

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MÁQUINA PARA ENCHIMENTO DE BONECAS COM ALGODÃO

André Stoppa Ferreira Marcelino  
Maurício Henrique Pereira Coelho

São Paulo  
2007

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MÁQUINA PARA ENCHIMENTO DE BONECAS COM ALGODÃO

Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Graduação em Engenharia

André Stoppa Ferreira Marcelino  
Maurício Henrique Pereira Coelho

Orientador:  
Antonio Luís de Campos Mariani

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

São Paulo  
2007

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Coelho, Maurício Henrique Pereira  
Marcelino, André Stoppa Ferreira  
Máquina para enchimento de bonecas com algodão / A.S.F.  
Marcelino, M.H.P. Coelho. – São Paulo, 2007.  
p. 73**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Brinquedos artesanais 2.Algodão 3.Máquinas I.Universi-  
dade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Enge-  
nharia Mecânica II.t.**

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo estudar o processo de enchimento de bonecas e bonecos com algodão, analisar e reprojeter os principais componentes da máquina, visando à melhoria do processo de produção, que sustenta outros projetos do Grupo Primavera. O estudo foi dividido em três frentes: injeção do algodão, desfibramento do algodão e sistema de redução de particulado no ambiente. Para o processo de injeção foram estudadas alternativas para o enchimento das bonecas e adotada a alternativa de injeção por ar comprimido. A redução do particulado liberado pelo uso do ar comprimido na injeção do algodão foi obtida pelo sistema de exaustão local viabilizado através do projeto e montagem de um protótipo de uma coifa associada a um exaustor acoplada na região de injeção na boneca. Foi também desenvolvido um processo de desfibramento para que o algodão fosse corretamente injetado pela passagem de ar comprimido, processo este que propõe o corte do algodão utilizando facas tipo discos rotativos.

## ABSTRACT

The objectives of this work are to study the cotton injecting process in dolls and to analyze and re-project the machine's most important components. It aims an improvement of the production process, which sustains other projects owned by Grupo Primavera. The study was divided in three main sections: cotton injection, cotton defibrating and a particle reduction system for the environment in which the process takes place. Different alternatives were studied for filling in the dolls and a compressed air injection was chosen. The reduction of the particles released by the compressed air injection was obtained by the local exhaustion system achievable through the project and build up of a hood prototype associated to the exhaust connected to the section where injection takes place. A defibrating process, using knives that look like rotating disks, was developed so the cotton could be correctly injected by the compressed air.

## AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho de formatura contamos com a colaboração de diversos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica, bem como de técnicos de indústria e de funcionários do Grupo Primavera.

Primeiramente agradecemos a todos os colaboradores do Grupo Primavera pelo incentivo, que atenciosamente nos receberam na entidade e compartilharam as dificuldades e metas a serem alcançadas.

Agradecemos também ao professor Boris Zampese que nos auxiliou no projeto mecânico do desfibrador e nos permitiu conhecer as instalações de sua fábrica (Zampese Máquinas), bem como ao funcionário Anésio que prontamente nos auxiliou no desenvolvimento de idéias e testes, seleção de materiais para eixo, cubo e lâmina, além de disponibilizar uma peça modelo.

Dentro do Departamento, nosso muito obrigado aos técnicos Laércio e Douglas pela atenção e dedicação, suporte e usinagem dos protótipos.

Finalmente agradecemos ao professor e orientador deste trabalho de formatura Antônio Luís de Campos Mariani pela amizade, o que proporcionou sempre um clima para trabalho agradável, constante orientação, ajuda na solução de problemas, disponibilização dos laboratórios e materiais, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	O Grupo Primavera .....	1
1.2	Projetos Envolvidos .....	3
1.2.1	Projeto TEAR .....	3
1.2.2	Educação Complementar .....	4
1.2.3	Programa IMT .....	5
1.2.4	Florada .....	5
1.3	O Produto .....	6
2	VISITA AO GRUPO PRIMAVERA .....	8
3	PROCESSO ATUAL DE ENCHIMENTO DOS BONECOS .....	9
3.1	Descrição da matéria-prima .....	9
3.2	Compressor de ar .....	9
3.3	Desfibrador .....	10
3.4	Máquina injetora .....	11
4	DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES E DE OBJETIVOS .....	14
4.1	Pontos críticos.....	14
4.2	Pontos consolidados.....	15
4.3	Objetivos.....	16
5	ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO PARA O SISTEMA DE DESFIBRAMENTO E INJEÇÃO DE ALGODÃO .....	18
5.1	Definição de alternativas de solução.....	18
5.1.1	Deslocamento por rosca helicoidal .....	18
5.1.2	Deslocamento por pistão .....	20
5.1.3	Deslocamento por ar .....	20
5.1.3.1	Deslocamento por ar comprimido com desfibrador externo .....	21
5.1.3.2	Deslocamento por ar comprimido com desfibrador interno .....	21
5.1.3.3	Desfibrador por ar ventilado .....	22

5.2	Testes preliminares .....	23
5.2.1	Teste de bocal para ar comprimido .....	23
5.2.2	Teste de bocal para ventilador.....	25
5.3	Definição da solução inicial .....	27
5.4	Detalhamento da solução inicial .....	29
6	ESTUDO DE SOLUÇÃO PARA O SISTEMA DE VENTILAÇÃO E REMOÇÃO DE PARTICULADO DO AMBIENTE .....	31
6.1	Sistema de exaustão .....	31
6.1.1	Captor .....	32
6.1.2	Dimensionamento do ventilador .....	36
6.1.3	Dutos .....	39
6.1.4	Filtros .....	40
6.1.4.1	Classificação dos filtros .....	41
6.1.5	Teste qualitativo do sistema de exaustão .....	44
7	ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO PARA O DESFIBRADOR DE ALGODÃO .....	47
7.1	Teste das lâminas .....	47
7.2	Mecanismo de corte faca e contra-faca .....	48
7.3	Estudo de mecanismos de corte robustos .....	50
7.3.1	Mecanismo alternativo tipo guilhotina .....	50
7.3.2	Mecanismo rotativo .....	52
7.3.3	Matriz de decisão para o processo de desfibramento .....	53
7.4	Detalhamento da solução para desfibramento .....	54
7.5	Dimensionamento do mecanismo de corte do algodão .....	55
7.5.1	Verificação da força de corte .....	61
7.5.2	Projeto do eixo .....	62
7.5.3	Projeto da lâmina e cubo .....	62
7.5.4	Dimensionamento das engrenagens .....	64
7.5.5	Dimensionamento das chavetas .....	66
7.5.6	Esquema geral do desfibrador .....	67
8	CONCLUSÃO .....	68
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados principais do compressor de ar .....	10
Tabela 2 - Consumo de energia elétrica do equipamento atual .....	15
Tabela 3 - Tempo médio de produção .....	15
Tabela 4 - Matriz de decisão .....	28
Tabela 5 - Dados de ventiladores da Multivac .....	38
Tabela 6 - Classificação de filtros .....	41
Tabela 7 - Matriz de decisão para o desfibramento .....	54

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 - Logotipo do Grupo Primavera .....	2
Fig. 1.2 - Jovens em sala de Aula Complementar .....	6
Fig. 1.3 - Alguns exemplares produzidos .....	7
Fig. 3.1 - Compressor de ar .....	10
Fig. 3.2 - Desfibrador de algodão .....	11
Fig. 3.3 - Máquina Injetora .....	12
Fig. 3.4 - Motor e sistema de polias .....	12
Fig. 3.5 - Pedal de controle da vazão .....	13
Fig. 3.6 - Detalhe do bico injetor .....	13
Fig. 5.1 - Esquema de um conjunto rosca helicoidal-cilindro .....	19
Fig. 5.2 - Exemplos de roscas helicoidais .....	20
Fig. 5.3 - Dispositivo de teste para ar comprimido .....	24
Fig. 5.4 - Inclinação da entrada de ar comprimido .....	25
Fig. 5.5 - Dispositivo de teste para ventilador .....	26
Fig. 5.6 - Leiaute básico do conjunto sem compressor .....	29
Fig. 5.7 - Exemplo de lâmina para desfibramento .....	30
Fig. 6.1 - Esquema de uma instalação para exaustão .....	32
Fig. 6.2 - Esquema do captor, distância $x$ e velocidade de captura $V$ .....	33
Fig. 6.3 - Linhas de velocidade e fluxo para boca circular sem flange .....	34
Fig. 6.4 - Linhas de velocidade e fluxo para boca circular com flange.....	34
Fig. 6.5 - Esquema de captor com transição .....	35
Fig. 6.6 - Velocidade de captura .....	36
Fig. 6.7 - Tipos de transição .....	37
Fig. 6.8 - Dados dimensionais dos ventiladores da Multivac .....	39
Fig. 6.9 - Duto flexível .....	40
Fig. 6.10 - Tabela de filtros ASHRAE .....	42
Fig. 6.11 - Malha de aço .....	43
Fig. 6.12 - Malha de aço com espaçamento maior .....	43
Fig. 6.13 - Acoplamento ventilador-duto .....	44
Fig. 6.14 - Vista geral do captor, duto e ventilador .....	45

Fig. 6.15 - Detalhe do captor .....	45
Fig. 7.1 - Mecanismo faca e contra-faca visto lateralmente .....	48
Fig. 7.2 - Mecanismo faca e contra-faca visto por cima .....	49
Fig. 7.3 - Mecanismo alternativo guilhotina .....	51
Fig. 7.4 - Detalhe da lâmina da guilhotina .....	51
Fig. 7.5 - Mecanismo de lâminas giratórias .....	52
Fig. 7.6 - Detalhe do contato das lâminas .....	53
Fig. 7.7 - Leiaute .....	55
Fig. 7.8 - Esquema de carregamento .....	59
Fig. 7.9 - Relação entre $x$ e momento fletor .....	60
Fig. 7.10 - Tesoura do teste .....	61
Fig. 7.11 - Desenho do eixo .....	62
Fig. 7.12 - Desenho do cubo .....	63
Fig. 7.13 - Desenho da faca .....	64
Fig. 7.14 - Esquema geral do desfibrador .....	67

## **1 INTRODUÇÃO**

Este trabalho de conclusão de curso, relacionado ao Programa Poli Cidadã, tem como objetivo estudar o processo que é utilizado para realizar o enchimento de bonecas e bonecos com algodão, a fim de possibilitar a expansão do projeto social do Grupo Primavera e otimizar o processo de manufatura das bonecas e bonecos, feito com uso de alguns equipamentos desenvolvidos localmente.

A motivação em escolher um tema relacionado ao Programa Poli Cidadã foi de empregar os conhecimentos adquiridos na graduação, de forma a retornar diretamente à população mais necessitada o investimento governamental na formação de profissionais capacitados, ampliando o senso de responsabilidade social e mantendo a Universidade pública próxima a sociedade.

### **1.1 O Grupo Primavera**

A atividade da entidade foi iniciada em 1981 num Posto de Saúde do bairro Jd. São Marcos, em Campinas, onde funcionava o "Clube das Mães". Em 1992, já funcionando cinco dias por semana nos dois períodos, a instituição se estruturou juridicamente, permanecendo o nome original Grupo Primavera.

Hoje, instalado em sede própria, parte da qual cedida pelo SPES (Paróquia de S. Paulo Apóstolo), o Grupo Primavera atende mais de 200 adolescentes do sexo feminino, com idade entre 11 e 17 anos, e conta com uma equipe de 62 colaboradores (voluntários e contratados), dos quais 25% são jovens formadas na entidade.

A Oficina de Produção Artesanal é um setor totalmente gerenciado e operado por jovens já formadas pelo Grupo Primavera. Além disso, constitui um dos principais meios de mobilização de recursos para a sustentabilidade da obra.

Os principais produtos das oficinas são as bonecas artesanais, os cartões bordados em ponto cruz, sachês, ímãs, calendários de flor seca e bordados finos, além de brindes personalizados.

A equipe de jovens artesãs é responsável desde o estágio inicial de planejamento e criação, até a composição de equipe e todo o processo de execução, que compreende atividades como compra de matéria-prima, cronograma de produção, custos, vendas e avaliações de resultados obtidos.

No ano de 2001 teve início, com a verba do Fundo Social do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), a construção da nova sede para o artesanato do Grupo Primavera: um prédio de três andares que oferecerá espaços mais adequados, dentro das normas técnicas de produção e logística moderna para melhor funcionalidade.



Fig. 1.1 - Logotipo do Grupo Primavera

## **1.2 Projetos Envolvidos**

### **1.2.1 Projeto TEAR**

Implantado em 2001, o projeto TEAR visa promover ações comunitárias na região do bairro São Marcos, contribuindo para cidadania e a melhoria na qualidade de vida, com a participação da própria comunidade. O projeto propõe uma atuação integrada com outras ONGs e OGs, com as escolas da região e com a comunidade em geral.

O Projeto TEAR compreende os seguintes programas:

- Família Presente: programa que aproxima e integra as famílias das usuárias com as atividades e objetivos da instituição.
- Reciclando na Escola: programa em parceria com a Fundação ORSA, com as Escolas e Empresas da região, que visa desenvolver a consciência ecológica e a cidadania por ações educativas referentes à coleta seletiva do lixo nas escolas.
- Abraço Educativo e Social do Jardim Santa Mônica e Região: evento anual com o objetivo de proporcionar à comunidade local um espaço para reflexão e discussão de temas de interesse coletivo, visando à integração social, a troca de experiências, a melhoria da qualidade de vida e o exercício da cidadania.
- PACTO: O programa PACTO (Preparando Adolescentes para Colégios Técnicos) teve início em agosto de 2002. Idealizado em parceria com a FEAC e a Cooperativa do Saber, tem como objetivo oferecer aos jovens um curso preparatório para ingresso em cursos técnicos de sua escolha. É aberto à comunidade e destinado a adolescentes das 5 escolas do complexo do Jd. São Marcos.

### 1.2.2 Educação Complementar

O programa de Educação Complementar tem duração de 4 anos e atende grupos diferentes pela manhã e pela tarde, de forma a não concorrer com o horário escolar das jovens.

As atividades abrangidas são:

- Bordado a Fios Contados: ensinado de forma pedagógica e seqüenciada, com grade metodológica implementada em 1999, a disciplina associa a técnica aprimorada do bordado com fios contados ao desenvolvimento de competências e habilidades, tais como relacionar informações, raciocinar e resolver problemas, executar aritmética, organizar-se, ter responsabilidade, iniciativa, perseverança e criatividade.
- Arte e Cultura: oficinas de arte, tais como música, dança, expressão corporal, teatro, desenho e pintura, a fim de desenvolver talentos, promover o protagonismo juvenil e o empreendedorismo, a disciplina, a tomada de decisão, a consciência cívica, o trabalho em equipe, o senso crítico, a iniciativa, a criatividade e a sociabilidade.
- Comunicação e Expressão: a disciplina visa o desenvolvimento da arte de se comunicar (de forma oral, escrita e corporal), da socialização e da vivência grupal saudável, do respeito, do saber ouvir e falar, utilizando-se de atividades metodológicas como: dinâmicas de grupo, psicodrama, pesquisas, debates, montagem de apresentações, passeios culturais, filmes e peças teatrais de conteúdo pertinente aos objetivos. O foco principal dessa atividade é a consciência e o exercício da cidadania.
- Atividades complementares: compõem o programa básico de formação as atividades opcionais de: Biblioteca (grupos de leitura dirigida), Computação (método CDI) e Coral (jovens vozes femininas).

### **1.2.3 Programa IMT (Iniciação ao Mundo do Trabalho)**

O programa IMT, com duração de 1 a 3 anos, para as adolescentes que já fizeram os 4 anos básicos de Educação Complementar, visa essencialmente propiciar à jovem orientação profissional, conhecimentos específicos importantes para o Mundo do Trabalho e treinamento prático que lhe permita a assimilação de atitudes e posturas adequadas para a relação de trabalho.

