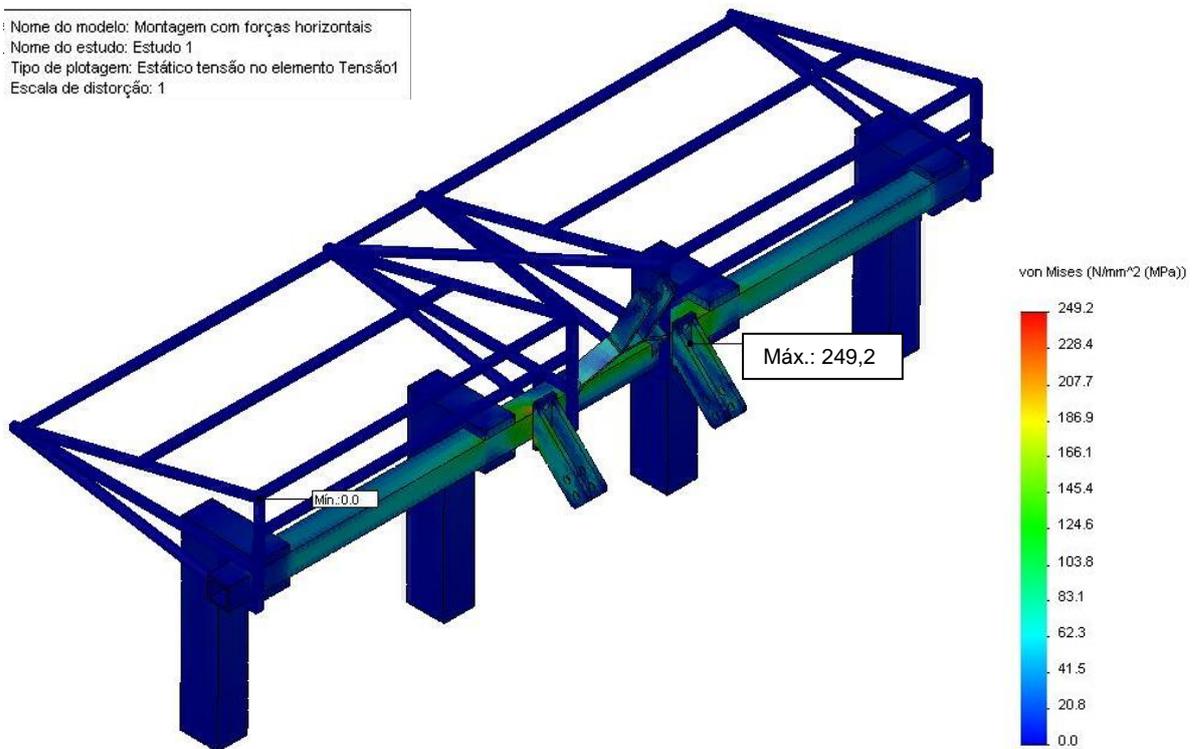


Figura 43 – Análise por elementos de viga e elementos sólidos – 1<sup>o</sup> estudo.

Verifica-se que ocorreu um aumento de tensão no tubo quadrado em virtude do mesmo ter sido construído por duas cantoneiras soldadas e o modelo possuir cantos vivos, havendo concentração de tensão nestes locais. Na prática o tubo quadrado possui dois cantos vivos e dois cantos arredondados pela solda, porém os cantos vivos são externos, pois internamente possuem formato arredondado, como se observa na figura 44. O tubo quadrado foi construído porque não se encontra no mercado um tubo com as dimensões de 70 x 70 mm e espessura de 10 mm, não

fazem parte de nenhum catálogo de fabricante de tubos. Mas são tubos que normalmente aparecem em máquinas agrícolas comerciais.

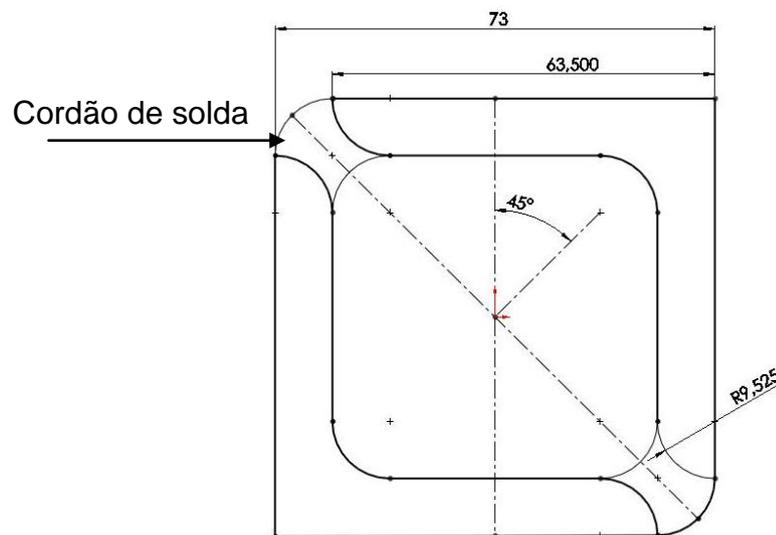


Figura 44 – Configuração da secção do tubo quadrado.

Realizou-se, portanto um segundo estudo, onde se modificou o canto vivo do eixo tubular quadrado, assim verificou-se que as tensões concentradas encontradas anteriormente de 249,2 MPa diminuiram para 227,0 MPa (figuras 45 e 46).

