

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA PARA O  
CORTE DE FIOS DE FIBRA DE VIDRO (ROVING), UTILIZADA  
PARA A LAMINAÇÃO DE PEÇAS EM PLÁSTICO REFORÇADO  
COM FIBRAS DE VIDRO (FIBERGLASS)**

---

**por**

Gilmar Fernando Vogel

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Projeto de Produto da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.**

PPGEP

Santa Maria, RS, Brasil

2002

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA PARA O CORTE DE  
FIOS DE FIBRA DE VIDRO (ROVING), UTILIZADA PARA A  
LAMINAÇÃO DE PEÇAS EM PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRAS  
DE VIDRO (FIBERGLASS)**

elaborado por

**GILMAR FERNANDO VOGEL**

Como requisito parcial para obtenção do grau de

**Mestre em Engenharia de Produção**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Alberto Souza Schmidt  
(Presidente/Orientador)

---

Prof. Dr. Arno Udo Dallmeyer

---

Prof. Dr. Alexandre Dias da Silva

Santa Maria, 28 de junho de 2002

**Há homens que lutam um dia e são bons. Há homens que lutam muitos dias e são melhores. Há os que lutam anos e são excelentes. Mas há os que lutam toda a vida. E estes são imprescindíveis.**

(Brecht)

**Dedico este trabalho à Miriam  
Beatriz Micheli, minha esposa, por  
seu amor, paciência e inspiração e  
aos meus filhos Gustavo e  
Giovanni, por fazer nossos dias  
mais felizes, e dar-nos força para  
continuar lutando em busca de  
um ideal.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Alberto Souza Schmidt, pelo seu trabalho realizado como orientador;

A todos os colegas do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, especialmente aqueles da Área de Projeto de Produto;

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e, em particular ao Professor Arno Udo Dallmeyer, pelos ensinamentos transmitidos;

Aos Professores do curso de Engenharia de Produção da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC e, em particular aos Professores Jorge André Ribas Moraes e Jorge Rodrigues Marques, pelo carinho e amizade;

Aos Diretores, Gerentes e Funcionários da Empresa Viação União Santa Cruz LTDA. e, em particular ao Diretor Superintendente Sr. Jânio Roberto Frantz e família, pelo apoio e incentivo, que com certeza influenciaram muito na realização deste trabalho;

A todos os que compartilharam comigo a vida, compreendendo as dificuldades, e que de várias formas contribuíram para o sucesso desta etapa de desenvolvimento profissional, agradeço sinceramente.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE QUADROS E GRÁFICOS .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
PRIMEIRO CAPÍTULO – Introdução	
<b>1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>13</b>
1.1.1. Objetivo geral .....	13
1.1.2. Objetivos específicos .....	13
1.1.3. Justificativa .....	15
1.1.4. Metodologia .....	15
1.1.5. Delimitação do tema .....	16
SEGUNDO CAPÍTULO – Revisão de Literatura	
<b>2. ERGONOMIA EM PRODUTO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Características Ergonômicas do Usuário .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2. Ergonomia em Ferramentas Manuais .....</b>	<b>23</b>
2.2.1. Fatores ergonômicos a serem considerados em projetos de ferramentas e equipamentos .....	28
<b>2.3. Medidas do Corpo Humano como Parâmetro para Projeto ...</b>	<b>31</b>
TERCEIRO CAPÍTULO – Revisão de Literatura	
<b>3. OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO EM PRFV .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. A História da Indústria da Fibra de Vidro no Brasil e a Perspectiva de Mercado .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. Características dos Plásticos Reforçados com Fibras de Vidro (PRFV) .....</b>	<b>41</b>

<b>3.3. Características e Propriedades das Resinas Poliéster .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4. Características e Propriedades das Fibras de Vidro .....</b>	<b>48</b>
<b>3.5. Projeto e Construção de Moldes .....</b>	<b>58</b>
3.5.1. Construção do modelo .....	63
3.5.2. Construção dos moldes .....	65
3.5.3. Durabilidade do molde .....	70
<b>3.6. Processos de Fabricação por Molde aberto ou Moldagem por Contato manual .....</b>	<b>72</b>
3.6.1. Moldagem Manual (“hand lay-up”) .....	72
3.6.2. Moldagem por pulverização ou a pistola (“spray-up”) .....	86
3.6.2.1. Cura auxiliada por calor .....	91
3.6.2.2. Moldes aquecidos .....	91
<b>3.7. Processos de Fabricação por Moldagem Mecânica .....</b>	<b>92</b>
3.7.1. Pultrusão .....	93
3.7.2. Filament winding .....	94
3.7.3. Moldagem centrífuga .....	96
3.7.4. Moldes de abrir e fechar .....	97
3.7.5. Prensagem a quente .....	98
3.7.6. Moldagem pré-formada .....	99
3.7.7. Compostos de moldagem .....	99
3.7.7.1. DMC (“Dough Moulding Compound”) .....	100
3.7.7.2. BMC (Bulk Moulding Compound”) .....	100
3.7.7.3. SMC (“Sheet Moulding Compound”) .....	101
3.7.8. Moldagem por prensa fria .....	101
3.7.9. Moldagem por injeção de resina (RTM) .....	103
3.7.10. Moldagem por injeção auxiliada a vácuo .....	104
QUARTO CAPÍTULO – Metodologia	
<b>4. ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA NA PESQUISA ...</b>	<b>107</b>
<b>4.1. Identificação do Problema .....</b>	<b>108</b>

4.1.1. Identificação da Necessidade .....	119
4.1.2. Compreensão do Problema .....	110
<b>4.2. Descrição Metodológica .....</b>	<b>117</b>
4.2.1. Problematização .....	124
4.2.2. Técnicas Analíticas .....	126
a)- Lista de Verificação .....	126
b)- Análise Diacrônica do Cortador de “Roving” .....	129
c)- Análise Sincrônica do Cortador de “Roving” .....	131
d)- Redefinição do Problema .....	132
e)- Análise do Produto Existente em Relação ao Uso .....	133
f)- Análise Estrutural do Dispositivo de Corte do “Roving” .....	135
g)- Análise Funcional do Dispositivo para o corte de “Roving” .....	136
h)- Análise Morfológica do Cortador de “Roving” .....	138
4.2.3. Definição dos Requisitos .....	141
a)- Lista de Requisitos .....	141
b)- Estruturação dos Requisitos .....	142
QUINTO CAPÍTULO – Resultados e contribuições	
<b>5. ETAPAS DE GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>146</b>
<b>5.1. Inspiração para a Criatividade .....</b>	<b>144</b>
<b>5.2. Procedimentos para a Geração de Alternativas .....</b>	<b>149</b>
SEXTO CAPÍTULO – Conclusões	
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>176</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>177</b>



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 01	- Medidas antropométricas estáticas, resumidas da norma DIN 33402 .....	33
Tabela 02	- Propriedades típicas de uma resina poliéster curada sem reforço .....	48
Tabela 03	- Comparativo entre propriedades de uma resina poliéster reforçada com fibras de vidro típicas e outros materiais .....	57
Tabela 04	- Propriedades físicas, típicas do Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro .....	58
Tabela 05	- Idéias geradas para o mecanismo de puxar o fio de "roving" .....	154
Tabela 06	- Idéias geradas para o mecanismo de cortar os fios do "roving" .....	155

## LISTA DE QUADROS E GRÁFICOS

Gráfico 01	- Consumo per capita de PRFV em kg/ano .....	40
Gráfico 02	- Distribuição do consumo de PRFV no Brasil .....	41
Quadro 01	- Considerações Ergonômicas .....	113
Quadro 02	- Parecer Ergonômico dos Problemas .....	115
Quadro 03	- Matriz Morfológica .....	157
Quadro 04	- Possíveis Soluções .....	169

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01	- Esquema representativo da dissertação baseada na estrutura sugerida por Phillipis & Pugh .....	10
Figura 02	- Representação esquemática da metodologia projetual empregada .....	12
Figura 03	- Sistemas em que estão inseridos os produtos .....	19
Figura 04	- Comparação entre porcentagens de trabalhadores que apresentam dores nos punhos, usando o alicate convencional e o alicate redesenhado para reduzir tensões no punho .....	20
Figura 05	- Formas erradas e corretas de usar furadeiras e parafusadeiras elétricas .....	24
Figura 06	- Desenho adequado das pegas de ferramentas manuais .....	25
Figura 07	- O peso de ferramentas manuais pode ser aliviado com contrapeso ou molas .....	26
Figura 08	- Forma adequada da pega para ferramentas manuais .	27
Figura 09	- Postura errada e correta das mãos e braços, e a postura errada e correta dos cotovelos .....	28
Figura 10	- Medidas antropométricas estáticas do corpo .....	34
Figura 11	- Valores médios (em graus) de rotações voluntárias do corpo, na antropometria .....	35
Figura 12	- Resina poliéster típica/derivação do petróleo .....	46
Figura 13	- Esquema geral do processo de fabricação de fibra de vidro .....	51
Figura 14	- Tecidos de fibra de vidro (bidirecional) .....	54
Figura 15	- Roving .....	55
Figura 16	- Manta de fibras de vidro .....	55
Figura 17	- Véu de superfície .....	55
Figura 18	- Tecido de roving ou tecido pesado .....	56
Figura 19	- Fibra de vidro moída ou picada .....	56
Figura 20	- Construção de um modelo em gesso .....	60
Figura 21	- Montagem das nervuras de reforço .....	61
Figura 22	- Montagem de flanges para moldes bipartidos .....	62
Figura 23	- Nervuras de reforço para laminados empregando miolo de espuma .....	71

Figura 24	- Seqüência de operações do processo de laminação com PRFV por moldagem manual (“hand-lay-up”) .....	80
Figura 25	- Operações do processo de laminação com PRFV por moldagem manual (“land lay-up”) .....	81
Figura 26	- Ferramentas utilizadas no processo de moldagem por laminação manual .....	82
Figura 27	- Exemplos das diversas aplicações do PRFV nas indústrias naval, máquinas agrícolas e automobilística .....	83
Figura 28	- Moldagem por pulverização (“spray-up”) .....	89
Figura 29	- Moldagem com o uso de aplicador/saturador .....	90
Figura 30	- Construção de laminados com aquecimento embutido .....	92
Figura 31	- Perfilados produzidos pelo processo de pultrusão .....	93
Figura 32	- Moldagem pelo processo de “filament winding” .....	95
Figura 33	- Moldagem pelo processo de “filament winding” .....	95
Figura 34	- Moldagem pelo processo de “filament winding” .....	96
Figura 35	- Moldagem com SMC – carregamento do filme na prensa .....	102
Figura 36	- Moldagem com SMC – retirada da peça pronta .....	103
Figura 37	- Prensa de 3000 toneladas, para montagens de partes de carroceria de veículos em SMC .....	105
Figura 38	- Metodologia proposta por Bonsiepe .....	123
Figura 39	- Taxonomia de problemas .....	124
Figura 40	- Situação Inicial / Final do estudo .....	126
Figura 41	- Esquema da lista de verificação das pistolas de laminação .....	128
Figura 42	- Esquema da lista de verificação do dispositivo para corte do “roving” .....	128
Figura 43	- Análise diacrônica da máquina para o corte do “roving” .....	130
Figura 44	- Pontos críticos do produto existente .....	134
Figura 45	- Análise estrutural do dispositivo cortador de “roving” ..	136
Figura 46	- Análise morfológica do cortador de “roving” .....	139
Figura 47	- Relação dos conceitos de Redig e os requisitos do produto máquina de corte do “roving” .....	144
Figura 48	- Elementos-chave da criatividade na prática .....	150
Figura 49	- Desenho conceitual do cortador de “roving” .....	162
Figura 50	- Desenho conceitual do cortador de “roving” .....	163

Figura 51	- Desenho conceitual do cortador de “roving” .....	163
Figura 52	- Desenho conceitual de montagem do cortador de “roving” .....	164
Figura 53	- Desenho conceitual do motor do cortador de “roving” .	164
Figura 54	- Desenho conceitual da carcaça do cortador de “roving” .....	165
Figura 55	- Desenho preliminar da máquina de corte de “roving” ..	167
Figura 56	- Desenho preliminar do dispositivo de corte de “roving”, por par de engrenagens cônicas .....	168
Figura 57	- Desenho preliminar do conjunto furadeira e o dispositivo de corte do “roving”, por par de engrenagens cônicas .....	169
Figura 58	- Desenho preliminar do dispositivo de corte do “roving”, por transmissão angular .....	170
Figura 59	- Desenho preliminar do conjunto furadeira e o dispositivo de corte do “roving”, por transmissão angular .....	171

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria

### **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINA DESTINADA PARA O CORTE DE FIOS DE FIBRA DE VIDRO (ROVING), UTILIZADO PARA A LAMINAÇÃO DE PEÇAS EM PLÁSTICO REFORÇADO (FIBERGLASS).**

Autor: Gilmar Fernando Vogel  
Orientador: Alberto Souza Schmidt  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de junho de 2002.

O estudo que aqui se apresenta é um redesenho de um dispositivo que hoje é utilizado nos trabalhos e nos processos de laminação de peças em fibras de vidro, onde utilizam-se os fios de fibra de vidro, chamados de “roving”. Este dispositivo faz o corte dos fios em pedaços de tamanho aproximado de seis a sete centímetros, e joga estes em cima do molde da peça a ser laminada. Atualmente o dispositivo para ser utilizado, deve ser acoplado ao mandril de uma furadeira elétrica manual comum. A descrição das tarefas a partir de uma abordagem ergonômica apontou diversos problemas que mereciam ser estudados. Um dos mais significantes problemas está relacionado com a posição com que o operador trabalha durante o processo de laminação, e isso traz a ele sérios riscos de lesões músculo-esqueléticas. Tal pesquisa descritiva embasou a formulação da hipótese de melhoria da execução da tarefa do operador do dispositivo através do desenho de uma nova máquina destinada para a laminação com fios de fibra de vidro (roving). O objetivo do presente estágio do trabalho, portanto, é a geração de alternativas formais para o desenvolvimento da máquina para o corte do “roving”. A relevância do presente estudo repousa em três aspectos principais: (i) um maior conhecimento dos aspectos humanos no trabalho com máquinas do tipo de furadeiras elétricas manuais; (ii) a implementação de um projeto

interdisciplinar que reúne diferentes áreas de atuação como a Engenharia Mecânica, Desenho Industrial, Engenharia de Produção e Engenharia de Materiais. (iii) a abertura de um campo de pesquisa e desenvolvimento para projetos de ferramentas industriais e desenho de produtos.