Constam do programa IMT: Comunicação e Expressão, Marketing Pessoal, que orienta a boa imagem pessoal (vestuário, cabelo, adornos apropriados), postura adequada e montagem de currículo, Informática, Inglês e Treinamento Prático, que trata de uma parceria com uma empresa da região que fornece matéria-prima e orientação operacional de montagem de peças, oferecendo, uma ajuda de custo às aprendizes. Além de um treinamento prático, a atividade proporciona também o aprendizado da administração do dinheiro ganho, o que, mesmo em pequena proporção, é altamente educativo.

### **1.2.4 Florada**

A cada início de ano, juntamente com o planejamento anual da entidade, é definido um tema que permeia as atividades de todos os setores da Formação durante o ano: arte e cultura, comunicação e expressão e trabalhos manuais. Esse tema é utilizado no cultivo dos valores, sendo levado à confraternização no dia da Florada.

O dia da Florada, sempre no início de dezembro, engloba três momentos importantes:

- Apresentação das adolescentes de todos os níveis (1º ao 4º ano), por meio de cantos, danças, expressão corporal e outros números artísticos;

- Bazar de artesanato, reunindo as peças confeccionadas durante o ano pelas próprias usuárias e as produzidas na Oficina de Produção Artesanal.
- Confraternização dos pais, voluntários, funcionários e amigos da entidade.



Fig. 1.2 - Jovens em sala de Aula Complementar

### 1.3 O Produto

O principal produto, que é base da auto-sustentação do projeto, são as bonecas, chamadas de “Brotinhos”, que caracterizam crianças de 5 a 8 anos, com vestidos largos, diversos tipos de cabelo, retratando as várias formas da infância. As bonecas retratam a regionalidade das crianças brasileiras e conquistou o mercado por sua qualidade e acabamento.

Os modelos são diversificados e em três tamanhos para atender as diferentes faixas de consumidores: Grande com 60 cm (Brotinho), Médio com 40 cm (Botãozinho) e Pequeno com 23 cm (Mini-botãozinho).

Bonecas personalizadas de todos os tamanhos são confeccionadas para brindes, desde comemorações de aniversário, casamento e nascimento, a eventos de empresas e lojas de artigos específicos.

Foram confeccionadas 200 unidades em 1997, passando a 340 em 1998, ano em que o Projeto das Bonecas foi vencedor do 1º Concurso promovido pela Ashoka, com patrocínio da Fundação Ford: “Idéias Inovadoras em Captação de Recursos”.

Com a produção de 450 bonecas em 1999 e a expectativa de produzir 800 no ano seguinte, a entidade participou com um “Plano de Negócios” em um concurso promovido pela McKinsey e Ashoka, classificando-se em 2º lugar. Ainda nesse ano a produção e venda de bonecas chegaram ao total de 3.500 unidades, número esse acrescido para 3.600 em 2001.



Fig. 1.3 - Alguns exemplares produzidos

## **2 VISITA AO GRUPO PRIMAVERA**

No dia 13 de março de 2007 foi feita a primeira visita ao Grupo Primavera para levantar as necessidades diretamente com as usuárias da máquina atual. Essa visita possibilitou conhecer as instalações, não só da oficina, mas também das salas de aulas complementares, arte e cultura, comunicação e expressão e bordado, percebendo a importância da produção de bonecas na auto-sustentação do projeto como um todo.

Na oficina se observou como a produção é organizada e, através de depoimentos, os problemas reais, de modo a definir as necessidades. Foi possível, também, levantar dados técnicos dos componentes da máquina, bem como obter dados dimensionais do equipamento existente.

No dia 11 de julho de 2007 foi realizada a segunda visita ao Grupo Primavera, com a finalidade de reavaliar o foco do trabalho juntamente com as necessidades do grupo, pois existia a possibilidade da viabilização do projeto de uma máquina para a sede do Grupo ou para residências, sendo conceitos totalmente opostos. Com a definição de que o projeto seria para a sede, foi possível dar continuidade com uma base mais sólida. Nessa visita, obteve-se um levantamento do tempo no processo de enchimento das bonecas manual e com máquina, além de uma visão mais específica dos métodos utilizados e dos objetivos a serem atingidos.

### **3 PROCESSO ATUAL DE ENCHIMENTO DOS BONECOS**

O equipamento atual é constituído de três partes principais: um compressor de ar, um desfibrador de algodão e um dispositivo que movimenta, armazena e controla o fluxo do material a ser injetado.

No processo de enchimento atual pela passagem de ar comprimido, são liberadas no ar partículas de algodão, poluindo o ambiente ao redor do operador, causando problemas respiratórios. Para amenizar o problema, é utilizado um ventilador voltado para o operador, gerando um alto desconforto, principalmente em dias frios.

Os principais componentes e materiais serão descritos a seguir.

#### **3.1 Descrição da matéria-prima**

A matéria-prima para o enchimento das bonecas é recebida como doação de diversas fontes, tendo sua composição bastante variada, desde algodão a fibras de poliéster, com variados graus de densidade e entrelaçamento das fibras. Neste trabalho, esta matéria-prima será tratada como algodão, pelo seu aspecto visual, porém o dimensionamento da máquina e os devidos testes serão realizados considerando as propriedades mecânicas dos casos mais críticos.

#### **3.2 Compressor de ar**

O compressor de ar é utilizado para impulsionar o algodão da máquina injetora para a boneca. Seus dados principais são apresentados na Tabela 1 e para maiores informações seu catálogo é mostrado no Apêndice I.



Fig. 3.1 - Compressor de ar

Tabela 1 - Dados principais do compressor de ar

<b>Marca</b>	Schulz	<b>Pressão Máxima</b>	12 bar
<b>Modelo</b>	MSV20 MAX/250	<b>Potência</b>	5 hp
<b>Rotação do compressor</b>	1050 RPM	<b>Volume</b>	250 L
<b>Rotação do motor</b>	3500 RPM	<b>Vazão</b>	20 $\text{pe}^3/\text{min} = 566 \text{ L/min}$

### 3.3 Desfibrador

Este equipamento é utilizado para desfibrar o algodão, que em seu estado original, se fosse diretamente injetado, poderia obstruir o duto injetor. Este processo utiliza um

motor de 1,5 hp que gira uma gaiola com protuberâncias cilíndricas soldadas, como mostrado na Figura 3.2.



Fig. 3.2 - Desfibrador de algodão

### 3.4 Máquina injetora

Esta máquina possui num reservatório um rotor com dois ganchos com a função de movimentar o algodão, evitando seu acúmulo na entrada do duto, permitindo a passagem de ar que, juntamente com o ar comprimido proveniente do compressor, arrasta o algodão através do bico injetor para a boneca. O bico injetor é constituído por um tubo de 1,5" de diâmetro proveniente do fundo da máquina injetora, uma entrada de ar comprimido de 3/8" de diâmetro e uma saída de injeção de 1" de diâmetro, como pode ser observado na Figura 3.6.

O algodão é succionado pela diferença de pressão causada devido à passagem do ar comprimido pelo tubo. O rotor dos ganchos é movido por um motor de 0,5 hp ligado a um sistema de polias, ilustrado na Figura 3.4. O controle da vazão de ar comprimido é feito por um pedal, visto em detalhe na Figura 3.5.



Fig. 3.3 - Máquina Injetora



Fig. 3.4 - Motor e sistema de polias



Fig. 3.5 - Pedal de controle da vazão



Fig. 3.6 - Detalhe do bico injetor

Esse processo apresenta um problema crítico, pois o ar comprimido ao passar pelo algodão arrasta consigo pequenas partículas deste material que são inaladas pelo usuário da máquina, podendo provocar problemas nas vias respiratórias. Além disso, o processo gera um nível elevado de ruído que pode resultar em problemas auditivos para o usuário e causa desconforto aos outros setores de produção.

## **4 DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES E DE OBJETIVOS**

Durante as visitas foram relatados e observados alguns pontos críticos ou necessidades e pontos consolidados na etapa de enchimento das bonecas.

### **4.1 Pontos críticos**

Foram levantados os seguintes pontos críticos ou necessidades a serem contemplados por este projeto:

- Liberação de partículas de algodão no ar, que são inalados pelo operador, que utiliza um ventilador para amenizar o problema, causando alto desconforto, principalmente em dias frios.
- Segurança foi um item observado pelo fato da operadora inserir algodão, pela abertura frontal, na máquina injetora enquanto o rotor com ganchos está em funcionamento.
- Foi relatado pela usuária da máquina que há desconforto no acionamento pelo pedal, na altura do bico injetor, que provoca dores nas pernas e nas costas.
- Risco de entupimento do bico injetor.
- O consumo atual de energia, nessa etapa do processo é dado pelos dois motores elétricos de 0,5 e 1,5 hp e pelo compressor de 5 hp. A estimativa de consumo de energia elétrica do conjunto é dada pela tabela a seguir:

Tabela 2 - Consumo de energia elétrica do equipamento atual

<b>Equipamento</b>	<b>Potência</b>	<b>Tempo de uso</b>	<b>Consumo de energia</b>	<b>Consumo mensal de energia</b>
Compressor de ar	5 hp	6h/dia	11185,5 Wh/dia*	223,7 kWh
Motor elétrico do desfibrador	1,5 hp	1h/dia	1118,55 Wh/dia	22,37 kWh
Motor elétrico do dispositivo de enchimento	0,5 hp	6h/dia	2237,1 Wh/dia	44,75kWh
<b>TOTAL</b>				290,82kWh

\*para cálculo do consumo de energia, estimou-se o motor do compressor funciona 50% do tempo ligado e 50% desligado.

#### 4.2 Pontos consolidados

Como pontos consolidados, ou que não apresentam problemas para o Grupo, foram observados os seguintes aspectos:

- Após levantamento dos tempos do processo de enchimento das bonecas e, tendo em vista que esta etapa não é um gargalo na produção, como dito pelos próprios administradores do Grupo Primavera, o tempo de fabricação e a produtividade da máquina foi considerado um ponto em que não há necessidade de melhoria.

Tabela 3 - Tempo médio de produção

<b>Boneca</b>	<b>Enchimento Manual</b>	<b>Enchimento com Máquina</b>
Brotinho Mini	2 min e 30 s por boneca	45 s por boneca
Brotinho Médio	4 min por boneca	1 min e 30 s por boneca

- Foi pensado para este trabalho substituir o algodão por outros tipos de material, como o polipropileno, bolinhas de isopor, material de garrafa PET reciclado, tendo em vista a dificuldade de se trabalhar com o deslocamento de algodão e a fim de se viabilizarem alternativas que não envolvessem compressor de ar e que fossem de construção mais simplificada. Após consulta realizada com o Grupo Primavera, em conversa com a coordenadora da manufatura, foi desconsiderada esta alternativa, pois como o algodão utilizado já é adquirido por meio de doação e pelo fato de as bonecas já estarem adaptadas a esse material não se torna viável alterar toda a estrutura de confecção das bonecas.
- Durante a segunda visita ao Grupo, constatou-se que a energia elétrica consumida foi considerada de menor relevância, visto que a maior parte dos recursos é direcionada ao custeio de mão-de-obra.

### **4.3 Objetivos**

Após serem analisados os pontos críticos e pontos consolidados, foram estabelecidos os seguintes objetivos para o projeto da máquina:

- Ser de fácil manuseio.
- Controle da liberação de partículas sólidas no ar pela passagem do ar comprimido pelo algodão durante o enchimento da boneca. Esse controle será obtido através do projeto e montagem de protótipo de um sistema de exaustão local.
- Segurança do usuário.
- Projeto e dimensionamento de um novo processo de desfibramento.

- Adequação de sistema de desfibramento do algodão e máquina injetora num mesmo equipamento.
- Não ultrapassar demasiadamente o consumo de energia elétrica do equipamento atual.

## **5 ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO PARA O SISTEMA DE DESFIBRAMENTO E INJEÇÃO DE ALGODÃO**

### **5.1 Definição de alternativas de solução**

Através da análise da máquina e seus componentes, foi observado que os principais problemas resumem-se ao deslocamento e desfibramento do algodão com certa pressão e vazão para o adequado enchimento das bonecas. Deste modo, serão propostas as seguintes alternativas de solução para o sistema de injeção de algodão:

#### **5.1.1 Deslocamento por rosca helicoidal**

Esta alternativa mostrou-se interessante pelo fato de não necessitar do uso de um compressor de ar, visto como um problema devido ao seu custo inicial e de manutenção, bem como sua dificuldade de transporte e espaço físico ocupado. Outra característica importante é evitar a liberação de partículas sólidas no ar pela passagem do ar comprimido pelo algodão, como foi observado com a utilização do compressor de ar.

Como desvantagens têm-se uma pressão menor, quando comparado ao compressor, devido ao fato do algodão ser bastante compressível e a regulação da vazão é mais complexa, pois há a necessidade de se variar a rotação do motor ou incluir um sistema de transmissão.

Uma idéia, retirada do processo de extrusão de polímero e transporte de grãos na indústria agrícola, para o transporte mecânico do algodão seria utilizar um conjunto rosca helicoidal-cilindro, como exemplificado na Figura 5.1, com as devidas adaptações a serem estudadas.

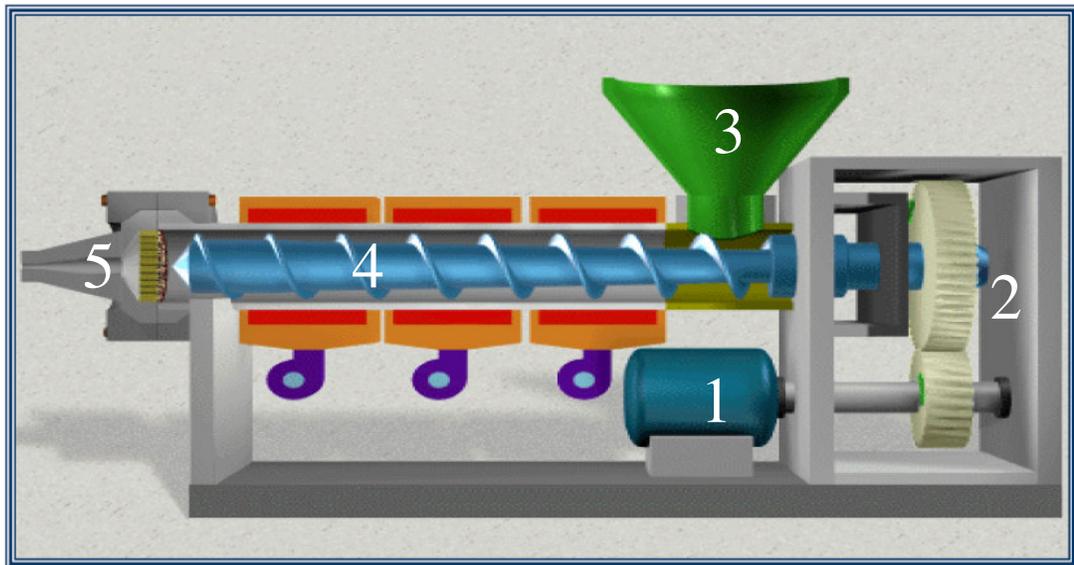


Fig. 5.1 - Esquema de um conjunto rosca helicoidal-cilindro

- O sistema de acionamento (1) de um conjunto rosca-cilindro pode ser simplesmente pensado como um motor elétrico (220 V).
- A transmissão/variação de velocidade (2) pode ser feita por caixa redutora, sistema de polias, inversor de frequência ou variador eletromecânico.
- O sistema de alimentação ou funil de alimentação (3) pode ser abastecido por processo manual, forçado ou por gravidade. No funil de alimentação pode ser acoplado um sistema de desfibramento ou corte do algodão.
- Conjunto rosca-cilindro (4) é a parte responsável pelo deslocamento do algodão e pode ser construído horizontalmente ou inclinado. A rosca pode ser construída com ou sem eixo, como mostrado na Figura 5.2 a seguir.
- O bico injetor (5) deve ser adequado para permitir o fluxo de algodão da máquina para o interior da boneca.