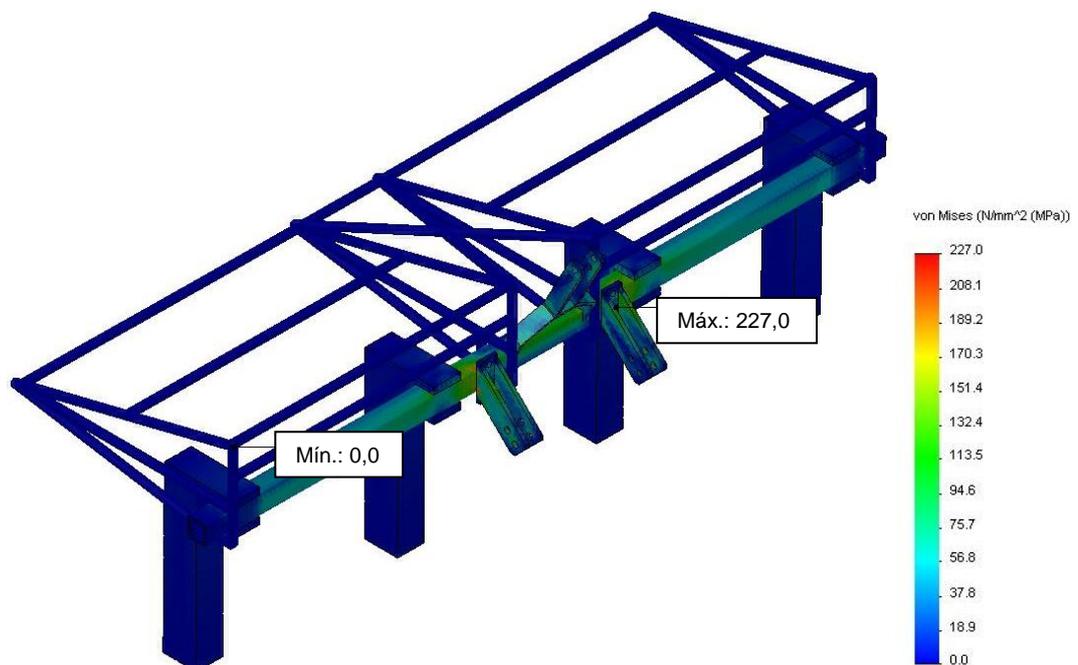


Figura 45 – Análise por elementos de viga e elementos sólidos – 2<sup>o</sup> estudo

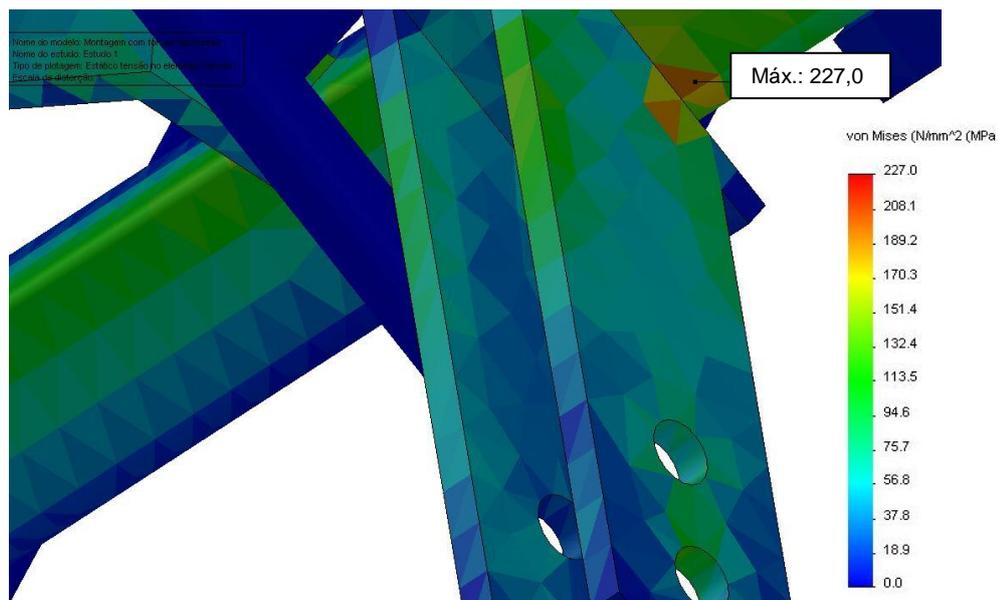


Figura 46 – Ampliação da área de concentração de tensão.

Considerando que as cantoneiras são produzidas com aço de baixo carbono, de acordo com a norma ASTM A36 (*American Society for Testing and Materials*), com limite de escoamento de 250 MPa, o tubo quadrado está dimensionado, ficando com um fator de segurança mínimo em torno de 1,1 para a pequena região mostrada na figura 46, mas considerando-se que nesse ponto é só uma concentração de tensão devido aos cantos vivos então a região onde as tensões estão em torno de 170 MPa é onde o coeficiente de segurança é de 1,5 e assim por diante. O coeficiente de segurança é variável em função do valor das tensões ao longo do chassi.

Como descrito anteriormente utilizou-se no dimensionamento do chassi, dados obtidos por TRÖGER (2010) e ESPÍRITO SANTO (2005), para os valores máximos da força horizontal (2.500 N) e da força vertical (990 N) em ponteiras sulcadoras de adubo. Com estes valores, determinou-se um coeficiente de segurança, em função de uma consideração de forças acima do que se pode usar na realidade. Se forem usados sulcadores com as forças horizontais mínimas de 1.034 N e verticais mínimas de 477 N o coeficiente de segurança é de aproximadamente 2,5.

Após executados todos os dimensionamentos obteve-se um modelo de chassi o qual é apresentado na figura 47.

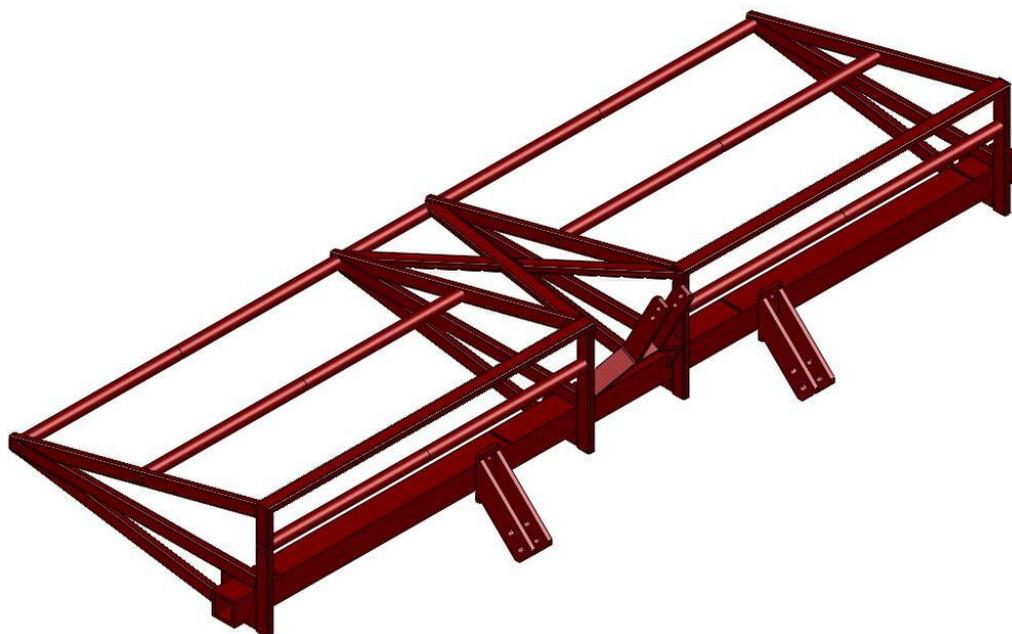


Figura 47 – Vista Isométrica do chassi.