**ABSTRACT****Master's Thesis**

*Post-Graduation Program in Production Engineering  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil*

**PROJECT FOR A FIBERGLASS ROVING CUTTER, A MACHINE USED  
IN THE MAKING OF REINFORCED FIBERGLASS PARTS.**

*By Gilmar Fernando Vogel*

*Advisor: Prof. Alberto Souza Schmidt*

*Date and Place of Defense: Santa Maria June 28, 2002.*

*In this work I redesign a device used in the fiberglass sheet molding with roving. The device cuts the roving in pieces of approximately six or seven centimeters and lays them on the mold of the part to be made. Today these cutters have to be attached to the chuck of a regular hand-held electric drill. The description of this task from an ergonomic standpoint revealed several points that deserved to be studied and improved. One of the most significant problems concerns the operator's position during sheet molding, which involves muscular and bone injury risk. This analysis serves as a basis for the designing of a new roving cutter that improves the operating conditions. The main goal of this work is to create alternatives for the development of fiberglass roving cutters. Such a study is relevant because it is based on the following three main aspects: (i) a better understanding of the operator's role in the work of machinery like hand-held electric drills; (ii) the implementation of an interdisciplinary project bringing together the areas of Mechanical Engineering, Industrial Designing, Production Engineering, and Materials Engineering; (iii) the opening for new research on industrial tools and development of new product designs.*



## PRIMEIRO CAPÍTULO – Introdução

### 1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho de pesquisa surgiu por interesse próprio, associado aos conhecimentos e experiências adquiridas como profissional de Engenharia Mecânica atuando nas áreas de Projeto e Desenvolvimento de Produto, Produção e Manutenção Industrial, em empresas do ramo metal-mecânico que possuem em seus processos produtivos trabalhos de manutenção ou fabricação de peças e produtos em plástico reforçado com fibra de vidro (fiberglass). Mas o enfoque para o desenvolvimento de um produto novo, só foi possível após a experiência adquirida no Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção (PPGEP), principalmente na disciplina Projeto de Produto, onde, se propõe que os alunos desenvolvam, projetem e até mesmo desenhem produtos destinados aos mais diversos setores.

Seguindo a orientação da disciplina e ao nosso próprio interesse de desenvolvimento de pesquisa, optamos pelo estudo dentro do setor industrial, focalizando o desenvolvimento e melhorando o desenho de um dispositivo que existe hoje no mercado. Este dispositivo em questão é muito utilizado pelas micro e pequenas empresas que trabalham com manutenção, ou na produção de peças em plástico reforçado com fibra de vidro (fiberglass), de forma que, esta nova ferramenta, com um novo desenho, possa permitir ao seu operador uma maneira mais ergonômica de utilização, com mais conforto e melhor comodidade, visando ainda uma melhor qualidade e produtividade na realização de seus trabalhos.

O dispositivo que hoje é comercializado é chamado de cortador de “*roving*”, e refere-se a uma máquina, composta basicamente por dois rolos, sendo um de borracha e o outro metálico provido de lâminas montadas no sentido longitudinal. Os fios de fibra de vidro chamados de

“*roving*” passam através dos dois rolos onde, então, é picado em pedaços de aproximadamente seis a sete centímetros de comprimento. Estes pedaços caem por ação da gravidade sobre a peça que esta sendo moldada. Os pedaços de fibra de vidro aderem a peça por ação de uma resina que é aplicada manualmente por um operador, através de um pincel ou roletes sobre a peça ou em um molde que serve como matriz. O dispositivo funciona por ação do motor elétrico de uma furadeira manual comum. Para isso, o cortador de *roving* deve ser acoplado ao mandril desta furadeira. Fazendo uma análise mais criteriosa dos trabalhos de laminação manual em fibra de vidro com a utilização deste dispositivo acoplado no mandril da furadeira elétrica, podemos observar que a posição da mão e braço do operador durante os trabalhos, não é ergonomicamente correta, pois a ferramenta em questão fica numa posição inadequada em relação ao corpo do operador, trazendo sérios riscos para a saúde das pessoas que se utilizam desta máquina para a realização de seus trabalhos. Portanto, esta pesquisa trata do desenvolvimento e redesenho de um produto, juntamente com um estudo ergonômico de uma ferramenta que é muito utilizada por operários nos processos de manutenção ou fabricação de peças em plástico reforçado com fibras de vidro (fiberglass).

Com relação ao aspecto ergonômico, existem vários autores que tratam deste assunto, e relacionam a interação do ser humano com as máquinas e ferramentas. Estes autores têm demonstrado que as melhorias nas condições de trabalho do ser humano, trazem resultados positivos para as empresas.

BACK (1983, p.120) ressalta que a adequação de um produto ao uso pretendido depende da eficiência funcional, mas não somente da deficiência com que desempenha suas funções como máquina. Para ser adequada sob todos os pontos de vista, deve-se considerar, no projeto, o usuário ou operador, bem como o meio ambiente e as condições que surgem da necessidade de manutenção e reparo.

A análise ergonômica, genericamente visa estudar os processos, produtos ou sistemas, de modo a permitir que se façam alterações, modificações ou ajustes com o objetivo de proporcionar um melhor conforto ao homem durante a execução de seu trabalho.

Assim, uma importante definição de ergonomia, é citada por IIDA (1990, p.1), que diz o seguinte: “A ergonomia é o estudo da adaptação do homem. O trabalho aqui tem uma acepção bastante ampla, abrangendo não apenas aquelas máquinas e equipamentos utilizados para transformar os materiais, mas também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e seu trabalho. Isso envolve não somente o ambiente físico, mas também os aspectos organizacionais de como este trabalho é programado e controlado para produzir os resultados desejados.

Observa-se que a adaptação sempre ocorre do trabalho para o homem. A recíproca nem sempre é verdadeira. Ou seja, é muito mais difícil adaptar o homem ao trabalho. Isso significa que a ergonomia parte do conhecimento do homem para fazer o projeto do trabalho, ajustando-o às capacidades e limitações humanas”.

Uma outra definição do que é ergonomia, é citada resumidamente por DUL e WEERDMEESTER (1993,p 13), que diz: “A ergonomia se aplica ao projeto de máquinas, equipamentos, sistemas e tarefas, com o objetivo de melhorar a segurança, saúde, conforto e eficiência no trabalho”.

As pesquisas no campo da ergonomia buscam informações importantes, para a adaptação do homem ao seu trabalho, e na maioria das pesquisas ou bibliografia existente sobre o assunto, referem-se a uma determinada situação. Nesse trabalho será necessário adaptá-las ao nosso objeto de estudo, a fim de validar ou corrigir os conhecimentos disponíveis.

“A ergonomia é uma ciência experimental, cujas conclusões dependem de experimentos realizados com seres humanos. Realizar

experimentos em seres humanos, evidentemente, é mais difícil e delicado do que trabalhar com máquinas ou seres irracionais”. (IIDA, 1990, p.39).

De posse dos conceitos referentes à ergonomia, aliados com os demais conhecimentos necessários para a pesquisa que envolve um projeto ou uma adaptação de um produto ou sistema, é que vamos formular novas idéias e alternativas de maneira que possamos sugerir ou implantar uma modificação adequada. A finalidade é proporcionar aos usuários deste equipamento ou sistema, uma maneira mais confortável e segura para o desempenho de suas atividades.

“O problema da adaptação do trabalho ao homem nem sempre tem uma solução trivial, que possa ser resolvida na primeira tentativa.

Ao contrário, geralmente é um problema complexo, com diversas idas e vindas, para o qual não existe uma resposta pronta. As pesquisas fornecem um acervo de conhecimentos, princípios gerais, medidas básicas de capacidades físicas do homem e técnicas para avaliar os efeitos, sobre o desempenho humano, dos fatores relacionados com o projeto e funcionamento de máquinas e do ambiente de trabalho. Todos estes conhecimentos devem ser aplicados em cada caso ou adaptados a uma situação, para produzirem um resultado desejado.

Numa situação ideal, a ergonomia deve ser aplicada desde as etapas iniciais do projeto de uma máquina, ambiente ou local de trabalho. Estas devem sempre incluir o ser humano como um dos seus componentes. Assim, as características desse operador humano devem ser consideradas conjuntamente com as características ou restrições das partes mecânicas ou ambientais, para se ajustarem mutuamente uns aos outros”. (IIDA, 1990, p.9).

O desenvolvimento ou aperfeiçoamento de um projeto ou sistema, requer uma série de conhecimentos referentes ao objeto em estudo. Uma das maneiras de começar a desenvolver um projeto é através da opinião ou reivindicação dos próprios usuários, aliado aos demais conhecimentos necessários. Assim, teremos condições de analisar, estudar e sugerir

mudanças ou aperfeiçoamentos, com a finalidade de atingir nosso objetivo com sucesso, e principalmente satisfazer o usuário final deste produto.

Tratando mais especificamente do projeto de um produto, temos uma importante definição de projeto, citada por BACK (1983, p.9), que diz: “Projeto de máquinas é a formulação de um plano para um mecanismo ou dispositivo capaz de transmitir forças e movimentos, realizando um trabalho ou função específica que deverá ser executado para satisfazer uma necessidade humana da forma mais econômica possível”.

“Projetar com sucesso exige algo mais do que apenas projetar. A primeira condição é, antes de tudo uma dedicação integral ao trabalho. A condição seguinte é o domínio sobre numerosos pontos de vista e experiências, que não se enquadram totalmente no ramo das atividades de projeto propriamente ditas.

A questão é, então, saber até que ponto se pode interpretar as citadas experiências e apresenta-las sob a forma de ponto de vista e métodos de trabalho, pois os fenômenos análogos, eles pouco significam e a enumeração de todos os fatores de influência pode tornar-se enfadonha. O que se dá aqui é semelhante ao que se dá durante a vida: Experiências alheias tornam-se vivas e férteis somente a quem realizou, por si próprio, experiências semelhantes.

Que as considerações seguintes constituam, então, uma vista geral sobre os métodos de trabalho utilizados na atividade de projetar. Entretanto é necessário que as condições sejam vividas e exercidas durante o trabalho de cada indivíduo em particular, e sejam associadas a experiência própria de cada um”. (NEIMAN, 1971,v.1,p.1).

Uma definição de projeto de engenharia é citado por BACK (1983, p.6), que diz: “Projeto de engenharia é uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura. A satisfação de nossas necessidades não é de peculiar ao projeto de

engenharia, pelo contrário, ele é comum a muitas atividades humanas. Uma das características do meio social moderno é a necessidade de ganhar-se a vida servindo à causa do bem comum.

Um projetista, usualmente, não produz bens ou serviços que satisfazem de imediato às necessidades de um consumidor. Em muitos casos o projetista produz um modelo que é utilizado como referência para a produção de um determinado bem ou serviço, tantas vezes quantas sejam necessárias. O projeto pode ser um desenho, um papel de parede, uma máquina, ou um vestido no mundo da moda. Se o produtor acreditar que um número suficiente de fregueses ficará satisfeito com réplicas, então pode prosseguir com a produção dos bens e serviços projetados. No decorrer da produção, um erro causado pelo produtor na fabricação de qualquer réplica, pode resultar na rejeição da mesma, mas um erro no projeto pode acarretar um fracasso econômico de grandes proporções, sendo, portanto muito grande a responsabilidade do projetista.

O que distingue os objetivos de um projeto de engenharia dos outros projetos, é a extensão da contribuição dos fatores tecnológicos utilizados na sua elaboração. Se um projeto pode ser executado, aproximadamente com uma tecnologia simples ou uma que possa ser reduzida à rotina, ao nível do artesão, não é necessário que se lance mão de um projeto de engenharia. O projeto de engenharia se faz necessário quando a tecnologia apropriada é complexa, não sendo evidente a sua aplicação, e quando os prognósticos e a otimização dos resultados exigem processos analíticos. Um projeto de engenharia quase sempre exige uma síntese dos fatores técnicos, humanos, econômicos, sociais e políticos”.

A realização de um projeto ou o aperfeiçoamento de um produto, sem dúvida nenhuma, deve-se unir todos os conhecimentos possíveis como já citamos anteriormente, e usar a criatividade e o bom senso com o objetivo de satisfazer as necessidades humanas, tornando seu trabalho mais produtivo, confortável e seguro. Somente assim vamos obter êxito em nosso projeto e atingir nossos objetivos com sucesso.

“Um homem que deseja projetar... que observe, inicialmente, e pense!” (NEIMANN 1971, v.1, p.1).

É necessário também, fazer um comentário inicial com relação às resinas e as fibras de vidro. As fibras de vidro podem ser encontradas de várias formas. Uma delas é o “*roving*”, como é comumente chamado, e refere-se a fibra de vidro na forma de fios contínuos, enroladas sem torção em bobinas cilíndricas. A resina é utilizada para podermos moldar a peça, é um componente básico dos plásticos que sob condições definidas pode amolecer e escoar permitindo a moldabilidade da peça. Essa moldabilidade acontece por processos de síntese química, conhecidos como reações de polimerização, a partir de um produto químico simples, denominado monômero. A polimerização pode ser comparada a união de duas correntes paralelas por meio de elos de interligação. Neste processo, a resina transforma-se do estado líquido ao estado sólido. O monômero faz a função dos elos, enquanto que as moléculas de poliéster podem ser comparadas às correntes. O monômero é um material reativo que promove a interligação ou cura da resina, que também pode ser usado como redutor de viscosidade da resina.