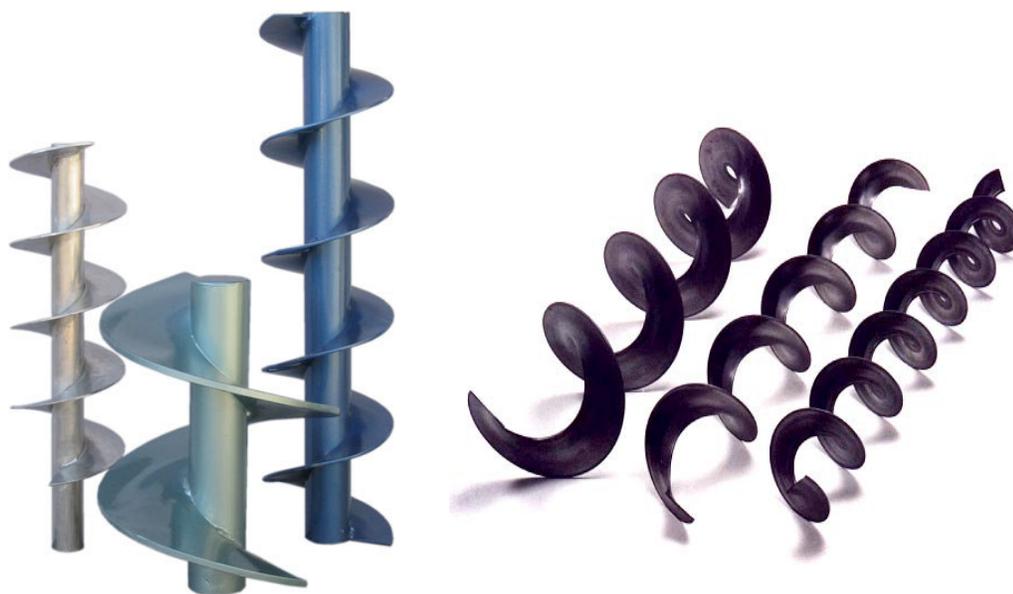


Fig. 5.2 - Exemplos de roscas helicoidais

### 5.1.2 Deslocamento por pistão

A segunda alternativa é similar à injeção manual, em que o pistão deslocaria o algodão para o interior da boneca. O acionamento do pistão poderia ser feito manualmente ou por meio de um motor elétrico com sistema biela-manivela.

Este sistema mostrou-se inviável, pois não seria possível o preenchimento completo das extremidades do corpo da boneca, como os pés e braços, além do tempo gasto ser aproximadamente o mesmo do enchimento manual.

### 5.1.3 Deslocamento por ar

Na terceira alternativa, o deslocamento do algodão por ar apresenta como vantagens a fácil regulagem da vazão por meio de um dispositivo que controla o fluxo de ar, além de permitir a entrada do algodão em todas as partes do corpo da boneca.

Como maior problema desse processo se tem a liberação de partículas de algodão no ar, que pode ser controlado com a utilização de um sistema de exaustão.

#### **5.1.3.1 Deslocamento por ar comprimido com desfibrador externo**

Esta alternativa já é utilizada, porém pode ser aprimorada buscando um melhor aproveitamento energético com um compressor de menor capacidade, ou aproveitando o compressor existente para mais de uma máquina, e aumentando a eficiência do processo de desfibramento e da movimentação do algodão. Apresenta como vantagem a fácil regulagem da vazão por meio de um pedal que controla o fluxo de ar.

O processo de desfibramento pode ser realizado da maneira atual, com um motor que gira uma gaiola com protuberâncias cilíndricas soldadas, como exemplificado anteriormente, porém em menor tamanho e com maior eficiência. Outra maneira seria a utilização de lâminas giratórias com alta rotação, como o empregado em aparelhos domésticos, que cortaria o algodão e conseqüentemente o desfibraria.

Pelo fato do desfibrador ser uma máquina separada da injetora, tem-se um decréscimo na facilidade de operação e na produtividade, visto que se soma o processo e o tempo de transferência do algodão de uma máquina para outra. Pelo mesmo motivo, ocorre também um aumento no volume ocupado pelo conjunto, característica fundamental no projeto.

#### **5.1.3.2 Deslocamento por ar comprimido com desfibrador interno**

O deslocamento do algodão por ar comprimido com desfibrador interno consiste basicamente em reduzir o equipamento que atualmente é composto por máquina

desfibradora e injetora para uma que cumpra eficientemente as duas funções, com boa autonomia e eficiência.

Neste equipamento, para um melhor aproveitamento espacial, o algodão é desfibrado por lâminas cortantes com alta rotação dentro da máquina injetora. Por segurança e para uma boa autonomia, o algodão entra na sua forma compactada e dentro do equipamento, sendo armazenado e posteriormente transportado para o local onde será desfibrado, impedindo um possível contato direto das mãos com as lâminas. Este transporte pode ser feito por ar proveniente de um ventilador, do compressor ou até mesmo por meio de uma rosca helicoidal. Este mecanismo deve controlar a vazão de algodão, pois se este entrar em contato com as lâminas em grande quantidade pode acarretar no mau desfibramento ou até mesmo na quebra do mecanismo de corte. Após ser desfibrado, o algodão é movido por uma pressão negativa até ser arrastado pelo ar no bico injetor.

Esta concepção reduz significativamente o volume ocupado, aumenta a produtividade, pois evita o tempo de transporte do algodão desfibrado de uma máquina para outra e facilita a utilização. Como inconvenientes se tem sua complexidade e dificuldade de construção.

### **5.1.3.3 Deslocamento por ar ventilado**

Esta seria uma alternativa à idéia do compressor, pois teria um custo inicial mais baixo, menor consumo de energia e menor ruído. Semelhante à opção com compressor, o ventilador seria acoplado ao maquinário de forma a causar uma pressão negativa no armazenamento do algodão para ser arrastado pela energia cinética do ar.

Porém, como observado a partir de alguns testes preparados, que a passagem do ar pela configuração dos tubos seria insuficiente para criar uma depressão e arrastar o algodão, pois há um refluxo de ar pelo tubo proveniente do reservatório de algodão. O arraste é possível se o algodão for empurrado pelo tubo até a bifurcação de entrada de ar, e isso se daria por meio de outro ventilador.

Ainda se pensou em empurrar o algodão com o ventilador, o que aparentemente é possível, mas o processo deixaria de ser contínuo, já que haveria a necessidade de se carregar um compartimento com algodão e fechá-lo antes de se ligar o ventilador. Tal como o sistema com compressor, esse método apresenta fácil regulagem da vazão por meio de um controle o fluxo de ar.

O desfibramento seria feito de maneira análoga ao sistema com compressor, com a possibilidade de ser interno ou externo, com as vantagens e desvantagens associadas às duas configurações.

## **5.2 Testes preliminares**

Para a escolha da melhor alternativa de solução, como o trabalho com o algodão é de difícil equacionamento, foram realizados alguns testes com protótipos simplificados.

### **5.2.1 Teste do bocal para ar comprimido**

Para este teste foi montado um dispositivo tubular com uma entrada auxiliar de ar comprimido, com o objetivo de gerar uma pressão negativa que succionasse o algodão para que este fosse arrastado pelo fluxo de ar no bico injetor.

O dispositivo de teste pode ser visualizado na Figura 5.3 a seguir:



Fig. 5.3 - Dispositivo de teste para ar comprimido

A entrada de ar comprimido (1) foi adaptada com válvula para compressores que possuem regulagem de pressão, encontrados comumente em postos de combustível.

O algodão fica armazenado no reservatório (3) e é succionado por uma pressão negativa proveniente do deslocamento do ar comprimido pelo tubo, sendo arrastado com mais força ao chegar na no marco (4), saindo pelo bico injetor (2).

Para o teste, a entrada do ar comprimido foi inclinada a fim de direcionar o escoamento e gerar a pressão negativa no reservatório, como mostrado na Figura 5.4 seguinte:



Fig. 5.4 - Inclinação da entrada de ar comprimido

Neste experimento foi observado que se consegue uma pressão de sucção na entrada do algodão, e que este é arrastado pelo bico injetor conforme previsto para pressões em torno de 4 a 5 bar. Este resultado é bastante satisfatório quando comparado à pressão de trabalho do compressor atual, que é da ordem de 10 bar. Deste modo, observa-se que com o mesmo compressor pode ser utilizada mais de uma máquina injetora, ou para nova instalação se pode usar um compressor de menor capacidade. Além disso, a válvula adaptada induz uma elevada perda de carga e também o dispositivo pode ser mais bem projetado, variando os diâmetros, distâncias materiais e ângulo de entrada do ar comprimido.

### 5.2.2 Teste do bocal para ventilador

Para este teste foi montado um dispositivo tubular similar ao anterior, com uma entrada auxiliar de ar proveniente de um ventilador, para verificar se o deslocamento de ar geraria uma pressão negativa suficiente para succionar o algodão para que este fosse arrastado pelo fluxo de ar no bico injetor.

O dispositivo de teste pode ser visualizado na Figura 5.5 a seguir:



Fig. 5.5 - Dispositivo de teste para ventilador

O ar proveniente do ventilador (1) converge até a entrada no duto principal em (3), tentando gerar uma pressão negativa para succionar o algodão do reservatório (2), fazendo com que este fosse empurrado para fora do bico injetor (4) pelo deslocamento do ar.

Ao contrário do observado no experimento anterior, não se conseguiu uma pressão de sucção na entrada do algodão, e que este não foi arrastado pelo bico injetor conforme previsto. Para que o algodão fosse arrastado pelo ar, este deveria ser levado até o ponto da ligação dos dutos (3). Portanto, para que este dispositivo funcione com o ventilador, deve-se levar o algodão até o ponto em que ele é arrastado pela energia cinética do ar.

### 5.3 Definição da solução inicial

A partir do estudo das alternativas de solução e dos testes realizados, foi montada a matriz de decisão, dada pela tabela 3, obtendo como resultado de melhor solução aquela de deslocamento por ar comprimido com desfibrador interno, tendo como principais vantagens em relação às demais a eficiência em produtividade e a funcionalidade. Um dos principais problemas dessa solução é a liberação de partículas de algodão, que pode ser amenizado pela instalação de um sistema de exaustão.

A alternativa com ar comprimido com desfibrador externo é também viável, pois o processo seria semelhante ao usado atualmente, porém, por serem duas máquinas é somado o tempo e o processo de transferência, com perda de produtividade e desconforto para o usuário.

O deslocamento mecânico, apesar das vantagens de não produzir poeira, ter menor investimento inicial, maior facilidade de construção, menor consumo de energia e volume ocupado, não responde à principal necessidade que é o deslocamento do algodão com uma pressão final para enchimento das bonecas. Porém, para um transporte contínuo e sem pressão, a rosca helicoidal pode ser utilizada e essa idéia será aproveitada na solução final.

Dentre as alternativas de deslocamento por ar, a idéia do ventilador, a princípio, pelos testes básicos realizados, não se mostrou eficiente, pois não gera uma pressão negativa suficiente para succionar o algodão da câmara ao duto principal de enchimento, não atendendo ao requisito principal.

Tabela 4 - Matriz de decisão

<b>Alternativas de solução</b>	<b>Deslocamento por rosca</b>	<b>Deslocamento por pistão</b>	<b>Deslocamento ar comprimido com desfibrador interno</b>	<b>Deslocamento ar comprimido com desfibrador externo</b>	<b>Ventilador com desfibrador interno</b>	<b>Ventilador com desfibrador externo</b>
<b>Facilidade de fabricação</b>	9	7	6	7	6	6
<b>Consumo de energia</b>	9	10	7	7	8	8
<b>Durabilidade</b>	3	6	8	8	8	8
<b>Volume ocupado</b>	8	9	6	2	6	2
<b>Ruídos</b>	7	9	5	5	5	5
<b>Segurança</b>	5	8	6	5	6	5
<b>Estética</b>	8	8	8	5	8	5
<b>Produtividade</b>	2	2	9	7	8	6
<b>Funcionalidade</b>	2	3	8	8	3	3
<b>Facilidade de utilização</b>	2	3	8	5	8	8
<b>Facilidade de manuseio</b>	8	6	5	5	5	5
<b>Investimento</b>	8	7	4	4	6	6
<b>Liberação de partículas</b>	9	9	8	8	8	8
<b>Ergometria</b>	7	5	8	6	8	6
<b>TOTAL</b>	<b>87</b>	<b>92</b>	<b><u>96</u></b>	<b>82</b>	<b>93</b>	<b>81</b>

#### 5.4 Detalhamento da solução inicial

Nesta primeira etapa da espiral do projeto, envolvendo estudos de conceitos e testes, o equipamento conceito será constituído, como mostrado na Figura 5.6, a princípio, por um reservatório (1), uma rosca helicoidal (2) que será responsável pelo transporte do algodão à câmara de desfibramento (3). Essa câmara possui uma lâmina (4) que fará o corte e desfibramento do algodão, que por diferença de pressão passará pelo tubo (5) para a injeção na boneca. Para solucionar o problema da liberação de partículas sólidas no ar, será instalado um sistema de exaustão (6), que consiste de uma tubulação, ventilador e filtro. Foi escolhido o deslocamento inicial do algodão por rosca helicoidal para se ter um fluxo contínuo e controlado, evitando excesso de material na câmara de desfibramento e, conseqüentemente, o travamento da lâmina ou o mau desfibramento.

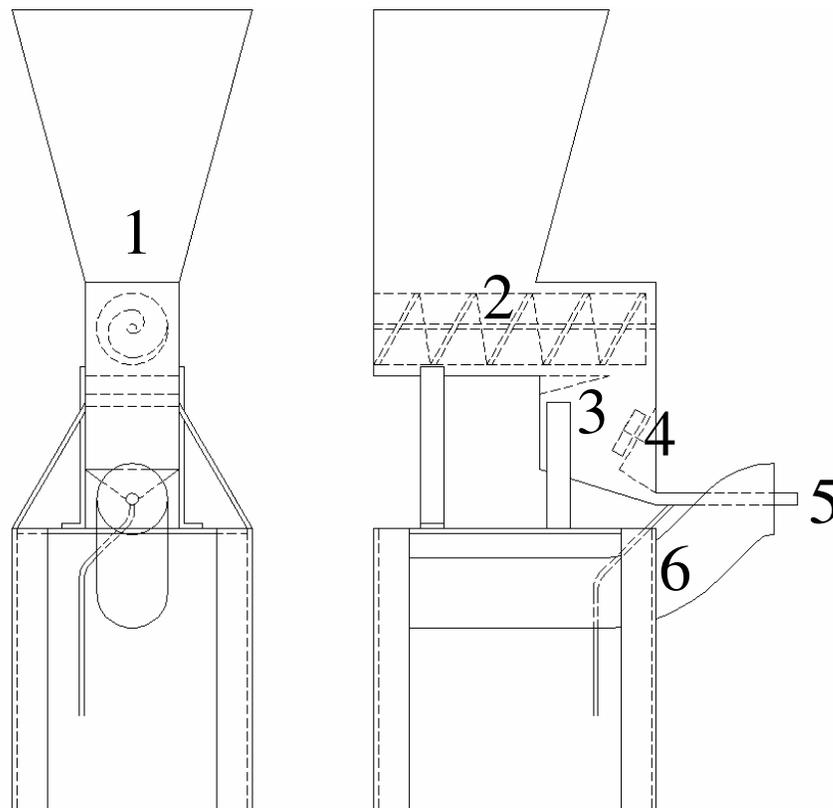


Fig. 5.6 - Leiaute básico do conjunto sem compressor

Neste equipamento conceito, o algodão é armazenado no reservatório até ser deslocado pela rosca helicoidal, que mantém um fluxo contínuo e é acionada por um motor elétrico. O algodão será desfibrado por lâminas cortantes, como na Figura 5.7, baseado em lâminas de liquidificador doméstico, com alta rotação. Para que o usuário visualize o funcionamento da máquina e para facilidade de manutenção, será instalado um visor que dá acesso à câmara de desfibramento, com um sistema de segurança que desliga automaticamente o equipamento, diminuindo o risco de acidentes.