Por meio desta concepção definiu-se o desenho final de cada peça montando-se o protótipo do chassi, o qual se visualiza na figura 48.



Figura 48 – Protótipo do chassi.

A fim de se verificar comparativamente as características do chassi proposto com o de máquinas comerciais, montou-se a tabela 7.

TABELA 7 – Comparações de concepções de semeadoras-adubadoras.

Especificações Técnicas	Fabricante I	Fabricante II	Fabricante III	Concepção proposta
Nº de linhas	2	2	2	4
Peso sementes	60 kg	75 kg	50 kg	50 kg
Nº reserv.sem.	2	1	2	2
Peso adubo	90 kg	150 kg	250 kg	100 kg
Nº reserv. adu.	2	1	1	2
Peso do chassi	-	-	140 kg	102 kg
Peso Máquina	635 kg	513 kg	590 kg	*460 kg
Peso Total	785 kg	738 kg	890 kg	*610 kg
Pot. min. trator	35 cv	45 cv	50 cv	30 cv

\* Estimativa de peso por meio da utilização do *software* SolidWorks.

Analisando inicialmente o número de linhas, temos como vantagem da concepção proposta o dobro de linhas em comparação com as dos fabricantes I, II e III. E a possibilidade de variar a distância entre as quatro linhas de 0,45 m a 0,75 m.

Em comparação com o chassi do Fabricante III, que pesa em torno de 140 kgf e o projeto aqui proposto que pesa aproximadamente 102 kgf, verifica-se uma redução de peso na ordem de 27%, isso considerando somente o peso do chassi.

Na comparação do peso total das semeadoras de três fabricantes diferentes, com a concepção proposta, verifica-se uma redução de 22% em relação ao Fabricante I, 17% em relação ao Fabricante II e 31% em relação ao Fabricante III, isso sem levar em conta que a concepção projetada vai comportar quatro linhas.

Essa redução de peso torna viável a utilização de trator de baixa potência e com o aumento do número de linhas, uma redução do tempo de plantio em aproximadamente 50%.

#### 4.13 Ensaios de carregamento do chassi em escala natural

Para o ensaio de carregamento do chassi, não foi possível executar o carregamento horizontal do protótipo em virtude de não se possuir uma estrutura física para se proceder ao ensaio. A soma das forças horizontais (em torno de 10.000 N) foi muito elevada para a estrutura de fixação (bloco de Ferro Fundido e mesa da máquina ferramenta ao qual foi fixado). Mas isso não invalida o teste do modelo, pois a comparação das medidas dos deslocamentos verticais da estrutura do chassi que foram calculadas e as medidas observadas pelos relógios comparadores devem validar o modelo matemático, se estas forem comparáveis.

O primeiro carregamento e descarregamento serviram para estabilizar a estrutura e retirar a folga entre os furos e pinos dos engates de três pontos. Portanto somente no segundo carregamento e descarregamento é que foram consideradas as medidas dos deslocamentos para posterior comparação com os deslocamentos calculados pelo *software* SolidWorks Simulation.

Para obterem-se as medidas dos deslocamentos verticais, posicionaram-se todas as forças verticais na estrutura do chassi, considerando-o com carga máxima e levantamento pelo sistema de engate de três pontos do trator. As posições numeradas de 1 a 3, utilizadas para a medida dos deslocamentos reais e para os deslocamentos calculados pelo *software* são mostradas na figura 49.

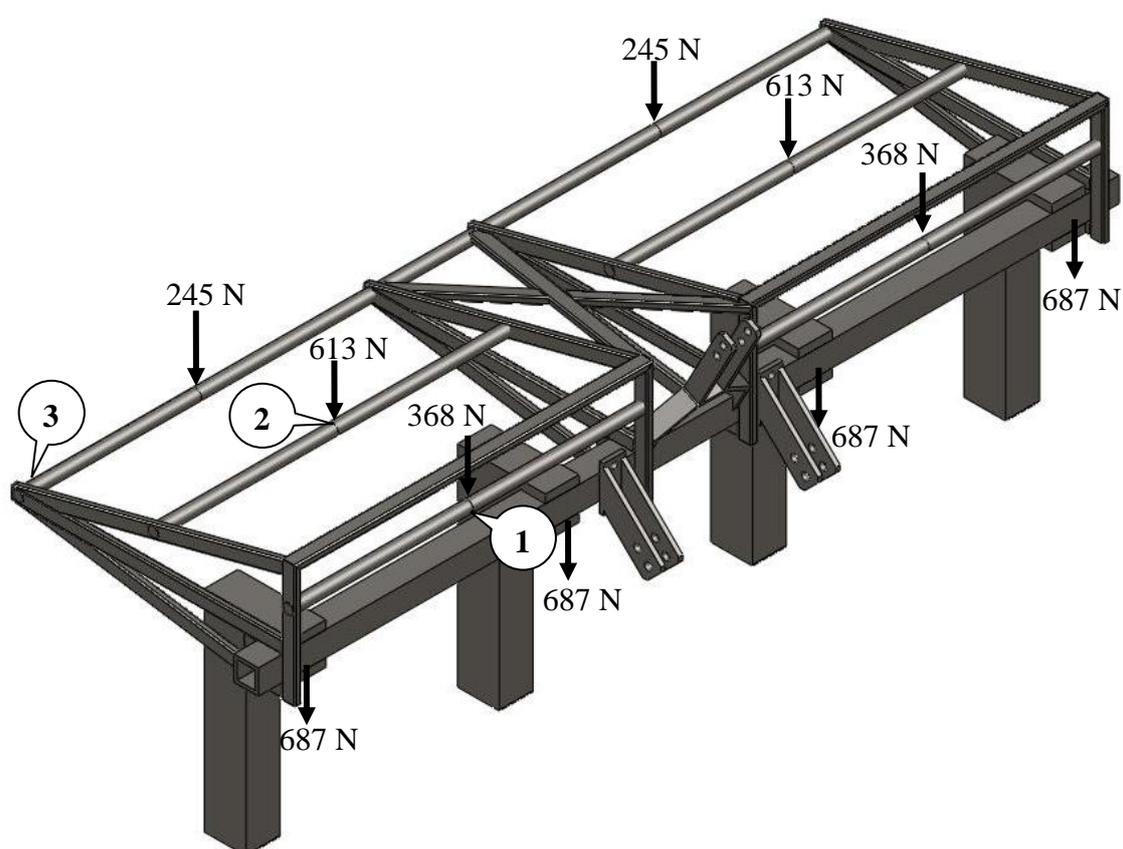


Figura 49 – Localização das cargas e deslocamentos nos ensaios de carregamentos no chassi – 1º modelo matemático.

