



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MARCOS ANTÔNIO DE LEMOS PAULO

**PROJETOS E SIMULAÇÕES DE PROTÓTIPOS VIRTUAIS PARA MÁQUINAS
RECOLHEDORA DE CAJU**

FORTALEZA

2014

MARCOS ANTÔNIO DE LEMOS PAULO

PROJETOS E SIMULAÇÕES DE PROTÓTIPOS VIRTUAIS PARA MÁQUINAS
RECOLHEDORA DE CAJU

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Renildo Luiz Mion.

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P355p Paulo, Marcos Antônio de Lemos.
Projetos e simulações de protótipos virtuais para máquinas recolhedoras de caju / Marcos Antônio de Lemos Paulo. – 2014.
67 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2014.
Orientação: Prof. Dr. Renildo Luiz Mion.
1. Recolheita do caju. CAD/CAE. 2. Protótipo virtual . 3. Máquinas e equipamentos agrícolas. I. Título.
CDD 630
-

MARCOS ANTÔNIO DE LEMOS PAULO

PROJETOS E SIMULAÇÕES DE PROTÓTIPOS VIRTUAIS PARA MÁQUINAS
RECOLHEDORA DE CAJÚ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Data de Aprovação: ____/____/____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Renildo Luiz Mion (Orientador)
Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti
Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nildo Dias dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

A minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo o amor incondicional e dom da vida.

A Maria mãe de nosso senhor Jesus Cristo, pela sua generosidade em caminhar comigo nos momentos de alegria e principalmente nas doenças e dificuldades.

A minha família os meus pais Paulo e Valdelice, irmãs Ana Lúcia, Ana Célia, Cristina e Nádia que os momentos de alegrias, doença e dor nos fortaleça cada vez mais. A minha esposa Márcia mãe dedicada, aos filhos Thamires, Luanna e Júnior pelo presente que são dados por Deus.

A meu orientador Prof. Dr. Renildo Luiz Mion, por todo conhecimento científico passado e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho, pelas palavras de conforto nos momentos de dificuldades.

A meu Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti, por palavras atitudes de amizade e conhecimento.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), a casa que sempre me acolheu e me faz buscar cada vez mais conhecimentos.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Agrícola do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, pelos conhecimentos repassados no decorrer do meu mestrado e por mim assimilados.

A todos os Professores do Departamento da Indústria IFCE *campus* Fortaleza, aos alunos Zenon, Eduardo Márcio pelos conhecimentos compartilhados.

A todos os amigos de trabalho que ganhei nesses dois anos de NEMASA: Elivânia, Silvia, Beatriz, Ronaldo, Karla, Virginia, Clice, Marcelo, Fidel, Rodrigo, Ricardo, Alan, Igor, Fábio, Mariana, Rafaela. Sem a união de todos a realização deste trabalho não teria sido possível.

A banca examinadora, Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti, Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra e Prof. Dr. Nilo Dias dos Santos, que gentilmente se dispuseram analisar este trabalho.

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concluído.

Neste momento, aproveito para firmar o compromisso de dar o melhor de mim para retribuir à sociedade, a formação que me foi proporcionada por uma Universidade pública e gratuita.

RESUMO

Usando os softwares de CAD e o CAE, os engenheiros e projetistas podem simular a dinâmica e estática dos componentes mecânicos, incluindo efeitos de atrito e massa, tempos dos ciclos e desempenho dos componentes individualmente, antes de especificar uma única peça física e conectá-la a uma máquina, equipamento ou algoritmo de controle real. Um protótipo virtual oferece a habilidade de visualizar e otimizar um projeto e avaliar diferentes estudos e conceitos, antes de submeter-se ao custo de protótipos físicos. Este trabalho teve como objetivo demonstrar a importância dos sistemas CAD/CAE para o aumento do grau de confiabilidade e segurança no que diz respeito à validação e/ou melhoria de desempenho de projetos industriais mecânicos, máquinas e equipamentos agrícolas. Para isso foram investigadas as técnicas praticadas pelas indústrias com tal finalidade, sendo apontado como é possível a antecipação de falhas potenciais nesses projetos com rapidez e baixo custo através da utilização dos sistemas CAD/CAE. Além disso, foram apontadas as vantagens dos sistemas CAD/CAE em comparação às demais ferramentas apresentadas anteriormente praticadas pelas indústrias para validação e/ou melhoria de desempenhos em projetos industriais. Com a utilização dos softwares de CAD/CAE foram desenhadas peças, máquinas manual e semiautomática, para fazer a colheita do caju.

Palavras-chaves: Colheita do caju. CAD/CAE. Protótipo virtual. Máquinas e equipamentos agrícolas.

ABSTRACT

Using CAD software and CAE, engineers and designers can simulate the dynamic and static mechanical components, including effects of friction and mass, cycle times and performance of individual components before specifying a single physical piece and connect it to machinery, equipment or actual control algorithm. A virtual prototype provides the ability to view and optimize a design and evaluate different concepts and studies before submitting to the cost of physical prototypes. This study aimed to demonstrate the importance of CAD/CAE systems to increase the degree of reliability and safety with respect to the validation and / or performance improvement of mechanical industrial projects, agricultural machinery and equipment. For this, the techniques practiced by the industries for such purposes, is being touted as possible to anticipate potential failures in these projects quickly and cost through the use of CAD/CAE systems were investigated. Also, were pointed out the advantages of CAD/CAE systems compared to other tools presented previously practiced by industries for validation and / or improvement of performance in industrial projects. By using the software of CAD/CAE parts, manual and semiautomatic machines were designed to make the recolheita cashew.

Keywords: Recolheita cashew. CAD/CAE. Virtual prototype. Machinery and agricultural equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Condições reais de trabalho na colheita e recolheita do caju.....	32
Figura 2 – Condições reais de trabalho na colheita e recolheita do caju.....	33
Figura 3 – Fluxograma com as principais etapas do projeto para construção do protótipo	41
Figura 4 – Recolhedora de caju manual.....	43
Figura 5 – Partes da recolhedora manual de caju.....	45
Figura 6 – Detalhes da parte que recolhe o fruto do solo.....	45
Figura 7 – Suporte para ser fixado no cabo de madeira da recolhedora.....	46
Figura 8 – Base do recolhedor.....	46
Figura 9 – Haste de flexão.....	47
Figura 10 – Anel de fixação.....	47
Figura 11 – Anel de fixação da sacola.....	48
Figura 12 – Placa de arraste.....	48
Figura 13 – Recolhedora semiautomática.....	49
Figura 14 – Partes da recolhedora semiautomática de caju.....	50
Figura 15 – Rolamentos SKF 30204.....	51
Figura 16 – Motor elétrico.....	52
Figura 17 – Inversor De Tensão Veicular Hayonik.....	53
Figura 18 – Base de sustentação.....	53
Figura 19 – Turbina.....	53
Figura 20 – Acoplamento da mangueira aspiradora.....	54
Figura 21 – Anel de vedação.....	54
Figura 22 – Base cônica do reservatório.....	55
Figura 23 – Simulação de pressão.....	56
Figura 24 – Simulação de pressão.....	56

Figura 25 – Simulação de pressão.....	57
Figura 26 – Simulação de temperatura.....	57
Figura 27 – Simulação de temperatura.....	58
Figura 28 – Simulação de velocidade do ar.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação do Custo da Mão-de-obra por país na Indústria do caju.....	15
Tabela 2 – Convenções de fases no processo de projetar.....	40
Tabela 3 – Detalhamos, a seguir, as peças que constituem recolhedora manual de caju.	44
Tabela 4 – Peças que constituem a recolhedora semiautomática de caju.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	A importância da cultura do caju	14
2.2	Mecanização	16
2.3	Colheita mecanizada	18
2.4	Projeto de máquinas	20
2.5	Aço	22
2.6	Processos de união dos materiais	23
2.7	União por solda	24
2.8	Soldagem TIG	25
2.9	Polímeros (plásticos)	26
2.10	História do Plástico	27
2.11	Ergonomia	30
2.12	Análise Ergonômica do Trabalho	31
2.13	Metodologia de projeto	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1	Local do estudo	40
3.2	Fluxograma do método utilizado	40
3.3	Matriz morfológica	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	Recolhedora manual	43
4.2	Recolhedora semiautomática	49
4.3	Testes de segurança	55
5	CONCLUSÃO	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores exportadores de frutas do mundo, sendo a laranja seu carro-chefe, aparecendo o caju em segundo lugar de forma destacada, tendo apresentado forte incremento na sua produção. O cajueiro, *Anacardium occidentale*, da família *anacardiaceae*, é uma árvore arbórea que produz um fruto e pseudofruto comestíveis, folhas grandes e flores minutas. Divide-se em dois grupos: o comum, que atinge de cinco a dez metros de altura, e o anão, que pode chegar a, no máximo, quatro metros de altura.

Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em seu Relatório da Produção Agrícola Municipal do ano de 2010, esse é um setor que vem apresentando crescimento na ordem de 2% no que se refere aos produtos e, na ordem de 16% no que se refere aos valores arrecadados. Com mais de setecentos hectares, superado novamente somente pela laranja, o cajueiro produz um total de 104.342 toneladas de castanha, desprezados os dados referentes ao pedúnculo, quer consumido in natura, quer industrializado.

Ressalte-se que a região Nordeste é a maior produtora desse fruto com 99,45% da produção nacional, sofre constantemente com chuvas irregulares e escassas, o que leva a um atraso na floração, agravado, por vezes, pela ocorrência de ventos fortes. É nessa região, de forma especial, que se encontra a dimensão socioeconômica da cultura do caju, ainda de acordo com dados do IBGE, em especial o estado do Ceará com 401,5 mil ha, Piauí com 171,4 mil ha e Rio Grande do Norte com 121,6 mil há, pela sua sazonalidade, ocupa a mão de obra de outras culturas durante a entressafra destas, já que são nos meses mais secos do ano sua produção.

No nordeste brasileiro o cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L. var. *nanum*) é bastante cultivado, apresentando alto teor de açúcares e baixo teor de taninos oligoméricos, facilitando a colheita manual tanto da castanha quanto do pedúnculo, além de apresentar uma satisfatória produtividade.

Estudos mostram que o cajueiro anão precoce, em cultivo irrigado produz cerca de 3.800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de castanha e 30.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de pedúnculo, esses números mudam para cerca de 1.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de castanha e 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de pedúnculo em cultivo de sequeiro, esses números representam uma boa adaptação às altas temperaturas, média de 27°C, desenvolvendo-se melhor se combinado com uma umidade relativa do ar próxima aos 85% como média anual, mas que não responde bem às grandes variações, acarretando uma redução na sua produção quando em temperaturas abaixo de 18°C ou acima de 34°C.

Estando o pedúnculo no tamanho máximo e apresentando uma textura firme e colorida conforme as características do clone (vermelho ou amarelo), em regra de dois a três meses depois do florescimento, os frutos são colhidos de forma totalmente manual e, preferencialmente, no período do dia em que a temperatura esteja amena (BNB, 2009).

Para iniciar a colheita são necessários alguns cuidados de limpeza, a poda do cajueiro e a retirada de ramos e folhas secas e/ou apodrecidas, com isso evita-se as perdas, pragas e doenças nas castanhas durante e após a colheita. Não sendo necessárias as colheitas diárias, podendo ocorrer 2 ou 3 vezes na semana, de acordo com as condições do produtor, devendo, este, atentar para a umidade que pode afetar as castanhas se permanecerem por longos períodos no solo, sendo comum precipitações, o que poderá desencadear o processo germinativo e a consequente redução da qualidade pois aumenta o número de castanhas duras ou de difícil despeliculagem.

A colheita feita diretamente na planta, apresenta uma melhora na qualidade da castanha, aumentando seu rendimento industrial, pois o número de amêndoas inteiras apresenta uma elevação significativa em relação às apanhadas no solo.

A forma mais comum de colheita é no solo, caídas das árvores já maduras e apresentando uma umidade entre 20 a 22%. Se assim for armazenada, o excesso de umidade degradará as proteínas e os lipídios, reduzindo as reservas nutricionais, devendo ir para secagem para atingir cerca de 10% de umidade, o que influirá diretamente na sua qualidade.

O uso da mecanização agrícola nas diversas operações de campo é uma das grandes ferramentas que impulsionou o aumento da produção mundial de grãos, trazendo aos produtores rurais diversos benefícios, entre estes, a redução de custos e a rapidez na realização das operações de campo. O sistema de colheita mecanizada apresenta menor custo operacional e melhor qualidade dos frutos na cultura cafeeira, comparativamente ao sistema de colheita manual.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cultura do caju

O Brasil é um dos maiores exportadores de frutas do mundo, sendo a laranja seu carro-chefe, aparecendo o caju em segundo lugar de forma destacada, tendo apresentado forte incremento na sua produção. Segundo dados do IBGE (2011) em seu Relatório da Produção Agrícola Municipal do ano de 2010, esse é um setor que vem apresentando crescimento na ordem de 2% no que se refere aos produtos e, na ordem de 16% no que se refere aos valores arrecadados. Com mais de setecentos hectares, superado novamente somente pela laranja, o cajueiro produz um total de 104.342 toneladas de castanha, desprezados os dados referentes ao pedúnculo, quer consumido in natura, quer industrializado.

Ressalte-se que a região Nordeste é a maior produtora desse fruto com 99,45% da produção nacional, sofre constantemente com chuvas irregulares e escassas, o que leva a um atraso na floração, agravado, por vezes, pela ocorrência de ventos fortes. É nessa região, de forma especial, que se encontra a dimensão socioeconômica da cultura do caju, ainda de acordo com dados do IBGE, em especial o estado do Ceará com 401,5 mil ha, Piauí com 171,4 mil ha e Rio Grande do Norte com 121,6 mil ha, pela sua sazonalidade, ocupa a mão de obra de outras culturas durante a entressafra destas, já que é nos meses mais secos do ano sua produção.

Em algumas áreas de cultivo irrigado e utilização de técnicas inovadoras, como os clones anões, há um incremento na renda familiar dos agricultores, pois facilita sua disseminação, principalmente pelos baixos preços das terras, condições climáticas favoráveis e concentração de indústrias de beneficiamento de castanha e pedúnculo, sempre com um bom fomento do governo federal.

A produção desse fruto é voltada, tradicionalmente, para a exportação. Em 2007, sua exportação atingiu 59 mil toneladas, equivalentes a US\$ 225 milhões, valor significativo no montante de divisas arrecadadas com produtos agrícolas no Nordeste brasileiro (CARVALHO, 2009). Gerando cerca de 35 mil empregos no campo e 15 mil na indústria, o caju é importante para o desenvolvimento da região Nordeste, pois evita o êxodo rural na entressafra de produtos como feijão, milho e outros, além dos mais de 250 mil empregos indiretos (EMBRAPA, 2003).

Debruçado sobre dados divulgados pela FAO (2006) sobre a cultura do caju no mundo, fazendo um comparativo do Brasil com seus principais concorrentes que são Vietnã,

Índia e Moçambique (BNB, 2009). Juntos, esses quatro países, produzem cerca de 3 milhões de toneladas de castanha anuais, ou 90% da produção mundial. Em 2010 a FAO divulga dados da produção mundial de castanha com os seguintes números: Vietnã com 1,159 milhões de toneladas, Índia com 613 mil toneladas, Brasil com 102 mil toneladas e Moçambique com 67 mil toneladas.

De acordo com Filgueiras et al. (1997), o manuseio pós-colheita permite a comercialização do pedúnculo por até quinze dias após a colheita, permitindo assim que este possa ser comercializado em regiões distantes das áreas produtoras e não apenas nos centros consumidores próximos.

Segundo o Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego) o Brasil apresenta baixa produtividade se compararmos com seus concorrentes internacionais, enquanto aqui a média de produção por hectare, no período de 2005/2007 era de 269 kg, na Índia esse número é de 1.971kg, ambos distantes do Vietnã que é de 2.705 kg, enquanto nesse mesmo triênio o Brasil cresceu 20%, a Índia cresceu 49% e o Vietnã os incríveis 305%. No que concerne a produtividade a Índia salta 10,7%, o Vietnã 125% e o Brasil apenas 3%. O que acarreta um custo maior, dificultando as exportações e atingindo toda a cadeia produtiva, abaixo, uma tabela comparativa sobre os números dos quatro países.

Tabela 1– Comparação do Custo da Mão-de-obra por país na Indústria do Caju

País	Tipo de Fábrica	Salário no processamento da Castanha de Caju (US\$/dia)*
Brasil	Grandes fábricas	15,78 a 17,75
	Minifábricas associadas	9,86
	Estatais	1,68 a 3,78
Índia	Pequenos processadores/unidades	0,71 a 2,06
	De minifábricas a grandes fábricas	1,40 a 2,73
Moçambique	Fábricas pequenas e médias	1,05 a 2,00

*Inclui encargos sociais quando aplicáveis; salários calculados usando taxa de câmbio média do período em que o dado foi originalmente publicado. Pesquisa de Campo; TechnoServe (2006); EDE Consulting (2007) e Harilal et al. (2006).

A técnica do cultivo irrigado, entretanto tem mostrado outras vantagens como, por exemplo, a melhoria na qualidade superior da matéria prima posta a colheita do fruto ser manual e realizada na planta, permitindo que tanto a castanha quanto o pedúnculo cheguem ao consumidor e à indústria em bom estado de conservação levando a um maior aproveitamento

do pedúnculo o que evita um desperdício de 94% e apresentando, conseqüentemente um melhor rendimento industrial (BNB, 2009).

2.2 Mecanização

A modernização da agricultura brasileira tem promovido nos últimos 40 anos uma profunda reestruturação dos espaços produtivos do campo, a partir da incorporação de novas tecnologias nas etapas do trabalho agrícola. A difusão de fatores técnicos, científicos e normativos pelo território brasileiro, possibilitou o aperfeiçoamento das atividades econômicas e a especialização produtiva das regiões, principalmente em áreas com grande aptidão agrícola (SANTOS; VALE, 2012).

A grande extensão de área agricultável no Brasil, o clima favorável que possibilita duas a três safras por ano, devido a grande disponibilidade de água em algumas regiões, a pesquisa agrícola, a mecanização e o uso de insumos químicos, tem sido historicamente uma característica fundamental no desenvolvimento agrícola brasileiro (MELO et al., 2012).