Fig. 5.7 - Exemplo de lâmina para desfibramento

Após o desfibramento, o algodão é transportado através do duto final e injetado com pressão na boneca. Para um melhor aproveitamento dessa etapa, será feito um estudo mais detalhado do escoamento de ar comprimido, podendo variar o arranjo dos tubos e relações de diâmetros.

As partículas liberadas no processo de injeção de algodão serão retidas pelo sistema de exaustão, passando por uma grade de proteção para evitar queda de objetos e por um filtro que irá reter os resíduos, antes do ar ser devolvido à atmosfera.

## **6 ESTUDO DE SOLUÇÃO PARA O SISTEMA DE VENTILAÇÃO E REMOÇÃO DE PARTICULADO DO AMBIENTE**

### **6.1 Sistema de exaustão**

O sistema de exaustão com filtragem tem por objetivo eliminar os resíduos e partículas de algodão que não são facilmente dispersas e diluídas na atmosfera ambiente pelo sistema de ventilação natural, e, conseqüentemente, podem ser inaladas pelo operador da máquina, causando problemas respiratórios e desconforto.

Um sistema exaustor possui essencialmente aos seguintes componentes:

- Captor: dispositivo de captação do ar que contém o contaminante, colocado no local onde este se origina.
- Ventilador: capaz de produzir a rarefação ou depressão, graças a qual o ar contaminado se desloca do captor até a entrada do ventilador, e a pressão positiva, afim de que esse ar saia do ventilador até a atmosfera exterior, filtros ou equipamentos de tratamento.
- Rede de dutos: conduzem o ar contaminador do captor ao ventilador e deste ao exterior, ou aos equipamentos ou sistemas de tratamento.
- Coletores de partículas, ou filtros: retém as partículas, impedindo que sejam lançadas livremente na atmosfera. Alguns tipos são colocados antes do ventilador e outros após este.

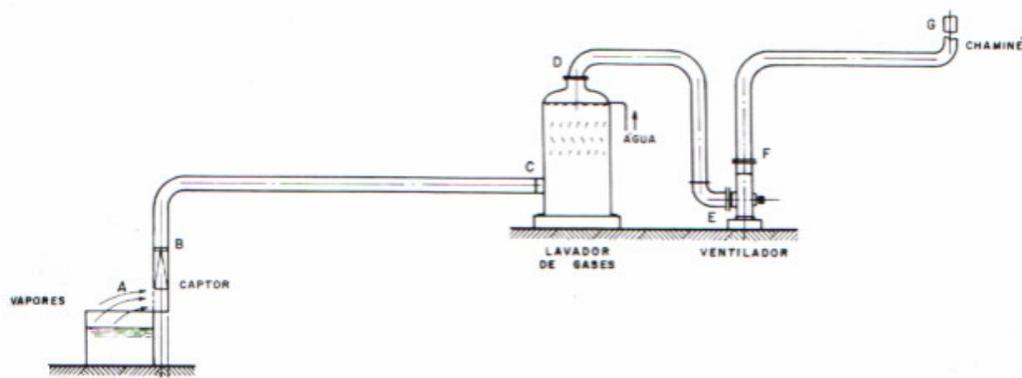


Fig. 6.1 - Esquema de uma instalação para exaustão

### 6.1.1 Captor

O captor é uma peça ou dispositivo em que, pela diferença de pressões entre o ar ambiente e o existente no captor, estabelece-se uma corrente para o interior do mesmo. A corrente prossegue pelos dutos até o ventilador. Portanto, para que haja velocidade de escoamento, é necessário que no interior do captor exista vácuo parcial ou depressão.

Para o dimensionamento do captor e do sistema de exaustão em geral, deve-se definir a velocidade de captura, que consiste na velocidade  $V$  que deve ter a partícula contaminante localizada a uma distância  $x$  a fim de que, não obstante seu peso, capaz de imprimir à mesma o desejado escoamento.

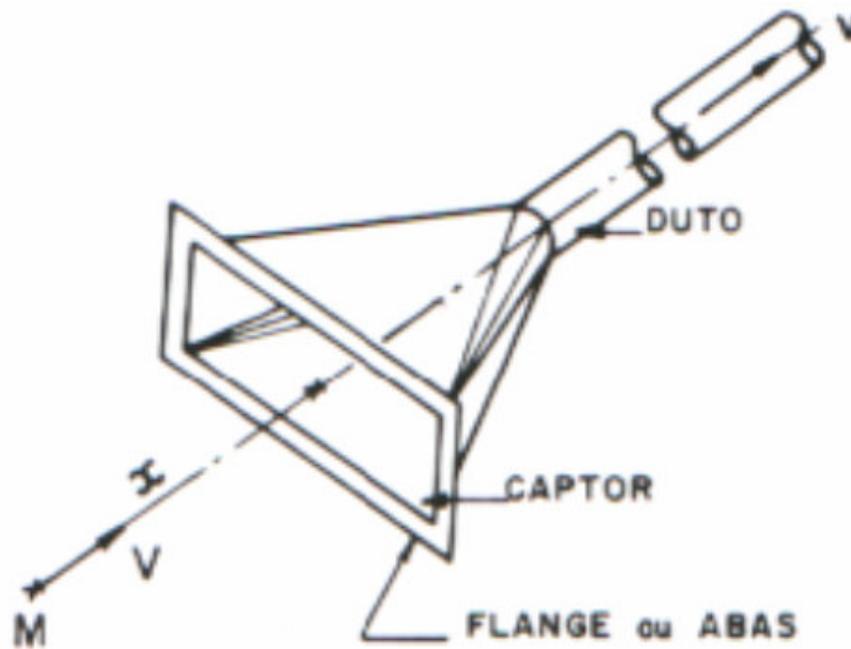


Fig.6.2 - Esquema do captor, distância  $x$  e velocidade de captura  $V$

Como na saída do bico injetor a velocidade inicial das partículas é relativamente grande, para efeito de dimensionamento será utilizado o valor de 150 m/min, correspondente à zona de transição entre produção ativa em zona onde o ar se acha em movimento rápido e onde a partícula é liberada com velocidade inicial elevada em zona de intenso movimento de ar.

Para o projeto do captor deve ser considerada distribuição de velocidades em torno do duto de aspiração. O ar se dirige para este vindo de todas as direções. As Figuras 6.3 e 6.4 mostram uma série de linhas de igual velocidade de escoamento, sem e com flange, respectivamente.

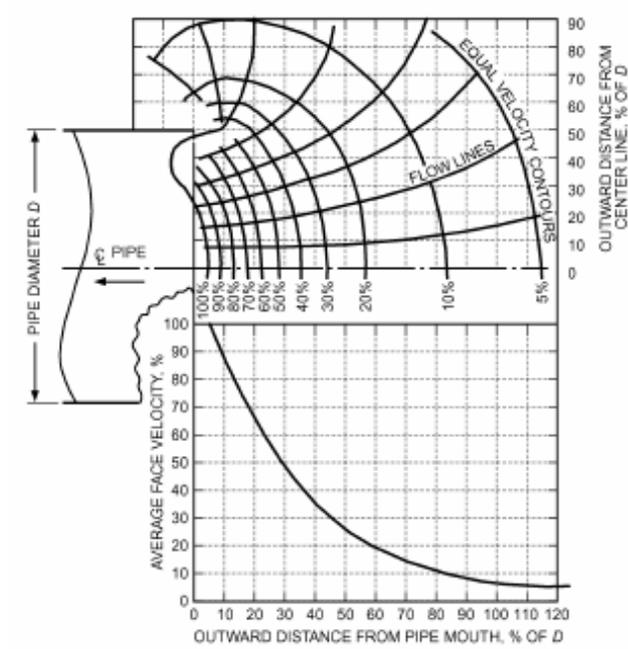


Fig. 6.3 - Linhas de velocidade e fluxo para boca circular sem flange

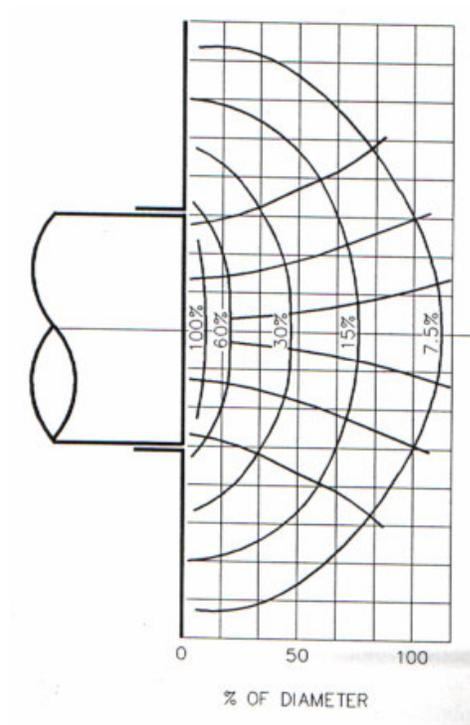


Fig. 6.4 - Linhas de velocidade e fluxo para boca circular com flange

A superfície gerada pela rotação de uma dessas linhas em torno do eixo geométrico do duto é uma superfície equivelocidades. As linhas traçadas normalmente a essas superfícies são as trajetórias ou “linhas de fluxo” de partículas, sendo o plano que se está considerando. A figura mostra também que a velocidade de captura decresce com a distância da partícula em relação à boca de entrada do captor. No caso de boca circular sem flanges, vê-se que há uma captura do ar que fica por trás da boca, o que é evitado se a boca possui flange ou abas laterais.

Para este projeto, o captor deve ter dimensões compatíveis para a instalação do bico injetor em seu interior e manuseio da boneca pela usuária da máquina. Para isso, foi considerado captor com transição de uma face aberta, como visualizado na Figura 6.5.

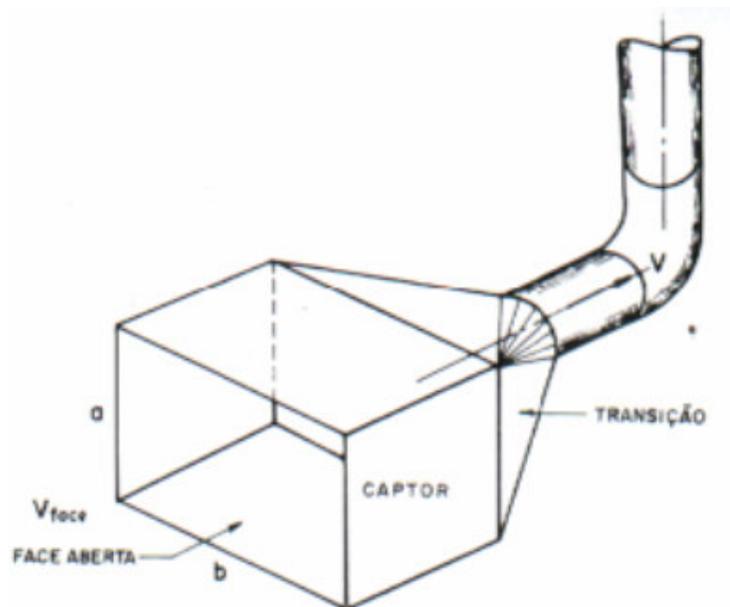


Fig. 6.5 - Esquema de captor com transição

Para melhor visualização do trabalho pelo usuário e iluminação será utilizado coletor em acrílico, com as seguintes dimensões: 300 x 400 x 300 mm. Essas dimensões foram estimadas por observação e medição da amplitude dos movimentos realizados pelo operador durante o enchimento das bonecas.

## 6.1.2 Dimensionamento do ventilador

Para o dimensionamento inicial do ventilador, foi estimada a velocidade de captura através da Figura 6.6, retirada do ACGIH Industrial Ventilation Guide 20th ed., e calculada vazão necessária para succionar uma partícula de algodão a uma distância  $x$  da transição, conforme a Figura 6.7, da mesma referência.

**TABLE 3-1. Range of Capture Velocities<sup>(3,1,3,2)</sup>**

Condition of Dispersion of Contaminant	Example	Capture Velocity, fpm
Released with practically no velocity into quiet air.	Evaporation from tanks; degreasing, etc.	50–100
Released at low velocity into moderately still air.	Spray booths; intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling.	100–200
Active generation into zone of rapid air motion.	Spray painting in shallow booths; barrel filling; conveyor loading; crushers.	200–500
Released at high initial velocity into zone at very rapid air motion.	Grinding; abrasive blasting; tumbling	500–2000

In each category above, a range of capture velocity is shown. The proper choice of values depends on several factors:

*Lower End of Range*

1. Room air currents minimal or favorable to capture.
2. Contaminants of low toxicity or of nuisance value only.
3. Intermittent, low production.
4. Large hood-large air mass in motion.

*Upper End of Range*

1. Disturbing room air currents.
2. Contaminants of high toxicity.
3. High production, heavy use.
4. Small hood-local control only.

Fig. 6.6 - Velocidade de captura

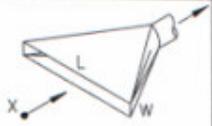
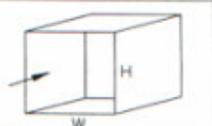
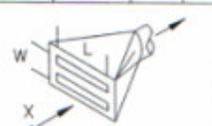
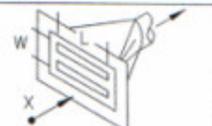
HOOD TYPE	DESCRIPTION	ASPECT RATIO, W/L	AIR FLOW
	SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 3.7 LVX$
	FLANGED SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 2.6 LVX$
	PLAIN OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
	BOOTH	TO SUIT WORK	$Q = VA = VMH$
	CANOPY	TO SUIT WORK	$Q = 1.4 PVD$ SEE VS-903 P = PERIMETER D = HEIGHT ABOVE WORK
	PLAIN MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

Fig. 6.7 - Tipos de transição

Considerando o tipo abertura plana, fazendo a composição com a caixa, que possui uma razão de largura por altura maior que 0,2, a vazão pode ser calculada pela eq. (6.1):

$$Q = V \cdot (10x^2 + A) \quad (6.1)$$

sendo:

- Q: vazão de ar necessária [m<sup>3</sup>/s]
- V: velocidade de captura: 2,5 m/s
- A: área da seção: 0,12 m<sup>2</sup>
- x: distância de captura: 0,08 m

$$Q = 2,5 \cdot (10 \cdot 0,08^2 + 0,12)$$

$$Q = 0,46 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Para esta vazão foi selecionado o ventilador AXC 315B, de acordo com a Tabela 5, retirada do fabricante Multivac.