As fibras de vidro são conhecidas há muito tempo, mas só encontraram aplicação mais ampla a partir de 1940, por necessidades da 2ª grande guerra, quando começou a utilização da fibra de vidro como elemento de reforço de peças moldadas em resinas poliéster. Foram produzidas carcaças de proteção para as antenas de radar em veículos militares, caças e bombardeiros. Esses elementos de proteção deviam ser suficientemente fortes para resistir as cargas aerodinâmicas, dimensionalmente estáveis sob temperaturas extremas, resistentes ao tempo e transparentes às frequências ultra-elevadas dos pulsos de radar, condição esta que excluía qualquer solução metálica. O mesmo material composto servia, também, para confecção de moldes em que se deveriam fabricar esses elementos de proteção.

O uso da fibra de vidro como elemento de reforço dominou amplamente as primeiras décadas do desenvolvimento dos materiais compostos. Somente nas últimas décadas surgiram outras fibras apresentando perspectivas de substituir com vantagens as fibras de vidro em compostos termoestáveis e termoplásticos. Destacam-se, aqui, as fibras de grafite, carbono, boro e asbesto, ou os monocristais filamentosos, mas estas soluções mais modernas são, em geral, de aplicação limitada em face de seu custo mais elevado.

Os desenvolvimentos da técnica dos materiais compostos foram, em termos relativos, mais destacados do que os desenvolvimentos na área dos materiais metálicos no que diz respeito às relações entre resistência estrutural com o peso e entre o módulo elástico e o peso. Entende-se, por isso, por que o consumo de plásticos reforçados com fibra de vidro tem virtualmente triplicado a cada década a partir de 1950.

Com relação ao emprego das resinas, podemos dizer que existe uma predominância das resinas termoestáveis, como poliésteres, epoxídicas e fenólicas, e também resinas termoplásticas como, principalmente, o poliestireno e os náilons. Além destas, principalmente a partir de 1960, foram desenvolvidas resinas mais sofisticadas, resistentes ao calor, como as polibenzimidazolas, poliimidas e outras.

O trabalho de pesquisa e desenvolvimento associado à utilização de materiais compostos foi considerável. Além do desenvolvimento de novas soluções construtivas representadas por materiais completamente originais, também as bases de projeto de engenharia tiveram de ser alteradas, surgindo novos métodos de análise e de cálculo, englobadas sob a designação genérica de Mecânica dos materiais Compostos.

BLASS (1988, p.1), comenta sobre os materiais plásticos, citando que eles são utilizados para a produção de uma gama variada de artigos de forma geométrica variada, suprimindo requisitos funcionais mais diversos de maneira eficaz e econômica. Inclusive, os plásticos vêm substituindo os materiais mais clássicos, como metais e vidro. Sua utilização intensiva



requer, contudo, um conhecimento judicioso de sua natureza, comportamento, possibilidades e limitações.

Desta forma, pretende-se neste trabalho desenvolver modelos bi e tridimensionais para teste da máquina para o corte de fios de fibra de vidro “*roving*” seguindo a metodologia projetual proposta por BONSIEPE et al (1994, p.35).

Para organizar os capítulos da dissertação seguimos a orientação metodológica do PPGEF com base em PHILLIPIS E PUGH (1987), ou seja, partimos do geral para o específico, da fundamentação para a contribuição. Isso proporciona ao leitor o fácil reconhecimento do fio condutor do raciocínio que rege o trabalho. O gráfico que segue ilustra esse procedimento.

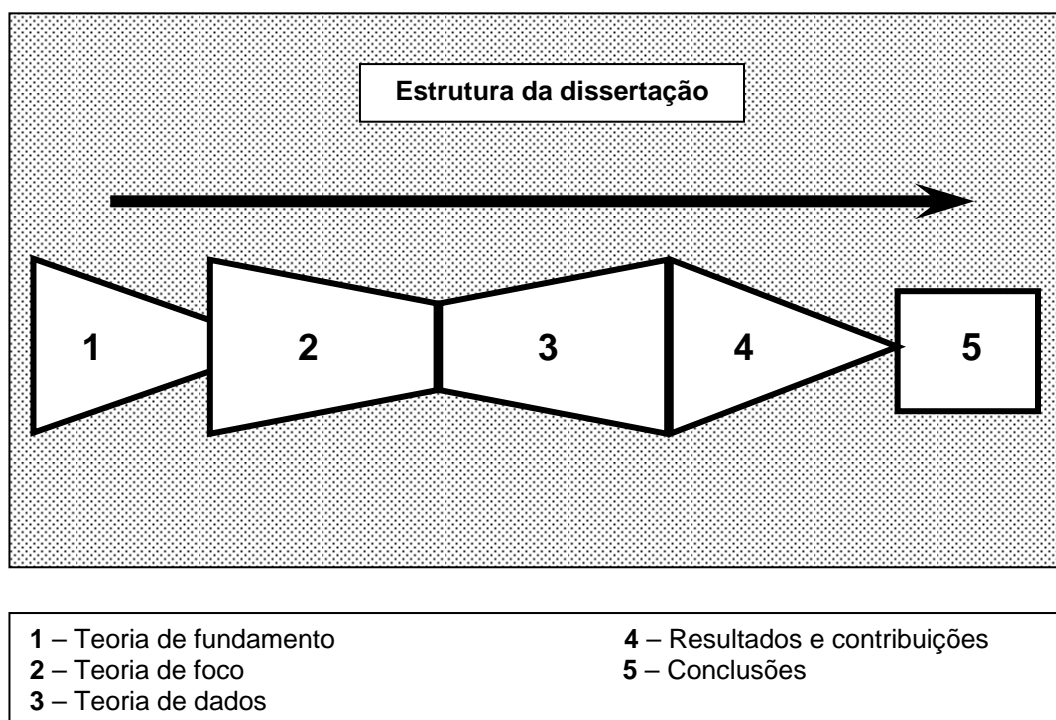


Figura 01 – Esquema representativo da dissertação baseada na estrutura sugerida por Phillipis & Pugh (1987).

O **SEGUNDO CAPÍTULO** tratará de fornecer o embasamento calcado na revisão de literatura para que se forme nossa teoria de fundamento. Iniciamos nossa explanação apresentando a Ergonomia de Produtos, a seguir, passamos para um breve histórico da indústria de plástico reforçado com fibra de vidro (fibreglass) no Brasil, e concluímos com a ergonomia em ferramentas do tipo furadeiras manuais, ou seja, os problemas ergonômicos de natureza física, fisiológicas e psicológicas que afetam o manuseio de ferramentas tipo furadeiras manuais. Focalizando os problemas ergonômicos na utilização de ferramentas manuais, que merecerão a atenção ao longo do presente estudo e justificando a motivação da escolha do redesenho do dispositivo de corte do “roving” como objeto de estudo.

O **TERCEIRO CAPÍTULO** diz respeito à descrição dos processos de fabricação existentes e tipos de máquinas hoje utilizados nas indústrias que trabalham com a laminação de peças em fibra de vidro (fiberglass).

O **QUARTO CAPÍTULO** refere-se à descrição da metodologia projetual empregada para abordarmos o problema proposto. Dentre os vários métodos disponíveis optamos pela metodologia proposta por Gui Bonsiepe (1994, p.35) que visa introduzir a sensibilidade estética e social através da utilização de técnicas de visualização que se aplicam no trabalho profissional durante as diversas etapas do processo projetual, ainda apresenta a vantagem de poder ser usada conjuntamente com outras metodologias projetuais.

Por outro lado, devido à ênfase em técnicas de visualização, exigem do projetista treinamento em desenho, disciplina e organização. É uma metodologia que requer bastante tempo, sobretudo para aplicação das técnicas analíticas, onde é necessária muita pesquisa.

Bonsiepe parte da premissa que é possível encontrar uma estrutura comum nos processos projetuais, mesmo dentro da variedade das situações problemáticas. O autor salienta, entretanto, que uma

metodologia não é um “passaporte” para soluções ótimas aos mais diversos problemas projetuais.

O processo projetual compreende uma macroestrutura composta por etapas ou fases, e uma microestrutura, que descreve as técnicas empregadas em cada uma das etapas anteriores.

Os vários autores que se dedicam à metodologia projetual concordam pelo menos com relação à seqüência da macroestrutura: (i) estruturação do problema projetual; (ii) atividade projetual ou projeção; (iii) realização do projeto. Qualquer dessas etapas pode ser subdividida em uma série de passos. Entretanto, é preferível e recomendável que se faça uma abordagem retroalimentativa à linear, ou seja, que esteja sempre disposto a indagar pela adequação de decisões tomadas anteriormente.

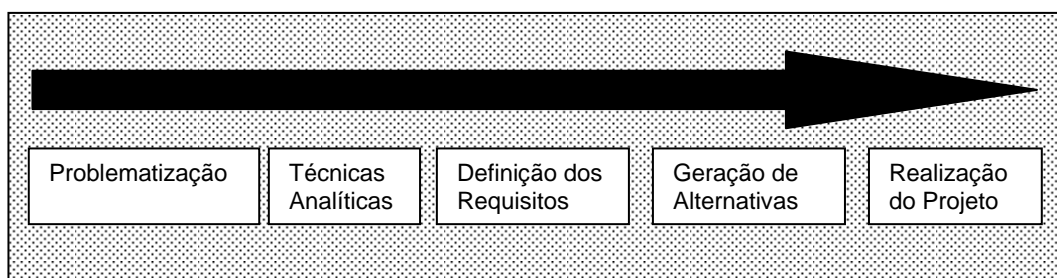


Figura 02 – Representação esquemática da metodologia projetual empregada.

Na etapa de PROBLEMATIZAÇÃO, delimitamos o problema, com base em análises e observações feitas a trabalhos de laminação manual com fibra de vidro na forma de fios (roving), utilizando como ferramenta o dispositivo que hoje encontramos no mercado nacional, onde o operador laminador deve acoplar o dispositivo em questão, ao mandril de uma furadeira elétrica.

Nas TÉCNICAS ANALÍTICAS, foram levantadas as informações relevantes sobre as máquinas existentes destinadas a laminação com fibra de vidro, que poderiam fornecer subsídios para definirmos o produto

a ser idealizado, como as diferentes características das máquinas existentes na atualidade que foram demonstrados nas análises diacrônica e sincrônica.

Na DEFINIÇÃO DE REQUISITOS, foram listados e conceituados os requisitos ideais para o nosso produto.

Com relação à etapa de GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS, fomos nos conscientizando da importância desta para o estudo, e em virtude disto, transformamos esta etapa em um capítulo a parte, o **QUINTO CAPÍTULO**, ou seja, resultados e contribuições. Nesta etapa foram utilizadas algumas técnicas sugeridas por diferentes autores, como a técnica da matriz morfológica, mas a maior contribuição desta etapa é demonstrar como foi realizado o processo de criação de alternativas projetuais, deixando bases para o desenvolvimento de uma nova máquina destinada para o corte das fibras de vidro em forma de fios (*roving*), utilizado nos processos de laminação manual de peças em plástico reforçado com fibras de vidro (*fiberglass*).

A última etapa da metodologia trata da realização do projeto, é a realização e análise final da solução selecionada. O estudo aqui descrito seguirá até o modelo tridimensional da máquina.

E finalmente, o **SEXTO CAPÍTULO** – Conclusões, onde fazemos considerações finais sobre todo o processo da pesquisa, apontando para além da dissertação, e para que futuramente seja possível a fabricação e aplicação da máquina de corte de "*roving*", em empresas que trabalham com processos de laminação com fibras de vidro na fabricação de seus produtos.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo geral

O Objetivo Geral desta pesquisa que aqui se apresenta, é de fazer uma análise ergonômica dos processos de fabricação de peças por laminação manual em Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV). Estes processos são muito utilizados por pequenas e micro empresas, na produção de peças ou na prestação de serviços com fibras de vidro.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Aperfeiçoamento e redesenho de um dispositivo, para ser acoplado em furadeiras manuais de velocidade variável, com a finalidade de fazer o corte do fio de fibra de vidro “*roving*”. Este dispositivo já existe atualmente no mercado, e é apropriado para as baixas e médias escalas de produção. Com o aperfeiçoamento e redesenho do equipamento em questão, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- (i) Permitir a facilidade de laminar peças mais complexas;
- (ii) Permitir o corte do fio de fibras de vidro (“*roving*”) em pedaços que variam de 3 a 6 cm de comprimento;
- (iii) Oferecer um equipamento que proporcione ao trabalhador (laminador) um bom conforto ergonômico, uma boa posição de trabalho, e uma empunhadura adequada para a realização de seus trabalhos de laminação.

- (iv) Permitir uma fácil e rápida substituição das lâminas de corte, que em geral são peças mais sujeitas ao desgaste;
- (v) Permitir um acoplamento fácil e rápido em furadeiras portáteis de velocidade variável, existentes no mercado;
- (vi) Permitir que o equipamento possua um sistema de funcionamento, de modo que não exija muito esforço da máquina portátil, que além de aumentar o consumo de energia, pode ocasionar um desgaste prematuro desta;
- (vii) Oferecer ao mercado, um equipamento com baixo custo de aquisição, baixo custo de manutenção, e facilidade de manuseio, visando atingir as pequenas e micro empresas.

### 1.1.3. Justificativa

A produção de peças e a prestação de serviços em Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), através do processo de fabricação por laminação manual, vêm crescendo consideravelmente entre as empresas, e as ferramentas utilizadas pelos operadores, para o trabalho de laminação com fibras de vidro, requerem um desenho que traga um conforto ergonômico, alta produtividade, bom desempenho, facilidade de manutenção e baixo custo de aquisição. Com o interesse de promover estas e outras melhorias no dispositivo hoje existente no mercado, justifica-se a elaboração deste trabalho de pesquisa.