Este processo de modernização técnica da agricultura e integração com a indústria é caracterizado por um lado pela mudança na base técnica nos meios de produção utilizados pela agricultura, materializada na presença crescente de insumos industriais e máquinas. De outro lado, ocorre uma integração de grau variável entre a produção primária de alimentos e matérias primas e vários ramos industriais. A chamada estratégia do agronegócio, que vem crescentemente dominando a política agrícola do país (DELGADO, 2005).

A mecanização agrícola tem como objetivo o emprego adequado dos equipamentos e máquinas agrícolas, visando sua otimização, com a racionalização dos custos. Ela exerce um papel fundamental, pois, além de multiplicar a capacidade produtiva, permite obter maior eficiência na produção agrícola (PERIN, 2008).

Segundo Naresh et al. (2012), o termo mecanização refere-se a relação entre o homens e equipamentos manipulados por ele em áreas agrícolas. Enquanto que nos países em desenvolvimento, a mecanização significa qualquer ferramenta de melhoria, seja implemento, máquinas ou estrutura que auxilia no aumento da produção dos trabalhadores, multiplicando os esforços humanos, suplementando ou substituindo o trabalho humano.

Witney (1988) relata que o dimensionamento ótimo do sistema mecanizado para uma propriedade é tarefa difícil, pois as variáveis envolvidas estão em constantes mudanças. No entanto, a disponibilidade de maquinário agrícola de uma propriedade deverá ser suficientemente grande para executar todas as operações que são necessárias realizar durante

o ciclo de uma determinada cultura, num período de tempo determinado (TAYLOR, 2001). No entanto, para cada condição de solo e operação agrícola, existe um equipamento adequado. Observa-se, também, que a maior parte dos equipamentos utilizados na mobilização do solo não atende a algumas dessas condições definidas como ideais (CARVALHO FILHO et al., 2007).

De acordo com Bertol et al. (2006), o preparo do solo é o método mais usual para modificar a rugosidade do solo. Quando o solo é submetido a um sistema conservacionista, onde o preparo é realizado com escarificador, seguido ou não de gradagem, a superfície do solo apresenta-se mais rugosa do que quando submetida ao sistema convencional com arados e grades. Gonçalves et al. (2002) citam também que o efeito do preparo do solo não depende apenas do implemento empregado, mas também da forma e intensidade de seu uso. Às vezes, o efeito benéfico de determinado implemento é anulado pelo seu uso inadequado ou excessivo.

O preparo inicial do solo compreende as operações necessárias para criar condições de implantação de cultura, em áreas não utilizadas anteriormente com essa finalidade. Enquanto que o preparo periódico do solo, e realizado com o intuito de oferecer às sementes que serão colocadas no solo as condições que teoricamente seriam as melhores para o seu desenvolvimento (BALASTREIRE, 1990).

As operações agrícolas que envolvem mobilização e tráfego de máquinas alteram a estrutura do solo e modificam as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular (REICHERT et al., 2009).

Segundo Tavares Filho et al. (2001), um diagnóstico da distribuição espacial das estruturas no perfil do solo e do grau da compactação do solo ganha importância para auxiliar na verificação da qualidade do manejo utilizado e também no estabelecimento de limites de compactação que não afetem o crescimento radicular das plantas nos diferentes sistemas de manejo.

A compactação afeta a porosidade total, macroporosidade, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica diminuindo a produtividade das culturas e aumentar as perdas de nutrientes, as emissões de gases causadores do efeito estufa e a poluição dos recursos hídricos (LIPIEC et al., 2003). A compactação prejudica o desempenho das máquinas agrícolas, diminuindo a qualidade do trabalho e aumentando a força de tração exigida pelos equipamentos de mobilização do solo (TULLBERG, 2000).

Freddi et al. (2006) observaram que áreas sob diferentes sistemas de manejo apresentam modificações acentuadas na estrutura do solo, resultando numa elevada

variabilidade da resistência a penetração, com conseqüente formação de camadas compactadas, proporcionadas pelos implementos utilizados. Estas camadas foram observadas principalmente até os primeiros 0,40 m de profundidade.

Os diferentes equipamentos disponíveis para o preparo do solo provocam alterações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Cada um trabalha o solo de maneira própria, alterando, de maneira diferenciada, estas propriedades (FALLEIRO et al., 2003). Neste sentido, Souza et al. (2004), destacaram que o cultivo inadequado pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão e propiciam a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas movimentadas pelos equipamentos.

2.3 Colheita mecanizada

O uso da mecanização agrícola nas diversas operações de campo é uma das grandes ferramentas que impulsionou o aumento da produção mundial de grãos, trazendo aos produtores rurais diversos benefícios, entre estes, a redução de custos e a rapidez na realização das operações de campo. Segundo Kashima (1990) e Barbosa et al. (2005), o sistema de colheita mecanizada apresenta menor custo operacional e melhor qualidade dos frutos na cultura cafeeira, comparativamente ao sistema de colheita manual.

A colheita de cana no Brasil é realizada pelos sistemas manual, semi-mecanizado e mecanizado. O sistema manual existe desde a implantação da cultura pelos holandeses, a partir de 1530, nos Estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia. Segundo Ripoli e Ripoli (2009), o sistema semi-mecanizado surgiu entre os anos de 1950 a 1955, sendo realizado em topografia com declividade de até 25%. O sistema mecanizado, iniciou-se entre os anos de 1972 a 1976, e é utilizado em topografia com até 17% de declividade. No País existem dois subsistemas de corte manual e mecanizado e, três subsistemas de colheita, divididos em corte, carregamento, transporte e recepção. O manual ocorre quando o trabalhador braçal, de posse de uma ferramenta denominada de “folha”, “podão” ou “foice”, realiza o corte da cana crua ou queimada. Quanto ao corte mecanizado, ele é executado por meio de motosserras manuais adaptadas ou por meio de colhedoras combinadas, montadas ou autopropelidas.

A atual mudança para o sistema de colheita mecanizado se deve por diversos fatores como a mão-de-obra para a colheita, redução de custos e pelo protocolo agro ambiental, que determina extinguir a queima dos canaviais em áreas mecanizáveis até 2014 e em áreas não mecanizáveis até 2017 (SEVERO; CARDOSO, 2009; CENBIO, 2008).

Atualmente, há tendência para a mecanização do plantio, justificada pelo menor custo da operação e alto desempenho operacional das plantadoras disponível no mercado (RIPOLI, 2006). De acordo com Ripoli e Ripoli (2005), sob o ponto de vista fisiológico, a colheita representa o final do ciclo de crescimento e de manutenção, atingindo o máximo de produtividade agrícola, em função das condições edafoclimáticas do local, da tecnologia agronômica e das variedades atingidas.

Ripoli (2006) afirma que os sistemas de colheita não envolvem apenas aspectos relativos às condições de campo (solo, relevo, variedade, espaçamento, formato do talhão, etc.), tipo de equipamento utilizado e gerenciamento. Refletem, também, a necessidade de melhora da qualidade da matéria-prima colheita e do meio ambiente, devido à prática da queima de pré-colheita. A qualidade em questão envolve desde os cuidados com o solo, tratos culturais, prevenção de pragas e doenças, controle de plantas daninhas, condução da cultura e da própria colheita e até mesmo com o ambiente e a saúde humana.

A operação de colheita do café deve ser efetuada o mais rápido possível, o que implicará melhor qualidade do produto e redução de perdas, aumentando os lucros do cafeicultor (SILVA et al., 2003). Dessa forma, a colheita mecanizada do café vem se tornando uma prática crescente com benefícios diretos na redução de custos e na qualidade de bebida; porém, pode-se observar que alguns danos são notados durante a operação de colheita, podendo acarretar prejuízos ao cafeeiro.

A colheita última etapa do processo de produção no campo, e o momento em que o produtor aguarda o retorno de seus investimentos e trabalho, porém em muitos casos não se obtém maiores rendimentos, por falta de condições adequadas. Fatores de manejo cultural, como população, espaçamento de fileiras, ponto de maturação, tipo de solo, variedade e altura de plantas entre outros, podem interferir na qualidade do produto (SILVA et al., 2003).

Além disso, devem-se observar alguns cuidados no momento da colheita do algodão, seguindo-se alguns critérios técnicos como a escolha da velocidade adequada de operação das máquinas e do horário de colheita (umidade da fibra), pois no momento da colheita é desejável que haja insolação total e escassez hídrica, uma vez que a energia solar é um dos componentes principais para a abertura dos frutos (BELTRÃO et al., 1999). O treinamento dos operadores e demais funcionários envolvidos, condições de colheita, regulagens da máquina, tipo de colhedora utilizada, e fatores climáticos também podem interferir de forma na redução das perdas de produtividade durante o processo de colheita mecanizada (SANTOS et al. 2005).

A colheita mecanizada, realizada por colhedoras automotrizes, é extremamente vantajosa em relação à colheita manual, principalmente pelo fato dos custos operacionais serem reduzidos e de a operacionalização proporcionar o cultivo em grande escala, viabilizando assim as exportações (EMBRAPA, 2014).

2.4 Projeto de máquinas

O desenvolvimento de um produto possui um conceito amplo que compreenderá um aspecto de planejamento e projeto, ao longo de todas as atividades da sequência do processo, desde a pesquisa de mercado, manutenção e o descarte ou desativação do mesmo (BACK et al., 2008).

Segundo Back et al. (2008), o desenvolvimento integrado de produto considera que esse processo de transformação e geração de informações deve ser efetuado por uma equipe multidisciplinar ou melhor, que os requisitos, restrições do produto e soluções, ao longo de todas as fases do processo, devem ser considerados ou pensados simultaneamente.

É tarefa do engenheiro é definir e calcular os movimentos, forças e mudanças de energia de modo a determinar as dimensões, as formas e os materiais necessários para cada uma das peças que integram a máquina, para isto muitas metodologias de projetos foram definidas para ajudar a enfrentar estes problemas não estruturados (NORTON, 2004).

Baxter (1998), em pesquisa realizada identificou 105 diferentes técnicas ou métodos de geração de ideias ou soluções de problemas, havendo muita similaridade entre vários desses métodos, sendo alguns bem simples na descrição da solução e outros mais elaborados.

Back et al. (2008) classificaram esses métodos em intuitivo e sistemático. Entre os métodos intuitivos há: *brainstorming*, método Delphi, analogias método cinético, listagem de atributos e método da instigação de questões. Entre os sistemáticos mais utilizados estão: matriz morfológica análise de valor, método dos princípios inventivos e o método da síntese funcional.

Projetos de desenvolvimento de produtos são aqueles empreendimentos cujo objetivo é executar o processo de geração de uma ideia de um bem material ao longo de várias fases, até o lançamento do produto no mercado. Estes projetos são denominados comumente de Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) (ROMANO, 2003).

O PDP é o modo como as atividades e tarefas relacionadas ao projeto de desenvolvimento de produtos são desenvolvidas. Está relacionado com o gerenciamento,

desde a parte da ideia inicial das necessidades do mercado e das possibilidades tecnológicas. Considera as estratégias corporativas, estratégias de negócios e de produto da empresa, até chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção (BORNIA; LORANDI, 2008).

O desenvolvimento do produto também envolve o acompanhamento do produto após o lançamento, para realizar mudanças necessárias decorrentes de sua utilização e planejar a sua descontinuidade, envolvendo assim, todo ciclo de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006).

Conforme Baxter (1998), a divisão do processo de desenvolvimento de novos produtos em diversas etapas é importante para o planejamento e o controle de qualidade desse processo. A definição de cada etapa pode ser alterada, adaptando-se de acordo com a natureza do produto e o funcionamento da empresa onde ele se desenvolve.

As atividades relacionadas a marketing e produção devem ser desenvolvidas simultaneamente e em colaboração com as atividades de engenharia do produto, em cinco fases distintas (ANDREASEN; HEIN, 1987).

a) Na primeira fase é investigada a necessidade, na qual marketing deve estabelecer a necessidade básica do mercado a qual produto irá satisfazer. Algumas considerações a respeito do tipo de processo de produção a ser usado podem ser feitas nesta fase.

b) Na segunda fase o produto e seus princípios gerais são esclarecidos. O usuário é identificado e determina-se como o produto será usado. Também são determinados os processos de produção necessários.

c) Na terceira fase o produto é elaborado, ou seja, é a fase da engenharia do projeto. Os custos são razoavelmente determinados e marketing investiga o mercado. Os princípios do processo de produção são desenvolvidos e determinados.

d) A quarta fase é da preparação para a produção, onde os processos são definidos por completo. Ajustes no produto são realizados e a sua manufaturabilidade pode ser comprovada pela produção de um lote piloto. Nesta fase é definido o sistema de vendas e planejada a melhor dinâmica de adaptação entre vendas e produção para garantir o melhor lançamento do produto no mercado.

e) Na quinta fase é iniciada a produção e vendas do produto. Podem ocorrer adaptações do produto ao mercado.

2.5 Aço

Os aços inoxidáveis de alta performance são comumente utilizados em ambientes na presença de cloretos, baixo pH ou elevada atividade microbiana. Elementos como Cr, Mo e N são conhecidos por promoverem resistência à corrosão por pites na presença de cloretos. É interessante observar que o Ni, muito comum como elemento de liga em aços inoxidáveis, possui pouco ou nenhum efeito na resistência a esse tipo de corrosão (JANIKOWSKI; BLESSMAN, 2008).

A corrosão por pites é altamente localizada, provoca a formação de pequenos buracos ou pontos na superfície do componente, possuem alta taxa de propagação podendo ser completamente destrutivo em termos de vida útil do componente (LLEWELLYN, HUDD, 1998). O potencial de resistência à corrosão por pites (PREn) em aços inoxidáveis é frequentemente expressa em termos da equação 1, desenvolvida por Rockel em 1978 e testada pela ASTM G 48-99 (JANIKOWSKI; BLESSMAN, 2008).

O cálculo termodinâmico tem se tornado uma importante ferramenta de aproximação para entender as propriedades dos materiais e os processos, beneficiando particularmente o desenvolvimento de aços inoxidáveis, que em muitos casos, o bom desempenho depende de um delicado equilíbrio entre a composição da liga, processamento e tipo de aplicação (ÅGREN, 2008).

O emprego da termodinâmica computacional utilizando o software comercial de análise computacional Thermo-Calc, juntamente com suas bases de dados construídas conforme o protocolo CALPHAD, que consiste em expressar a energia livre de Gibbs de sistemas multicomponentes por meio de equações algébricas, em função da pressão, da temperatura e da composição química, permitindo cálculos do equilíbrio termodinâmico, construção de diagramas de fase e avaliação crítica de dados termodinâmicos. Sendo possível aperfeiçoar os parâmetros das equações por meio de informações experimentais para prever com um alto grau de aproximação as propriedades de sistemas ternários, quaternários e de ordem maior (GARZÓN; TSCHIPTSCHIN, 2006).

Na busca por aços que apresentem melhores propriedades mecânicas e metalúrgicas, e que possam ser aplicados de forma eficiente e com menor custo, os aços inoxidáveis ferríticos de alto desempenho são uma alternativa. Os aços inoxidáveis ferríticos são bastante utilizados na indústria em geral por possuírem boas propriedades mecânicas e boa resistência à corrosão (SMITH, 1993).

O aumento do teor de Mo na composição destes aços pode torná-los uma alternativa a aplicações onde compostos naftênicos oriundos de petróleo pesado estejam presentes (BAPTISTA et al., 2003). Essas propriedades podem ser afetadas devido a precipitação de fases intermetálicas tais como fase sigma (σ), fase chi (χ), fase Mu (μ), carbonetos ou nitretos. Além de Problemas como a severa fragilização com conseqüente perda de resistência à corrosão em temperaturas elevadas e baixa tenacidade provocada pelo teor de elementos intersticiais, motivam várias pesquisas para o desenvolvimento de ligas ferríticas com melhores características de ductilidade, soldabilidade e resistência à corrosão.

2.6 Processos de união dos materiais

Os processos de união dos materiais são de grande importância tanto na construção de estruturas, quanto na manutenção das mesmas, pois por meio das inúmeras combinações de peças com diferentes formas e tamanhos, é possível obter desde pequenas até as maiores e mais complexas estruturas (como plataformas submarinas e naves espaciais).

O processo utilizado para unir dois materiais deve ser decidido levando-se em conta as propriedades desejadas para os materiais unidos, aliada ao menor custo possível; assim, diversas tecnologias existem com o objetivo de promover a união íntima entre os materiais. Embora o desenvolvimento dos processos de união dos materiais que se tem hoje teve maior impulso somente no final do século XIX, há indícios de que estes processos já eram aplicados há cerca de 4800 anos atrás, nos vales dos rios Nilo e Tigres-Eufrates (MACHADO, 1996).

O processo de brasagem se caracteriza pela utilização de um material fundido para unir duas partes de um material, os quais permanecem na fase sólida. O material adicionado deve possuir temperatura de fusão superior a 450 °C, porém inferior à temperatura de fusão do material base (material a ser unido). Este método não é empregado em grandes peças ou estruturas porque exige maior limpeza superficial, além de dificuldades para se obter uniões com as propriedades mecânicas e metalúrgicas desejadas.

A solda branda é um processo semelhante à brasagem, diferenciando-se somente pelo fato que o material a ser adicionado deve possuir ponto de fusão abaixo de 450 °C, enquanto os materiais base permanecerão no estado sólido. É muito utilizado na união de circuitos em eletro eletrônica, onde altas propriedades mecânicas não são de fundamental importância (MACHADO, 1996).

2.7 União por solda

O processo de soldagem é o método mais utilizado para unir materiais. A união pode ser feita por três maneiras: fusão dos metais em íntimo contato entre si, fusão dos metais e adição de outro material fundido, ou simplesmente pelo contato destes materiais na fase sólida ou semi-sólida. Embora a soldagem provoque maiores alterações no material base, o processo apresenta grande versatilidade, economia e resulta em uniões com excelentes propriedades mecânicas (MACHADO, 1996).