Tabela 5 - Dados de ventiladores da Multivac

Modelo	vazão máxima(m <sup>3</sup> /h)	pressão máxima (Pa)	nível ruído (dbA)	Potência (W)	RPM (110V / 220V)
AXC 100 B	250	363	54	65	2325 / 2540
AXC 125 B	325	330	55	63	2145 / 2360
AXC 150 B	510	402	56	73	2285 / 2470
AXC 200 B	980	588	60	148	2706 / 2810
AXC 315 A	1400	580	62	174	2966 (só 220V)
AXC 315 B	1850	690	66	297	2880 (só 110V)

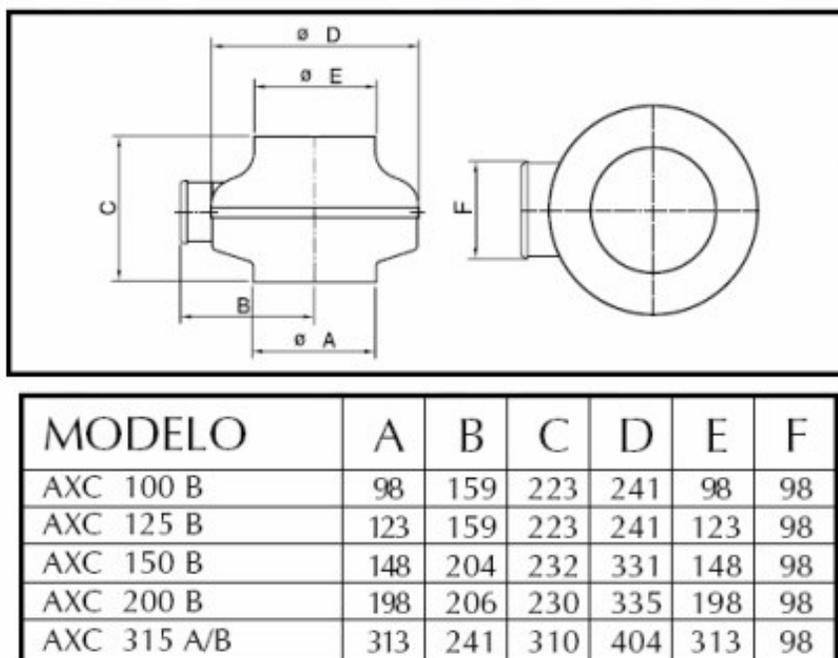


Fig. 6.8 - Dados dimensionais dos ventiladores da Multivac

### 6.1.3. Dutos

Para facilidade de manuseio e instalação do equipamento, bem como da facilidade de obtenção de material, foi considerada a utilização de dutos flexíveis, como mostrado na Figura 6.9.



Fig. 6.9 - Duto flexível

Como foi selecionado o ventilador AXC-315B, cujas dimensões são dadas na Figura 6.8, foi escolhido um duto de aproximadamente 313 mm de diâmetro.

#### **6.1.4 Filtro**

O sistema de exaustão deve filtrar continuamente o material particulado trazido pelo ar, a fim de reduzir a acumulação de poluentes nos equipamentos e dutos do sistema e evitar emissão das partículas de algodão diretamente à atmosfera.

### 6.1.4.1 Classificação dos Filtros

Segundo a norma NBR 6401, que se assemelha à norma EN779, a eficiência dos filtros grossos é classificada por ensaio gravimétrico com poeira padronizada e a eficiência dos filtros finos em relação à retenção de partículas de 0,4  $\mu\text{m}$  produzidas por dispersão de aerossol líquido (DHES). As classes de filtros e a respectiva eficiência média estão estipuladas na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação de filtros

<b>Tipo de filtros</b>	<b>Classe</b>	<b>Eficiência gravimétrica média Eg (%)</b>	<b>Eficiência média para partículas de 0,4<math>\mu\text{m}</math> Ef (%)</b>
Grossos	G 1	$50 \leq E_g < 65$	---
	G 2	$65 \leq E_g < 80$	---
	G 3	$80 \leq E_g < 90$	---
	G 4	$90 \leq E_g$	---
Finos	F 5	---	$40 \leq E_f < 60$
	F 6	---	$60 \leq E_f < 80$
	F 7	---	$80 \leq E_f < 90$
	F 8	---	$90 \leq E_f < 95$
	F 9	---	$95 \leq E_f$

Para este projeto, como se necessita apenas reter as partículas mais grosseiras e não existe risco de contaminantes químicos dispersados no ar, a classe de filtro a ser empregada deve ser G1 ou inferior, não necessariamente utilizando filtros certificados com eficiência gravimétrica.

Para designar corretamente o filtro a ser utilizado no protótipo, foi considerada a tabela E1 do manual da ASHRAE Standard 52.2, mostrada na figura 6.10, em que fibras têxteis possuem MERV de 1 a 4, podendo ser utilizados elementos filtrantes de metal trançado, painéis sintéticos ou até mesmo eletrostáticos.

## Air Cleaners for Particulate Contaminants

24.11

Table 3 Cross-Reference and Application Guidelines (Table E-1, ASHRAE Standard 52.2)

Std. 52.2 Minimum Efficiency Reporting Value (MERV)	Approx. Std. 52.1 Results		Application Guidelines		
	Dust-Spot Efficiency	Arrestance	Typical Controlled Contaminant	Typical Applications and Limitations	Typical Air Filter/Cleaner Type
20	n/a	n/a	<b>≤0.30 µm Particles</b> Virus (unattached) Carbon dust Sea salt All combustion smoke Radon progeny	Cleanrooms Radioactive materials Pharmaceutical manufacturing Carcinogenic materials Orthopedic surgery	<b>HEPA/ULPA Filters</b> ≥99.999% efficiency on 0.1 to 0.2 µm particles, IEST Type F ≥99.999% efficiency on 0.3 µm particles, IEST Type D ≥99.99% efficiency on 0.3 µm particles, IEST Type C ≥99.97% efficiency on 0.3 µm particles, IEST Type A
19	n/a	n/a			
18	n/a	n/a			
17	n/a	n/a			
16	n/a	n/a	<b>0.3 to 1.0 µm Particles</b> All bacteria Most tobacco smoke Droplet nuclei (sneeze) Cooking oil Most smoke Insecticide dust Copier toner Most face powder Most paint pigments	Hospital inpatient care General surgery Smoking lounges Superior commercial buildings	<b>Bag Filters</b> Unsupported (flexible) microfine fiberglass or synthetic media. 300 to 900 mm deep, 6 to 12 pockets. <b>Box Filters</b> Rigid style cartridge filters 150 to 300 mm deep may use lofted (air-laid) or paper (wet-laid) media.
15	>95%	n/a			
14	90 to 95%	>98%			
13	80 to 90%	>98%			
12	70 to 75%	>95%	<b>1.0 to 3.0 µm Particles</b> Legionella Humidifier dust Lead dust Milled flour Coal dust Auto emissions Nebulizer drops Welding fumes	Superior residential Better commercial buildings Hospital laboratories	<b>Bag Filters</b> Unsupported (flexible) microfine fiberglass or synthetic media. 300 to 900 mm deep, 6 to 12 pockets. <b>Box Filters</b> Rigid style cartridge filters 150 to 300 mm deep may use lofted (air laid) or paper (wet laid) media.
11	60 to 65%	>95%			
10	50 to 55%	>95%			
9	40 to 45%	>90%			
8	30 to 35%	>90%	<b>3.0 to 10.0 µm Particles</b> Mold Spores Hair spray Fabric protector Dusting aids Cement dust Pudding mix Snuff Powdered milk	Commercial buildings Better residential Industrial workplaces Paint booth inlet air	<b>Pleated Filters</b> Disposable, extended-surface, 25 to 125 mm thick with cotton/ polyester blend media, cardboard frame. <b>Cartridge Filters</b> Graded-density viscous-coated cube or pocket filters, synthetic media <b>Throwaway</b> Disposable synthetic media panel filters
7	25 to 30%	>90%			
6	<20%	85 to 90%			
5	<20%	80 to 85%			
4	<20%	75 to 80%	<b>&gt;10.0 µm Particles</b> Pollen Spanish moss Dust mites Sanding dust Spray paint dust Textile fibers Carpet fibers	Minimum filtration Residential Window air conditioners	<b>Throwaway</b> Disposable fiberglass or synthetic panel filters <b>Washable</b> Aluminum mesh, latex coated animal hair, or foam rubber panel filters <b>Electrostatic</b> Self-charging (passive) woven polycarbonate panel filter
3	<20%	70 to 75%			
2	<20%	65 to 70%			
1	<20%	<65%			

Note: MERV for non-HEPA/ULPA filters also includes test airflow rate, but it is not shown here because it is of no significance for the purposes of this table.

Fig. 6.10 - Tabela de filtros ASHRAE

Portanto, para a filtragem das partículas de algodão no ar, será utilizado um filtro de tela de aço de malha 40 (40 furos por polegada quadrada), mostrada na Figura 6.11, que possui a facilidade de ser lavável e de fácil acesso, posicionado em forma de gaveta no duto à montante do ventilador.

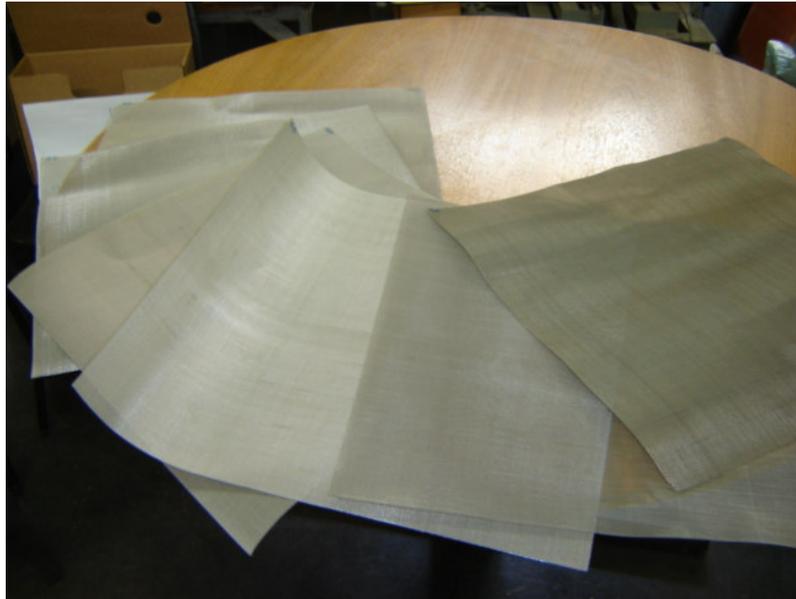


Fig. 6.11 - Malha de aço

Para evitar que objetos maiores entrem pela tubulação, na entrada do duto, logo após o captor, deverá ser instalado um pré-filtro. Este será constituído por uma malha similar à do filtro, porém com um espaçamento maior. A Figura 6.12 mostra a malha a ser utilizada.

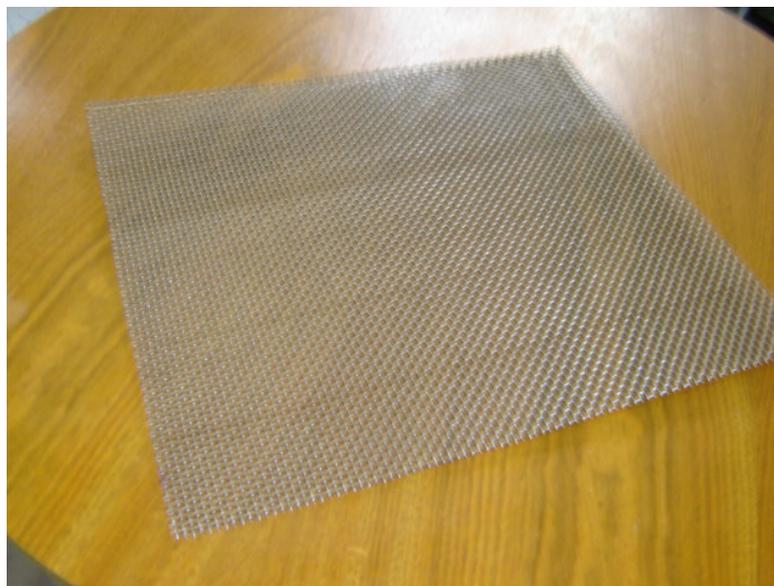


Fig. 6.12 - Malha de aço com espaçamento maior

### 6.1.5 Teste qualitativo do sistema de exaustão

Foi montado o aparato experimental, conforme projetado acima, mostrado nas figuras 6.13, 6.14 e 6.15.

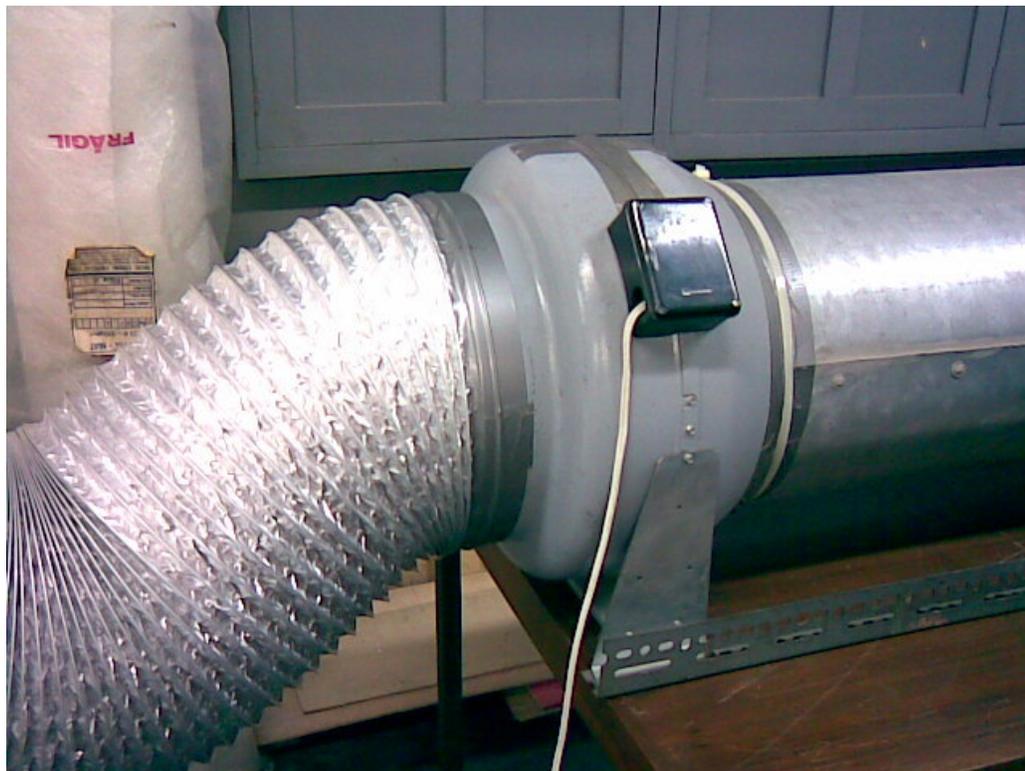


Fig. 6.13 - Acoplamento ventilador-duto



Fig. 6.14 - Vista geral do captor, duto e ventilador



Fig. 6.15 - Detalhe do captor

O aparato foi montado utilizando o ventilador Multivac AXC-315B, duto flexível e, para simular as dimensões do captor, foi utilizada uma caixa de papelão. Para este teste, não foi considerado o uso do filtro, que será testado nas próximas etapas.

O teste foi realizado simulando a liberação de partículas de algodão nas proximidades do captor. Foi observado que o ventilador produz uma depressão capaz de succionar as partículas na distância de projeto e além desta, porém não foi considerada a velocidade de saída do bico injetor no interior da boneca. Foram introduzidas perdas de carga no duto através de curvas acentuadas e, mesmo assim, aparentemente, o sistema de exaustão se mostrou eficiente.

Para uma certificação dos resultados obtidos e melhor avaliação, o sistema será montado na máquina existente para simular as condições reais de operação.

## **7 ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO PARA O DESFIBRADOR DE ALGODÃO**

O maior desafio encontrado no decorrer do projeto foi o sistema de desfibramento. Diversos testes e aparatos experimentais foram montados a fim de encontrar uma solução eficiente para a separação das fibras do algodão.

### **7.1 Teste das lâminas**

No decorrer do projeto, verificou-se que o material a ser injetado, por ser obtido através de doações, apresentava-se bastante variável, em alguns momentos sendo de fácil corte (fibras de algodão) e em outros de difícil corte e desfibramento (fibras de poliéster). Em virtude disso, foram feitos novos testes com as lâminas giratórias, com diferentes ângulos e perfis, para verificar a eficácia no corte do algodão. Nestes testes se observou que, para alguns tipos de algodão o sistema se mostrou eficaz, porém para outros tipos, o algodão, não sendo cortado pela lâmina, prendeu-se a esta de maneira a causar uma compactação, culminando no travamento do rotor.