Na tabela 8, encontram-se os resultados dos deslocamentos na ordem de execução de cada carregamento. Os resultados de cada posição medida de deslocamento real foram comparados com os resultados calculados e evidenciados pelo *software* nas posições de maior deslocamento para a carga correspondente. Os

resultados calculados pelo software que **não** aparecem nas tabelas 8 e 9, não são os valores máximos calculados.

Tabela 8 – Medidas de deslocamentos do chassi, calculado e real – *carregamento*.

Carga (N)	Deslocamento (mm)		Diferença	
	Medido	Calculado	(mm)	(%)
Posição 1				
736	0,56	0,54	+0,02	+4
3484	1,09	-	-	-
4710	1,38	-	-	-
5200	2,45	-	-	-
Posição 2				
736	0,17	-	-	-
3484	1,10	-	-	-
4710	3,27	2,69	+0,58	+18
5200	3,85	-	-	-
Posição 3				
736	0,30	-	-	-
3484	2,14	1,72	+0,42	+20
4710	3,35	-	-	-
5200	4,75	3,19	+1,56	+33

Como se pode verificar na tabela 8, somente no carregamento de 736 N, o deslocamento calculado foi compatível com o deslocamento real medido.

As medidas de deslocamento reais e calculadas referentes ao descarregamento da estrutura, bem como suas diferenças em milímetros e percentualmente encontram-se estabelecidas na tabela 9.

Tabela 9 – Medidas de deslocamentos do chassi, calculado e real – *descarregamento*.

Carga (N)	Deslocamento (mm)		Diferença	
	Medido	Calculado	(mm)	(%)
Posição 1				
5200	2,45	-	-	-
4710	1,38	-	-	-
3484	1,15	-	-	-
736	0,63	0,54	+0,09	+14
0	0,02	0	0,02	-
Posição 2				
5200	3,85	-	-	-
4710	3,37	2,69	+0,68	+20
3484	1,28	-	-	-
736	0,59	-	-	-
0	0,09	0	0,09	-
Posição 3				
5200	4,75	3,19	+1,56	+33
4710	3,97	-	-	-
3484	2,30	1,72	+0,58	+25
736	0,67	-	-	-
0	0,19	0	0,19	-

Verifica-se, portanto que, os valores dos deslocamentos onde o carregamento é baixo, ou seja, zero N e 736 N, os deslocamentos são aproximadamente compatíveis. Como o restante das diferenças (valores de deslocamentos reais medidos menos os valores calculados pelo *software*) são maiores do que 26% chegando a 35% houve a necessidade de verificar e refazer o modelo matemático usado.

No modelo matemático inicial, não se levou em conta os deslocamentos dos suportes dos três engates do chassi, como os mesmos não são suficientemente rígidos, causaram um deslocamento adicional na estrutura, que foi verificado por um relógio comparador colocado no suporte do engate superior. Portanto, houve a necessidade de incluir os três suportes de fixação dos engates do chassi no segundo modelo matemático (figura 50).

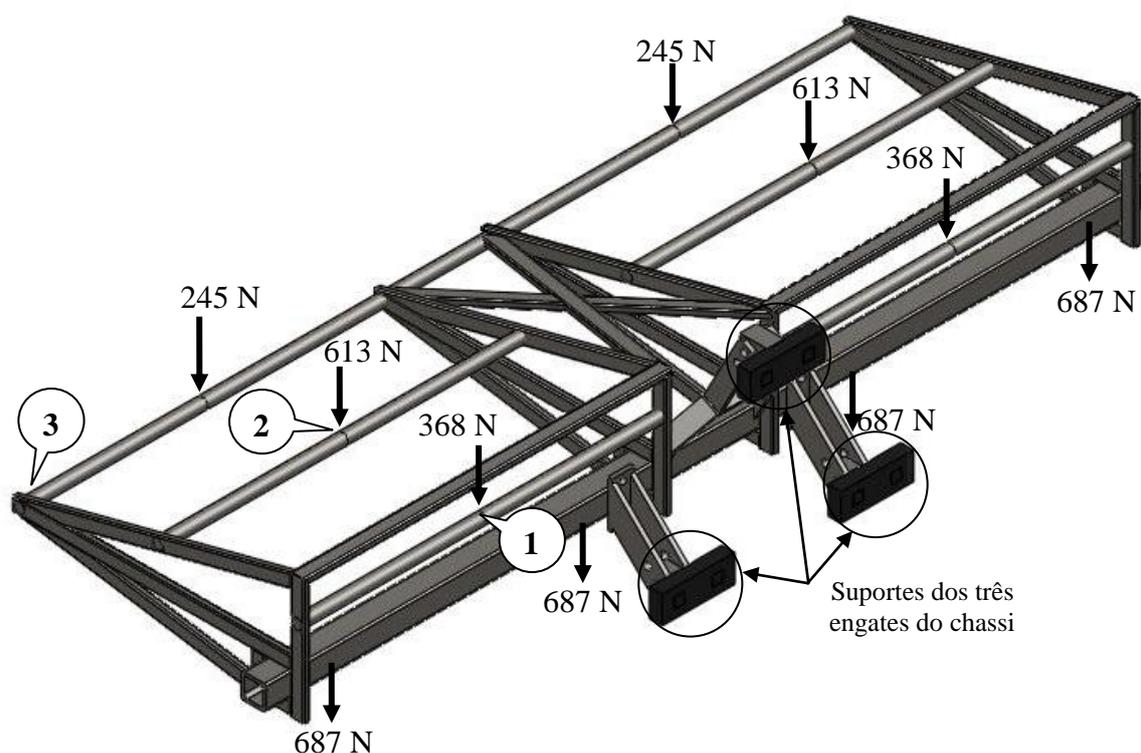


Figura 50 – Localização das cargas e deslocamentos nos ensaios de carregamentos no chassi – 2º modelo matemático.