Tecnicamente, soldagem é o processo utilizado para unir duas partes metálicas usando uma fonte de calor; a solda é o resultado deste processo. Ainda, em outra definição, soldagem é uma coalescência localizada de metais ou não metais, provocada pelo aquecimento dos materiais até a temperatura de soldagem, com ou sem a aplicação de pressão; ou ainda somente pela aplicação de pressão, com ou sem o uso de metal de adição (MACHADO, 1996). É considerada uma forma segura e eficiente para unir metais, por isso é amplamente usada na indústria.

O período de grande desenvolvimento desta área foi durante a II Guerra Mundial, na construção de navios e aviões, e atualmente é utilizada para a construção de uma grande gama de produtos e estruturas, como aeronaves, veículos espaciais, navios, transportes ferroviários e rodoviários, pontes, prédios, oleodutos, plataformas marítimas e componentes eletrônicos, só para citar alguns exemplos.

O sucesso de um processo de soldagem requer alguns cuidados: uma quantidade de energia suficiente para unir os metais em questão deve ser gerada, a contaminação das superfícies deve ser removida, o contato da região de soldagem com o ar atmosférico deve ser evitado e deve haver controle da metalurgia de soldagem, alcançando-se, assim, as propriedades físicas, químicas e mecânicas desejadas (MACHADO, 1996).

Os processos de soldagem podem ser classificados pelo tipo de fonte de energia, que podem ser mecânica, química, radiante ou elétrica. Nas fontes elétricas, o calor é gerado pela passagem de corrente elétrica (efeito Joule) ou pela formação de um arco elétrico. Um arco elétrico é uma descarga elétrica (de baixa tensão e alta intensidade) que passa através de um gás ionizado, iniciada por uma quantidade de elétrons emitidos do eletrodo negativo (cátodo) e mantido pela ionização térmica do gás aquecido (MACHADO, 1996).

É necessário o conhecimento e controle sobre as variáveis elétricas e operacionais em soldagens; a mais importante é a corrente de solda, pois é ela que controla diretamente a magnitude e a distribuição da energia térmica contida no arco elétrico, determinando a

penetração da solda e a largura do cordão; assim, correntes muito altas, por exemplo, podem aquecer excessivamente um revestimento e degradá-lo (MACHADO, 1996).

As condições de resfriamento também são importantes, pois velocidades de resfriamento excessivamente altas ou baixas são indesejáveis. Outra variável importante é a velocidade de avanço da soldagem, pois combinada com a intensidade da corrente, determina a altura (penetração) e largura do cordão (é uma variável mais difícil de ser controlada rigorosamente em soldas aplicadas manualmente). Outras variáveis que interferem no processo são: oscilação do eletrodo (e, conseqüentemente, do arco), dimensões do eletrodo e ângulo de contato do eletrodo em relação à peça (MACHADO, 1996).

Durante o processo térmico de soldagem, uma região relativamente estreita do material fica sujeita a uma ampla faixa de picos de temperatura e taxas de resfriamento, resultando em uma variedade de microestruturas e mudanças nas propriedades da área afetada. Processos de soldagem causam estresse residual e modificações metalúrgicas. Além disso, a diferença da estrutura cristalina entre o metal base (aquele que não sofreu nenhuma alteração pelo processo de solda) e o metal soldado pode causar corrosão galvânica (WAINER, 2004).

2.8 Soldagem TIG

No processo de soldagem denominado TIG (*Tungsten Inert Gas*), também conhecido como GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), um arco pequeno e estável é mantido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e o material a ser soldado (fonte de calor); um fluxo de gás inerte (argônio ou hélio) garante a proteção da região de solda. O gás inerte tem a função de proteger a região que está sendo soldada contra os gases que existem na atmosfera, os quais podem prejudicar as propriedades do metal durante o processo de soldagem. Para aços carbono, por exemplo, o nitrogênio e o oxigênio diminuem a resistência mecânica; para aços inoxidáveis, o nitrogênio diminui a porcentagem de fase ferrita e promove rachaduras por solidificação (ENGINEERING, 1984).

As soldagens tipo TIG produzem soldas de alta qualidade, e podem ser usadas para a maioria dos metais e suas ligas (alumínio, magnésio, titânio e aços inox e de baixa liga). Possuem fonte de calor concentrada (utilizam uma fonte de energia de corrente constante), minimizando a extensão da zona termicamente afetada, e permite uma faixa de corrente de trabalho entre 10 a 400 A (MACHADO, 1996). Os processos de soldagem, em

geral, reduzem a quantidade do material devido à fusão do mesmo; por isso, um metal de enchimento pode ser usado para compensar esta perda.

Além da zona de solda, observam-se também outras duas zonas que sofrem modificações: a zona parcialmente fundida e a zona afetada pelo calor, além, do metal base. As alterações nas fases cristalinas contidas nessas regiões dependerão da quantidade de carbono no aço e da temperatura da solda (ENGINEERING, 1984).

A zona parcialmente fundida está imediatamente adjacente à zona de fusão; já a região afetada pelo calor sofre os efeitos da condução do calor da zona de fusão, o qual não é grande o bastante para provocar a fusão do material, mas suficiente para causar alterações significativas nas suas propriedades e microestrutura. Isto resulta na perda de sua força mecânica e resistência à corrosão (ENGINEERING, 1984).

2.9 Polímeros (plásticos)

Os avanços tecnológicos e os novos hábitos da sociedade fizeram com que o plástico se incorporasse à vida das pessoas. A popularização do material se deu devido a seu baixo custo de produção, peso reduzido e elevada resistência. Aliada à diversidade de formatos, tamanhos e cores da peça moldada.

Em diversos segmentos da indústria, os plásticos e borrachas se destacam, pois vem alcançando um papel fundamental na vida moderna. Os plásticos são usados em grande escala na produção de embalagens, utensílios domésticos e eletrodomésticos, além de suas aplicações científico-tecnológicas e diversas outras áreas da indústria.

É comum observar que peças inicialmente produzidas com outros materiais, tais como metal ou madeira, têm sido substituídas por outras de plástico. Quando devidamente projetadas, obtém desempenho superior ao do material anterior. Os plásticos não só propiciam vantagens econômicas e desempenho térmico e mecânico, causam também alguns impactos negativos a natureza, devido há seu tempo indeterminado de degradação.

O plástico modificado ou de engenharia, ainda é um tema relativamente novo e com o avanço tecnológico, a cada dia, nasce uma possibilidade de um novo plástico com propriedades físicas e químicas diferenciadas dos já existentes no mercado. São materiais que proporcionam um leque enorme de possibilidades de utilização.

2.10 História do Plástico

Por volta do ano de 1860 o inglês Alexandre Parkers deu início aos estudos com o nitrato de celulosa, um tipo de resina que mais tarde herdou o nome “Parkesina”. Este material era somente utilizado em estado sólido e tinha como principais características a flexibilidade, fácil pintura, resistência a água e a cor opaca (INNOVA, 2009).

No ano de 1862 Parker apresentou na exposição internacional de Londres as primeiras amostras do que é considerado o antecessor da matéria plástica, sendo considerado o vértice de uma grande família de polímeros, que atualmente possui centenas de componentes (INNOVA *apud* PORTAL SÃO FRANCISCO,[sn], 2009).

No mesmo ano, John Wesle Hyatt participou de um concurso lançado pela empresa Phelan and Collander, a fim de substituir o marfim em suas bolas de bilhar. O material já estava se tornando escasso, com isso, pesquisas no ano de 1870, obtiverem êxito no aperfeiçoamento da celulóide. Nascia ali a primeira matéria plástica artificial (INNOVA *apud* PORTAL SÃO FRANCISCO, 2009).

No ano de 1920, Hermann Staudinger com os seus estudos de estrutura e propriedade dos polímeros naturais. Descobriu que os polímeros são constituídos de moléculas em forma de longas cadeias formadas a partir de moléculas menores, por meio da polimerização. O que se acreditava na época era que os plásticos eram compostos de anéis de moléculas ligados. Porém, as teorias de Staudinger não foram bem aceitas por todos os cientistas e a discussão continuou durante os anos 20 (INNOVA *apud* PORTAL SÃO FRANCISCO, 2009).

Em 1949 foi inaugurada a primeira fábrica de poliestireno, a Bakol S. A em São Paulo. Logo foi iniciada a produção comercial do poliestireno de alto impacto. No início dos anos 60, F. H. Lambert desenvolveu o processo para a moldagem de poliestireno expandido. Os materiais plásticos por conseguirem substituir várias matérias primas, puderam ser consumidos também pela população de baixa renda (SIMPEP, 2009). De 1945 em diante, os plásticos invadiram as casas, foi um fenômeno que não dependeu de condição social, numa época em que o aço estava predominando (SIMPEP, 2009).

O aumento do uso do plástico pode ser explicado pela substituição de materiais tradicionais como o papel, vidro e metais pelos derivados do petróleo que invadiram as prateleiras entre a década de 60 e 70. No Brasil, os primeiros registros de indústrias de plástico datam de 1957, com um número inferior a 100 unidades fabris (SIMPEP, 2009).

- 1938 - O francês Victor Renault polimeriza o cloreto de vinila (PVC) com auxílio de luz solar.
- 1839 - O norte-americano Charles Goodyear descobre a vulcanização da borracha natural, possibilitando o uso desse material.
- 1835 – 1900 - São desenvolvidos derivados de celulose como nitrato de celulose, a celulóide, fibras de viscose rayon, entre outros.
- 1898 - Os químicos Einhor e Bischoff descobrem, por acaso, o policarbonato, que seria desenvolvido apenas em 1950.
- 1907 - O norte-americano Leo Hendrik Baekeland sintetiza resinas de fenol-formaldeído, que ficaram conhecidas como baquelites. O baquelite é o primeiro plástico totalmente sintético que surge em escala comercial.
- 1920 – 1950 - Neste período são desenvolvidos os polímeros: policloreto de vinila (PVC), polimetacrilato de metila (PMMA), poliestireno (PS), nylon, polietileno, silicone, poliuretano, acrinolitrina butadieno estireno (ABS) e poliéster, além de fibras sintéticas de poliéster e acrílico, entre outros.
- 1924 - São criadas as fibras de acetato de celulose.
- 1950 - Os anos 50 são marcados pela popularização da tecnologia de polímeros e pelo surgimento do polipropileno, espumas de poliuretano, polietileno linear, poliacetais e policarbonatos.
- 1960 em diante - Surgem os plásticos de engenharia, materiais de alto desempenho com diversas aplicações. Também são desenvolvidos, a partir da engenharia de macromoléculas, os elastômeros termoplásticos, além de tanques de combustível e sacos de supermercado feitos em polietileno de alta densidade (PEAD), lentes de contato flexíveis e garrafas de polietileno tereftalato (PET).

Para a indústria atual, os principais tipos de termoplásticos são: HIPS - Poliestireno de Alto Impacto, GPPS - Poliestireno Cristal, PP - Polipropileno, PEAD - Polietileno de Alta Densidade, PEBD - Polietileno de Baixa Densidade, PET - Polietileno Tereftalato, PC – Policarbonato, PU – Poliuretano, PVC - Policloreto de Vinila, ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno.

A tecnologia dos polímeros sofreu um amadurecimento a partir da década de 80, quando houve a diminuição de desenvolvimentos e o aumento da escala comercial dos avanços conquistados. Contudo, podemos observar que o surgimento de novas tecnologias

como: polímeros de cristal líquido, polímeros condutores de eletricidade, polisilanos, novos polímeros de engenharia como poli (éter-imida) e poli (éter-éter-cetona).

Já na década de 90 foram obtidas algumas inovações, tais quais:

- Catalisadores de metalloceno;
- Reciclagem em grande escala de garrafas de PE e PET;
- Biopolímeros, uso em larga escala dos elastômeros termoplásticos;
- Plásticos de engenharia.

Na década de 90 a reciclagem tornou-se quase uma obsessão, pois dela depende a viabilização comercial dos polímeros (MANRICH, 2005).

A palavra “plástico” é um termo geral que significa "capaz de ser moldado". Os materiais comumente designados como plásticos não tem necessariamente essa propriedade, mas a exibiram em algum momento de sua fabricação, quando, então, foram moldados (BLASS, 1988).

“Materiais plásticos são materiais artificiais, geralmente de origem orgânica sintética, que, em algum estágio de sua fabricação adquiriram condição plástica, durante qual foram moldados, geralmente com a ajuda de calor e pressão e, muitas vezes, com o emprego de moldes” (BLASS, 1988).

Os plásticos são materiais macromoleculares que podem ser moldados por ação do calor e/ou pressão. Os tipos de plásticos seguem uma identificação importante, de acordo com sua característica de fusibilidade, a qual os divide em termoplásticos e termorrígidos. Sendo os termoplásticos aqueles que podem ser moldados várias vezes, por se tornarem fluídos sob a ação de temperatura. Após uma queda de temperatura voltam à característica anterior. Os termorrígidos ou termofixos são maleáveis apenas no momento de confecção do objeto, não podendo ser remodelá-lo.

O desempenho de um material está atrelado a uma série de características específicas e distintas a cada um. Elas são mensuradas através de testes em laboratórios, e devem ser consideradas no projeto da peça a ser moldada. São elas: propriedades físicas, propriedades químicas e propriedades físico-químicas. As propriedades físicas não envolvem nenhuma modificação estrutural a nível molecular dos materiais. Entre elas estão as propriedades mecânicas, térmicas, elétricas e óticas.

Para Manrich (2005), a viscoelasticidade de um material associa-se á resposta elástica e viscosa, simultaneamente ou não, apresentada por eles. O comportamento de deformação mecânica do polímero está diretamente relacionado à viscoelasticidade, que

determina a resposta do material diante da deformação. Sendo o comportamento elástico, totalmente reversível, ao contrário do viscoso.

2.11 Ergonomia

De acordo com a definição Associação Internacional de Ergonomia (IEA, 2000) a ergonomia (ou Fatores Humanos) é a disciplina científica que trata da compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica teorias, princípios, dados e métodos, a projetos que visam otimizar o bem estar humano e a performance global dos sistemas.

Segundo a Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO, 2000), a ergonomia objetiva modificar os sistemas de trabalho para adequar as atividades nele existentes às características, habilidades e limitações das pessoas com vistas ao seu desempenho eficiente, confortável e seguro.

A ergonomia pode cumprir tanto o papel de ferramenta de diagnóstico (através da aplicação da metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho - AET), como o de disciplina de projeto (onde intervém tecnicamente no espaço de trabalho para atenuar as dificuldades diagnosticadas no cumprimento das tarefas).

De acordo com Abrahão F.R, a aplicação da AET nas situações de trabalho da agricultura, ancorada no trinômio demanda – tarefa – atividade, enfatiza não só a análise dos fatores físicos / ambientais do espaço de trabalho, geradores de dificuldades, mas também dos fatores organizacionais (prescrições, divisão de tarefas, ritmos, hierarquias, etc.), muitas vezes os mais relevantes. Nas análises sócio-econômicas das explorações agrícolas, a organização do trabalho também é um fator relevante.

De forma mais geral, a redução do trabalho penoso na agricultura, pela via do diagnóstico e da intervenção técnica Ergonômica, contempla o próprio tema da sustentabilidade da exploração agrícola. Em muitos casos, os critérios exclusivos de eficiência e eficácia de um sistema de produção podem não ser aceitáveis à luz da Ergonomia já que certas formas de organização do trabalho, julgadas “eficientes e eficazes” num determinado momento, se traduzem por efeitos desfavoráveis à saúde do trabalhador.

De acordo com Abrahão et al. (1999), a aplicação da AET nas situações de trabalho da agricultura, ancorada no trinômio demanda – tarefa – atividade, enfatiza não só a análise dos fatores físicos / ambientais do espaço de trabalho, geradores de dificuldades, mas também dos fatores organizacionais (prescrições, divisão de tarefas, ritmos, hierarquias, etc.),

muitas vezes os mais relevantes. Nas análises sócio-econômicas das explorações agrícolas, a organização do trabalho também é um fator relevante.

De forma mais geral, a redução do trabalho penoso na agricultura, pela via do diagnóstico e da intervenção técnica Ergonômica, contempla o próprio tema da sustentabilidade da exploração agrícola. Em muitos casos, os critérios exclusivos de eficiência e eficácia de um sistema de produção podem não ser aceitáveis à luz da Ergonomia já que certas formas de organização do trabalho, julgadas “eficientes e eficazes” num determinado momento, se traduzem por efeitos desfavoráveis à saúde do trabalhador.

2.12 Análise Ergonômica do Trabalho

A Análise Ergonômica do Trabalho é um modelo metodológico de intervenção que possibilita compreender os determinantes das situações de trabalho. Para tanto, tem como pressuposto básico a distinção entre o trabalho prescrito, comumente denominado tarefa, e o trabalho real, aquele efetivamente realizado pelo trabalhador, inserido em um contexto específico para atingir os objetivos prescritos pela tarefa. A esse “fazer”, chamamos atividade ABRAHÃO et al., 1999).

Abrahão et al. (1999) ressalta ainda que a AET é permeada por várias fases e tem como fio condutor a dialética entre análise da demanda e análise da atividade. Seu ponto de partida é uma demanda inicial que reflete um problema, buscando esclarecer esta demanda, com vistas a propor formas de intervenção.

A partir desse esclarecimento, procura aprofundar alguns aspectos para uma melhor compreensão do contexto no qual se insere o trabalho, ou seja, a tecnologia e a organização (o cenário em que se desenvolvem as atividades) conforme Figura 1. Com esses dados, chega-se, então, à fase operacional – a análise ergonômica da atividade –, que tem como objetivo a análise das exigências e condições reais da atividade e das funções efetivamente utilizadas pelos trabalhadores na realização de suas tarefas (LAVILLE, 1989) permitindo a interrogação com substância da demanda inicial.

Assim, embora a AET busque situar a atividade dentro de um contexto maior, o da organização, ela é essencialmente centrada na observação da atividade que se realiza com base na tarefa prescrita. Um dos grandes méritos da AET consiste em estar voltada para as situações reais de trabalho, analisando este não somente em termos dos movimentos, dos gestos, mas também nos seus aspectos psicológicos e cognitivos – por exemplo, como raciocina o trabalhador, como é seu processo de tomada de decisão, entre outros.

Figura 1 - Condições reais de trabalho na colheita e recolheita do caju



Fonte: elaborado pelo autor.