Portanto, como o algodão utilizado no Grupo Primavera é proveniente de doação de diversos fornecedores, tornando-o bastante heterogêneo, não se pode garantir o funcionamento do mecanismo. Sendo assim, novas alternativas foram estudadas e testadas para o processo de desfibramento do algodão.

Como o processo inicialmente pensado não se mostrou eficiente, o leiaute da máquina deverá ser alterado para contemplar a instalação de um mecanismo de desfibramento mais robusto, iniciando uma nova etapa da espiral de projeto.

## 7.2 Mecanismo de corte faca e contra-faca

Para o desfibramento do algodão e sua injeção, foi estudada uma alternativa de corte com um sistema rotativo de faca e contra-faca, em que o corte acontece por cisalhamento nas extremidades laterais. Nesse sistema o algodão seria conduzido por uma caixa até o local do corte e armazenado no interior da máquina injetora para posterior injeção. Para melhor visualização da idéia e testes preliminares, foram usinadas facas e contra-facas de alumínio, como mostrado na Figuras 7.1 e 7.2.

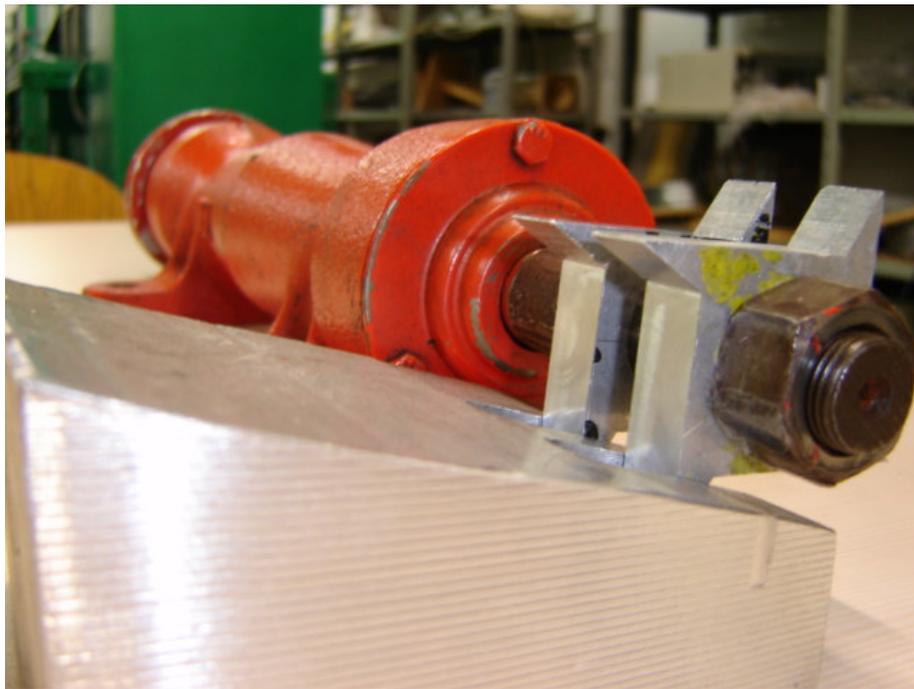


Fig. 7.1 - Mecanismo faca e contra-faca visto lateralmente

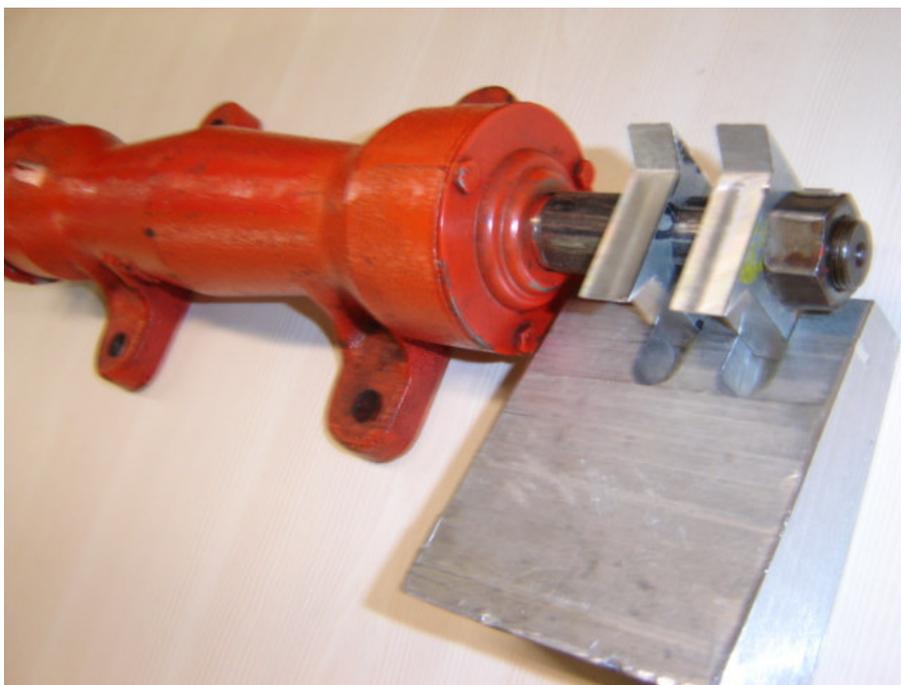


Fig. 7.2 - Mecanismo faca contra-faca visto por cima

O aparato foi montado sobre mancais de rolamento para garantir o paralelismo das faces da faca e contra-faca. Para melhor entendimento, na Figura 7.2, a alimentação do desfibrador se daria pelo lado da contra-faca, sendo que a faca estaria posicionada sobre a máquina injetora e o algodão seria retido nesta por gravidade.

Durante o teste, percebeu-se que ao rotacionar as facas, o algodão era cortado nas laterais e, ao contrário do esperado, não se desprendia das lâminas, conseqüentemente não era encaminhado para a máquina injetora. Com esta condição, o algodão era enrolado até atingir um volume e um grau de compactação tão grande que culminava no travamento do mecanismo.

A fabricação deste mecanismo proporcionou a compreensão de que estruturas que possuam cantos vivos, pontas ou singularidades salientes fazem com que o material a ser injetado fique retido, causando em muitas vezes o travamento do sistema rotativo.

Para o correto funcionamento do desfibrador, este deve possuir um movimento alternativo, ou quando provido de um movimento rotativo, deve ser isento de

singularidades que causem a retenção do material. Assim o desfibramento será realizado através de um processo de corte das fibras de algodão.

### **7.3 Estudo de mecanismos de corte robustos**

Neste momento do projeto, não obtendo sucesso com os diversos testes para um mecanismo de desfibramento, foram realizadas visitas a empresas de engenharia mecânica com a finalidade de observar maquinário similar e desenvolver o conceito de um desfibrador robusto. Durante a visita à empresa Zampese Máquinas, observou-se maquinário que poderia ser adaptado para o desfibramento. Esses novos conceitos serão explicitados em seguida.

#### **7.3.1 Mecanismo alternativo tipo guilhotina**

Uma possibilidade seria a fabricação de um mecanismo automático similar a uma guilhotina, possuindo um movimento alternativo para evitar que as fibras se prendam e formem rolos. Nesta configuração, o algodão seria encaminhado até a guilhotina que estaria posicionada acima da máquina injetora. Com seu corte, este seria diretamente injetado na boneca através do ar comprimido. O mecanismo de corte pode ser visualizado nas Figuras 7.3 e 7.4.

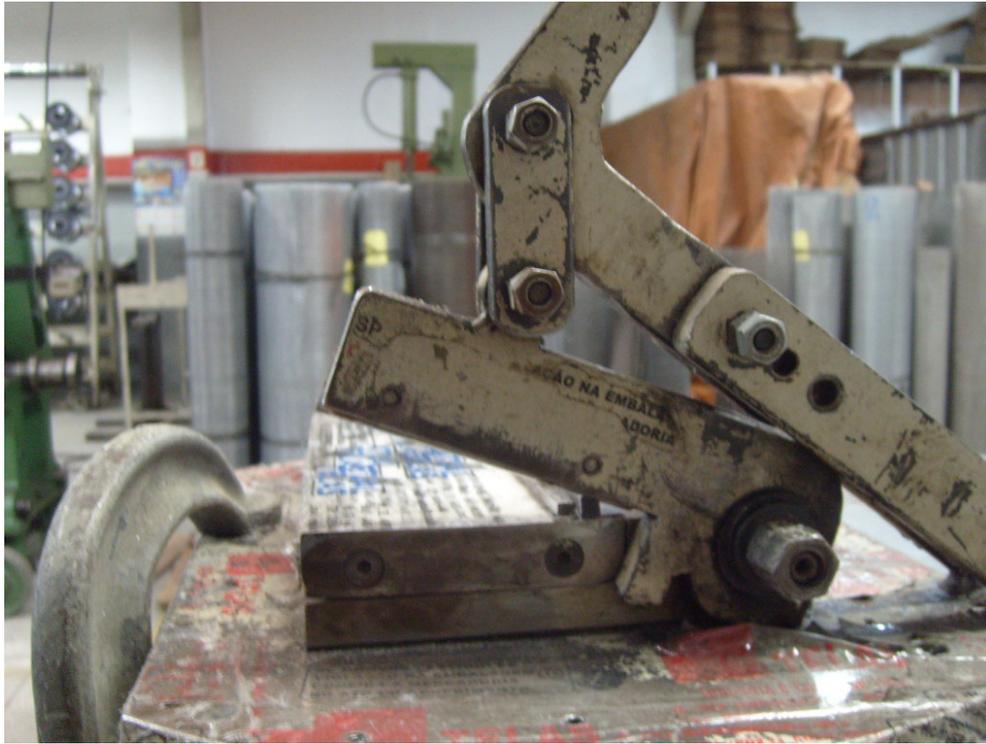


Fig. 7.3 - Mecanismo alternativo guilhotina



Fig. 7.4 - Detalhe da lâmina da guilhotina

Para a implementação desse protótipo, seria necessário o projeto de um mecanismo de conversão do movimento giratório do motor elétrico para o movimento alternativo final, necessitando de uma grande precisão, pois não poderia haver folgas entre a lâmina da guilhotina e a base de corte, nem deslocamento relativo entre elas.

### 7.3.2 Mecanismo rotativo

Outra alternativa encontrada para o corte de telas de aço consiste em lâminas giratórias em contato entre si. Este mecanismo é similar ao corte efetuado por tesouras domésticas, com a diferença das lâminas não serem retas. Testes foram realizados neste equipamento e se observou que o algodão era cortado com facilidade, não se prendendo na lâmina, pois esta não apresenta superfícies salientes. O detalhe deste mecanismo pode ser visto nas Figuras 7.5 e 7.6.

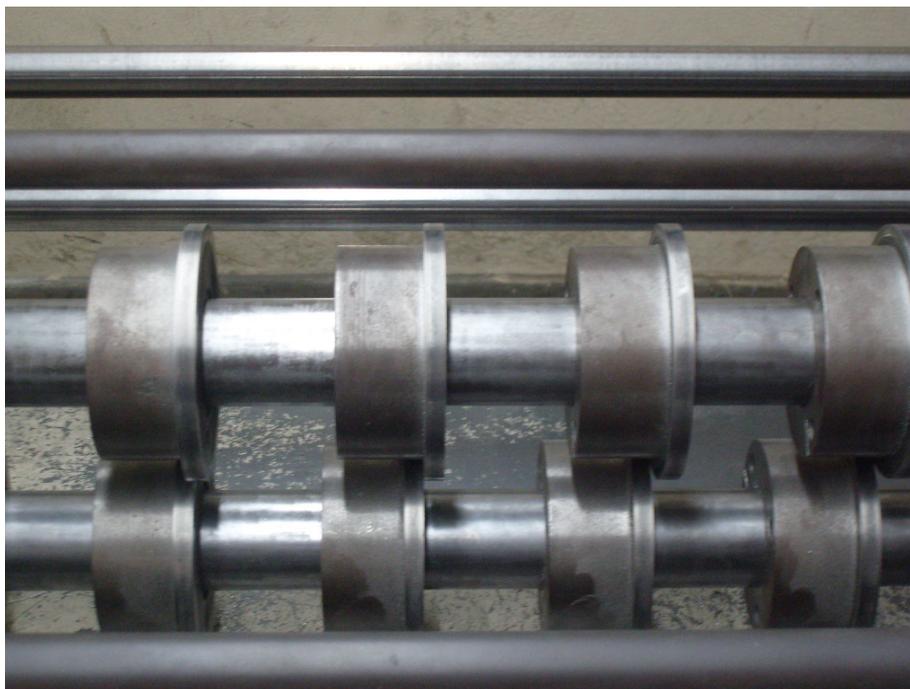


Fig. 7.5 - Mecanismo de lâminas giratórias

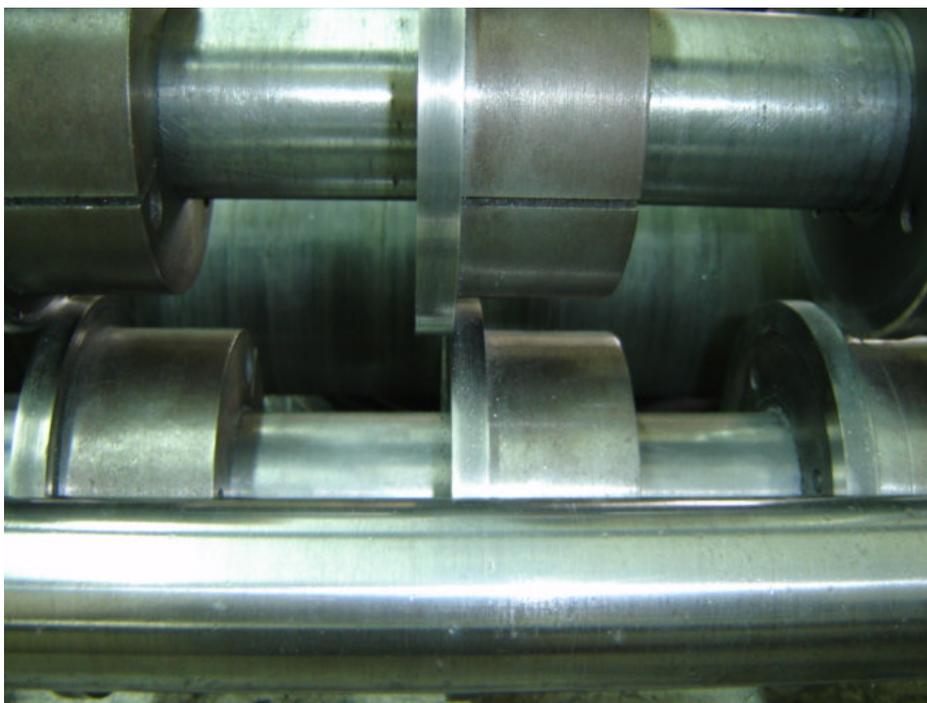


Fig. 7.6 - Detalhe do contato das lâminas

Nesta configuração as lâminas, que giram em sentido opostos, cortam o algodão que seria diretamente coletado por gravidade para a máquina injetora. Este sistema possui maior facilidade de fabricação e montagem quando comparado ao alternativo, porém deve ser corretamente dimensionado para o ar comprimido conseguir injetar as tiras de algodão.