Para o segundo modelo matemático, onde foram incluídos os suportes dos três engates do chassi, foram recalculados novamente pelo *software* os deslocamentos verticais nas mesmas posições 1, 2 e 3.

Na tabela 10, temos as comparações entre as medidas reais feitas com relógios comparadores e as medidas calculadas pelo *software*, para o *carregamento* da estrutura do chassi.

Tabela 10 – Comparações referentes ao *carregamento* – 2° mod. Mat.

Carga (N)	Deslocamento (mm)		Diferença	
	Medido	Calculado	(mm)	(%)
Posição 1				
736	0,56	0,55	+0,01	+2
3484	1,09	1,20	-0,11	-10
4710	1,38	1,59	-0,21	-15
5200	2,45	2,15	+0,30	+12
Posição 2				
736	0,17	0,16	+0,01	+6
3484	1,10	1,20	-0,10	-9
4710	3,27	3,10	+0,17	+5
5200	3,85	3,60	+0,25	+6
Posição 3				
736	0,30	0,27	+0,03	+10
3484	2,14	2,20	-0,06	-3
4710	3,35	3,47	-0,12	-4
5200	4,75	4,30	+0,45	+9

Na tabela 10, se observa que a amplitude de variação percentual entre os valores medidos e calculados para a *posição 1* é de -15% a 12 %, representando de -0,21 mm a 0,30 mm; para a *posição 2*, a amplitude de variação percentual entre os valores medidos e calculados variam de -9% a 6%, representando de -0,10 mm a 0,25 mm; para a *posição 3*, a amplitude de variação percentual entre os valores medidos e calculados variam de -3% a 10%, representando de -0,06 mm a 0,45 mm, o que permite concluir que este modelo matemático para o *carregamento* está mais de acordo com as medidas reais de deslocamento do que o modelo anterior.

A tabela 11 apresenta comparações entre as medidas reais e as medidas calculadas pelo *software*, para o *descarregamento* da estrutura do chassi, por isso os valores das cargas estão em ordem inversa.

Tabela 11 – Comparações referentes ao *descarregamento* – 2° mod. Mat.

Carga (N)	Deslocamento (mm)		Diferença	
	Medido	Calculado	(mm)	(%)
Posição 1				
5200	2,45	2,15	+0,30	+12
4710	1,38	1,59	-0,21	-15
3484	1,15	1,20	-0,05	-4
736	0,63	0,55	+0,08	+13
0	0,02	0	+0,02	-
Posição 2				
5200	3,85	3,60	+0,25	+6
4710	3,37	3,10	+0,27	+8
3484	1,28	1,20	+0,08	+6
736	0,59	0,16	+0,43	+73
0	0,09	0	+0,09	-
Posição 3				
5200	4,75	4,30	+0,45	+9
4710	3,97	3,47	+0,50	+13
3484	2,30	2,20	+0,10	+4
736	0,67	0,27	+0,40	+60
0	0,19	0	+0,19	-

Com os dados mostrados na tabela 11, verifica-se que a amplitude de variação percentual entre os valores medidos e calculados para a *posição 1* variam de -15 % a 13%, representando de -0,21 mm a 0,30 mm; para a *posição 2*, a amplitude de variação percentual de três dos quatro valores medidos e calculados variam de 6% a 8%, representando de 0,08 mm a 0,27 mm; para a *posição 3*, a amplitude de variação percentual de três dos quatro valores medidos e calculados variam de 4% a 13%, representando de 0,10 mm a 0,50 mm, o que permite concluir que este modelo matemático para o *descarregamento* está mais de acordo com as medidas reais de deslocamento do que o modelo anterior.

Por meio dos dados apresentados nas tabelas 10 e 11, respectivamente, carregamento e descarregamento da estrutura do chassi, verifica-se que ocorre histerese, que é um fenômeno bastante típico nos instrumentos medidores de deslocamento, como os “relógios comparadores”, tendo como fonte de erro, principalmente, folgas nos engates ao bloco (dispositivo de fixação) e deformações associadas ao atrito nos engates. Esse erro se mostra mais evidente no descarregamento da estrutura, como se pode observar para as posições 2 e 3 (tabela 11), quando se tem os menores carregamentos, aplicados respectivamente, 736 N e 0 N, nestes casos ocorreu um percentual entre a diferença das medidas real e calculada na ordem de 60 e 73%.

No apêndice A, apresenta-se um estudo sobre análise percentual de erro utilizando-se o *software* SolidWorks Simulation, aplicado a um modelo simples (viga bi apoiada com secção tubular) onde não se tem a influência das tensões causadas pelos cordões de solda ou influência da estrutura de fixação, para se comparar os deslocamentos calculados e os deslocamentos reais, a fim de se ter uma ideia de grandeza das diferenças entre ambos. Determinou-se que a diferença máxima percentual de deslocamentos calculados pelo *software* é superestimada em 6%.

Para uma estrutura maior do que uma viga simples, ou seja, o chassi da semeadora-adubadora do presente estudo, onde se tem uma grande quantidade de cordões de solda, que causam tensões pelo aquecimento e resfriamento, falta de rigidez da estrutura de fixação do chassi nos três pontos de engate, folgas nos engates ao bloco (dispositivo de fixação) e deformações associadas ao atrito nos engates, admite-se que essa diferença máxima percentual possa ter uma amplitude de variação percentual entre os valores medidos e calculados de -15% a 15% ou valores bem mais altos, considerando o fenômeno de histerese.

## 5 CONCLUSÕES

– Com as soluções adotadas e com o dimensionamento pelo *software* SolidWorks Simulation, observou-se com o modelo de chassi proposto uma redução de peso em relação as máquinas comerciais disponíveis no mercado.

– O modelo proposto pode ser uma boa opção para o pequeno agricultor no uso de tratores de baixa potência na faixa de 18 kW ( $\approx 25$  cv) com tração dianteira auxiliar (TDA).

– Observou-se redução de 22% de peso em relação ao Fabricante I, redução de 17% em relação ao Fabricante II, redução de 31% em relação ao Fabricante III e um aumento de duas linhas da concepção proposta em relação aos três fabricantes comparados.

– As tensões máximas obtidas, usando elementos de viga no cálculo pelo *software*, são iguais as tensões máximas calculadas pelo método analítico, quando aplicados em estruturas simples.

– O modelo matemático é válido, e os cálculos da estrutura do chassi que foram realizados pelo *software* são confiáveis.

– O *software* utilizado é uma ferramenta eficaz no auxílio dos projetos de estruturas mecânicas.