Um dos fatores de afastamento dos trabalhadores é a Lesão por Esforço Repetitivo (LER), uma moléstia que vai atingindo silenciosa e lentamente o trabalhador, para ao ser descoberta incapacita-lo ao exercício da profissão. Uma boa definição da LER é encontrada no site voltado para saúde, www.minhavidacom.br, como a definição abaixo:

Denomina-se Lesão do Esforço Repetitivo ou simplesmente LER, a lesão causada pelo desempenho de atividade repetitiva e contínua, como agachar-se, dirigir caminhões, fazer crochê, digitação etc. A LER é uma lesão relacionada com a atividade da pessoa e, em alguns casos, pode ser entendida como uma doença ocupacional, ocorrendo sempre que houver incompatibilidade entre os requisitos físicos da atividade ou tarefa e a capacidade física do corpo humano. Alguns fatores de risco contribuem para a instalação desta lesão, dentre eles: movimentos repetitivos, tracionamentos, postura incorreta, levantamento de pesos, etc. A LER, instala-se lentamente no organismo humano e, muitas vezes, passa despercebida ao longo de toda uma vida de trabalho e quando é percebida já existe um severo comprometimento da área afetada.

Em regra formada por pessoas de pouca instrução, os colhedores de caju sofrem com as lesões e afastamentos do trabalho, aposentando-se doentes de maneira pré-matura, trazendo, inclusive, uma sensação de incapacidade total e a firme impressão de serem os portadores das lesões, pessoas sem saúde. Não entendendo o real impacto dos movimentos repetitivos, trazendo para si a culpa da inatividade.

O real trabalho na colheita e recolheita do caju, castiga de forma implacável os trabalhadores, é possível observar em um momento instantâneo capturado nas lentes fotográficas, a presença de pouco mais de uma dezena de trabalhadores e oito deles curvados, numa postura que trará malefícios em curto prazo, que, indiscutivelmente, diminuirá sua vida útil de trabalho, sua produtividade e, conseqüentemente, o interesse do mercado de trabalho em mantê-lo ativamente remunerado, não restando outra opção a estes trabalhadores se não buscar na previdência social, uma aposentadoria precoce, por incapacidade laboral, onerando o poder público na manutenção de inativos.

Figura 2 - Condições reais de trabalho na colheita e recolheita do caju



Fonte: elaborado pelo autor.

A massacrante tarefa da colheita e recolheita não são exclusivas de homens, mulheres participam mesmo grávidas, como nos mostra as figuras acima, com a mesma agressão ergométrica, dificultando a produtividade, trazendo malefícios maiores à gestante, que, num esforço sobre-humano para cumprir com suas obrigações e manter a renda familiar, vale gizar que, como já falado anteriormente, a safra do caju tem sua maior característica, no Nordeste, de se processar na entressafra e na quadra de estiagem e chuvas raras.

No que diz respeito à saúde do trabalhador, sabe-se que as doenças relacionadas às atividades laborais implicam grandes custos humanos musculoesqueléticos – principalmente causadores de absenteísmo, acidentes e queixas nas empresas (FALCÃO, 2007).

Dessa maneira, torna-se de grande relevância analisar as condições de trabalho dentro do ambiente laborativo, principalmente da postura corporal dos trabalhadores, que é a

forma pela qual ele se relaciona com o meio externo. Segundo Przysiezny (2003) a postura e movimento dentro do ambiente de trabalho têm uma íntima relação com a coluna vertebral, sendo que ela é a base de todos os movimentos.

Uma vez que as dores na coluna vertebral constituem a maior causa de transtornos à saúde do trabalhador e de absenteísmo relacionados ao trabalho. Estima-se que 70% a 80% da população podem chegar a um episódio de dor forte nas costas ao longo da vida, principalmente na região lombar. As consequências danosas podem ser sentidas tanto para a empresa com o afastamento dos empregados como principalmente para os funcionários que são acometidos pelos distúrbios dolorosos na coluna vertebral podendo levar até a incapacidade permanente de exercer suas atividades, limitando-o e reduzindo sua qualidade de vida tanto pessoal como profissional (VIEIRA; KUMAR, 2004; COUTO, 2007; TEODORI et al., 2005).

A postura é um importante elemento de análise das tarefas, pois pode estar relacionada a diversos fatores lesivos do sistema musculoesquelético da coluna vertebral (RANNEY, 2000). A colheita e recolheita do caju requerem que durante suas atividades laborativas seja utilizada a postura em pé e inclinado.

Segundo Frankel e Nordin (2003) a manutenção da postura em pé durante o trabalho pode se tornar cansativa porque exige uma contração contínua dos grupos de músculos atuando contra a gravidade para sustentar essa posição. Podendo levar a um maior desconforto e dor, acrescentando precocemente o mecanismo de fadiga muscular (RENNER, 2002), do mesmo modo o trabalho inclinado afeta os grupos musculares aqui aludidos.

McKenzie (1998) acredita que ao manter essa postura de forma prolongada, os músculos responsáveis pela sustentação se cansam e relaxam, levando a alterações posturais, como a postura relaxada e as posturas incorretas de torção e inclinação de tronco.

Dessa maneira, a postura inclinada prolongada adotada no presente ambiente laboral pode ser considerada um risco de lesão musculoesquelético para a coluna vertebral, principalmente se for por tempo prolongado e associado a posturas de torção, inclinação e flexão do tronco, pois sobrecarrega as articulações e músculos da coluna vertebral (IIDA, 2005; DUL; WEERDMEESTER, 2004).

2.13 Metodologia de projeto

No desenvolvimento de produtos e sistemas industriais, diversos métodos foram desenvolvidos e empregados nestes últimos 50 anos, a saber: QFD (Quality Function

Deployment – Desenvolvimento da Função Qualidade), TRIZ (Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch – Teoria Inventiva de Resolução de Problemas). DFMA (Design For Manufacturing and Assembly – Projeto para a Fabricação e Montagem), FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – Análise do Modo e Efeito de Falhas), Matriz Morfológica entre dezenas de outros mais (BAXTER, 1998; PAHL et al., 2005).

Em 1983, em Chicago, quase uma centena de empresários tomaram conhecimento sobre uma nova metodologia creditada como orientadora do processo da qualidade dentro da Toyota, chamada Hinshitsu (atributos, funções), Kino (função), Tenkai (desdobramento, difusão), traduzida para Desdobramento da Função Qualidade, ou, simplesmente, QFD, pode considerado como um método estruturado e sistematizado para orientar o processo e a execução das tarefas envolvidas desde a concepção até a colocação do novo produto no mercado, garantindo a transformação das necessidades e desejos dos clientes em produtos que efetivamente os satisfaçam (ABREU, 1997).

Para Stratton e Mann (2003) a metodologia TRIZ afirma que os problemas inventivos podem ser codificados, classificados e resolvidos metodicamente. Nesse sentido, para o processo de resolução de problemas, é importante o entendimento dos conceitos fundamentais da TRIZ, os quais são: idealidade, contradição e recursos.

Na TRIZ usa-se a idealidade como ponto de partida para a resolução de problemas, para evitar ao máximo a tentativa e erro. Para isso deve-se definir o resultado final ideal (RFI), como sendo uma solução a qual se pretende chegar. Idealidade em um sistema técnico (ST) é a razão entre o número de funções desejadas e o número de funções indesejadas que o sistema executa. O próprio sistema técnico é entendido como o “preço” pago pela execução de funções desejadas por seus usuários (CARVALHO; BACK, 2001).

A TRIZ também trabalha com a análise de contradições, em sua metodologia. Genrich Altshuler descobriu que, na verdade, o processo de inventar significa localizar contradições em um sistema, que impedem sua execução em busca da idealidade (LI, 2004; CARVALHO et al., 2005; SCYOC, 2008; FRESNER et al., 2010), e resolvê-las. E os recursos, por fim, podem ser definidos como quaisquer elementos do sistema ou dos arredores que ainda não foram utilizados para realizar funções úteis do sistema. Existem casos em que recursos não aproveitados levam a soluções inventivas (CARVALHO; BACK, 2001).

O DFMA (Design for Manufacturing and Assembly), originado na Europa nos anos 70, cujo objetivo é simplificar o projeto do produto, reduzir a quantidade de componentes e tempo de montagem, alcançar a maior produtividade, melhorar a qualidade e reduzir custos (SOUZA, 1998).

A metodologia FMEA - Análise dos Modos de Falha e Efeitos (do inglês *FMEA – Failure Modes and Effects Analysis*) é uma ferramenta que busca evitar, através da análise das falhas potenciais, propondo melhorias, falhas no projeto do produto ou do processo. Com este objetivo pode-se dizer que, com sua utilização, se está diminuindo as chances do produto ou processo falhar durante sua operação, ou seja, estamos buscando aumentar a confiabilidade do produto/processo (STAMATIS, 1995).

Como já foi observado nos métodos anteriores, soluções criativas são, às vezes, encontradas ao formar novas combinações de funções, objetos, processos ou ideias já existentes. Assim o método morfológico consiste numa pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros, com o objetivo de encontrar uma nova solução para o problema (BACK et al., 2008).

Segundo Resin (1989), para o desenvolvimento de concepções alternativas de produto por meio do método da matriz morfológica que consiste nos seguintes passos.

1º passo: identificar as funções ou operações e parâmetros do processo.

2º passo: preencher a primeira coluna da matriz com as funções e ou parâmetros do problema. Essas funções mais gerais podem sofrer desdobramentos quanto à forma que são feitas e que tipos de dispositivos ou de princípios podem ser utilizados.

3º passo: buscar princípios de soluções alternativas para cada operação ou parâmetro. Neste passo para cada item na primeira coluna buscam se formas ou princípios de soluções, de forma independente sem se preocupar com as demais linhas da matriz em cada linha da matriz, nas diversas colunas definem se soluções que podem ser descritas ou gráficas, que podem ser obtidas a partir de levantamento da literatura, utilizar mecanismo de outras máquinas ou soluções criadas.

4º passo: busca soluções ou concepções alternativas para o problema global formulado. Ao se construir a matriz morfológica procura se estabelecer combinações adotando um princípio de solução de uma linha com os princípios de solução das demais linhas e desta forma formando vários princípios de soluções globais para o problema gerado.

5º passo: avaliar e selecionar concepções. Muitas das combinações podem não ser viáveis ou incompatíveis e serem eliminadas de imediato e as viáveis devem ser submetidas a um processo de avaliação e valorização mais criteriosa para então se obter a melhor concepção.

6º passo: estabelecer *layout* e descrever a concepção. Uma vez escolhida a melhor combinação de princípios de soluções, esta deve ser ainda desenvolvida de modo a obter a melhor descrição e arranjo da concepção.

Segundo Motion (2014), há uma grande quantidade de tecnologias que podem ser sintetizadas com a utilização de programas para cálculo e dimensionamento de peças, subconjuntos ou produtos, para otimização de produtos, componentes ou processos, para simulação de relações de movimentos entre diversas outras e para cada um destas soluções há uma nova designação.

O CAD (*Computer Aided Design* - Projeto Auxiliado por Computador) auxilia na criação das representações geométricas. Essa representação geométrica pode ser tanto em duas dimensões, na forma de desenhos de engenharia, ou em três dimensões, na forma de modelos sólidos ou em casca.

O CAE (*Computer Aided Engineering* - Engenharia Auxiliada por Computador) são programas que aproximam o comportamento de um produto ou processo sob várias condições físicas, como temperaturas, pressões, aplicações de força, velocidade, acelerações, campos eletromagnéticos e praticamente qualquer outro fenômeno físico que possa ocorrer durante o ciclo de vida do produto.

O estudo da dinâmica de corpo rígido usando em software de simulação abrange uma ampla faixa de áreas de análise:

Estudos estáticos oferecem ferramentas para análise de tensão linear de peças e montagens submetidas a cargas estáticas podemos assim verificar:

- A peça irá quebrar sob cargas normais de operação?
- O modelo está superdimensionado?
- O projeto pode ser modificado para aumentar o fator de segurança?

Estudos de flambagem analisam o desempenho de peças finas sob cargas de Compressão:

- As pernas de meu vaso são fortes o suficiente para não apresentarem falha por escoamento, mas serão resistentes para não cederem devido à perda de estabilidade?
- O projeto pode ser modificado para assegurar a estabilidade dos componentes finos na montagem?

Estudos de frequência oferecem ferramentas para análise dos modos e frequências naturais. Isso é essencial no projeto de muitos componentes carregados de maneira estática e Dinâmica:

- A peça irá entrar em ressonância sob cargas normais de operação?
- As características de frequência dos componentes são adequadas para a aplicação pretendida?

- O projeto pode ser modificado para melhorar as características de frequência?

Estudos térmicos oferecem ferramentas para análise da transferência de calor por meio de condução, convecção e radiação.

- Mudanças de temperatura afetarão o modelo?
- Como o modelo opera em um ambiente com flutuação de temperatura?
- Quanto tempo demora em o modelo resfriar ou superaquecer?
- A alteração de temperatura provoca expansão do modelo?
- As tensões provocadas pela mudança de temperatura provocam a falha do

produto.

Estudos de teste de queda são usados para analisar a tensão em peças ou montagens móveis chocando-se contra um obstáculo.

- O que acontece se o produto for manuseado incorretamente durante o transporte ou sofrer uma queda?
- Como o produto se comporta quando sofre uma queda em piso de madeira rígida, carpete ou concreto?

Estudos de otimização são aplicados para melhorar (otimizar) o projeto inicial com base em um conjunto de critérios selecionados como tensão máxima, peso, frequência ideal etc.

- A forma do modelo pode ser alterada mantendo a intenção do projeto?
- O projeto pode ser modificado para se tornar mais leve, menor e mais econômico sem comprometer a resistência e o desempenho?

Estudos de fadiga analisam a resistência de peças e montagens submetidas a cargas repetitivas por longo tempo.

- A vida útil do produto pode ser estimada com exatidão?
- A modificação do projeto atual ajuda a prolongar a vida do produto?
- O modelo está seguro quando exposto a forças variáveis ou a cargas de temperatura por longos períodos?
- Reprojetar o modelo ajuda a minimizar os danos causados por forças ou temperaturas variáveis?

Estudos não lineares oferecem ferramentas para análise de tensão em peças e montagens que sofrem cargas intensas e/ou grandes deformações.

- Peças fabricadas em borracha (o-rings, por exemplo) ou espuma apresentam bom desempenho sob determinada carga?

- O modelo sofre dobramento excessivo sob condições normais de operação?

Estudos dinâmicos analisam objetos submetidos a cargas que variam com o tempo. Exemplos típicos poderiam ser cargas de choque em componentes montados em veículos, turbinas submetidas a cargas de forças oscilatórias, componentes de aeronaves sob cargas aleatórias etc. Estão disponíveis estudos lineares (pequenas deformações estruturais, modelos de materiais básicos) e não lineares (grandes deformações estruturais, cargas intensas e materiais avançados).

- Os suportes submetidos a cargas de choque quando o veículo passa por buracos na estrada foram projetados de forma segura? Quanto eles se deformam sob essas circunstâncias?

A simulação de fluidos permite ao usuário analisar o comportamento e o efeito de fluidos em movimento no interior ou em volta de peças e montagens. Também é considerada a transferência de calor em fluidos e em sólidos. Os efeitos de pressão e temperatura podem ser subsequentemente transferidos para os estudos do software de simulação para prosseguir com a análise de tensão.

- O fluido está se movendo rápido demais e causará problemas no projeto?
- O fluido em movimento está quente ou frio demais?
- A transferência de calor no produto é eficiente? Ele pode ser aprimorado?
- Qual a eficácia do projeto na movimentação do fluido através do sistema?

3 MATERIAL E MÉTODOS

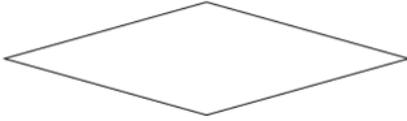
3.1 Local do estudo

O trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira etapa foi a elaboração do projeto que foi conduzido no Laboratório de Eletrônica e Maquinas Agrícolas pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. A segunda etapa foi à construção e avaliação do protótipo realizado no Instituto Federal do Ceará, campus de Fortaleza.

3.2 Fluxograma do método utilizado

Neste fluxograma foram apresentadas as principais etapas para o alcance dos objetivos para construir o protótipo da recolhedora de caju, tais como: identificação do problema, planejamento, conceito preliminar da maquina, conjunto de possibilidade de mecanismo, conceito detalhado, desenho conceitual do protótipo.