#### 1.1.4. Metodologia

O projeto deverá dividir-se em etapas, sendo que cada uma delas deverá ser composta por várias tarefas, que são:

- (i) Primeiramente deverá ser feita uma pesquisa bibliográfica, consultas a catálogos de fabricante dos produtos destinados a laminação em fibras de vidro, com o objetivo de enfatizar os conceitos, teorias e técnicas existentes sobre o assunto.
- (ii) Realizar visitas técnicas a empresas que trabalham com a fabricação de produtos ou prestação de serviços em fibra de vidro, com a finalidade de observar e coletar informações referentes aos processos de fabricação, tipos de máquinas, ferramentas utilizadas, métodos, técnicas e procedimentos.
- (iii) Identificar nas empresas visitadas, aquelas que utilizam em seu processo de produção, o dispositivo destinado para o corte do fio de fibra de vidro "*roving*", analisando este dispositivo com relação ao seu funcionamento, posição de trabalho do operador, níveis de ruído, capacidade de produção, dificuldades encontradas para a operação, etc.
- (iv) Aquisição de uma máquina para o corte do "*roving*", semelhante a que hoje é utilizada nas empresas que trabalham com fibra de vidro, com a finalidade de analisar a mesma com relação à ergonomia, segurança, tipo de material de construção, mecanismos, elementos de máquinas, lubrificação, normalização, padronização, catálogos, manuais, etc. Então de posse de todos estes dados, escolher uma solução mais adequada afim de promover o aperfeiçoamento e

desenvolvimento necessárias ao produto, como foi proposto nos objetivos específicos deste trabalho.

#### 1.1.5. Delimitação do tema

Para o estudo e desenvolvimento do tema, delimita-se como universo de pesquisa, as empresas que trabalham com produtos ou serviços em fibras de vidro, e que utilizam no seu processo de fabricação o dispositivo que se acopla em furadeiras manuais destinado para o corte do fio de fibra de vidro "*roving*".



## 2.1. ERGONOMIA EM PRODUTO

Os homens, desde a pré-história, procuram adaptar a natureza às suas necessidades, modificando-a e criando meios artificiais quando ela não lhe era conveniente. A ergonomia, neste contexto, tem contribuído, especialmente desde a Segunda metade do século vinte, para a criação de produtos cada vez mais adaptados às limitações e potencialidades humanas. Inicialmente, a ergonomia estudava apenas partes dos produtos, depois passou a estudar os produtos como um todo, mas unitariamente, nos sistemas homem-máquina, e hoje, estuda esse produto como componente de sistemas maiores e mais complexos. Segundo IIDA (1990, p.353), a evolução da ergonomia, no sistema homem-máquina, pode ser dividida em três fases principais, são elas:

- Fase 1. ERGONOMIA DOS BOTÕES E MOSTRADORES – até a Segunda Guerra Mundial e década de 50, os ergonomistas estavam preocupados em: (i) melhorar o relacionamento entre o homem e a máquina, tornando os mostradores mais visíveis e os botões mais fáceis de operar; (ii) reduzir a temperatura, ruídos, vibrações, ou seja, na fisiologia do trabalho, mas suas contribuições eram ocasionais e superficiais no desenvolvimento dos produtos.

- Fase 2. ERGONOMIA DE SISTEMAS – ocorreu durante as décadas de 50 e 60, podendo-se caracterizar esta fase por um alargamento da visão da ergonomia. Vários aspectos do projeto de produto, que eram resolvidos apenas tecnicamente, foram identificados como fontes de problemas ergonômicos, portanto, deveriam ser analisados mais criteriosamente. Mas os ergonomistas sentiram

necessidades de buscar maiores conhecimentos sobre os sistemas complexos de trabalho, então, surgiram várias teorias e modelos sobre conceitos de sistemas e metodologias de desenvolvimento de produtos. Com isso, as variáveis que eram analisadas na fase anterior, passaram a ser incorporadas em um contexto mais amplo de análise, vinculando-as com a função do sistema a ser desenvolvido, isto é, não se tratava apenas de melhorar os controles e mostradores, mas saber qual era a função do homem no contexto do sistema.

- Fase 3. INTEGRAÇÃO AO SISTEMA PRODUTIVO – a partir da década de 70, ocorreu um relativo reconhecimento da importância da ergonomia nas empresas, e ela passou inclusive a figurar no organograma de algumas empresas. Especialistas em ergonomia passaram a trabalhar em equipe, integrando-se com os demais, participando da concepção de novos sistemas e, portanto, a contribuição da ergonomia deixou de ser superficial passando, em muitos casos, a influenciar na própria especificação do sistema.

Portanto, para os ergonomistas, os produtos não são considerados como objetos em si, mas como meios para que o homem possa executar determinadas funções; isto é, esses produtos fazem parte de um sistema: homem-máquina-ambiente (vide figura 03). O objetivo da ergonomia em produtos, portanto, é o de estudar esses sistemas, para que as máquinas e ambientes funcionem harmoniosamente com o homem, visando um desempenho equilibrado.

Pode-se traçar, portanto um perfil da evolução da ergonomia ao longo das últimas três décadas: começou estudando apenas partes da máquina, passou para a máquina toda, e depois integrou a máquina e o homem ao processo produtivo e ao ambiente de trabalho. A ergonomia, entretanto, expandiu-se moderadamente para os diversos setores, principalmente no que se refere ao desenho de ferramentas de uso

manual, que é exatamente esse setor que nos interessará na pesquisa que aqui se desenvolve.

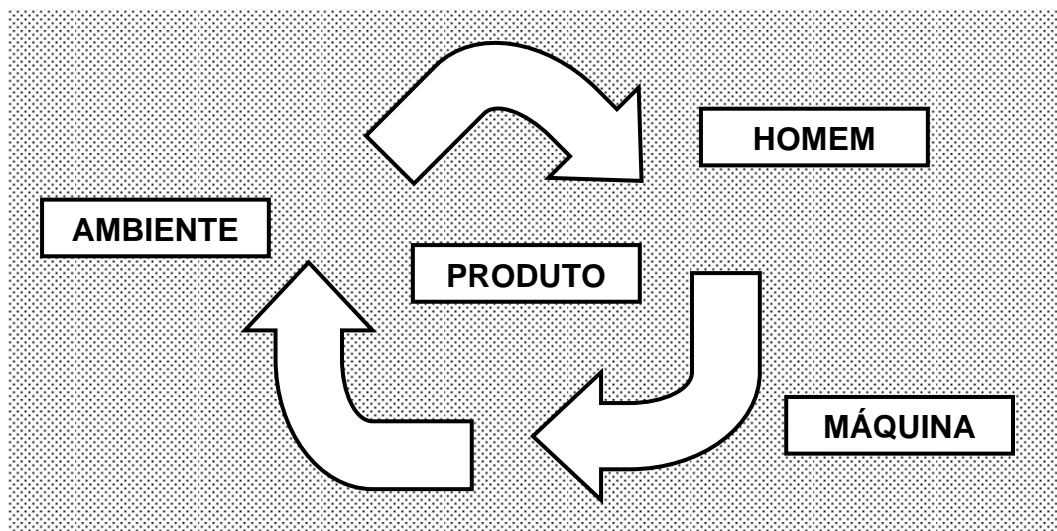


Figura 03 – Sistemas em que estão inseridos os produtos.

A ferramenta manual pode ser definida como sendo uma máquina onde o operador usa suas mãos para fazer o manejo.

O manejo é a forma de “engate” que ocorre entre o homem e a máquina, pelo qual torna-se possível transmitir movimentos de comando à máquina. O manejo geralmente é feito com os membros superiores ou inferiores e tem uma grande influência no desempenho do sistema homem-máquina (IIDA, 1990, p. 178).

Geralmente existem grandes variedades de desenhos de ferramentas manuais disponíveis para cada tipo de função. Elas devem ser selecionadas adequadamente de acordo com a necessidades da tarefa. Aquelas que exigem velocidade e precisão com pouca força devem ser mais leves e ter um perfil mais delicado, aproximando-se de formas geométricas, enquanto aquelas que exigem transmissão de maiores forças, devem ser mais robustas, com a pega aproximando-se de

formas antropomorfas. A concentração de tensões na mão pode ser reduzida, melhorando-se o desenho da pega, aumentando-se o diâmetro da pega, eliminando-se as superfícies angulosas ou “cantos vivos” e substituindo-se as superfícies lisas por outras rugosas ou emborrachadas (IIDA, 1990, p. 184).

Existem muitos exemplos de ferramentas manuais que tiveram que ser redesenhadas para poder adaptar-se melhor ao uso.

Um caso desses, é citado por IIDA (p.184), onde uma empresa de eletricidade (Western Electric Company, dos EUA) descobriu que havia uma incidência anormal de tenossinovite (uma inflamação dolorosa nos tendões) entre seus trabalhadores, além de dores generalizadas no pulso, cotovelo e ombros. Um exame mais detalhado desse problema demonstrou que todos eles trabalhavam com um certo tipo de alicate para cortar a fiação elétrica. Devido ao desenho inadequado desse instrumento, os trabalhadores eram obrigados a uma postura forçada do punho, com concentrações de tensões que provocavam as dores. Após uma cuidadosa análise (Damon, 1995), o alicate foi redesenhado de forma a: a) eliminar a inclinação forçada do punho; b) reduzir a concentração de tensões provocada pelo cabo na palma da mão; c) permitir a realização de movimentos necessários à execução da tarefa. O desenho obtido pode ser visto na figura 04. A seguir, foram realizados testes experimentais com os dois tipos de alicates: o convencional e o redesenhado. Pra isso, foram usados como sujeitos dois grupos de pessoas, sem prática anterior e que estavam sendo treinados na tarefa. Entre os que usaram o alicate convencional, mais de 60% reclamou de dores no punho após 12 semanas de treinamento, enquanto apenas 10% dos sujeitos que usaram o alicate redesenhado fizeram essa reclamação.

Portanto, o estudo que aqui se apresenta, busca uma solução semelhante ao exemplo citado acima. O caso do dispositivo para o corte do “rovin”, atualmente não permite que seu operador utilize a ferramenta de maneira correta devido ao desenho inadequado, os trabalhadores

então são obrigados a uma postura forçada do punho com grandes concentrações de tensões, que conseqüentemente podem provocar inflamação dos tendões e fortes dores.

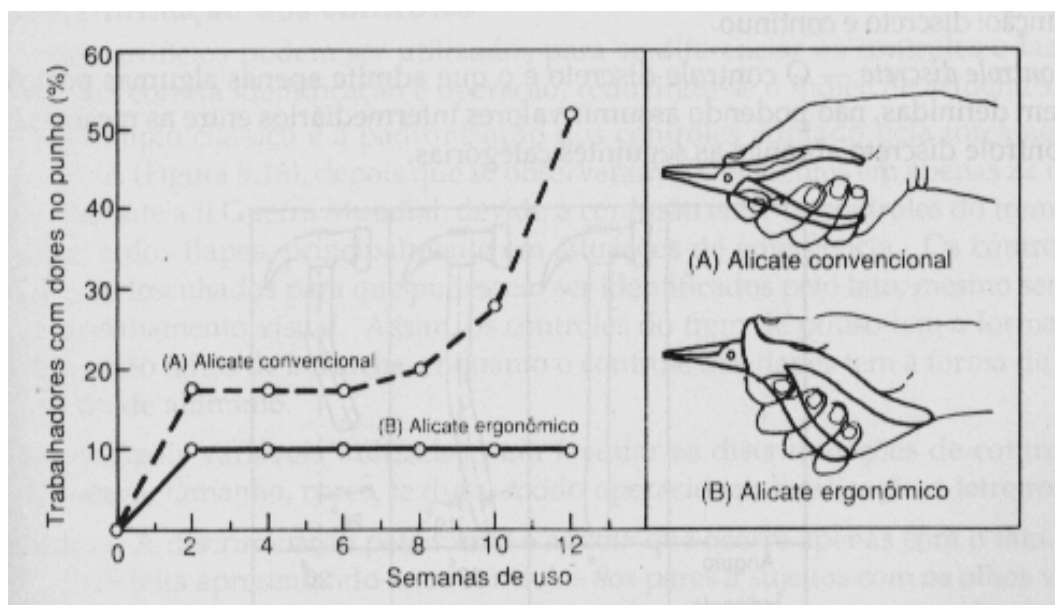


Figura 04 – Comparação entre porcentagens de trabalhadores que apresentam dores nos punhos, usando o alicate convencional e o alicate redesenhado para reduzir as tensões no punho. (Fonte: IIDA, 1990, p. 185).

## 2.2. Características Ergonômicas do Usuário

Apesar de não se conhecer exatamente o número de acidentes que acontecem hoje nas pequenas e médias empresas, devido ao uso incorreto de ferramentas de uso manual, ou até mesmo porque algumas ferramentas não possuem um desenho adequado que permita ao seu operador utilizá-la de forma correta sem prejudicar sua saúde. Os acidentes e má postura durante o trabalho representam custos elevados

em termos de tratamento médico, indenização, perdas de produção, danos às máquinas, entre outros prejuízos materiais, além dos graves problemas que trazem ao trabalhador e a sua família.

Geralmente, nas pequenas e médias empresas, ou até mesmo em trabalhos domésticos, é muito comum o uso de ferramentas manuais, tipo furadeira elétrica, lixadeiras, retíficas, etc. Existe uma gama variada destes tipos de ferramentas, e quando estas não são utilizadas corretamente, podem ser responsáveis por acidentes graves ou vir ameaçar a saúde do trabalhador.

Não se deve ignorar também a importância do uso dos equipamentos de proteção, destinados a proteger a si mesmo e os demais trabalhadores. Portanto, cabe ao empregado utilizar devidamente estes equipamentos e ajustar-se às instruções de segurança e higiene relativas ao seu trabalho, evitando todo o comportamento que possa resultar em perigo. A educação e treinamento são essenciais para a eliminação destes e de outros fatores inerentes a atos inseguros praticados pelo trabalhador.

Aos fabricantes e revendedores de ferramentas manuais destinadas ao uso geral, tanto na indústria como em trabalhos domésticos, também cabe a importância com relação à segurança e higiene. Estes devem encaminhar manuais de instruções e operações, que contenham todas as informações referentes a utilização de seus produtos.