– Apesar das deficiências observadas em virtude da impossibilidade da realização de carregamentos condizentes com a realidade de uso da máquina em campo, os resultados são considerados promissores nessa fase do desenvolvimento do produto.

## 6 SUGESTÕES DE CONTINUIDADE

Sugere-se para um futuro trabalho, com a semeadora-adubadora concluída e em uso, que sejam feitas novas medições usando os extensômetros de resistência elétrica, e se considere o *software* SolidWorks Simulation para o cálculo das máximas tensões, para que se possa posicionar os *Strain gages* nos locais da estrutura onde aparecem estas máximas tensões. Desta forma se poderá ter uma comparação entre os valores das tensões e deformações calculadas pelo *software*, e as tensões e deformações do material da estrutura analisadas pela extensometria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, N. L. M. **Seleção de tratores agrícolas adequados à agricultura familiar**. 2010. 111p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

AVELINO A. F. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE**. 3ª edição, São Paulo: Érica Ltda, 2005. 294p

AZEVEDO, A. F. M. **Métodos dos Elementos Finitos**. 1ª edição, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal. 2003.

BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Projeto de produtos**. 1997. Apostila (EMC 6605) – CTC/EMC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BALARDIN, R.S. **Recomendações técnicas para o cultivo de feijão no Rio Grande do Sul**. Comissão Estadual de Pesquisa de feijão. Santa Maria: Palotti, 2000. 80p.

DEMAR. Método dos elementos finitos. [acesso 11 de jun. 2012]. Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo. Lorena. Disponível em <[www.demar.eel.usp.br/metodos/mat\\_didatico/Metodos\\_dos\\_Elementos\\_Finitos.pdf](http://www.demar.eel.usp.br/metodos/mat_didatico/Metodos_dos_Elementos_Finitos.pdf)>

DEMÉTRIO C. S.; FILHO D. F.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA D. A. **Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.43, n.12, p.1691-1697, dez. 2008

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO; EMATER. Rio Grande do Sul. **Máquinas para agricultura familiar: descrição de modelos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 178p.

ESPÍRITO SANTO, A. C. **Desgaste de ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras de plantio direto e sua influência no esforço de tração**. 2005. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FONSECA, E.M.M.; MESQUITA, L.M.R.; CALEIRO, C.; VAZ, M.A.P. (2002) - **Determinação do factor concentração de tensões em placas utilizando a extensometria com validação numérica**. Revista de Mecânica Experimental. ISSN 1646-7078. 8.

FONSECA, E.M.M.; OLIVEIRA, C.A.M de; MELO, F.J.M.Q. de; RIBEIRO, P.(2004) - **Um novo elemento finito de tubo curvo para análise de tubagens tridimensionais. Caso de estudo numérico e experimental**. ACE News - Applied Computing Engineering. ISSN 1645-3999. 3:2 p.78-86

FORCELLINI, Fernando Antônio. **Projeto conceitual**. Apostila. Nedip, UFSC, Florianópolis, 2003

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P. da; GROTTA, D.C.C.; REIS, G.N.dos. Desempenho de uma semeadora-adubadora em função do preparo do solo e da velocidade de deslocamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **Anais do...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário – Agricultura Familiar 2006. Disponível em <[http://www.ibge.com.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_impressao.php?id\\_noticia=1466](http://www.ibge.com.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=1466)> Acesso em 1º de agosto de 2010

MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V.; MORAES, M.B.; ALONÇO, A.S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. 2.ed. rev. e ampl. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2005. 235p.

MACHADO, R. L. T.; FERREIRA, M. F.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; BUTZKE, H. P. Força de tração de semeadoras para plantio direto: informações de campo X informações de catálogo. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v.11, n1, p.10 – p.12, 2007.

MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; LEITE, M.A.S.; SILVA, A.R.B.; PONTES, J.R.V.; MARQUES, J.P.; GREGO, C.R.; COSTA, A.M. Distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes de uma semeadora-adubadora de plantio direto em função da velocidade e mecanismo sulcador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais do...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD- ROM.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). Lula destaca conquistas da Agricultura Familiar ao anunciar Plano Safra. Disponível em <<http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/NoticiaDetalhe.aspx?CodNoticia=112271>> Acesso em 05/07/2010

NIEMCZEWSKI, B. K.; REIS, A. V.; MACHADO, A. L. T.; MACHADO, R. L. T. **Comparação de Chassi de Semeadoras–Adubadoras por meio de Modelagem Bidimensional**. XIX Congresso de Iniciação Científica – 2010.

NIEMCZEWSKI, B. K.; REIS, A. V.; MACHADO, R. L. T.; MACHADO, A. L. T. **Levantamento de Concepções de Chassis de Semeadoras-Adubadoras Acopladas por Engate de Três Pontos**. In XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 2011, CUIABÁ – MT, BRASIL. p.1 – 4.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. **Cultivo do milho**: plantio, espaçamentos, densidades e quantidades de sementes. Sete Lagoas/MG: Embrapa Milho e Sorgo. Dez. 2002, 7p. Comunicado técnico on line, 46). Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2002/comunicado/Com\\_46.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2002/comunicado/Com_46.pdf)> acesso em: 13 dez. 2011.

REIS, A. V.; ANDRADE, L. F. S.; FORCELINI, F. A. Sistematização da tarefa de valoração dos requisitos dos clientes para uso no QFD. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2, João Pessoa, Anais... Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 2002. 10 p. (CD-ROOM).

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, RS. **Anais do ...** Gramado, 2003.

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

SANTOS JÚNIOR, F.L.; SILVA, S. de L.; MODOLO, A.J.; SILVEIRA, J.C.M.; MERCANTE, E. Requerimento da força de tração solicitada por uma semeadora com diferentes mecanismos sulcadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza, CE. **Anais do...** Fortaleza: SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

SILVA, M. R. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação.** 2003. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H.; MAHL, D.; GERMINO, R. Avaliação da potência e área mobilizada de hastes sulcadoras em semeadoras-adubadoras diretas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **Anais do...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD- ROM.

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

SILVEIRA, G. M. **Máquinas para plantio e condução das culturas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 336p.

SILVEIRA, J.C.M.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação de milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia agrícola.** Viçosa, MG, v.13, n.4, p.256-267, out./dez. 2005.

SOLIDWORKS. SolidWorks Simulation Training. Concord: Dassault Systèmes SolidWorks. 2010. 494 p.