### **7.3.3 Matriz de decisão para o processo de desfibramento**

Para a escolha do mecanismo de corte foram levadas as principais vantagens e desvantagens desses processos, sendo montada a seguinte matriz de decisão:

Tabela 7 - Matriz de decisão para o desfibramento

<b>Alternativas de solução</b>	<b>Mecanismo alternativo</b>	<b>Mecanismo rotativo</b>
<b>Facilidade de fabricação</b>	4	8
<b>Vibrações</b>	6	9
<b>Durabilidade</b>	6	7
<b>Projeto</b>	5	7
<b>Custo</b>	6	6
<b>Funcionalidade</b>	4	7
<b>Manutenção</b>	8	7
<b>Produtividade</b>	8	8
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b><u>59</u></b>

Da matriz de decisão, observou-se que o mecanismo rotativo se mostrou mais vantajoso, apresentando maior facilidade de fabricação, pois envolve na maioria de seus componentes peças cilíndricas de maior facilidade de usinagem; menor nível de vibração em relação ao alternativo, sendo este um fator relevante já que será instalada sobre a máquina injetora; projeto mais simplificado; funcionalidade mais garantida, pois durante alguns testes se observou que com o acúmulo de algodão, o corte pelo mecanismo alternativo não era garantido, ocorrendo amassamento do algodão.

#### **7.4 Detalhamento da solução para desfibramento**

Nesta solução, o algodão é inserido em uma caixa, sendo levado até as lâminas por um sistema semelhante a um pistão guiado e deslocado por meio de um peso fixado por cabos, não havendo necessidade de outro motor elétrico. O processo de corte se dá no contato das lâminas superior e inferior. Em virtude da mudança do mecanismo de desfibramento do algodão, uma modificação no leiaute da máquina se mostrou necessária. Este novo leiaute pode ser visualizado na Figura 7.7.

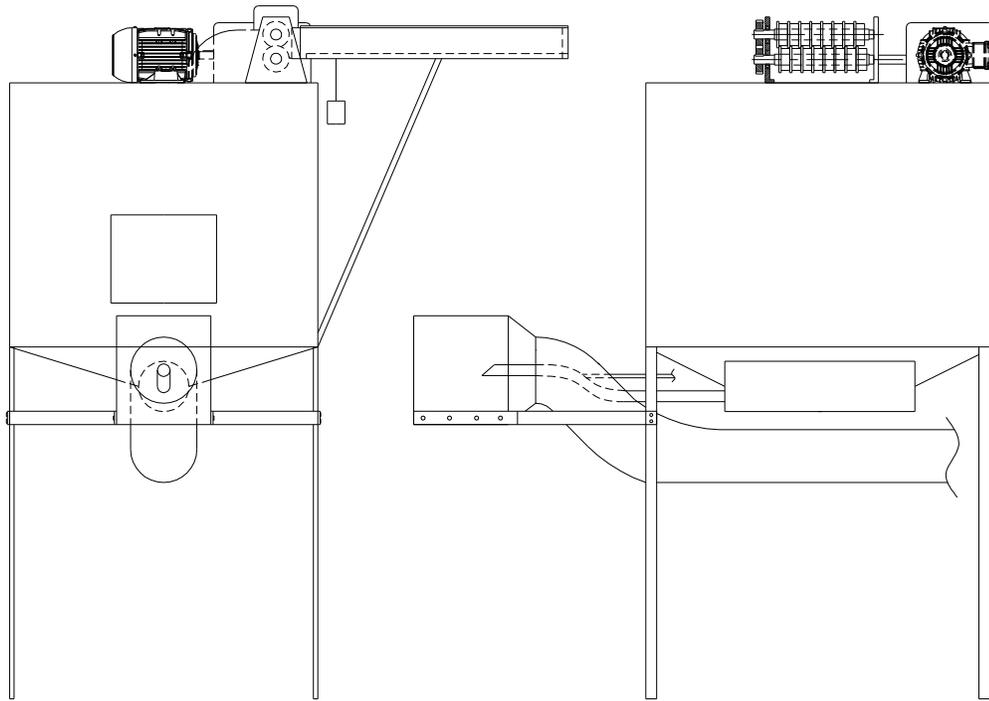


Fig. 7.7 - Leiaute

Em virtude na mudança do projeto do desfibrador e de sua maior complexidade, foi acordado que o desfibrador, bem como o sistema completo de exaustão será acoplado à máquina já existente no Grupo Primavera, não sendo necessária a fabricação da máquina injetora, detalhada anteriormente.

### 7.5 Dimensionamento do mecanismo de corte do algodão

Para o dimensionamento do mecanismo de corte do algodão, será utilizado o processo de engenharia reversa, pois a máquina observada no corte das telas de aço se mostrou eficaz para o corte do algodão.

Primeiramente, deve ser definida a máxima distância entre as lâminas, que é dada pela largura desejada da tira de algodão. Como o bico injetor tem seu menor diâmetro de uma polegada, foi definida a distância entre as lâminas como sendo 25 mm.

Funcionalmente, foi observado que não ocorrem problemas de deslocamento axial das lâminas e o corte é garantido, quando se mantém a relação de um para um do diâmetro do eixo e comprimento do cubo. Portanto, o diâmetro do eixo, para cálculos iniciais, será considerado 25 mm.

Os eixos e os cubos que serão utilizados para fixar as lâminas devem ser resistentes ao momento fletor, possuindo boa tensão de escoamento e ruptura. Para isso, o material utilizado na fabricação dos eixos e dos cubos da máquina para o corte de telas de aço é o SAE 1045, e este será o mesmo utilizado neste projeto.

Para a lâmina, que será fixa ao cubo, seguindo o mesmo raciocínio acima será utilizado o aço SAE D2, com posterior tratamento térmico de têmpera, aumentando a sua dureza superficial.

A lâmina foi baseada na existente para o corte de telas de aço, com as dimensões reduzidas para as necessidades deste projeto, mantendo-se as mesmas proporções, visto que a lâmina original se mostrou eficaz no corte do algodão. A lâmina original possui diâmetro externo de 120 mm, interno de 60 mm e espessura 10 mm. Para o projeto, considerou-se uma lâmina com as dimensões reduzidas pela metade, mantendo a mesma proporção de redução do diâmetro do eixo.

O diâmetro do eixo pode ser obtido através da eq.(7.1):

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_i}{0.1\delta}} \quad (7.1)$$

sendo:

- d: Diâmetro do eixo [m]
- $M_i$ : Momento total: [N.m]

- $\delta$ : Tensão admissível [Pa]

Também as equações:

$$\delta = \frac{\delta_{rup}}{fsegurança \cdot caso} \quad (7.2)$$

$$M_i = \sqrt{M_f^2 + (\alpha M_t)^2} \quad (7.3)$$

Em que:

- $\delta_{rup}$ : 565 MPa (Tensão de ruptura SAE 1045)
- caso: 3.8 (cargas simétricas)
- Fator de segurança: 3
- $M_f$ : Momento fletor no eixo
- $M_t$ : Momento torçor no eixo

Como se tem o diâmetro por projeto e a tensão admissível calculada, obtém-se:

$$M_i = 77.34 \text{ N.m}$$

Tem-se a relação entre o momento torçor, a potência do motor e a rotação dada por:

$$M_t = 7162 \cdot \frac{N}{n} \quad (7.5)$$

Em que:

- N: Potência em cavalos
- n: Rotação em RPM

Para o cálculo inicial será usado um motor de 1 hp de quatro pólos, com uma redução de 10 vezes, e verificaremos se a força de corte e a tração no eixo final serão suficientes para o corte do algodão.

Portanto:

$$N = 1 \text{ hp}$$

$$n=175 \text{ RPM}$$

$$M_t = 40,92 \text{ N.m}$$

Voltando os valores obtidos na Eq. (7.3), chega-se ao valor do momento fletor máximo:

$$M_f = 76.24 \text{ N.m}$$

Para a força de contato das engrenagens de dentes retos segue:

$$F_R = F_t \cdot \tan \alpha \quad (7.6)$$

$$F_t = \frac{2M_t}{D_p} \quad (7.7)$$

Em que:

- $F_R$ : Força de contato radial
- $F_t$ : Força de contato tangencial
- $\alpha$ :  $20^\circ$  (ângulo de pressão)
- $D_p$ : 55 mm (Diâmetro primitivo)
- $M_t$ : 40.92 N.m

Fazendo as contas e substituindo (7.6) em (7.7):

$$F_R = 541,6 \text{ N}$$

O esquema de carregamento do eixo pode ser observado na Figura 7.8:

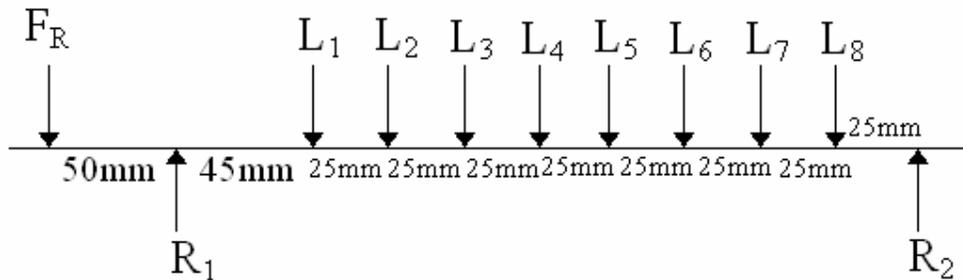


Fig. 7.8 - Esquema de carregamento

Fazendo as reações de apoio e considerando  $L_1 = L_2 = \dots = L_8$ :

$$R_1 + R_2 = 8 \cdot L_1 + F_R \quad (7.8)$$

$$\sum M_{R1} = 0$$

$$F_R \cdot 0,05 + R_2 \cdot (8 \cdot 0,025 + 0,045) = L \cdot (0,045 + 0,045 + 1,0,025 + 0,045 + 2 \cdot 0,025 + 0,045 + 3 \cdot 0,025 + \dots + 0,045 + 7 \cdot 0,025) \quad (7.9)$$

São então conhecidas a força de contato da engrenagem e o momento fletor máximo que o eixo resiste. Têm-se como incógnitas a posição  $x$  de momento fletor máximo,  $L$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  e apenas duas equações (7.8 e 7.9). Se fosse encontrado o valor exato da posição  $x$ , como é conhecido o valor do momento fletor máximo, seria obtida mais uma equação, resultando em três incógnitas e três equações, sendo possível resolver o sistema.

Para estimar o valor de  $x$  foi feito um pré-cálculo tendo por hipótese que a força resistiva no mancal  $R_2$  é maior para efeitos de momento que as forças nas lâminas, obtendo-se a seguinte equação:

$$R_2 \cdot x = 76,24 \quad (7.10)$$

Foi elaborada uma tabela interativa variando a posição  $x$  e verificando para que o momento fletor total não ultrapasse o momento máximo, como apresentado no gráfico da Figura 7.9 abaixo.

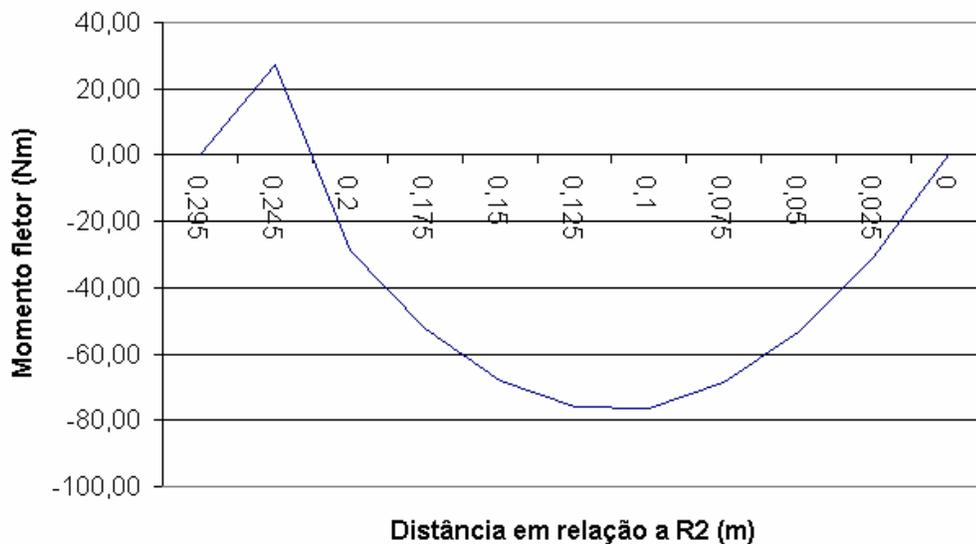


Fig. 7.9 - Relação entre  $x$  e momento fletor

Sendo assim, observou-se que uma boa aproximação para a posição do momento máximo, em relação a  $R_2$  é 0,1 m. Então, a nova equação é:

$$R_2 \cdot 0,1 - L \cdot 0,15 = 76,24 \quad (7.11)$$

e resolvendo o sistema com a equação 7.9, chega-se a:

$$L = 236,3 \text{ N}$$

$$R_2 = 1116,8 \text{ N}$$

$$R_1 = 1314,9 \text{ N}$$

A força  $L$  encontrada é a máxima força disponível na vertical para o corte do algodão.

### 7.5.1 Verificação da força de corte

Como o material é heterogêneo e não um levantamento da força necessária para o corte, nem mesmo dados teóricos sobre as tensões de escoamento e ruptura do material de injeção, foi realizado um teste para estimativa da força de corte.

O teste consiste em cortar o algodão com uma tesoura sobre uma balança, obtendo-se um valor estimado para a força de corte. Foi utilizada uma tesoura com lâminas de aço, como a da Figura 7.10, com uma relação entre os braços da posição de corte e da aplicação de força de 4:1. O valor observado na balança foi de aproximadamente 5 kg, concluindo que a força necessária para o corte é de aproximadamente 200 N.

Para o teste, foi colocada a pior condição para o corte, que consiste no algodão em sua forma mais compactada, com massa específica de  $200 \text{ kg/m}^3$ .

Como o valor do teste é inferior ao calculado, mesmo com os fatores de segurança, o dimensionamento dos eixos e lâminas está coerente.



Fig. 7.10 - Tesoura do teste

### 7.5.2 Projeto do eixo

Com base no dimensionamento realizado previamente, foi elaborado o projeto de fabricação dos eixos, conforme mostrado na Figura 7.11.

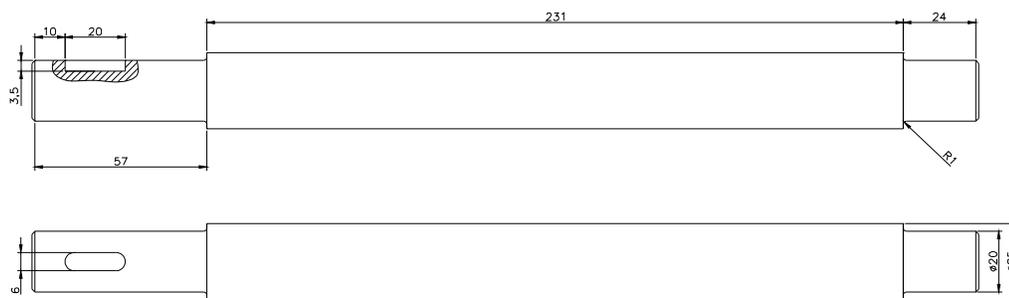


Fig. 7.11 - Desenho do eixo

O projeto do eixo contempla o rasgo da chave para fixação das engrenagens e os rebaixos para encaixe dos rolamentos. Deverão ser utilizados rolamentos da série 6204, com diâmetro interno de 20 mm e fixação com interferência no eixo. O desenho da Figura 7.11 mostra apenas o eixo movido, sendo que o eixo motor segue o mesmo projeto, porém possui na extremidade sem engrenagem um alongamento para acoplamento a um redutor.

### 7.5.3 Projeto da lâmina e cubo

De acordo com o dimensionamento e seguindo o mesmo conceito da lâmina original para o corte de telas de aço, tem-se o seguinte desenho básico de fabricação, mostrado nas Figuras 7.12 e 7.13.