A ergonomia pode contribuir para solucionar um grande número de problemas sociais relacionados com a saúde, segurança, conforto e eficiência. Muitos acidentes podem ser causados por erros humanos. Estes incluem acidentes com guindastes, aviões, carros, tarefas domésticas e muitas outras. Analisando-se esses acidentes pode-se chegar a conclusão que são relacionamentos inadequados entre operadores e suas tarefas. A probabilidade de ocorrência dos acidentes pode ser reduzida quando se consideram adequadamente as

capacidades e limitações humanas durante o projeto do trabalho e de seu ambiente (DUL & WEERDMEESTER, 1995, p. 15).

Nesta pesquisa, tomamos como base os princípios e objetivos da ergonomia, com a finalidade de apoiar desenhista, projetistas, planejadores, administradores e organizadores no projeto de produtos e processos de trabalho.

### **2.3. Ergonomia em Ferramentas Manuais**

A questão de segurança e conforto do trabalhador são fatores que cresceu muito nos últimos anos na indústria de máquinas e ferramentas manuais. Os estudos ergonômicos levaram ao desenvolvimento dos projetos de máquinas no sentido de oferecer o máximo de conforto ao trabalhador, reduzindo o risco de doenças ocupacionais e de acidentes no trabalho, o que conseqüentemente resulta em melhorias de produção.

O trabalho por longos períodos, usando as mãos e os braços em posturas inadequadas, pode produzir dores nos punhos, cotovelos e ombros. Quando o punho fica muito tempo inclinado, pode haver inflamação dos nervos, resultando dores e sensações de formigamento nos dedos. Dores no pescoço e nos ombros podem ocorrer quando se trabalha muito tempo com os braços levantados, sem apoio. Esses problemas ocorrem com o uso de ferramentas manuais. As dores se agravam quando há aplicação de forças ou se realizam movimentos repetitivos com as mãos (DUL & WEERDMEESTER, 1991, p. 35).

Deve-se então corrigir o posicionamento através de posturas melhores para a altura das mãos e braços, utilizar a ferramenta apropriada para a realização dos trabalhos de modo que as articulações possam ser mantidas na posição neutra. A figura 05 mostra formas certas e erradas de usar furadeiras e parafusadeiras elétricas ou pneumáticas. O punho deve ficar alinhado com o antebraço, no uso destas ferramentas.

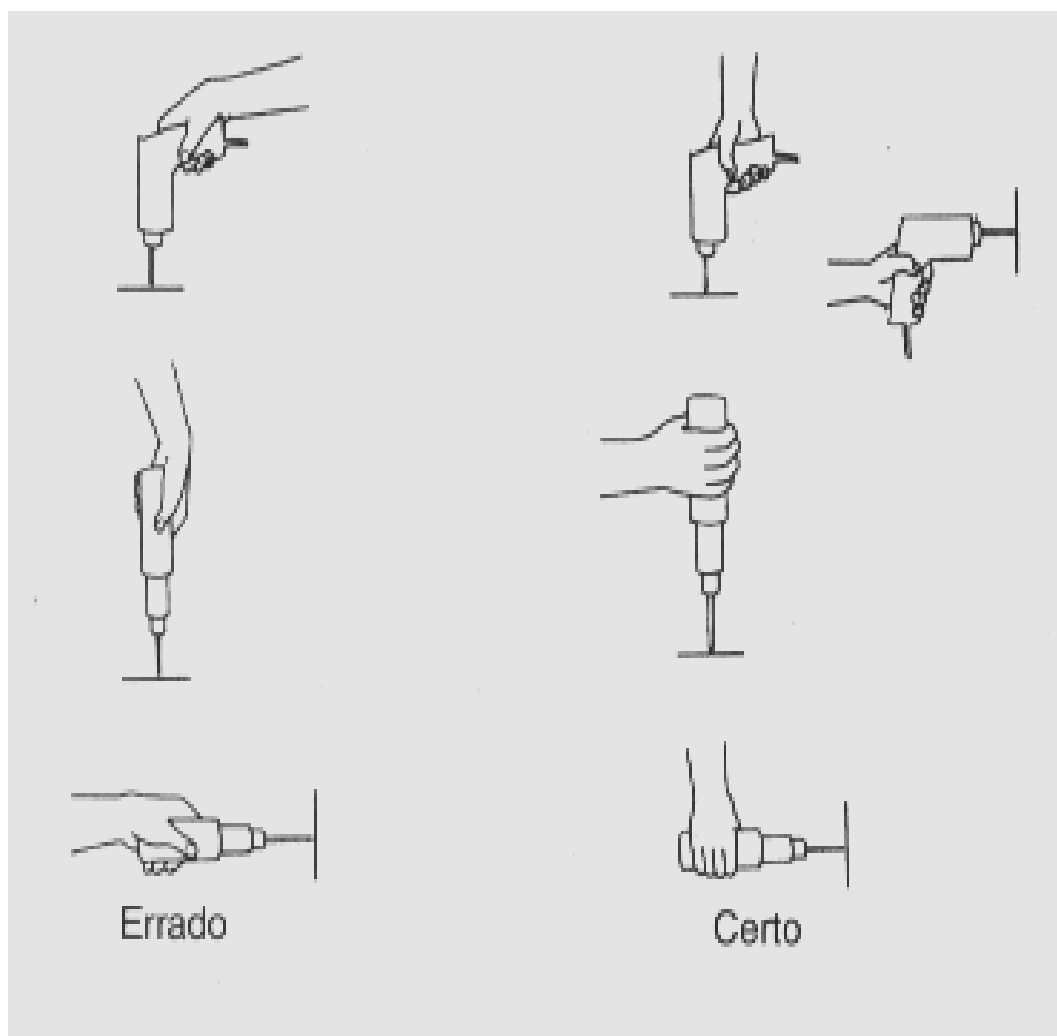


Figura 05 – Formas erradas e corretas de usar furadeiras e parafusadeiras elétricas. (Fonte: DUL & WEERDMEESTER, 1991, p. 36).

Outro fator importante é o desenho da empunhadura da ferramenta, as ferramentas com empunhaduras retas tendem a torcer o punho durante o trabalho, já as com empunhaduras curvas permitem conservar o punho reto, o que contribui muito para aliviar as tensões nestes. Portanto,



deve-se sempre que possível projetar e desenhar ferramentas de uso manual com cabos e pegas curvas, (ver figura 06).

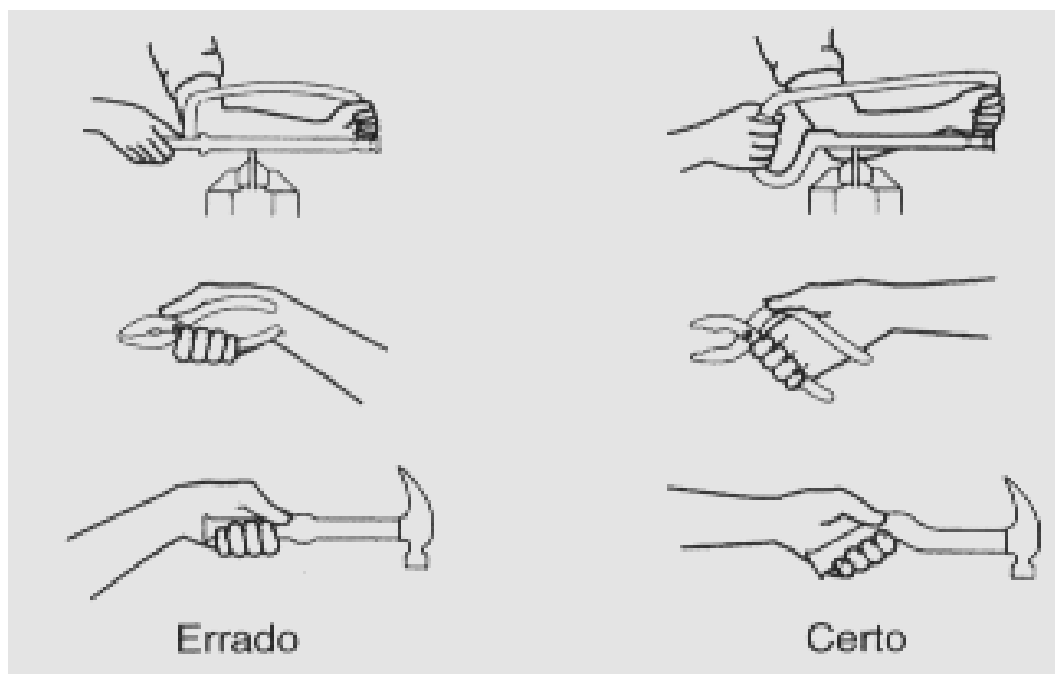


Figura 06 – Desenho adequado das pegas de ferramentas manuais.  
(Fonte: DUL & WEERDMEEESTER, 1991, p. 37).

A manutenção periódica do equipamento pode contribuir para reduzir a carga de trabalho. Facas sem fio e serrotes sem corte exigem muito mais força. Além disso, consomem mais energia e aumentam os ruídos, vibrações e riscos de acidentes (DUL & WEERDMEEESTER, 1991, p. 38).

Um outro fator importante na ergonomia de ferramentas manuais é o peso, pois este não devem exceder 2 kg. Quando houver necessidade de usar ferramentas mais pesadas, elas devem ficar suspensas por contrapesos ou molas (figura 07), (DUL & WEERDMEEESTER, 1991, p. 37).

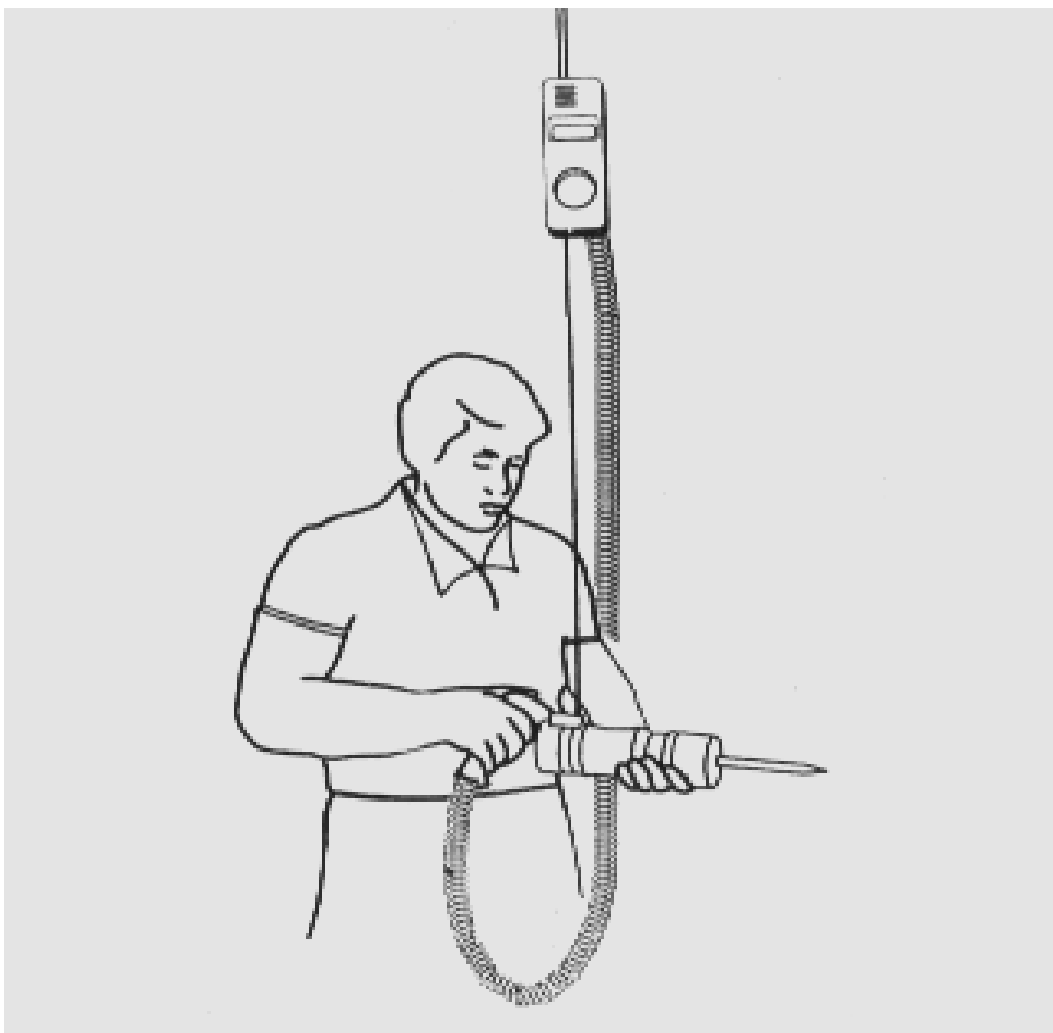


Figura 07 – O peso de ferramentas manuais pode ser aliviado com contrapesos ou molas. (Fonte: DUL & WEERDMEESTER, 1991, p. 37).

A pega é a parte da ferramenta ou máquina segurada pelas mãos. A forma e a localização da mesma devem possibilitar uma boa postura para as mãos e os braços. Se for necessário segurar com a palma das mãos, para exercer força, a pega deve ter um diâmetro de 3 cm e um comprimento de 10 cm, (figura 08), (DUL & WEERDMEESTER, 1991, p. 38).

A pega deve ser um pouco convexa para aumentar o seu contato com as mãos. Não se recomenda o uso de pegas anatômicas ou antropomorfadas (com sulcos para encaixe dos dedos), porque os dedos podem ficar apertados, a mudança de posição fica mais difícil e não se adaptam ao uso de luvas (DUL & WEERDMEEESTER, 1991, p. 38).