Tabela 2 - Convenções de fases no processo de projetar

Fases do evento	Representação gráfica	Descrição
Início ou fim		Início ou fim da operação
Processo		Processo ou operação executada
Avaliação		Comparação de dados e tomada de decisão
Dados		Informação ou dados de qualquer natureza

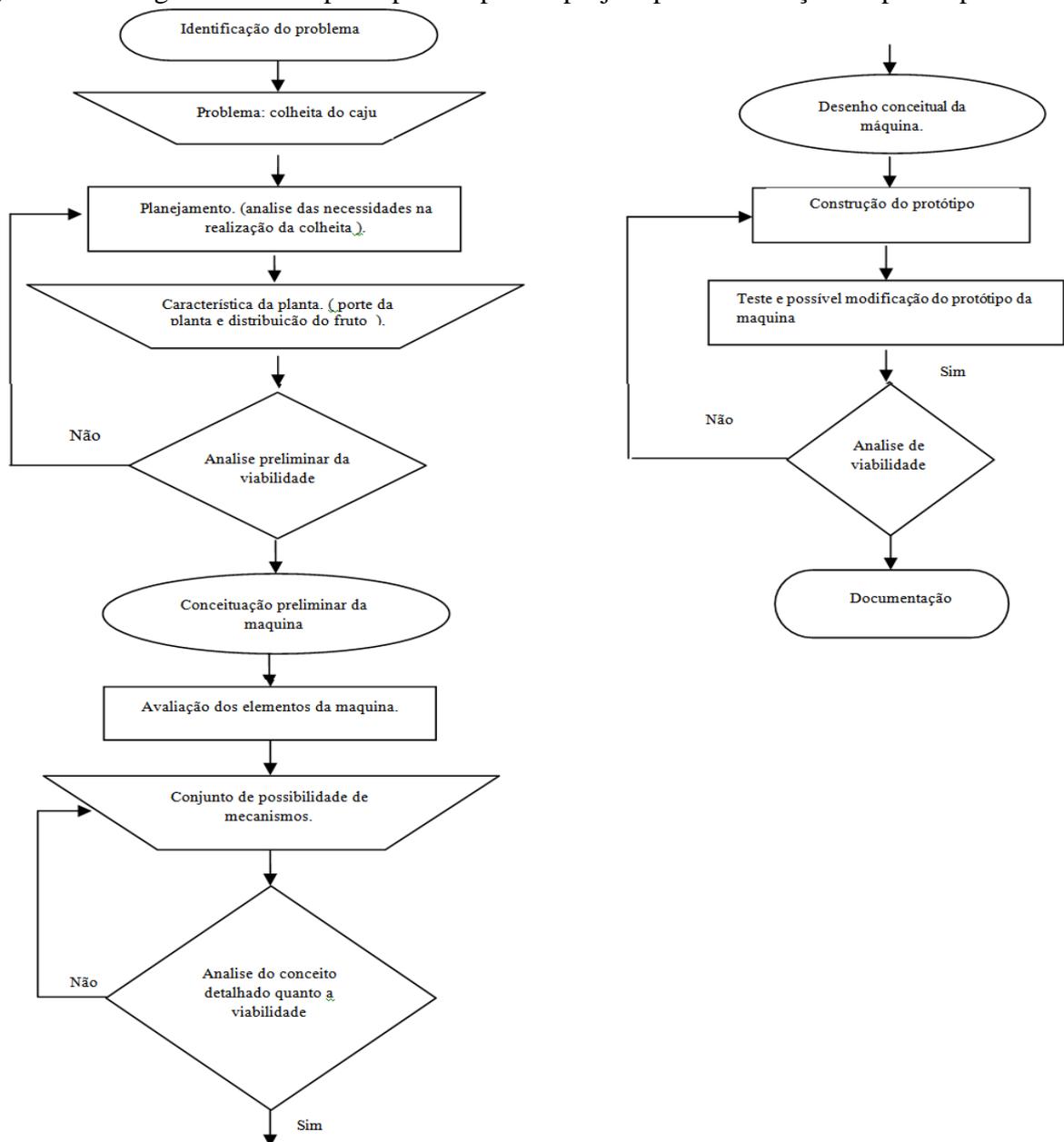
Fonte: Back (1983).

No desenvolvimento do projeto foram consideradas para parâmetros de projetos as seguintes características relacionadas à cultura da palma forrageira: 1- Altura da planta de 2,0 m caju anão precoce podendo atingir 11 m de altura nos gigantes: 2 - Densidade de

plantas por hectare em função do espaçamento adotado. 3 - Produção. 4 - forma de plantio das mudas.

A fase de identificação do problema é fundamental para o início das atividades de um projeto, pois são a partir dos dados de pesquisas coletados junto ao cliente que será balizada todas as decisões e atividades subsequentes. Seguindo as fases de planejamento do projeto, iniciou-se com o estabelecimento e detalhamento das tarefas da plantadora, considerando a relação entre as características de solos, e as dimensões da semente (caso da palma e a raquete) em associação com os elementos da máquina (Figura 3).

Figura 3 - Fluxograma com as principais etapas do projeto para construção do protótipo



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Back et al. (2008), planejamento de um produto é um processo multidisciplinar e abrangente que requer informações e conhecimento de varias áreas. E um processo criativo e ao mesmo tempo sistemático para a geração e seleção de ideias. A plantadora de palma forrageira foi capaz de realizar o plantio com eficiência. Assim, foi construída uma matriz morfológica preliminar. A busca por princípios de soluções para os problemas que foram considerados anteriormente como funções de baixo nível. A vantagem da aplicação da técnica é se desprender do convencional na busca de uma solução inovadora. E através do agrupamento dos princípios de soluções para cada função, formando uma concepção para a solução do problema em questão.

Após a definição da melhor concepção, inicia-se o projeto detalhado, onde se define todas as peculiaridades da maquina, necessárias para os processos de fabricação e viabilidade econômica. Como fases seguintes foram confeccionadas as peças conforme o projeto detalhado e montado o equipamento, originando a primeira versão do produto. Que foi avaliada, com a realização das possíveis modificações para que fossem elaborados os manuais, catalogo de peças, arquivados desenhos e cálculos pertinentes ao projeto (Figura 3).

3.3 Matriz morfológica

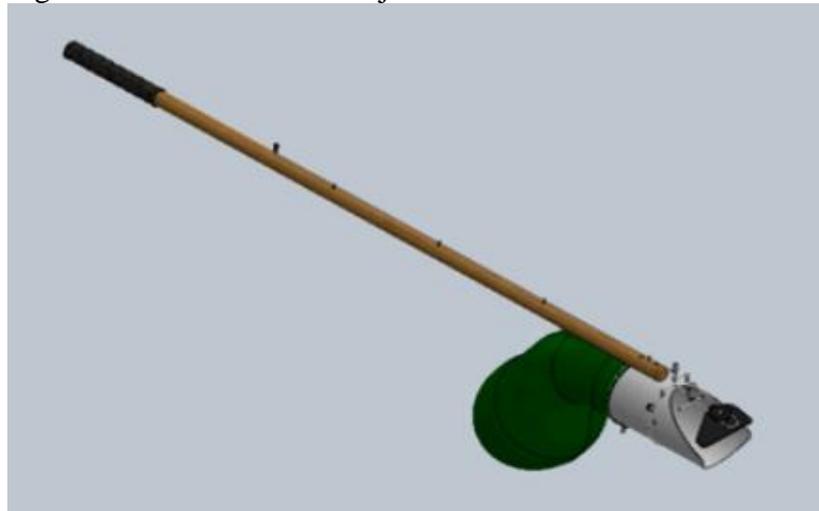
A metodologia de projeto adotada foi a matriz morfológica que consiste em soluções criativas encontradas, às vezes, ao se formarem novas combinações de funções, objetos, processos ou ideias já existentes. Consiste em uma pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros, com o objetivo de encontrar uma nova solução para o problema (BACK et al., 2008). Para confecção dos desenhos e simulação de funcionamento do protótipo foram utilizados os programas AUTOCAD modelo 2011, SOLID EDGE ST5 e SOLIDWORKS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Recolhedora Manual

O desenvolvimento de instrumentos facilitadores de colheita e recolheita é uma vertente que pode suprir o vácuo presente nos modos operacionais atuais. A falta desses instrumentos e os malefícios do meio usado atualmente, apontam na necessidade de otimizá-los e justificam a criação de tais instrumentos que trazem, em seu bojo, benefícios gigantescos não só à produtividade do labor de colheita e recolheita, como acréscimo na qualidade do produto objeto do labor, supre a escassez de mão de obra e, de forma suplementar, gera uma longevidade na vida útil dos trabalhadores, aumento da produtividade e renda destes, além de drástica redução no período de inatividade dos trabalhadores e de custos ao estado com aposentadorias Figura 4.

Figura 4 - Recolhedora de caju manual



Fonte: elaborado pelo autor.

O presente instrumento destina-se a recolheita (apanhar já no solo) do caju. Sua funcionalidade é destinada a drástica redução dos efeitos danosos da postura laboral obrigatória quando o trabalho é feito da atual forma. O cabo de madeira de 1200 mm atua como uma extensão do braço do trabalhador, evitando a curvatura acentuada e danosa, uma haste de flexão de 800 mm permite o movimento da placa de arraste, feita em PVC, que recolhe os frutos ao chão, levando-os, por intermédio do suporte de captação, para o interior da sacola de 10 litros de capacidade.

O manuseio do presente instrumento permite a recolheita de cerca de 100 cajus, levando-se em conta que há uma redução, quase total, dos movimentos curvatórios do operário, aumenta-se a capacidade de recolher mais rápido os frutos caídos, facilidade estendida para o despejo destes na caixa própria para que seja separada a castanha do pedúnculo. Tais facilidades tornam o trabalho mais produtivo, minimizando a escassez de mão de obra, melhorando a qualidade do produto recolhido. Com efeito, reduz o número de trabalhadores inativos por doenças provenientes da repetição dos movimentos, minorando os gastos com medicamentos e resultando, portanto, em uma prolongada vida laboral incrementando a renda familiar dos envolvidos.

O presente instrumento tem como principal característica a facilidade de encontrar suas peças de montagens, não sendo elaborado com materiais refinados e de alto valor financeiro, ou de difícil aquisição, pois perderia sua finalidade saneadora, podendo ser utilizado na agricultura familiar, impactando diretamente na saúde laboral, melhorando a produtividade e, conseqüenteente, a renda da família. A Tabela 3 detalha as peças que constituem o instrumento retro mencionado, conforme Figura 6.

Tabela 3 - Detalhamos, a seguir, as peças que constituem recolhadora manual de caju

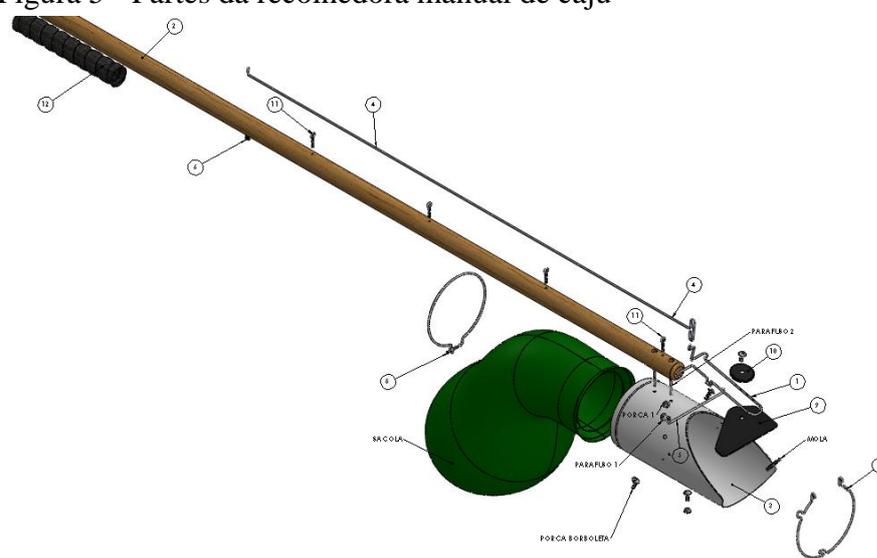
Peça	Denominação e descrição	Qtd.	Material e dimensões
01	Parafuso de 2 mm de diâmetro	04	Aço ABNT 1020, comprimento 10 mm
02	Cabo de 16 mm de diâmetro	01	Madeira, 1200 mm de comprimento
03	Suporte de captação de 75 mm de diâmetro	01	Tubo de PVC , 200 mm de comprimento
04	Haste de flexão	01	Aço inox 304 800 mm de comprimento
05	Pino de engate	01	Aço inox 304 90 mm de comprimento
06	Trava 4 mm de diâmetro	01	Aço ABNT 1020 12 mm
07	Anel de fixação de 2 mm de diâmetro	01	Aço inox 304 600 mm de comprimento
08	Anel de fixação da sacola de 2 mm de diâmetro	01	Aço inox 304 750 mm de comprimento
09	Placa de araste	01	PVC de dimensões 70 x 50 x 2mm
10	Arruela	01	PVC de 50 mm de diâmetro, 2 mm de espessura
11	Parafuso de rosca soberba 2 mm	01	Aço ABNT 1020 de 12 mm
12	Suporte	01	PVC de 20 mm de diâmetro

Fonte: elaborado pelo autor.

Podemos observar na Figura 5 todas as peças, onde se encaixam quantidade de cada peça, para que se possa confeccioná-la de maneira simples e objetiva. Podendo ser

realizado por qualquer homem de médio conhecimento. Não sendo nenhum obstáculo à sua confecção, com peças facilmente encontradas no mercado comercial e com custo acessível.

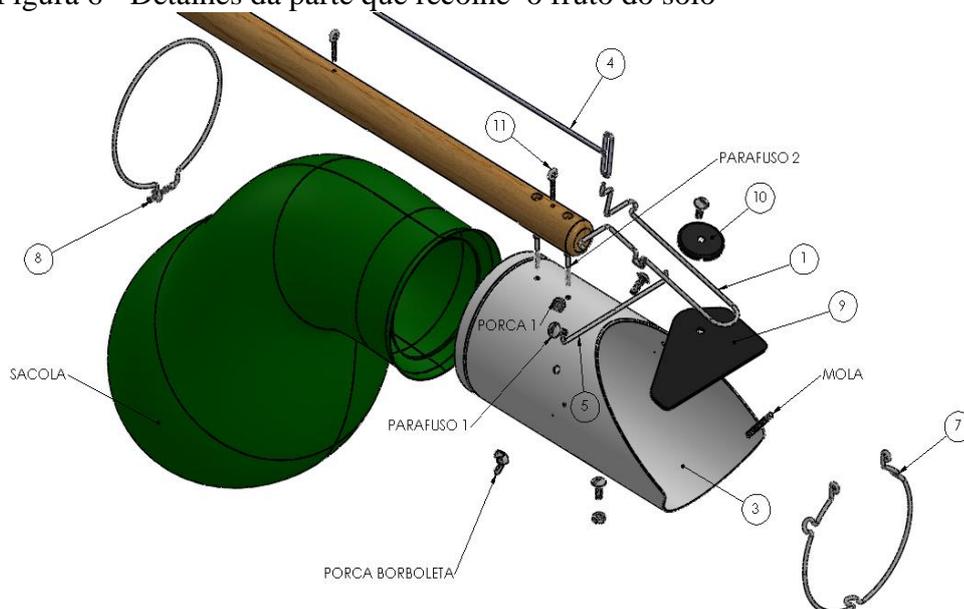
Figura 5 - Partes da recolhedora manual de caju



Fonte: elaborado pelo autor.

As Figuras abaixo se destinam à compreensão de como confeccionar a Recolhedora Manual de Caju, detalhando suas peças, dimensões e formas de encaixe. A Figura 6, traz detalhes da parte que recolhe o fruto do solo, é, sem dúvida, a parte que exige mais atenção na confecção do instrumento, por concentrar mais peças e por ser o principal ato da otimização.

Figura 6 - Detalhes da parte que recolhe o fruto do solo



Fonte: elaborado pelo autor.

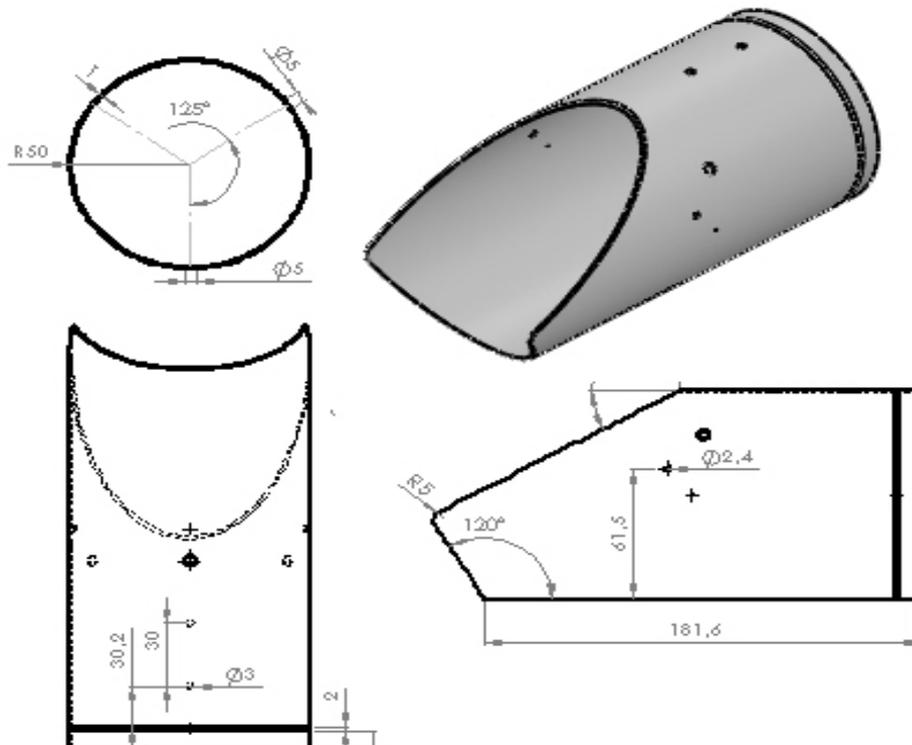
Na Figura 07 temos o suporte para ser fixado no cabo de madeira da recolhedora, confeccionado em PVC, de 20 mm de diâmetro e 180 mm de comprimento. Na Figura 8 é apresentada a base do recolhedor, confeccionado em PVC, de 75 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento.

Figura 7 - Suporte para ser fixado no cabo de madeira da recolhedora



Fonte: elaborado pelo autor.

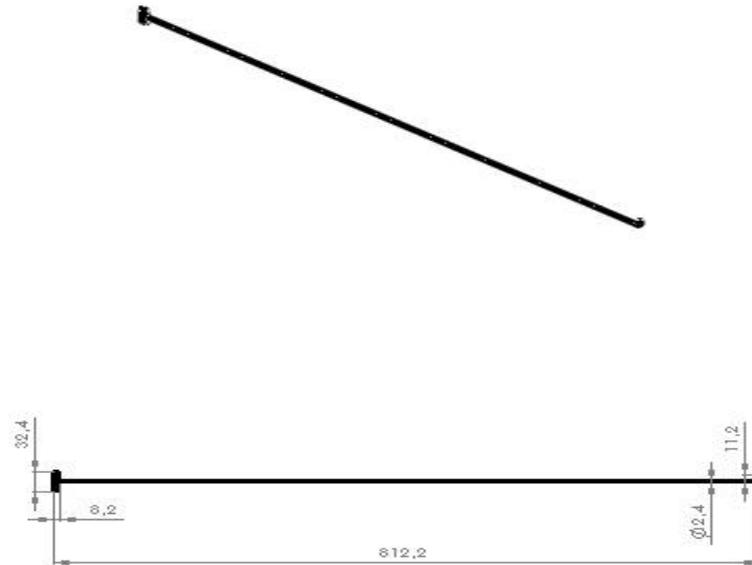
Figura 8 - Base do recolhedor



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 9 é apresentada a haste de flexão, confeccionada aço inox 304, 800 mm de comprimento.