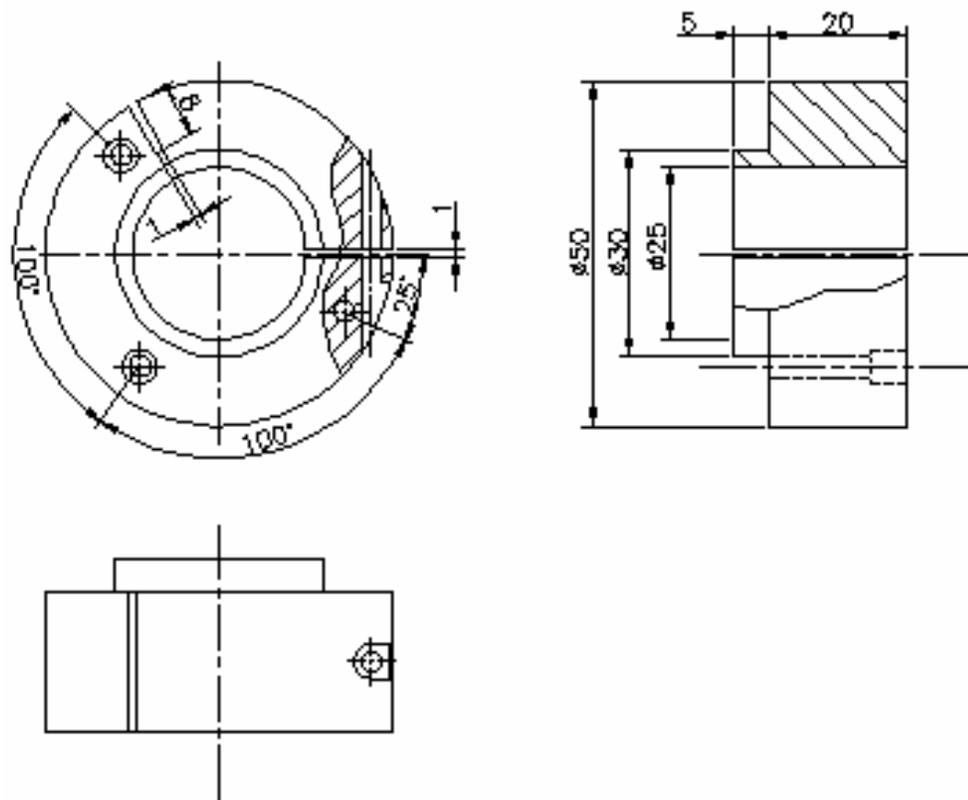


Fig. 7.12 - Desenho do cubo

Para melhor ajuste do cubo ao eixo e deslizamento axial para regulagem do contato das lâminas, bem como para serem evitadas concentrações de tensão pelo uso de chaveta, o cubo foi projetado possuindo fendas e um parafuso para aperto.

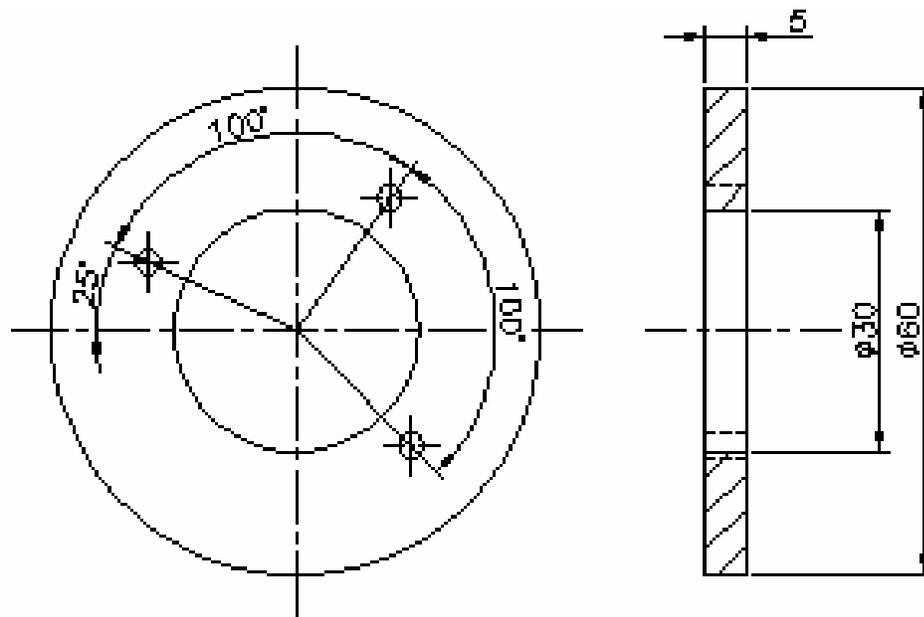


Fig. 7.13 - Desenho da faca

A faca passará por um tratamento térmico para aumentar sua dureza e faceada para adquirir o fio de corte. Possui ainda três furos para fixação ao cubo, por meio de parafusos.

#### 7.5.4 Dimensionamento das engrenagens

As engrenagens para movimentação sincronizada dos eixos em sentidos opostos deverão ter seu diâmetro primitivo próximo ao das lâminas. Considerando para o projeto engrenagens iguais com 15 dentes e módulo 3,75, obtém-se o diâmetro primitivo como segue:

$$d = m \cdot Z \quad (7.12)$$

Sendo:

- d: diâmetro primitivo (mm)
- m: módulo

- Z: número de dentes

Portanto,  $d = 56,25$  mm

Pela verificação ao pipocamento, temos:

$$Bd^2 = \frac{k \cdot M_t \cdot \varphi \cdot F(i)}{P_{adm}^2} \quad (7.13)$$

Sendo:

- B: largura da engrenagem (cm)
- d: diâmetro da engrenagem (5,625 cm)
- k: constante para dentes retos (5.720.000)
- F(i): função de redução (1,75)
- $M_t$ : momento torçor (40,92 Nm)
- $\varphi = 1,25$
- $P_{adm}$ : pressão admissível (7.500 kgf/cm<sup>2</sup> - para aço SAE 1020)

Portanto, como o diâmetro primitivo da engrenagem é igual a 56,25 mm, chega-se a  $B = 2,94$  cm, ou aproximadamente 30 mm.

Pela verificação à flexão, temos:

$$Bd = \frac{2 \cdot M_t \cdot \varphi \cdot q}{\sigma \cdot m_f} \quad (7.14)$$

Sendo:

- B: largura da engrenagem (cm)
- d: diâmetro da engrenagem (5,625 cm)
- q: fator de forma (39)

- $\sigma$ : tensão à flexão (1.100 kgf/cm<sup>2</sup>)
- $M_t$ : momento torçor (417,55 kgf.cm)
- $\varphi = 1,25$
- $m_f$ : módulo (3,75 mm)

Portanto,  $B = 1,75$  cm.

Como a verificação ao pipocamento é mais crítica, tem-se que  $B$  é aproximadamente 30 mm.

#### 7.5.5 Dimensionamento das chavetas

Seguindo a referência DIN - 6885, as chavetas serão dimensionadas pela equação:

$$L \geq \frac{4 \cdot M_t}{d \cdot h \cdot \sigma_c} \quad (7.14)$$

Sendo:

- $M_t$ : momento torçor (40,92 Nm)
- $d$ : diâmetro do eixo (0,02 m)
- $h$ : altura da chaveta (0,006 m)
- $\sigma_c$ : tensão de compressão crítica ( $9,8 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>)

### 7.5.6 Esquema geral do desfibrador

O esquema geral do desfibrador acoplado ao redutor e motor é mostrado na Figura 7.14.

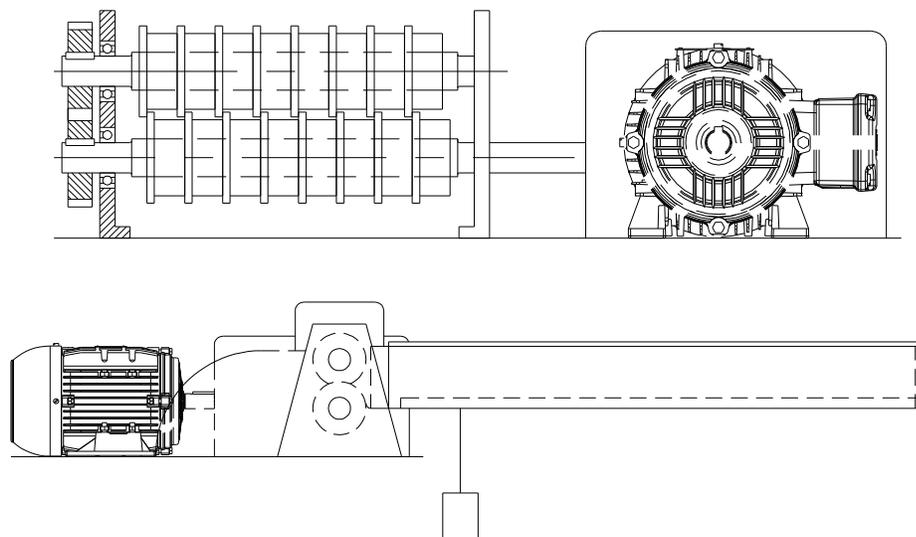


Fig. 7.14 - Esquema geral do desfibrador

Nesse sistema o algodão é inserido na caixa que possui uma tampa para impedir o acesso direto às lâminas. Para garantir a segurança do usuário, o motor deve ser apenas acionado com a caixa fechada. O algodão é deslocado para as facas rotativas por meio de um sistema similar a um pistão acionado por um peso.

## 8 CONCLUSÃO

Foram feitas duas visitas ao Grupo Primavera que permitiram levantar as necessidades para o aprimoramento do processo de enchimento de bonecas e bonecos fabricados pela ONG, e também conhecer suas instalações, percebendo a importância da produção de bonecas na auto-sustentação do projeto como um todo. Inicialmente foram encontradas dificuldades para estabelecer as metas para este projeto, sendo que, durante uma segunda visita, e análise dos pontos críticos nos processos de fabricação, foi reavaliado o foco do trabalho, sendo definido que este projeto envolveria três aspectos do processo de fabricação e dos equipamentos envolvidos, que são: injeção do algodão, desfibramento do algodão e sistema de redução de particulado no ambiente.

A partir dessas definições, foi estabelecido o leiaute básico para reformar a máquina atual em função das três frentes em que se dividiu o trabalho para melhor estudo, análise e projeto de novos componentes.

A primeira frente de trabalho abordou o processo de injeção de algodão, para o qual foram analisadas as alternativas, sendo que a mais eficiente seria a de injeção de algodão por ar comprimido.

Uma segunda frente contemplou o sistema de exaustão que propôs um sistema de confinamento da região onde irá ocorrer o processo de enchimento da boneca por um captor (tipo de “capela”), dentro do qual haverá um fluxo de ar sendo exaurido do ambiente e que deve arrastar as partículas até um dispositivo de filtragem. Em testes preliminares e qualitativos, realizados através de um protótipo, este se mostrou eficiente, necessitando apenas de adaptação ao equipamento e montagem final, como o captor fabricado de maneira a permitir visualização do enchimento e da saturação do filtro.

A terceira frente deste projeto abordou o processo de desfibramento do algodão. Dentre as alternativas de solução investigadas, a idéia inicial de lâminas giratórias similares às de liquidificador deveria ser refinada com um processo mais robusto,

buscando evitar o travamento do rotor e, conseqüentemente, evitar danos no equipamento, perdas no processo e risco de incêndio. O refinamento da idéia das lâminas de liquidificador resultou na fabricação de um protótipo faca e contra-faca em que o algodão era cortado por cisalhamento nas laterais e, ao contrário do esperado, não se desprendia das lâminas e sendo enrolado até atingir um volume e um grau de compactação tão grande que culminava no travamento do mecanismo. A fabricação deste mecanismo proporcionou a compreensão de que estruturas que possuem cantos vivos, pontas ou singularidades salientes faziam com que o material a ser injetado ficasse retido.

Para o correto funcionamento do desfibrador, este deveria possuir um movimento alternativo, ou quando provido de um movimento rotativo, ser isento de arestas agudas ou pontas que causem a retenção do material. Através desse aprendizado, e de visitas a empresas de máquinas, foi possível encontrar duas novas alternativas para o processo de corte do algodão. Foi feita então uma matriz de decisão para a escolha do melhor processo.

Tendo em vista a complexidade que o processo de desfibramento apresentou, foi necessária a definição de um novo leiaute da máquina, bem como a não fabricação de uma nova máquina de desfibramento, mas sim da adaptação dos dispositivos e componentes para cortar e/ou desfibrar o algodão no equipamento atual. Assim foi desenvolvida a solução escolhida através do dimensionamento de um dispositivo que adotou como referência a máquina para corte de telas de aço da fábrica Zampese Máquinas. Os componentes para a fabricação e montagem do protótipo foram dimensionados.

Tendo em vista as alterações conceituais realizadas e a revisão das metas inicialmente definidas, para que o encaminhamento adequado do trabalho fosse realizado dentro do conceito de “Espiral de Projeto”, o cronograma sofreu alterações necessárias para atender, de forma eficaz, as necessidades e especificações das soluções a serem propostas para os processos e equipamentos, procurando contemplar assim as reais necessidades do Grupo Primavera. A avaliação e o retorno que esta ONG apresentar para as soluções aqui apresentadas devem definir quais

implantações devem ser adotadas e dispositivos instalados, assim como ficam estabelecidos estudos que podem ser reavaliados por outros projetos.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ZAMPESE, B. **Dimensionamento**. São Paulo: Editora do Grêmio Politécnico, 1986.

ZAMPESE, B. **Manual de Elementos de Construção de Máquinas**. São Paulo: Editora do Grêmio Politécnico, 1976.

PROVENZA, F. **Projetista de Máquinas**. 71ª Edição. São Paulo: Editora F. Provenza, 1990.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1990.

INDUSTRIAL VETILATION. A MANUAL OF RECOMMENDED PRATICE, 20th Edition. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

MARIANI, A. L. C, BOLLIGER, R. **Programa Smacna de Educação Continuada em de tratamento de ar**. São Paulo, 2002.

ASRHAЕ, **Handbook of Applicantiions** – Data/Local (ver no site da ASHRAE na INTERNET)

COFELMA. Fabricante de roscas helicoidais. Disponível em: <<http://www.cofelma.com.br/index.php?session=>>>.

SILVA, L. C. Armazenagem: Transporte de Grãos. **Boletim Técnico AG 06/05**, 29/03/2005. Disponível em: <[http://www.agais.com/ag0605\\_manu\\_transportadores.pdf](http://www.agais.com/ag0605_manu_transportadores.pdf)>.

VITÓRIA. Fabricante de máquinas transportadoras. Disponível em: <<http://www.maquinasvitoria.com.br/portugues/produtos/index.htm>>.

SBRT. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas: Transporte por Hélice Helicoidal. Dez. 2006. Disponível em:

<<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt4051.pdf?PHPSESSID=318fb4fc3be252df0760d4b5de2b8531>>.

SCHULZ S/A. Fabricante de compressores. Disponível em:

<<http://www.schulz.com.br>>

POLI CIDADÃ: Comissão de projetos de graduação com responsabilidade social.

Disponível em:

<<http://www.poli.usp.br/policidada>>

## APÊNDICE I - DADOS TÉCNICOS DO COMPRESSOR ATUAL



<b>MODELO</b>	MSV 20 MAX/250	
 <b>Larg x Alt x Comp</b>	540 x 1020 x 1700 mm	
 <b>Deslocamento Teórico</b>	20 pés <sup>3</sup> /min - 566 l/min	
 <b>RPM</b>	1050	
 <b>Pressão de Operação</b>	Mínima	135 lbf/pol <sup>2</sup> - 9,3 bar
	Máxima	175 lbf/pol <sup>2</sup> - 12 bar
 <b>Motor</b>	Potência	5 hp - 3,7 kW
	Nº de Polos	2
	Tensão (V)	
 <b>Unidade Compressora</b>	Nº de Estágios	2
	Nº de Pistões	2 em V
 <b>Volume do Reservatório</b>	261 L	
 <b>Volume de Óleo</b>	900 ml	
 <b>Peso Líquido com motor</b>	208 Kg	
 <b>Peso Bruto com motor</b>	238 Kg	