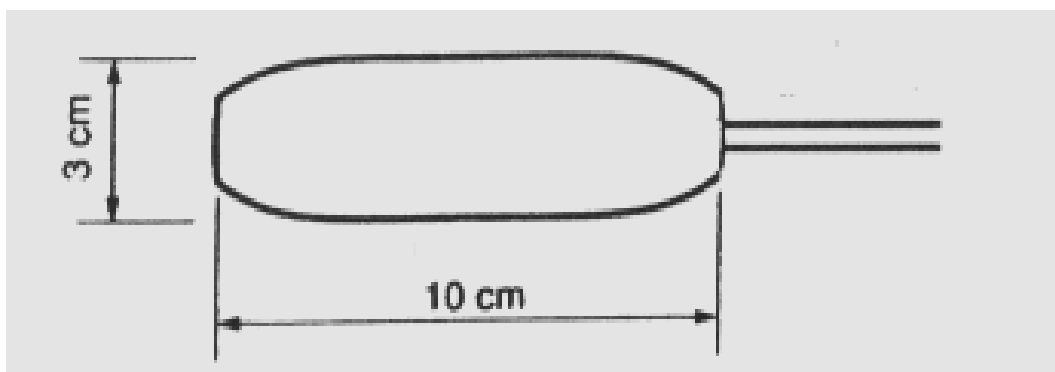


Figura 08 – Forma adequada da pega para ferramentas manuais. (Fonte: DUL & WEERDMEEESTER, 1991, p. 38).

A posição das mãos e cotovelos também são muito importantes, devem permanecer sempre que possível abaixo do nível dos ombros, caso isso não puder ser evitado, então a tarefa efetuada deve ter duração limitada, e também descansos regulares de tempo em tempo, assim como a posição de trabalho com as mãos para trás do corpo deve da mesma forma ser evitada, figura 09.

Os aspectos relacionados com a segurança do trabalhador em relação às ferramentas manuais começam a ter uma destacada importância nos estudos publicados, como por exemplo, os fatores ergonômicos de um posto de trabalho. Um posto de trabalho bem elaborado produz uma sensação de comodidade, aumentando assim a

capacidade de trabalho do seu usuário. Baseados neste aspecto, os fabricantes de ferramentas manuais estão buscando cada vez mais inovações ergonômicas nos seus produtos para assim colocar no mercado produtos com maior índice de segurança e conforto com a máxima qualidade.

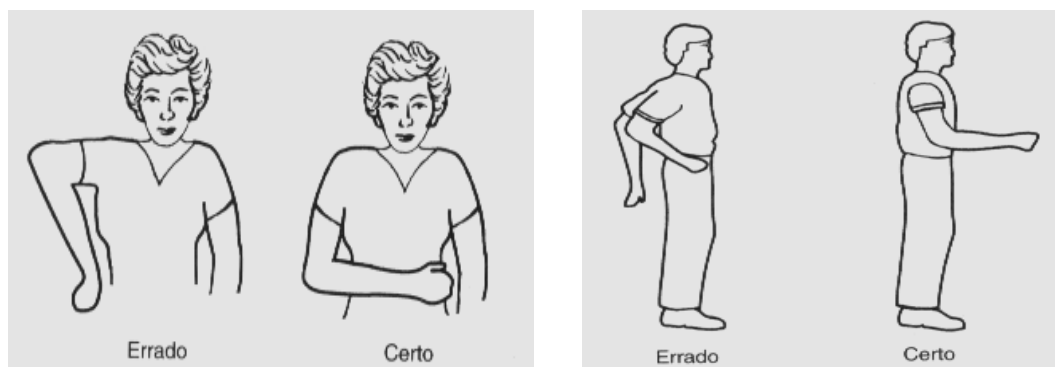


Figura 09 – Postura errada e correta das mãos e braços, e a postura errada e correta dos cotovelos. (Fonte: DUL & WEERDMEESTER, 1991, p. 38).

### 2.3.1. Fatores ergonômicos a serem considerados em projetos de ferramentas e equipamentos.

O que podemos notar é que o primeiro esforço para o desenvolvimento de ferramentas se deu como a maioria das máquinas, ou seja, o projeto e construção foram primeiramente baseados na utilidade e no custo dos mesmos. A partir do momento que estes objetivos foram parcialmente alcançados, passou-se a dar mais ênfase ao aperfeiçoamento de “homem com a ferramenta”, levando em conta o conforto, a facilidade dos movimentos, a posição de trabalho. Tudo isso

para que o trabalho humano com o auxílio destas máquinas fosse realizado de forma mais confortável e segura.

A seguir vamos citar alguns fatores importantes a serem levados em conta no projeto de ferramentas manuais, as quais vão facilitar muito o trabalho humano com o auxílio destas máquinas. Segundo GRANDJEAN (1991, p. 104) as dez regras para facilitar o trabalho de precisão são:

- (i) O campo de trabalho deve ser ordenado de tal forma que o trabalho manual possa ser feito com o cotovelo para baixo e com antebraço a um ângulo de 85 a 110 ° .
- (ii) Em trabalhos de grande precisão, o campo de trabalho deve ser mais elevado para ficar de acordo com a distância da visão, sendo que os cotovelos devem estar para baixo, a cabeça e a nuca levemente inclinados e os braços apoiados.
- (iii) Operações de trabalho de precisão não devem estar acopladas a desempenho de força, porque músculos com carga pesada de trabalho são essencialmente mais difíceis de manobrar e de coordenar. Principalmente devem ser evitadas exigências de trabalho estático. Da mesma forma, não é recomendável executar trabalhos de precisão logo após exercícios de grande força.
- (iv) Poupar as mãos de trabalhos colaterais facilita a concentração para a destreza manual. Por este motivo, é recomendável suportes para as peças a serem trabalhadas que sejam posicionadas na máquina por meio de pedal que também deve ser meio de ligar e desligar a máquina. Para o fornecimento de peças para montagem e a remoção de peças prontas é aconselhável o uso de esteiras deslizantes.

- (v) A ordenação do objeto de trabalho, das peças e dos controles deve estar orientada para um fluxo lógico de operações e um fluxo contínuo e rítmico de movimentos.
- (vi) Ritmo de trabalho livre é superior a qualquer tipo de ritmo pré determinado (compasso ou trabalho controlado pelo tempo, esteira rolante). O gasto de energia é menor no ritmo livre (menos movimentos colaterais), a coordenação motora mais fácil a fadiga menor e os sinais de monotonia (tédio) mais raros. Mas seja também lembrado que ritmo muito lento não é aconselhável, por quase caracterizar trabalho estático. Mais desaconselhável ainda é um ritmo muito rápido, que pode levar a sintomas nervosos de estresse e fadiga crônica. Como regra geral, cada pessoa encontra instintivamente seu próprio ritmo, adequado às suas condições pessoais.
- (vii) Em trabalhos com as duas mãos o campo de trabalho deve-se estender muito pouco para os lados de forma a garantir o melhor controle visual. As exigências de força devem ser iguais para ambas as mãos tanto quanto possível, e o início e o fim do movimento de uma mão deve ser igual ao da outra mão.
- (viii) O movimento do antebraço e das mãos alcançam a maior destreza (velocidade de precisão) em movimentos em um arco de 45 a 60 °, controlando-se a partir de uma vertical frontal. Melhor âmbito de apreensão e de trabalho: 2/3 do alcance máximo, em um raio de 35 a 45 cm do cotovelo abaixado.
- (ix) Movimentos horizontais são mais fáceis de dosar do que os verticais; movimentos circulares são mais fáceis de comandar

que movimentos de ziguezague. As operações devem terminar em um ponto que seja confortável para o início de outra operação.

- (x) As manivelas e elementos de controles devem ter forma adaptada à anatomia da mão e seu uso deve permitir a posição da mão ao longo do eixo longitudinal do antebraço.

Depois o estudo feito com relação a algumas características ergonômicas que deve possuir uma ferramenta manual, voltaremos nossa atenção para o problema ergonômico do cortador de “*roving*” que existe hoje no mercado. Podemos constatar que existem problemas bastante preocupantes que podem causar sérios riscos a saúde do trabalhador quando estão manuseando este tipo de ferramenta. Portanto, novamente achou-se conveniente utilizar as bases da ergonomia, que é o de humanizar o trabalho. A partir desta seção, começamos a relatar a teoria de foco deste estudo.

#### **2.4. Medidas do Corpo Humano como Parâmetro para Projeto**

Para encerrarmos o capítulo, faremos algumas considerações importantes com relação às medidas antropométricas, que servirão como parâmetros para o projeto e redesenho da ferramenta de corte do “*roving*”.

Segundo IIDA (1990, p.116), diz que sempre que possível, as medidas antropométricas devem ser tomadas diretamente de uma amostra dos próprios usuários do sistema ou produto a ser projetado.

Entretanto, quando isso não for possível ou economicamente justificável, pode-se recorrer a tabelas, pelo menos em primeira aproximação.

Para definir as medidas antropométricas adequadas para as ferramentas manuais podem ser utilizadas as bases de medidas da antropometria estática do corpo em pé e das mãos, que está relacionada com as medidas das dimensões físicas do corpo parado, e estas dimensões dependem dos seguintes critérios: (i) tempo – observa-se um aumento no tamanho das pessoas com o desenvolvimento; (ii) idade – o crescimento se estabiliza aos 20 anos para homens e aos 18 para mulheres, após aos 35 anos as medidas de comprimento tendem diminuir, as proporções entre a cabeça e o corpo muda com a idade; (iii) sexo – as mulheres tem a extremidades mais curtas, costas mais estreitas, quadris mais largos; (iv) etnias – há forte correlação da carga genética com as proporções corporais, mas não com as dimensões do corpo em si; (v) alimentação; (vi) clima; (vii) diferenças sociais. Juntamente com as medidas do corpo é necessário conhecer as rotações, segundo os quais certas partes do corpo podem ser movimentadas (ver figura 10 e tabela 01).

Estes dados encontram aplicação em projetos de assentos, mesas, passagens, postos de trabalho, equipamentos pessoais, ferramentas manuais, e etc, mas não podemos esquecer, que os dados antropométricos que são utilizados em projeto, devem estar baseados nos quatro princípios de aplicação da antropometria, que são: (i) projetos para o tipo médio, por exemplo, bancos de jardim; (ii) projeto para indivíduos extremos; portas, saídas de emergências, ferramentas manuais; (iii) projeto para faixas específicas da população, por exemplo, para 90% da população e; (iv) projetos para o indivíduo, aparelho ortopédico, roupas de astronauta, ternos do alfaiate (SELL, 1994, p. 254).



Tabela 01 – Medidas antropométricas estáticas, resumidas da norma DIN 33402.

Medidas de antropometria estática (cm)	Homens		
	5%	50%	95%
<b>A – Corpo em pé</b>			
1.1. Estatura, corpo ereto	162,9	173,3	184,1
1.2. Altura dos olhos, em pé, ereto	150,9	161,3	172,1
1.3. Altura dos ombros, em pé, ereto	134,9	144,5	154,2
1.4. Altura do cotovelo, em pé, ereto	102,1	109,6	117,9
1.5. Altura do centro da mão, braço pendido, em pé	72,8	76,7	82,8
1.6. Altura do centro da mão, braço erguido, em pé	191,0	205,1	221,0
1.7. Comprimento do braço, na horizontal, até o centro da mão	66,2	72,2	78,7
1.8. Profundidade do corpo, na altura do tórax	23,3	27,6	31,8
1.9. Largura dos ombros, em pé	36,7	39,8	42,8
1.10. Largura dos quadris, em pé	31,0	34,4	36,8
<b>B - Mãos</b>	<b>5%</b>	<b>50%</b>	<b>95%</b>
4.1. Comprimento das mãos	17,0	18,6	20,1
4.2. largura da mão	9,8	10,7	11,6
4.3. Comprimento da palma da mão	10,1	10,9	11,7
4.4. largura da palma da mão	7,8	8,5	9,3
4.5. Circunferência da palma da mão	22,9	21,0	22,9
4.6. Circunferência do pulso	16,1	17,6	18,9
4.7. Cilindro de pega máxima (diâmetro)	16,1	17,6	18,9

Obs.: As numerações das medidas referem-se à figura 10.

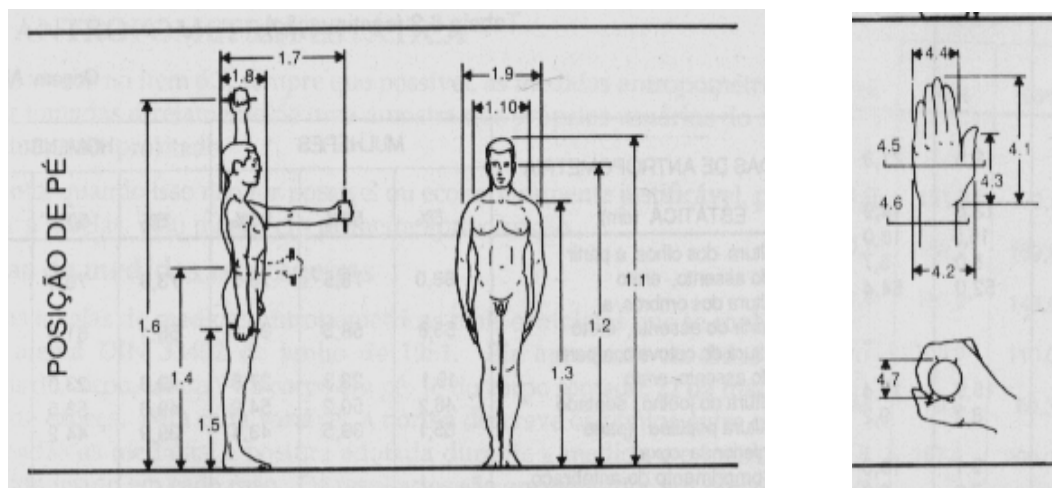


Figura 10 – Medidas antropométricas estáticas do corpo. (Fonte: IIDA, 1990, p. 118).

Segundo IIDA (1990, p. 124), os dados de antropometria estática servem como uma primeira aproximação para o dimensionamento de produtos e locais de trabalho ou para os casos em que os movimentos corporais são pequenos. Porém, na maioria dos casos, as pessoas nunca ficam completamente paradas. Quase sempre estão manipulando, operando ou transportando algum objeto.