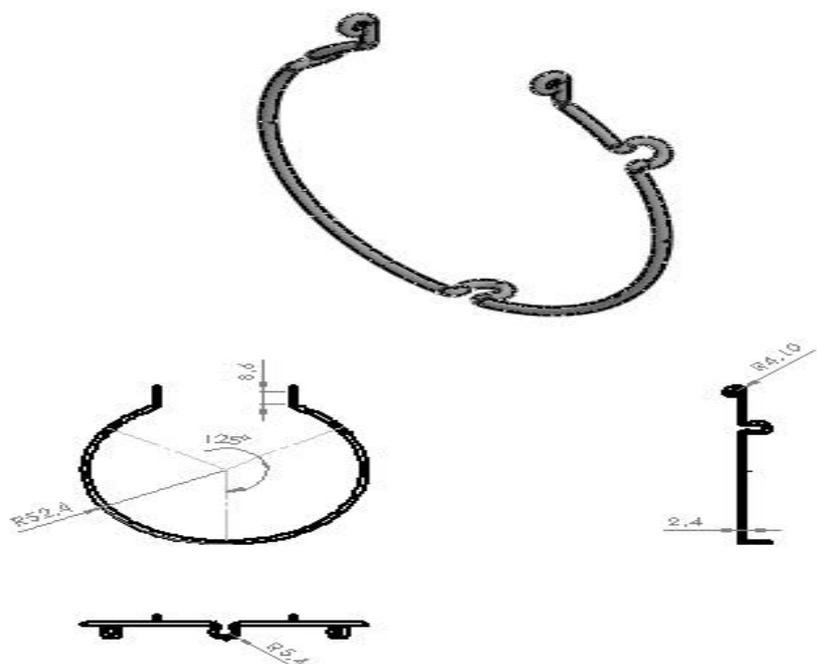
Figura 9 - Haste de flexão



Fonte: elaborado pelo autor.

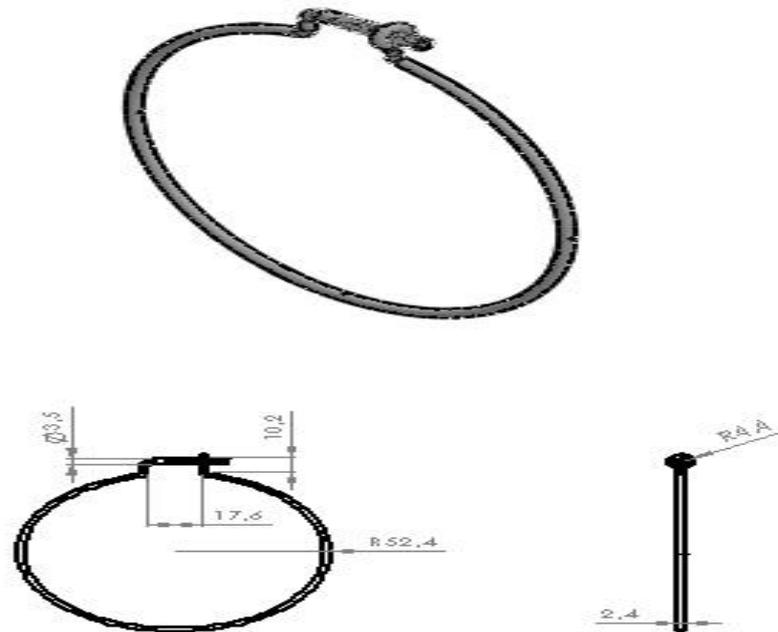
Na Figura 10 é apresentado o anel de fixação de 2 mm de diâmetro, de aço inox 304, 600 mm de comprimento, e trava de 4mm de diâmetro, aço ABNT 1020 12 mm. Na Figura 11 é apresentada o anel de fixação da sacola de 2 mm de diâmetro, de aço inox 304, 750 mm de comprimento. Na Figura 12 é mostrado a placa de arraste, PVC de dimensões 70 x 50 x 2 mm.

Figura 10 - Anel de fixação



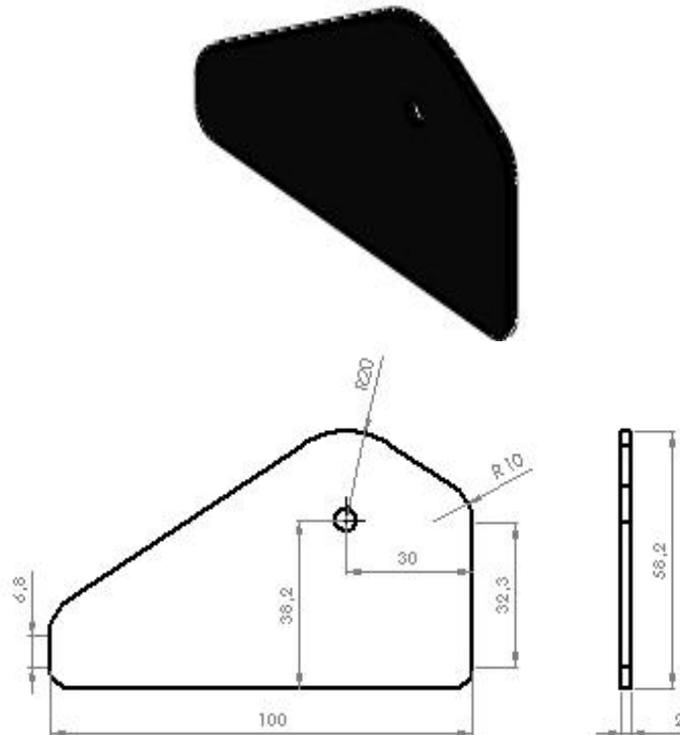
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11 - Anel de fixação da sacola



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12 - Placa de arraste



Fonte: elaborado pelo autor.

Por todas as facilidades expostas, nada impede a ampla disseminação do presente instrumento manual na cultura do caju, alargando os horizontes produtivos, ampliando a

qualidade do produto final, incrementando a renda familiar e melhorando as condições de vida do produtor rural.

4.2 Recolhedora semiautomática

Com a finalidade de atender maiores demandas de recolheita de caju, desenvolvemos a recolhedora semiautomática. Com um custo superior a manual, necessitando de um aporte financeiro para sua confecção, além de ter que ser transportada sobre um reboque veicular, preferencialmente acoplada a um trator, essa recolhedora é uma opção para médias e grandes produtoras do insumo em tela.

Na Figura 13, podemos observar tratar de um instrumento de maior porte, com capacidade de coletar um número bem superior de frutos, e destinada a grandes plantações, fixado que será não sendo prático o seu deslocamento manualmente, necessitando, portanto, do uso de um veículo para abranger maior área de recolheita e com maior rapidez, otimizando o que é feito hoje.

Figura 13 - Recolhedora semiautomática



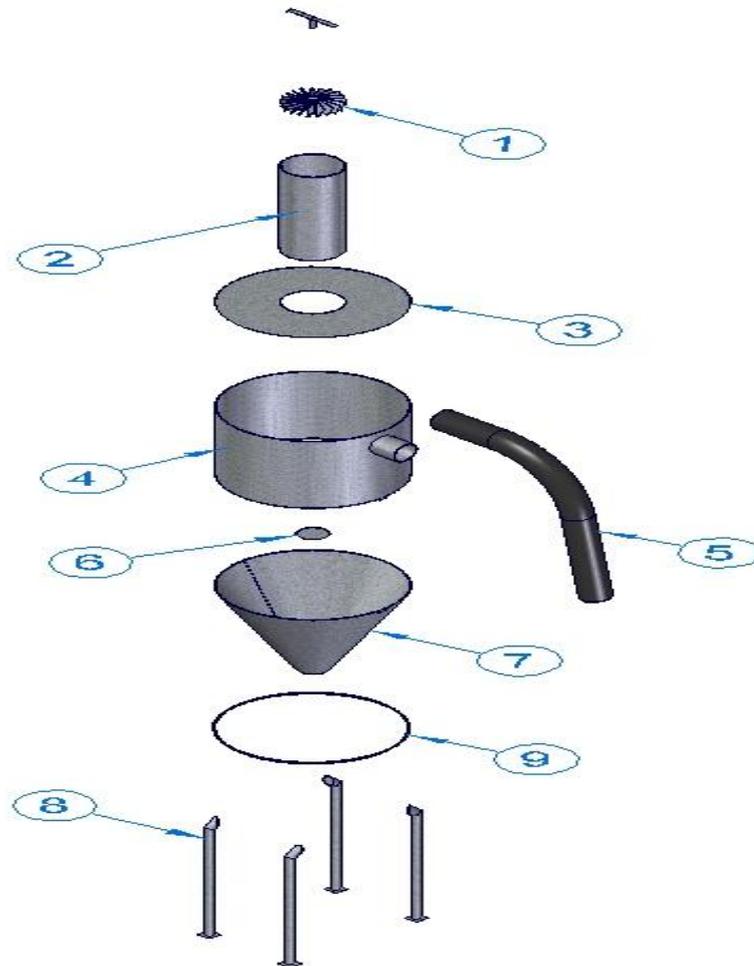
Fonte: elaborado pelo autor.

Nas vastas áreas de plantações de caju, de grandes produtores, o primeiro empecilho para o uso desse instrumento seria a falta de cobertura de energia elétrica para mantê-lo ligado durante todo o seu deslocamento, a fiação seria dispendiosa e a demora com os cuidados com ela eliminariam quaisquer praticidades de seu uso. Se tomarmos como exemplo de veículo transportador da recolhedora o trator, teremos a seguinte situação: o

sistema elétrico do trator, composto pela bateria e alternador, seria aproveitado para gerar a energia necessária que acionará o motor elétrico que, por sua vez, fará a turbina girar, provocando um vácuo, sugando os frutos que se encontrarem diante da mangueira de PVC (Figura 13).

A Tabela 4 mostra os detalhamentos das peças que constituem o instrumento retro mencionado (Figura 14).

Figura 14 - Partes da recolhedora semiautomática de caju



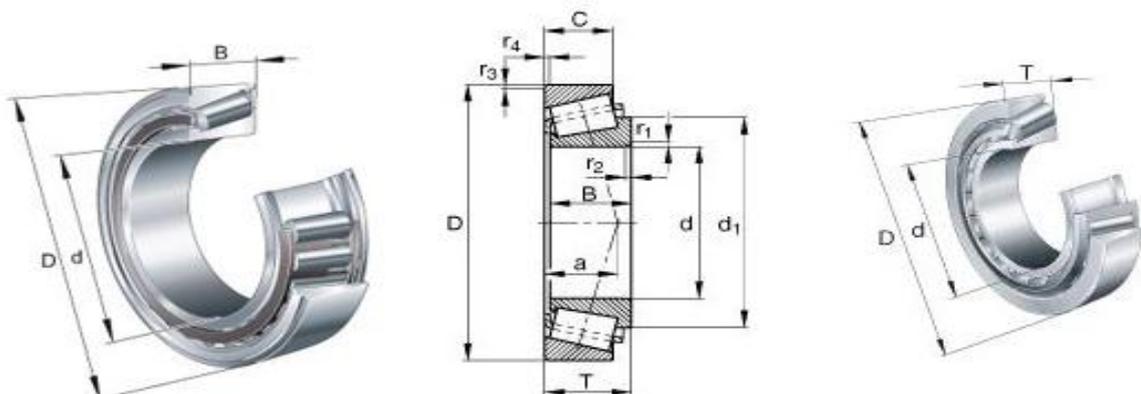
Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Peças que constituem a recolhedora semiautomática de caju

Peça	Denominação e descrição	Qtde.	Material e dimensões
01	Turbina	01	PVC , 196 mm de diâmetro
02	Tubo de 200 mm	01	Chapa de aço inox 304, chapa retangular 500 x 628 mm e 1 mm de espessura
03	Tampa superior de diâmetro de 600 mm	01	Chapa de aço inox 304, chapa circular de diâmetro 600 mm e 1 mm de espessura
04	Tubo de 600 mm	01	Chapa de aço inox 304, chapa retangular 500x1884 mm e 1 mm de espessura
05	Mangueira de 80 mm de diâmetro	01	PVC 2000 mm de comprimento
06	Tampa inferior de diâmetro de 200 mm		Chapa de aço inox 304, chapa circular de diâmetro 200 mm e 1 mm de espessura
07	Base cônica do reservatório de diâmetros 600 mm e 200 mm, respectivamente.	01	Chapa de aço inox 304, chapa retangular 500 x 1884 mm e 1 mm de espessura
08	Base de sustentação tubo 25 mm	04	Tubo de aço inox 304 de 25 mm, espessura 1,2 mm e 1200 mm de comprimento
09	Anel de vedação	01	Borracha retangular 4 x 2 mm e 1884 mm de comprimento
10	Rolamento de rolos cônicos	02	SKF 30204
11	Mancal de fixação	02	
12	Motor tipo By-Pass	01	
13	Inversor de Tensão Veicular		

Os rolamentos SKF 30204, Figura 15, com diâmetro interno (d) de 20 mm, diâmetro exterior (D) de 47 mm e espessura (B) de 14 mm, desempenham importante função, pois permitirá o livre movimento da turbina, fixada por mancais, sem eles, o desgaste impossibilitaria o perfeito funcionamento da recolhedora.

Figura 15 - Rolamentos SKF 30204



Fonte: elaborado pelo autor.

O motor elétrico (Figura 16) exercerá a função de levar energia elétrica à recolhedora semiautomática, será ele que alimentará o instrumento e o manterá funcionando durante a execução da colheita por toda extensão da área de cultivo. Para um desempenho satisfatório da recolhedora semiautomática, o motor deve apresentar as seguintes características: motor by-pass, alimentação entre 127 e 230 Vca 50/60hz, potência de 1.600W, turbina com 145 mm, 2 estágios, descarga periférica, com dupla isolação, mancais com duplo rolamento, classe térmica F, vazão máxima de 53 L seg⁻¹, performance vácuo de 2.300 mmH₂O, conectores de alimentação padrão Faston 4,8 x 0,8 mm, dentro das normas de construção EN60335, RoHS.

Figura 16 - Motor elétrico



Fonte: elaborado pelo autor.

Para que o motor elétrico funcione, faz-se necessário o uso de um inversor de tensão (Figura 17), que transformará a energia gerada no trator (bateria e o alternador) (12 volts) em energia necessária para ser consumida pelo instrumento em funcionamento. O inversor ideal para o presente estudo é o Inversor de Tensão Veicular Hayonik, que transforma 12VDC em 110/127V 2000W com saída USB.

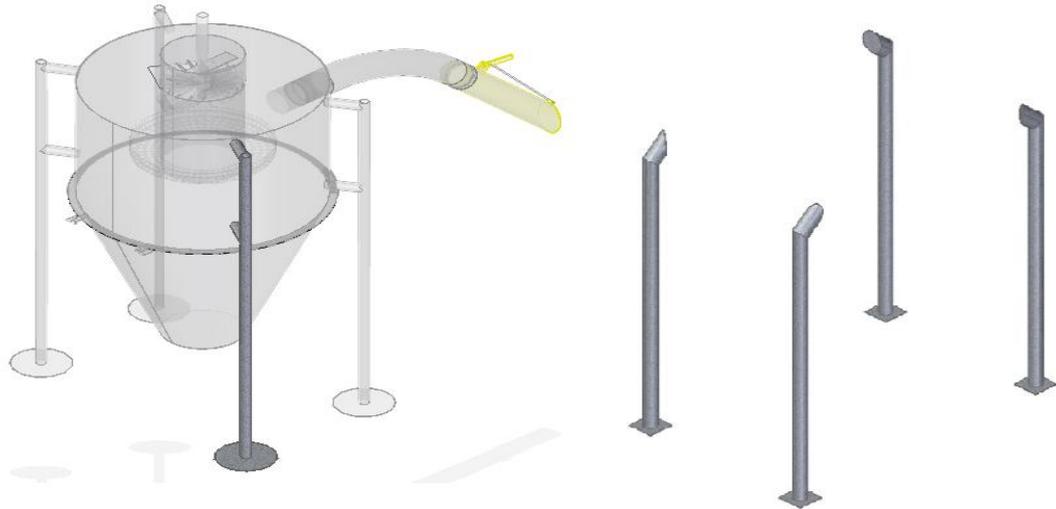
Figura 17 - Inversor de frequência



Fonte: Hayonik (2013).

Explicitadas as partes que permitem a operacionalidade da Recolhedora Semiautomática, como um único sistema passou agora a demonstrar como se dá a confecção desta, detalhando suas peças, dimensões e formas de encaixe. A Figura 18 mostra a base de sustentação formada por quatro tubos de aço inox 304 de 25 mm, espessura 1,2 mm e 1200 mm de comprimento e distribuição equitativa, para um perfeito equilíbrio.

Figura 18 - Base de sustentação



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 19 mostra a turbina, de PVC, 196 mm de diâmetro, acoplada ao mancal e com o movimento facilitado pelos rolamentos SKF 30204, criando o vácuo que aspirará aos frutos, permitindo uma recolheita mais ágil e eficiente.

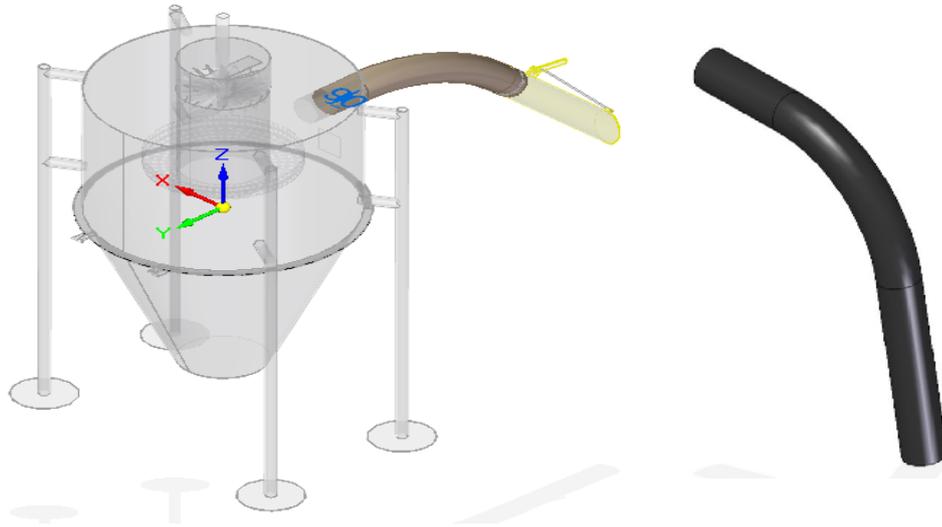
Figura 19 – Turbina



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 20 demonstra o acoplamento da mangueira aspiradora que apanhará o fruto direto do solo.