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

TEIXEIRA, S.S. **Projeto conceitual de uma semeadora de milho e feijão voltada para a agricultura familiar e agroecológica**. 2008. 109p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

TEIXEIRA S. S.; MACHADO A. L. T.; REIS A. V.; OLDONI A.; **Caracterização da Produção Agroecológica do Sul do Rio Grande do Sul e sua Relação com a Mecanização Agrícola**. Artigo Técnico - Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.1, p.162-171, jan./mar. 2009

THOMAS, C. A. K.; **Desenvolvimento de um Sistema de Medição de Deformação em Máquinas Agrícolas**. 2003. 84 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

TRÖGER, H. C. H. **Análise de sulcadores de adubo empregados em semeadoras-adubadoras para agricultura familiar**. 2010. 142 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

## APÊNDICE A

### Análise Percentual de erro

Por não se ter uma referência de erro percentual para se determinar a validade da comparação entre as diferenças medidas de deslocamento entre um ensaio real, cálculo pelo método analítico e método de elementos finitos foi necessário executar um estudo em uma peça simples onde se podem considerar os três métodos de determinação de deslocamento. Para a tensão máxima dois métodos são usados, o método analítico e o método de elementos finitos.

Na figura A1, aparece a montagem do ensaio real onde a medida de deslocamento no centro do tubo com costura (viga bi-apoiada) é medido com um relógio comparador antes e depois do carregamento da viga. Esse ensaio foi realizado em um desempenho de Ferro Fundido.

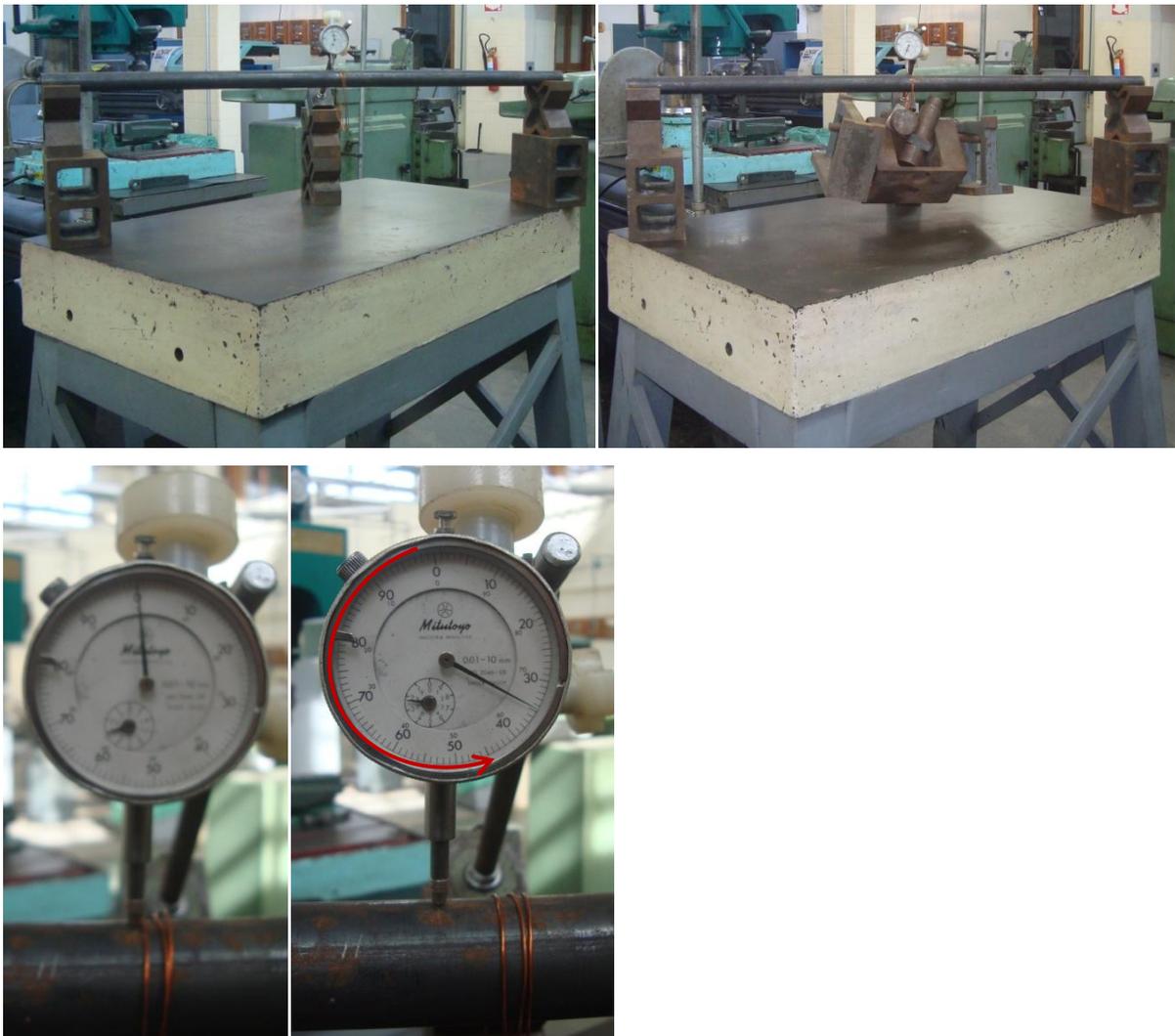


Figura A1 – Ensaio real: Medida de deslocamento de 0,65 mm.

Carregamento de 24,7 kgf no centro da viga.

– Método analítico:

– Tensão de flexão máxima em viga bi-apoiada.

Onde:  $P = 242 \text{ N}$

$\ell = 950 \text{ mm}$

Na figura A2, é apresentado um esquema de viga bi-apoiada.

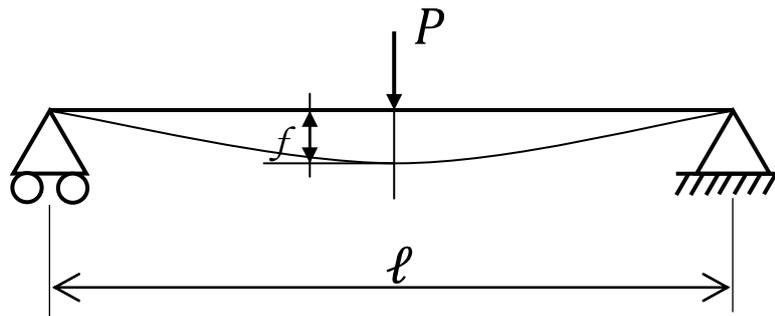


Figura A2 – Viga bi-apoiada.