Se o produto ou local de trabalho for dimensionado com os dados da antropometria estática, será necessário, posteriormente, prover alguns ajustes para acomodar os principais movimentos corporais. Ou, quando esses movimentos já são previamente definidos, pode-se usar dados da antropometria dinâmica, fazendo com que o projeto se aproxime mais das suas condições reais de operação. Um ajuste mais preciso pode ser realizado pela antropometria funcional, quando os movimentos corporais não são isolados entre si, mas diversos movimentos são realizados simultaneamente. Esses movimentos interagem entre si, modificando os alcances, em relação aos valores da antropometria dinâmica, (figura 11), (IIDA 1990, p. 124).

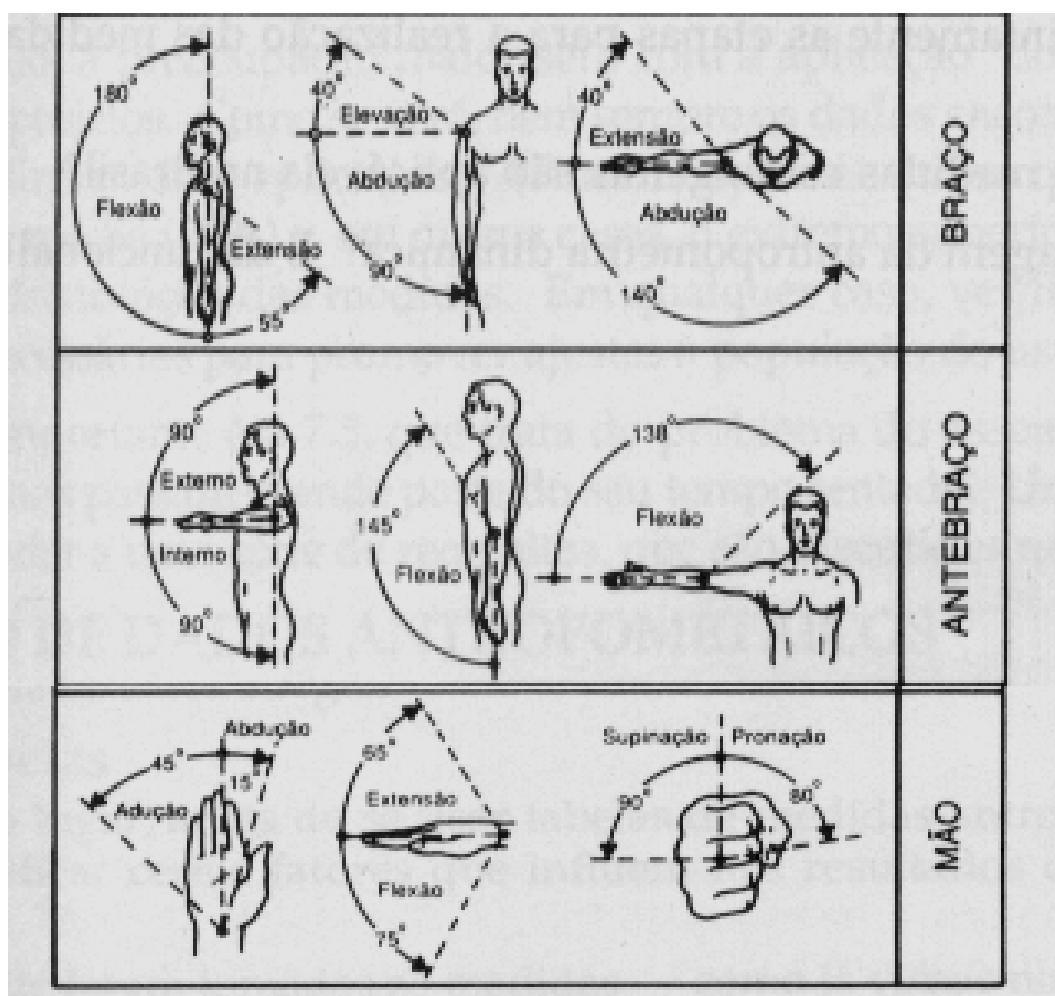


Figura 11 – Valores médios (em graus) de rotações voluntárias do corpo, na antropometria dinâmica. (Fonte: IIDA, 1990, p. 127).

Dando seqüência a Revisão de Literatura, serão descritos a seguir os principais processos de fabricação existentes para a produção de peças em Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV), bem como os diferentes tipos de máquinas utilizadas nestes processos. Faremos também uma breve descrição referente aos tipos de resinas utilizadas e os tipos de fibras de vidro existentes, finalizando vamos falar um pouco a respeito do projeto e construção de moldes.

### 3. OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO EM PRFV

Existem diversos processos disponíveis industrialmente para a moldagem de peças em Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV).

A escolha do processo mais conveniente dependerá da análise do formato, dimensões e escala de produção do produto final desejado.

Ao longo deste capítulo, vamos descrever os dois tipos de processos de moldagem existentes, conhecidos como “Processos de Molde Aberto” ou “Moldagem por Contato” e os processos por “Moldagem Mecânica”, utilizados para a fabricação de peças em Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV).

Na moldagem por “Molde Aberto”, existem basicamente dois tipos de processos, que são: o processo manual (“hand lay-up”) e o processo por pulverização ou a pistola (“Spray-up”).

Já nos processos por “Moldagem Mecânica” temos: o “Filament Winding”, Pultrusão, Injeção, Prensagem, RTM (“Resin Transfer Molding”) etc., os quais também serão abordados ao longo deste capítulo.

Mas antes de descrever os processos de fabricação, vamos primeiramente fazer alguns comentários sobre a história da indústria da fibra de vidro no Brasil e as perspectivas de mercado, sobre características dos Plásticos Reforçados com Fibras de Vidro (PRFV), sobre as características e propriedades das resinas poliéster, e também sobre o projeto e construção de moldes utilizados para a fabricação de peças em PRFV.

### **3.1. A História da Indústria da Fibra de Vidro no Brasil e a Perspectiva de Mercado**

O desenvolvimento das fibras de vidro teve como primeiro objetivo a obtenção de materiais filtrantes e isolantes térmicos, e somente com a Segunda Guerra que foi iniciado o uso da fibra de vidro como material de reforço em resinas plásticas.

As matérias primas utilizadas para obter estas fibras são devidamente selecionadas e formuladas pelos fabricantes e o material obtido é tratado quimicamente como convém, para torná-lo adequado ao uso como reforço de resinas.

No Brasil, a história da fibra de vidro teve seu início por volta dos anos 50, apesar de um desenvolvimento inicial muito lento, porque nesta época tudo era importado, o que continuou assim até a década de 70.

Por volta do ano de 1968, houve um crescimento de 87% no consumo de fibras de vidro e no ano seguinte teve um aumento de 131%. O mercado em expansão contribuiu para a instalação de empresas ligadas no setor, por exemplo, a empresa Ocfibras LTDA, Subsidiária da Owens-Corning Fiberglas Corporation, Norte Americana, abriu seu escritório no Brasil, e em seguida teve a instalação da fábrica de fibras de vidro.

Já no ano de 1971, verificou-se a explosão do mercado nacional em aplicações do poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro. O consumo foi aumentando até o ano de 1981 quando então teve uma retração de 33% por causa de uma forte recessão. No ano seguinte, porém, houve uma boa recuperação e a partir daí, as vendas apresentaram um crescimento contínuo de modo que em 1984 verificou-se que a capacidade instalada era de aproximadamente 50.000 toneladas anuais.

A história da fibra de vidro no Brasil pode-se notar que partiu do nada e chegou-se a tudo o que se tem hoje, não apenas com relação aos

tipos de resinas, mas também os diversos fabricantes, o que impede o monopólio e favorece a concorrência no mercado proporcionando assim melhores preços para o consumidor.

Além das resinas, há também todos os demais produtos necessários para as mais diversas aplicações, como por exemplo: os tecidos de fibra de vidro, o roving, a manta de fios picados, o roving trançado, a manta de fios contínuos, a fibra moída, aceleradores, catalisadores, cargas, pigmentos, filmes, agentes tixotrópicos, desmoldantes, e monômeros, bem como outros aditivos que podem ser aplicados.

A indústria da fibra de vidro concentrava-se praticamente em São Paulo, mas atualmente pode-se observar que está disseminado por todo o território nacional. No Rio Grande do Sul pode-se dizer que a indústria e fabricação de peças em fibra de vidro tiveram seu início praticamente em 1987, com mais de 40 empresas instaladas, concentradas em sua maioria na grande Porto Alegre.

Muitas vezes tudo começa com aquelas pessoas que aprenderam a trabalhar com a fibra de vidro em uma indústria como empregados desta, e depois de algum tempo saem desta empresa e então em pouco tempo montam uma pequena fábrica de artefatos de fibra de vidro. Logicamente, nem sempre estas pequenas unidades conseguem sobreviver, expandir-se e evoluir, porque lhes faltam condições para que venham a se tornar uma empresa concreta.

A partir do momento em que o surgimento de uma unidade produtiva seja precedida de um projeto adequado, pode-se ter certeza que esta pequena empresa não apenas sobreviverá, mas, em pouco tempo se expandirá pela diversificação e qualidade de seus produtos.

Seja qual a causa propulsora para a expansão dessas indústrias que trabalham com a fibra de vidro, uma coisa é certa, a tendência é que a tecnologia desse material se propague e expanda cada vez mais, surgindo novos materiais, novas técnicas e novas máquinas.

Um fator decisivo e de características irreversíveis, pelo menos em médio prazo, é o de que a baixa disponibilidade e o alto preço dos materiais convencionais favorecem cada vez mais, o desenvolvimento das indústrias de plásticos, e de um modo geral, o poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro, como uma alternativa viável.

Tudo isto, aliado à versatilidade e a tecnologia relativamente simples, a não necessidade de equipamentos muito sofisticados ou mão de obra altamente qualificada, os baixos investimentos iniciais, pode ter uma idéia mais clara sobre a oportunidade e a expansão que fatalmente vai ocorrer nessa área, fruto de todas essas circunstâncias que combinadas vão determinar que tal previsão se torne cada vez mais realidade.

A grande necessidade de criação de indústrias nas regiões mais distantes dos grandes centros, pode ser realizada através da criação de unidade que industrializem o poliéster insaturado. Os campos de aplicação não faltam, basta disposição, iniciativa e um pequeno investimento inicial, para que as indústrias da fibra de vidro continuem crescendo e tornando-se cada vez mais lucrativas, e uma grande opção de estudo e investimento no setor.

Hoje, o consumo de Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) no Brasil, de acordo com a Asplar (Associação Brasileira do Plástico Reforçado), gira em torno de 54.000 mil toneladas por ano, o que representa cerca de 0,34 kg/ano por habitante. Da demanda nacional de poliéster insaturado, estimada em 50 mil toneladas por ano, cerca de 75% recebe reforço de fibra de vidro sendo os restantes utilizados em outras aplicações. Estes dados são baixos quando comparados aos dados dos EUA, que equivale a 5 kg per capita e 700 mil toneladas por ano de poliéster insaturado. O gráfico 01 abaixo apresenta a título de comparação, o consumo per capita de plástico reforçado com fibra de vidro em alguns países.

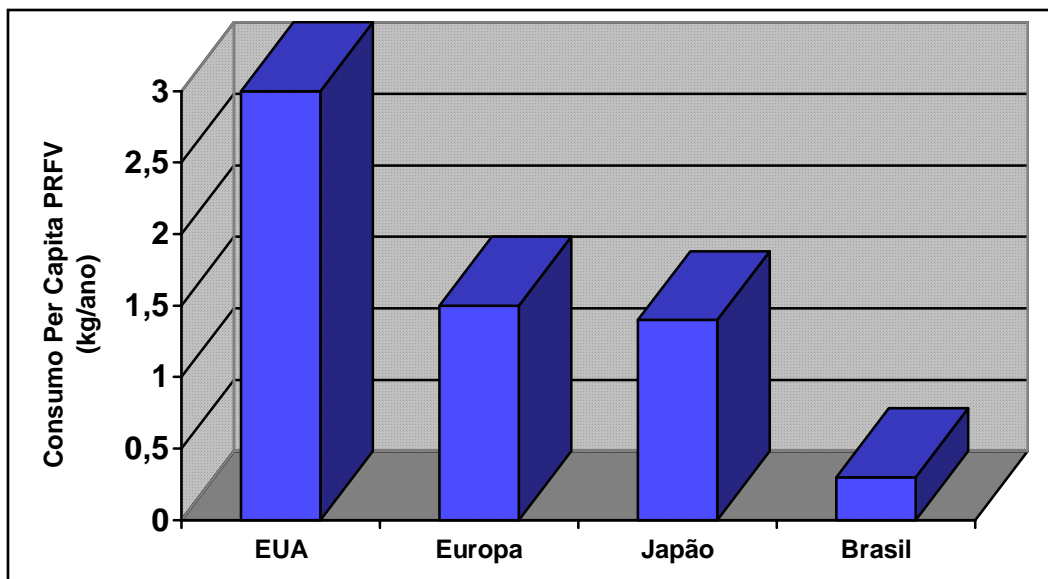


Gráfico 01 – Consumo per capita de PRFV em kg/ano, Fonte: Resana.

Os índices de consumo de Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV) per capita brasileiros são comparativamente baixos devido à dificuldade de aceitação deste material pelos consumidores principalmente devida à baixa qualidade dos produtos de Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV). A baixa qualidade por sua vez, é devida basicamente ao grande número de fabricantes que utilizam técnicas de moldagem manuais (“hand lay-up” e “spray up”) ao invés do emprego de técnicas de injeção ou prensagem, que resultam em produtos com melhor acabamento e melhores propriedades mecânicas.