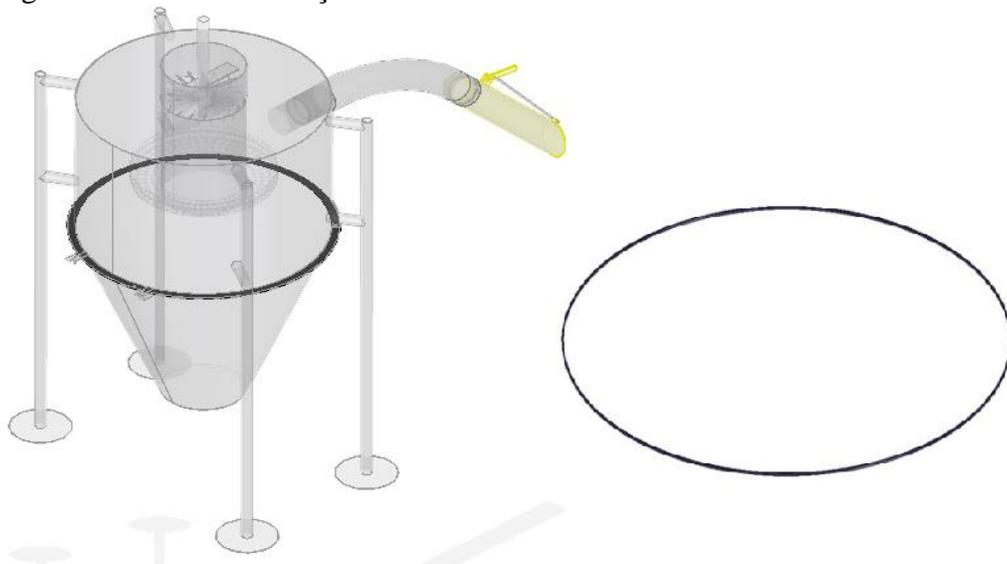
Figura 20 - Acoplamento da mangueira aspiradora



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 21 mostra o anel de vedação, elaborado com borracha retangular 4x2mm e 1884 mm de comprimento.

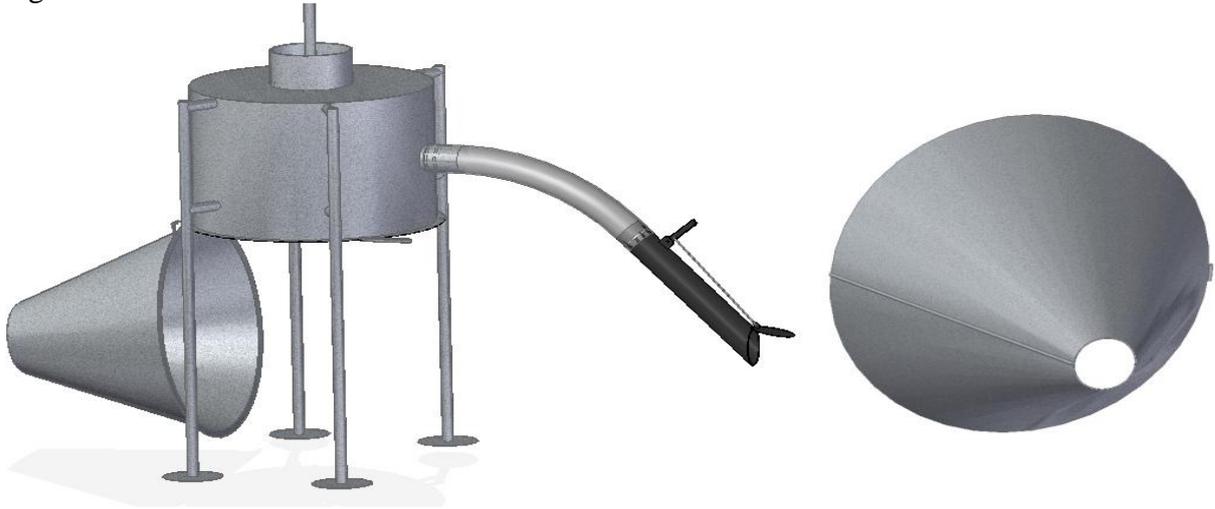
Figura 21 - Anel de vedação



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 22 apresenta a base cônica do reservatório de diâmetros 600 mm e 200 mm respectivamente, e sua facilidade em liberar os frutos nela recolhidos.

Figura 22 - Base cônica do reservatório



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Testes de segurança

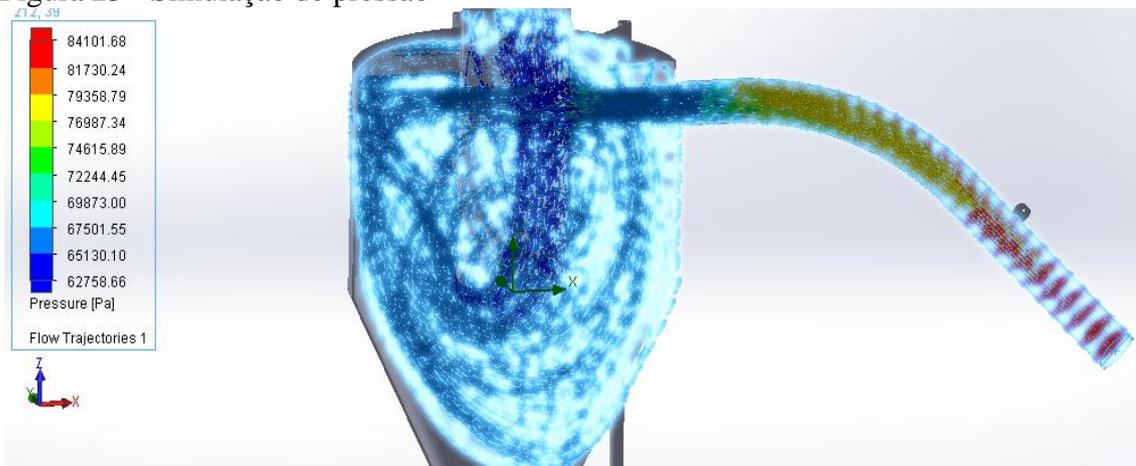
A segurança deve ser uma preocupação constante, práticas preventivas devem ser estimuladas, preocupados com a integridade daqueles que manusearão o presente instrumento é que fizemos uma simulação de pressão, calor e velocidade do ar. O trabalho desenvolvido pela recolhedora semiautomática deve ser um impulsionador de produtividade, garantindo ao trabalhador melhores condições laborais e uma produtividade otimizada, sem riscos à sua integridade física.

Com a finalidade de garantir ser o instrumento seguro para o trabalho a que se destina, submetemos a recolhedora semiautomática a testes simulados virtualmente, usando, para isso, como ferramenta, o Assistente de Análise Simulation Xpress, do software Solidworks.

Para exercer sua função de forma plena, a recolhedora semiautomática sofrerá uma pressão de 22 kPa, na simulação realizada restou comprovado que ela suporta uma pressão de 100 kPa, 4,5 vezes o necessário. Na análise de calor, novamente logrou-se êxito, posto que, além de não apresentar temperaturas elevadas, que pudesse por em risco o equipamento, verificou-se que a temperatura sequer chegará a comprometer a qualidade do caju recolhido. Satisfatório também foi o teste realizado em relação à velocidade do ar.

A Figura 24 representa a simulação da pressão de funcionamento da recolhedora automática. Através dessa simulação foi dimensionada a pressão de trabalho que é de aproximadamente 22 kPa, a pressão será máxima na extremidade da mangueira, parte vermelha, seguida da cor alaranjada, e mínima na base cônica, onde temos a cor azul.

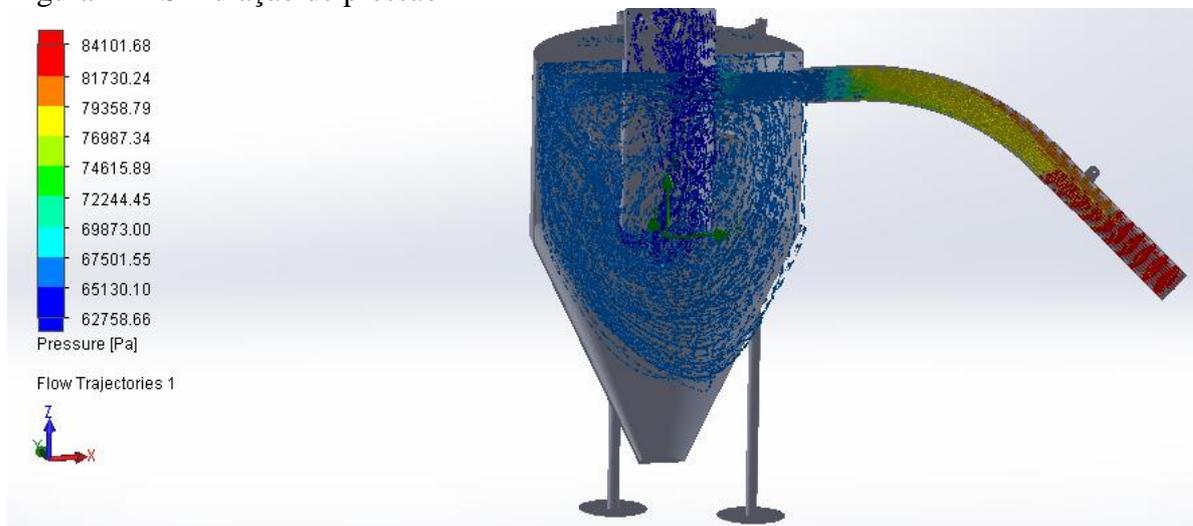
Figura 23 - Simulação de pressão



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 24 representa a mesma simulação da pressão de funcionamento da recolhadora automática, onde podemos observar que a parte cônica do reservatório, em sua base, apresenta o vácuo, que à medida que for sendo preenchida, passará a receber a pressão suave, representada pela cor azul.

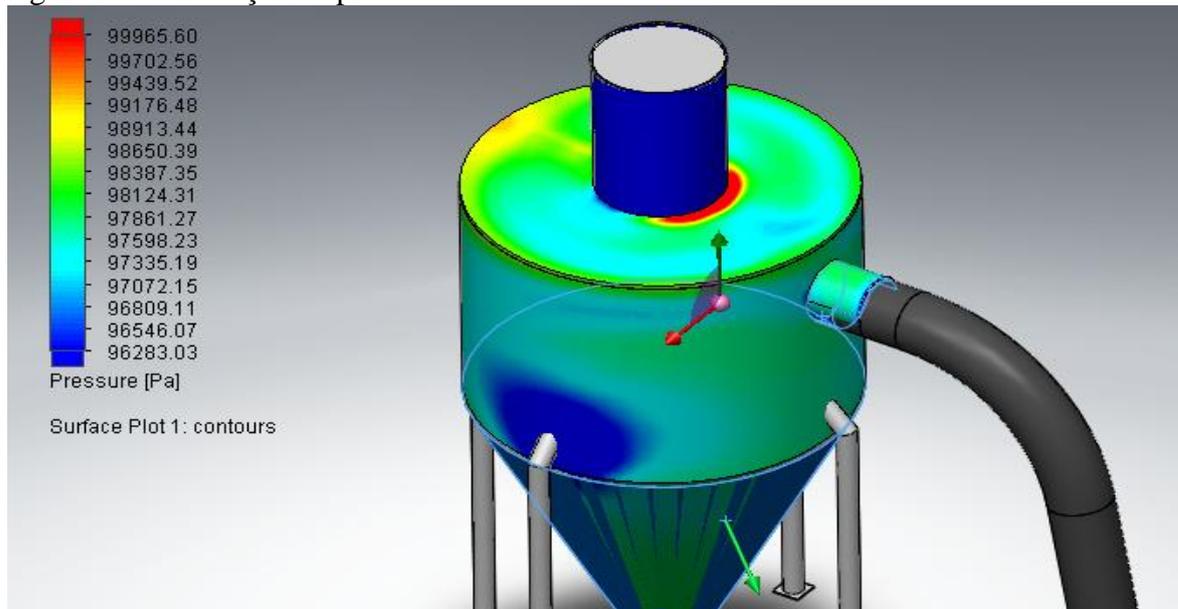
Figura 24 - Simulação de pressão



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 25 demonstra a análise da pressão máxima que o reservatório de coleta pode suportar em funcionamento e a identificação de pontos críticos que podem apresentar falha, verificou-se que este suporta uma pressão de aproximadamente 100 kPa, 4,5 vezes a necessária para a execução da tarefa a que este se destina. Os pontos críticos estão representados na cor vermelha, situada na entrada do reservatório.

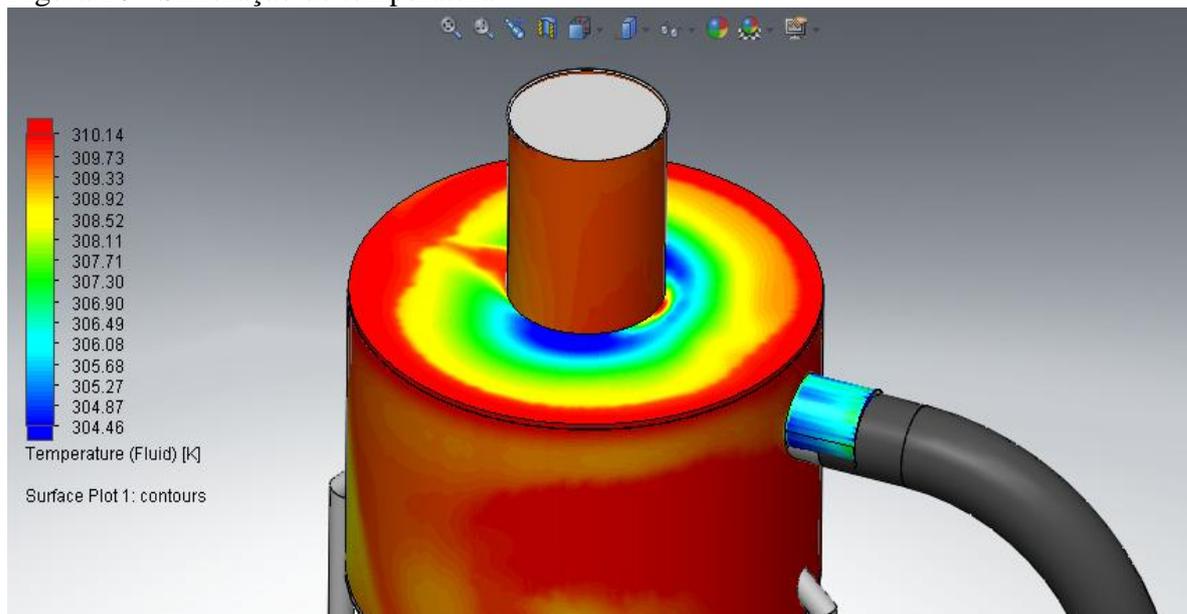
Figura 25 - Simulação de pressão



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 26 demonstra a análise da temperatura de trabalho no interior do reservatório, nessa simulação podemos observar a variação de sua temperatura e possíveis efeitos no caju recolhido, verificou-se que a variação de temperatura é de aproximadamente 6 graus K, não representando danos ao caju, sendo o aumento da temperatura identificado nas paredes do reservatório, em especial, na parte superior.

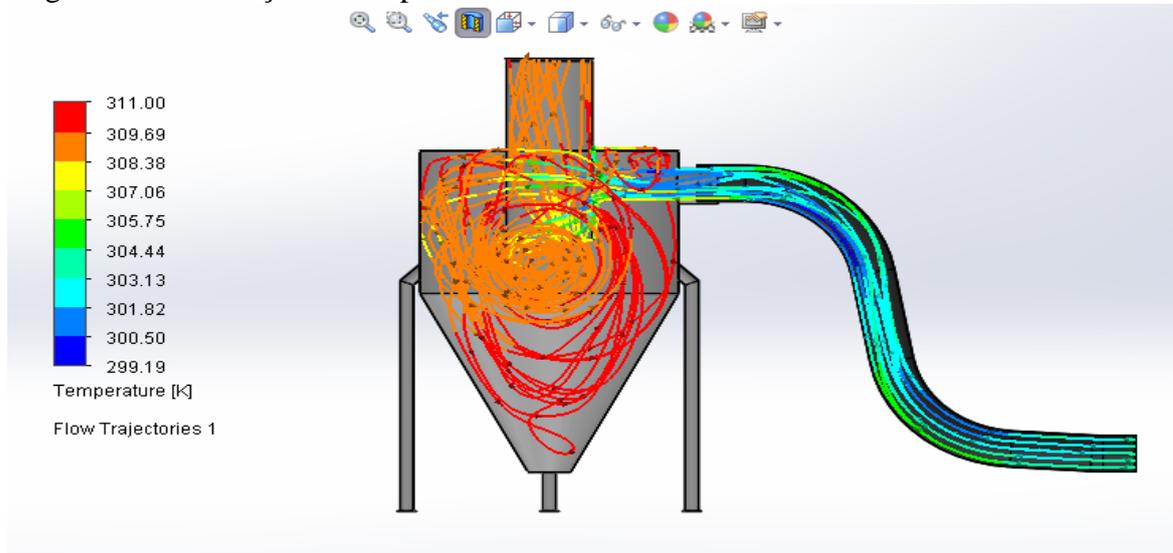
Figura 26 - Simulação de temperatura.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 27 ainda analisando a temperatura de trabalho no interior do reservatório, agora com uma visão lateral, nos permite observar como circula essa temperatura, reforçando a preservação do caju recolhido, não causando danos a este.