Tensão de flexão máxima

$$\sigma_{f\text{máx}} = \frac{M_f \cdot y}{J_x} = 30,9 \text{ MPa} \quad (\text{a.1})$$

Momento fletor

$$M_f = \frac{P}{2} \cdot \frac{\ell}{2} = 57548 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (\text{a.2})$$

$$\text{Onde: } y = \frac{D}{2} = 16,85 \text{ mm} \quad (\text{a.3})$$

Na figura A3 é apresentado o desenho da secção do tubo com costura da viga bi-apoiada da figura A2.

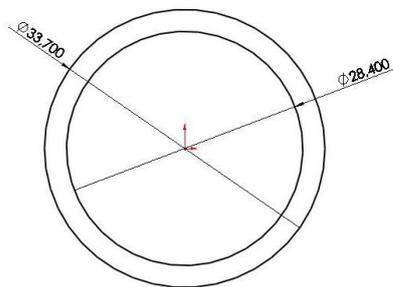


Figura A3 – Desenho da secção da viga bi-apoiada.

$$\text{Onde: } J_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = 31379,25 \text{ mm}^4 \quad (\text{a.4})$$

– Deslocamento máximo ou flexão máxima ( $f$ ).

$$\text{Onde: } f = \frac{P \cdot \ell^3}{E \cdot J_x \cdot 48} = 0,6568 \text{ mm} \quad (\text{a.5})$$

Onde:  $E = 210.000 \text{ MPa}$

Na figura A4 é apresentado a análise do deslocamento da mesma viga feito pelo *software* SolidWorks Simulation usando elementos de viga.

Nome do modelo: Peça2  
 Nome do estudo: Estudo 1  
 Tipo de plotagem: Deslocamento estático Deslocamento1  
 Escala de distorção: 137,753

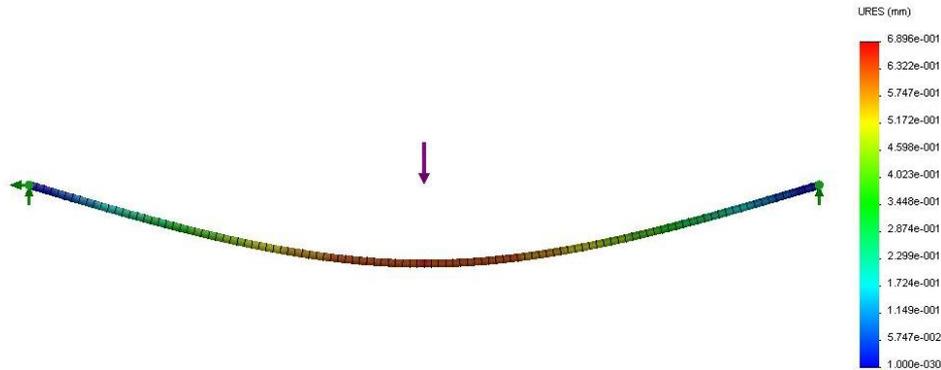


Figura A4 – Análise do deslocamento máximo da viga

Na figura A4, o deslocamento máximo apresentado foi de 0,6896 mm.

As comparações das diferenças percentuais das medidas de deslocamento, para determinar o percentual máximo de erro que servirá para o estudo dos deslocamentos da estrutura do chassi da semeadora adubadora, são apresentadas na tabela A1.

TABELA A1– Comparação das medidas de deslocamento

Deslocamento (mm)		Diferença	
Analítico	SolidWorks	(mm)	(%)
0,6568	0,6896	-0,0327	-5
Real	Analítico	(mm)	(%)
0,6500	0,6568	-0,0068	-1
Real	SolidWorks	(mm)	(%)
0,6500	0,6896	-0,0396	-6

Verificou-se que a medida de deslocamento real em comparação com a medida de deslocamento calculada pelo *software* SolidWorks Simulation é menor em 6%.

Na figura A5 é apresentado uma análise das Tensões de flexão da viga feita pelo *software* SolidWorks Simulation usando elementos de viga.

Nome do modelo: Peça2  
 Nome do estudo: Estudo 1  
 Tipo de plotagem: Tensão de pior cenário Tensão1  
 Escala de distorção: 137,753

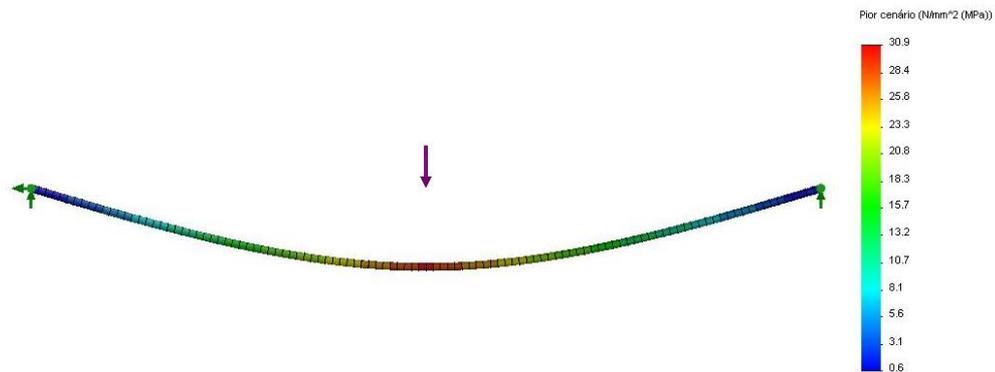


Figura A5 – Análise das tensões de flexão da viga bi-apoiada.

Na figura A5, a tensão de flexão máxima da viga calculada pelo *software* SolidWorks Simulation é de 30,9 MPa.

Na tabela A2 é apresentada a comparação da tensão de flexão máxima, entre o método analítico e o cálculo feito pelo *software* SolidWorks Simulation.

TABELA A2 – Comparação da tensão de flexão máxima

Tensão (MPa)		Diferença	
Analítico	SolidWorks	MPa	%
30,9	30,9	0	0

Como é mostrado na tabela acima, os resultados obtidos em cada um dos métodos são iguais.

A tensão máxima calculada pelo *software* SolidWorks Simulation utilizando elementos de viga é igual a tensão máxima calculada pelo método analítico, mas os deslocamentos não o são.

A medida de deslocamento real em comparação com a medida de deslocamento calculada pelo *software* SolidWorks Simulation é menor em 6%. Portanto, os deslocamentos calculados pelo *software* são superestimados em 6% para este tipo de elemento estrutural.