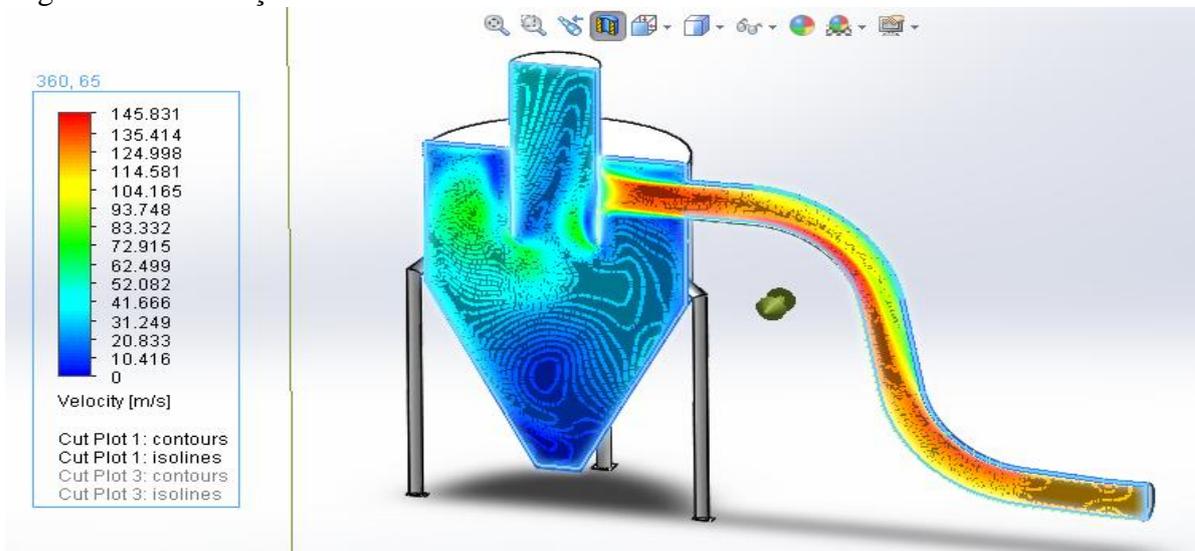
Figura 27 - Simulação de temperatura



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 28 demonstra a simulação da velocidade do ar em diversos pontos do reservatório. Com velocidade máxima de aproximadamente 145 m s^{-1} em alguns pontos da mangueira. Onde se apresentam as cores vermelhas e alaranjadas são os pontos de maior velocidade, as cores azuis, em seus tons, representam as menores velocidades, conforme legenda ao lado.

Figura 28 - Simulação de velocidade do ar



Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

O uso da tecnologia CAE apresentou inúmeras vantagens para aumentar a confiabilidade e grau de segurança em projetos industriais mecânicos, dessa forma, essa tecnologia oferece aos projetistas e fabricantes redução de tempo e custos de no desenvolvimento de produtos.

Além disso, essa tecnologia permite reduzir os custos para lançamento de um projeto no mercado; melhorar a eficiência de um projeto; aumentar a produtividade da equipe de projetos com a redução de cálculos complexos feitos manualmente; reduzir a quantidade de protótipos destinados aos testes de validação do projeto; corrigir rapidamente os erros ocorridos devido ao sistema computadorizado; e diminuir retrabalhos. Isso porque através de um sistema CAD/CAE é possível analisar, partindo-se de relações estabelecidas entre os componentes e das variáveis de processo, de um projeto industrial mecânico, os pontos fortes e falhos desse projeto.

Portanto, em comparação às demais técnicas praticadas pelas indústrias para aumento de confiabilidade e grau de segurança em projetos industriais mecânicos, os sistemas CAD/CAE tornam-se gritantemente mais vantajosos, haja vista que através dos mesmos é possível se obter uma estimativa muito próxima da realidade de como as peças componentes desses projetos irão se comportar, do ponto de vista mecânico, quando da submissão às relações existentes em regime de trabalho. Dessa forma, através desses sistemas, é possível a antecipação de falhas potenciais em projetos industriais mecânicos, antes mesmo da fabricação dos primeiros protótipos, o que torna esses sistemas uma ferramenta de extrema importância para as equipes de projetos.

Além disso, através desse estudo de caso, foi possível constatar na prática a eficiência da estimativa de deformação de uma determinada peça utilizando um software CAD/CAE. O problema tratado nesse estudo de caso foi solucionado com o auxílio da ferramenta *Assistente de Análise Simulation Xpress* do software *Solidworks*.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A prática do projeto conceitual de produtos não ocorre na indústria com a mesma intensidade que é recomendada na literatura e ensinada nos meios acadêmicos. Vários motivos podem ser apontados para isto e, dentre eles, que a prática de projeto na indústria é voltada, em geral, para adaptações e reprojetos de produtos e muito pouco para novos desenvolvimentos e, que os conceitos e princípios do projeto conceitual não são adequadamente entendidos e valorizados no meio industrial. Entretanto, admite-se como motivo mais importante, a falta de utilização de ferramentas computacionais que implementem os princípios e os procedimentos prescritos nas metodologias de projeto propostas. Esta lacuna se deve, em parte, por que, em primeiro lugar, as pesquisas e aplicações nesta direção são recentes. Muitos trabalhos têm sido realizados sob o ponto de vista de análise de engenharia; o investimento em síntese de novos produtos tem sido incipiente. Aliado a isto inclui-se a natureza do projeto conceitual de produtos, como sendo bastante flexível em suas informações e geralmente qualitativo em seus resultados. Além disso, esta definição é baseada, em geral, em dados qualitativos e, muitas vezes, insuficientes, fazendo com que o projeto conceitual seja "evitado", o que implica numa dificuldade adicional para explorar e sistematizar os conhecimentos envolvidos nesta atividade. Por outro lado, verifica-se que as metodologias de projeto não estão devidamente preparadas para a implementação de auxílios computacionais para as fases iniciais do projeto. Elas prescrevem muito bem "o que" o projetista deve fazer durante a concepção de produtos, mas falham em estabelecer "como" o projetista deve fazer.

Conforme exposto por Gorni (2001) "prototipagem rápida (RP) por definição significa a capacidade de gerar protótipos diretamente dos arquivos de desenhos auxiliados por computador (CAD) em um tempo muito curto". Portanto através dessa tecnologia é possível obter os primeiros protótipos de um projeto em algumas horas.

De acordo com a definição dada por Rehg (1994), o CAE é a análise e avaliação do projeto da engenharia usando técnicas computacionais para calcular operacionalização e funcionalidade do produto e parâmetros da manufatura muito complexos para os métodos clássicos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, Júlia Issy; PINHO, Diana Lúcia Moura. **Teoria e prática ergonômica: seus limites e possibilidades**. Laboratório de Ergonomia da Universidade de Brasília, 1999.
- ABREU, Fernando Souza. Desdobramento da Função Qualidade – Estruturando a Satisfação do Cliente. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v.37, n.2, p.26-37, 1997.
- ÅGREN, J. Thermodynamic and Kinetic modeling of stainless steel past and future trends. *In: EUROPEAN STAINLESS STEEL CONFERENCE: THE SWEDISH STEEL PRODUCERS' ASSOCIATION*, 2008, Finlândia. **Anais...** Finlândia: ESCSSPA, 2008.
- ANDREASSEN, M. M.; HEIN, L. **Integrated Product Development**. Springer Verlag, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA. **A certificação do ergonomista brasileiro**. Editorial do Boletim 1/2000, 2000.
- BACK, Nelson. et al. **Projeto integrado de produto: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, São Paulo: Manole, 2008.
- BALASTREIRE, Luiz Antônio. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole LTDA. 1990.
- BLASS, Arno. **Processamento de polímeros**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1988.
- BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Estudo da cadeia produtiva do caju e validação de metodologia para acompanhamento dos sistemas agroindustriais**. Banco do Nordeste do Brasil. Fortaleza: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura: Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, 2009. 152p.
- BARBOSA, J. A. et al. Desempenho operacional de derriçadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.129-132, 2005.
- BAPTISTA, I. P; JÓIA, C. J. B. M.; FONTES, R. G. M.; CARVALHO, L. J. **Sistema e metodologia de avaliação da corrosividade naftênica em laboratório**. 7ª COTEQ228-03, Florianópolis, Santa Catarina, **Anais...** COTEQ, SC, 2003.
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. Tradução de Itiro Lida. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macêdo. Algodão brasileiro em relação ao mundo: situação e perspectivas. *In: BELTRÃO, N. E. de M. O Agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília: Embrapa-SPI, Campina Grande, **Anais...**Embrapa, PB, 1999.
- BADKE-SCHRAUB, P.; STEMPFLE, J. Analysis of solution finding processes in design teams. *In: LINDEMANN, Ulmman. (ed.). Human Behaviour in Design Human Behavior in Design*, Springer Verlag, Germany, 1987, p.121-131.

BERTOL, T. M. et al. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, v.30, p. 543-553, 2006.

BIKERMAN, Jacob Joseph. **The science of adhesive joints**. New York: Academic Press, 1961.

BORNIA, A. C.; LORANDI J. A. **O processo de desenvolvimento de produtos compartilhado na cadeia de suprimentos**. 2008. Disponível em: <http://www.unifae.br/publicacoes/fae_v11_2/04_antonio_joisse.pdf>. Acesso em: 06 Mai. 2014.

CARVALHO, Marco Aurélio de; BACK, Nelson. Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos princípios inventivos no desenvolvimento de produtos. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 3, 2001, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: UFSC, 2001.Disponível em: <<http://www.decarvalho.eng.br/macartigoiiiicbgdp.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.229-237, 2007.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. Projeto diretrizes de políticas públicas para a agroindústria canavieira do Estado de São Paulo. *In: WORKSHOP ASPECTOS AMBIENTAIS DA CADEIA DO ETANOL DE CANA -DE -AÇÚCAR*, 2008, São Paulo. **Anais...**São Paulo: CENBIO, 2008. p.1-4.

COSMOSMOTION. **Uma introdução a aplicações de análise de movimento o SolidWorks Motion**, Livro de Exercícios. Disponível em: <http://www.solidworks.com/sw/docs/Motion_Sim_Student_WB_2011_PTB.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2014.

COUTO, Hudson de Araújo. **Ergonomia aplicada ao trabalho: o manual técnico da máquina humana**. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1995.

DELGADO, G. C. A questão agrária no Brasil, 1950 – 2003. *In: Questão agrária no Brasil: perspectiva histórica e configuração atual*. **Anais...**São Paulo: INCRA, 2005. p. 21-85.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia Prática**. Tradução de Itiro Iida. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

EMBRAPA. **Fruticultura. Cultivo do cajueiro**. Versão eletrônica, 2003. Disponível em: <<http://www.embrapa.br//sistemasdeproducao/Caju/CultivodoCajueiro>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

ENGINEERING. Costs, quality, and safety. *In: WELDING handbook*. Miami: American Welding Society, 1984. p.12-13.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1097-1104, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES. **Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides**. Roma: 2006. 113 p

FILGUEIRAS, H.A.C. et al. Cashew apple for fresh consumption: research on harvest and postharvest technology in Brazil. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 4, n.485, p.155-160, 1997.

FRANKEL, Von Harrin; NORDIN, Mike. **Biomecânica básica do sistema músculo-esquelético**. São Paulo: Manole, 2003.

FREDDI, O. S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.113- 121, 2006.

GARZÓN, Carlos Mario; TSCHIPTSCHIN, André Paulo. Modelamento termodinâmico e cinético por meio do método CALPHAD do processamento térmico e termoquímico de aços. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p. 70-87, 2006.

GORNI, António Augusto. **Introdução aos plásticos**. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>> Acesso em: 10 ago. 2009.

GONÇALVES, C. A. B et al. Reclamation and management of pastures of Jaragua grass (*Hyparrhenia rufa*) in Rondonia, Brazil. **Pasturas Tropicales**, Rondônia, v.24, n.2, p.47-56, 2002.

GORNI, Antonio Augusto. **Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos**. Revista Plástico Industrial, março de 2001.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

IBGE. **Censo Agropecuário**. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>>. Acessado em: 30 mai. 2013.

INTERNACIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. **The discipline of ergonomics**. Disponível em: <<http://www.iea.cc/ergonomics>>. Acesso em: 22 jul. 2014.

JANIKOWSKI, D.; BLESSMAN, E. Super-ferritic stainless steels – the cost-effective answer for heat transfer tubing. *In*: NACE CORROSION 2008, New Orleans LA. **Anais....**New Orleans LA: CONFERENCE&EXPO, 2008, p. 1-16.

KASHIMA, T. A. Colheita mecanizada do café: produtos, desempenho e custos. *In*: CICLOS DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4., 1990, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Fundação CARGILL, 1990. p. 234-246.

LAVILLE, Antoine; TEIGER, Catherine. Ficção e realidade do trabalho operário. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v.17, n.68, p.7-13, 1989.

LIPIEC, J. et al. Review of modeling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. **Soil Tillage Research**, Elsevier, v.73, n.1, p.145-170, 2003.

LLEWELLYN, Davidson Tucson; HUDD, Richard Carl. **Steels metallurgy and applications**. 3. ed. Butterworth Heinemann, 1998.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e técnicas conexas: processos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

McKENZIE, Richards. **Trate você mesmo a sua coluna**. 1.ed. Nova Zelândia: Spinal Publications Ltda, 1998.

MACIEL, A. C. C. et al. Prevalência e fatores associados a sintomatologia dolorosa entre profissionais da indústria têxtil. **Revista Brasileira Epidemiologia**, São Paulo, v.9, n.1, p. 94-102, 2006.

MANO, Edgard Bluncher. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos**, São Paulo: Artliber, 2005.

MELO, H. M. et al. Influência do crédito agrícola e das novas tendências tecnológicas na comercialização de tratores de rodas no Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.11, n.1, p.70-76, 2012.

NARESH, R. K. et al. Role of conservation agricultural mechanization on productivity, sustainability and income generation in north west India. In. international. **Journal of Agricultural Engineering**, Amsterdam, v. 5.n.2, p.103-113, 2012.

NORTON, Robert Louis. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PAHL, Gehrard et al. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Blucher, 2005.

PERIN, Gismael Francisco. **Determinação da capacidade e eficiência operacional utilizando técnicas de agricultura de precisão**. 2008. 114 f. (Dissertação). Mestrado em Engenharia Agrícola – Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PRZYSIEZNY, Wilson Luiz. A. **Avaliação Postural como ferramenta para análise do trabalho**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Florianópolis. Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RANNEY, Don. **Distúrbios osteomusculares crônicos relacionados ao trabalho**. São Paulo: Roca, 2000.

REHG, James Anthony. **Computer Integrated manufacturing**. New Jersey: Prentice Hall, 1994

REICHERT, J. M. e al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.3, p.310-319, 2009.

RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam. Aumento o interesse pela mecanização do plantio. **Jornal Cana**, Ribeirão Preto, v.1, n.151, p. 30-31, 2006.

RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam; RIPOLI, Marco Lorenzo Cumalli. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: Edição dos autores, 2005.

RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam; RIPOLI, Marco Lorenzo Cumalli. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 3. ed. Piracicaba: Edição dos autores, 2009.

ROMANO, Leonardo Nabaes. **Modelo de referencia para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação do Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, H. F.; VALE, A. R. Modernização da agricultura e novas relações campo-cidade no atual período da globalização: algumas Análises a partir do agronegócio cafeeiro no município de alfenas – MG. *In*: 3º jornada científica da geografia a universidade chega a periferia: a geografia diante das complexidade contemporânea. **Anais...**Unifal, MG, 2012.

SANTOS, J. B.; FREIRE, E. C.; PEDROSA, M. B.; SILVA FILHO, J. L.; FERREIRA, G. B.; TAVARES, J. A.; ALENCAR, A. R.; EVANGELISTA, R. C. C.; OLIVEIRA, W. P. Avaliação da Perda em Produtividade de Cultivares de Algodoeiro em Função da Colheita Mecanizada no Oeste da Bahia. *In*: Congresso Brasileiro de Algodão, 5, 2005, Salvador. **Anais...** Campina Grande: Embrapa CNPA, 2005.

STAMATIS, Dill Harris. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. Wisconsin: ASQ Quality Press, 1995. 494p

SEVERO, J. R.; CARDOSO, L. **Cana-de-açúcar: lei ambiental impõe mecanização da lavoura da cana**. Brasília: Confederação Nacional de Agricultura, 2009. Disponível em: <http://www.cna.org.br/site/down_anexo.php?q=E22_20341Mecanizacaodacana.pdf>. Acesso em: 07 Jul. 2014.

SILVA, F. M. et al. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.309-315, 2003.

SMITH, William Fike. **Structure and Properties of Engineering Alloys**. 2. ed. Ed. Mc.Graw-Hill, 1993. 288-303 p.

SOUSA, Adriano Gomes de. **Estudo e análise dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais no processo de projeto**. 1998. 238p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação do Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.937-944, 2004.

STRATTON, Robert; MANN, Darrell. Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC. **Journal of Materials Processing Technology**, Lausanne, v.139, n. 13, p. 120-126, 2003.

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo á penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, n.25, v.3, p.725-730, 2001.

TAYLOR, Randal Kyle. **Using GPS technology to evaluate corn planter performance**. Annual International Meeting Sponsored by ASAE. Sacramento, California, USA, 2001.

TELES, M. M. et al. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cv. Gigante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.1, p. 52-60, 2002.

TEODORI, R. M. et al. Distribuição da pressão plantar e localização do centro de força após intervenção pelo método de reeducação postural global: Um estudo de caso. **Fisioterapia Movimento**, São Paulo, v.8, n.1, p.27-35, 2005.

TULLBERG, Joseph Non. Wheel traffic effects on tillage draught. **Journal Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v.75, n.4, p.375-382, 2000.

VIEIRA, E. R.; KUMAR, S. Esforço físico ocupacional e saúde musculoesquelética. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 12, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: ABERGO, 2004. CD-ROM.

WAINER, Emilio. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

WITNEY, Brian. **Choosing and using farm machines**. Edinburg: Land Technology, 1988.