O consumo nacional de PRFV por segmento da indústria, de acordo com os dados apresentados pela empresa Resana (gráfico 02), é assim distribuído:



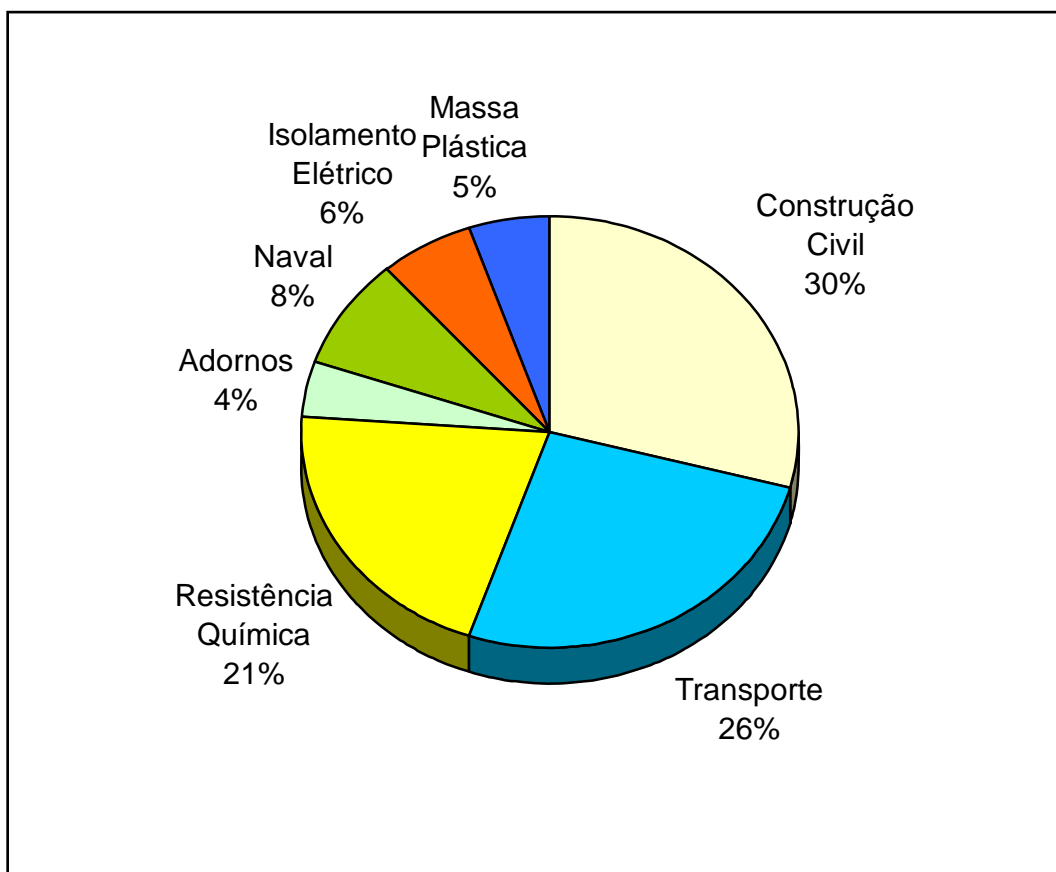


Gráfico 02 – Distribuição do consumo de PRFV no Brasil, Fonte: Resana.

### 3.2. Características dos Plásticos Reforçados com Fibras de Vidro (PRFV)

O material que freqüentemente é chamado de Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV), ou simplesmente Plástico Reforçado, é um material estrutural leve, durável e resistente, que pode ser empregado na fabricação de quase todos os tipos de produtos. Pode ser transparente, translúcido, opaco colorido, plano ou com geometria variada, de diversas espessuras. Não há realmente limites para sua utilização, já tendo sido empregado na fabricação de grandes estruturas, como cascos de barcos com mais de 60 metros de comprimento.

O plástico reforçado é o único entre os diversos materiais de construção em que o fabricante realmente faz o seu próprio material. Não importa se o fabricante produz tanques químicos, tubos, silos, prédios, carroceria para veículos ou barcos, ele não está simplesmente montando componentes, mas sim produzindo seu próprio material de trabalho.

O plástico reforçado é um composto formado por uma resina resiliente e durável e uma fibra muito resistente. Como consequência do rápido desenvolvimento tecnológico ocorrido nas duas últimas décadas, a quantidade de plásticos comerciais reforçados com fibra de vidro, os mais utilizados, tanto por suas características de desempenho e processamento quanto de custo, são as resinas poliéster insaturadas. Entretanto, assim como o concreto que necessita de barras de ferro para ser reforçado, as resinas poliéster precisam ser reforçadas com fibras de vidro para formarem plásticos reforçados. É exatamente isso o que faz o fabricante ou processador, utilizando um molde ou fôrma em que se colocam diversas camadas do reforço e resina até que se atinja a espessura desejada, obtendo-se assim um laminado ou qualquer outro produto moldado.

O primeiro material sintético moldável classificado como plástico foi produzido em 1862, na Inglaterra, por Alexander Parkers. Foi denominado de “Parkesine” e constitui o antecessor do celulóide. Uma grande variedade de plásticos vem sendo desenvolvida comercialmente, tendo a maioria deles surgido nos últimos 25 anos.

As resinas poliéster insaturadas começou a ser comercializada nos Estados Unidos por volta de 1941, quando uma resina fundida passou a substituir o novo vidro. Já na Inglaterra, a comercialização desse material teve seu início por volta de 1946, sendo utilizado nas primeiras moldagens com reforço de fibras de vidro. Em relação as resinas, existem basicamente dois tipos disponíveis no mercado, que são:

- (i) As Resinas Termoplásticas: São aquelas que apresentam-se no

estado sólido a baixas temperaturas e são processadas com uso de calor e pressão. São reversíveis, podendo ser aquecidas e moldadas em novos formatos tanta vezes quanto forem necessárias. Podem ser reaproveitadas através de reciclagem. Por exemplo, o polietileno, polipropileno, PVC, náilon, etc.

- (ii) As Resinas Termofixas: São aquelas que normalmente apresentam-se na forma líquida à temperatura ambiente, e são processadas com a adição de alguns componentes como acelerador e catalisador, que tem a finalidade de promover a cura, ou seja, a polimerização ou solidificação da resina, à temperatura ambiente e sem a necessidade de aplicação de pressão. A reação de cura é irreversível.

A maioria das resinas é produzida a partir de substâncias químicas derivadas do petróleo ou do carvão mineral (hulha). A figura 05, mostra a derivação da resina poliéster.

### **3.3. Características e Propriedades das Resinas Poliéster**

As resinas poliéster constituem uma família de polímeros lineares resultantes da condensação de ácidos dicarboxílicos com glicóis. São classificadas como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo da ausência ou presença de duplas ligações entre os átomos de carbono (insaturações) que formam sua cadeia molecular.

Os poliésteres saturados, como o polietileno-tereftalato, encontram uma vasta aplicação, por exemplo, na produção de filmes, fibras sintéticas e peças injetadas (reforçadas ou não com fibras de vidro). Mas, estes poliésteres não serão analisados neste trabalho.

Já os poliésteres insaturados são em geral usados industrialmente

em combinações com reforços fibrosos, como sisal, algodão, amianto, etc. Porém, em termos técnicos e econômicos, os melhores resultados para as aplicações de engenharia são obtidos quando eles são combinados com fibras de vidro.

A estrutura de um poliéster insaturado é composta geralmente de quatro elementos básicos:

- (i) Ácido saturado, que determinará o grau de espaçamento ou concentração das moléculas do ácido insaturado ao longo da cadeia poliéster;
- (ii) Ácido insaturado, que fornece os pontos reativos para as ligações cruzadas;
- (iii) Glicol, que proporciona os meios para a esterificação;
- (iv) Monômero vinílico, mais comumente o estireno, que fornece as pontes entre os ácidos para a polimerização.

Quanto menor a proporção de ácido insaturado em relação ao ácido saturado, menor será a frequência de interligação e mais flexível será o poliéster, diminuindo também a reatividade, a resistência química e o encolhimento na cura.

As resinas poliéster insaturadas possuem uma característica importante, por apresentarem pontos de insaturação em sua cadeia molecular. Esses pontos de insaturação são duplas ligações químicas entre dois átomos de carbono adjacentes. Essas duplas ligações, ou insaturações, são instáveis e facilmente rompidas durante a reação de cura pela ação de substâncias catalisadoras e aceleradoras apropriadas.

No caso específico das resinas poliéster, não apenas a base poliéster apresenta pontos de insaturação; também o agente de interligação, monômero de estireno, é insaturado e participa da reação de cura.

Na polimerização do poliéster, as várias moléculas de estireno,

através de suas duplas ligações, se unem às duplas ligações da base poliéster, dando origem a um composto reticulado tridimensional e transformando a resina do estado líquido em estado sólido. Essa reação química se processa a temperatura ambiente, pela ação de agentes catalisadores e aceleradores adicionados à resina no momento da moldagem. Como nessa reação química não ocorre liberação de qualquer material volátil (trata-se de uma reação química de adição), não há necessidade de se aplicar pressões externas para remoção de qualquer substância gasosa gerada durante a cura, o que facilita muito a aplicação.

As principais propriedades das resinas poliéster são:

- Excelente estabilidade dimensional;
- Excelente resistência a ambientes quimicamente agressivos;
- Ótimas propriedades elétricas;
- Fácil pigmentação;
- Não há liberação de materiais voláteis durante a cura;
- Cura a frio;
- Permite a utilização de moldes simples e baratos;
- Fácil modificação para aplicações especiais.

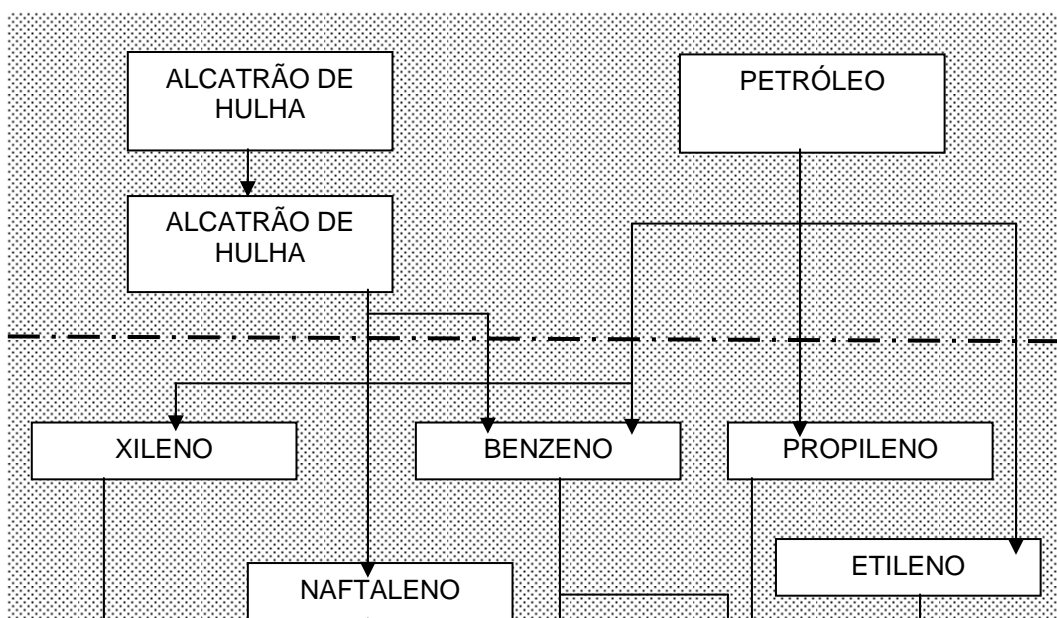


Figura 12 – Resina poliéster típica / derivação do petróleo. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 13).

A resistência química de uma resina poliéster insaturada depende diretamente de seu peso molecular, índice de acidez, quantidade de grupos ésteres formados e densidade das ligações cruzadas, conforme mostra a tabela 02.

Existem dois tipos de resinas poliéster, as resinas ortoftálicas e as isoftálicas, ambas resultantes do uso de isômeros do ácido ftálico na sua produção.

As resinas ortoftálicas são mais comuns e de custo relativo mais baixo são mais rígidas que as isoftálicas, apresentando tempo de gelatinização mais longo, menor resistência à água, menor resistência química, menores propriedades mecânicas e menor retenção dessas propriedades à alta temperatura. São também menos viscosas.

Já as resinas isoftálicas não são sensíveis à água, apresentando alta resistência química, maior resistência mecânica, maior resistência ao impacto e maior flexibilidade. Com a utilização de ácido isoftálico na formação das resinas poliéster, podem-se obter moléculas com peso molecular maior do que as obtidas a partir do ácido ortoftálico. As moléculas com cadeias mais longas conferem ao produto final maior resistência ao impacto, tornando-o capaz de absorver a energia do impacto sofrendo apenas uma pequena deformação temporária, sem distorções graves ou rupturas, e retornar à posição primitiva. O baixo conteúdo de glicol livre torna a resina isoftálica insensível à água, o que também lhe confere resistência química.

Entre as resinas isoftálicas, merece destaque a resina isoftálica com NPG (neopentilglicol). Substituindo os glicóis tradicionalmente empregados na síntese de resinas poliéster (etileno glicol ou propileno glicol) por neopentilglicol, obtêm-se resinas com alto peso molecular e baixa viscosidade e excelentes propriedades de resistência à água, excelentes resistências a intempéries, resistência a manchas e à água fervente, além de excelente manutenção do brilho superficial.

Tabela 02 – Propriedades típicas de uma resina poliéster curada sem reforço. (Fonte: CRYSTIC, Tecnologia em Resinas Poliéster, Alba Química Indústria e Comércio Ltda, São Paulo. 1988, p. 16).

Peso específico	1,28
Dureza Rockwell (escala M)	110

Dureza Barcol (GYZJ 934-1)	45
Resistência à tração	70 Mpa
Resistência à compressão	140 MPa
Módulo de tração	3,5 Gpa
Alongamento na ruptura	2,5 %
Calor específico	2,3 KJ/Kg K
Condutividade térmica	0,2 W/mK
Coeficiente de expansão linear	$100 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$
Absorção de água (24 h a 20 ° C)	0,2 %
Capacidade indutiva específica a 50 Hz	3,7
Fator de potência a 50 Hz	0,008
Fator de potência 5 MHz	0,019
Tensão de ruptura (amostra de 0,2 mm)	22 kV/mm
Resistividade	1 TΩm
Coeficiente de fricção estática	0,27

### 3.4. Características e Propriedades das Fibras de Vidro.

As resinas poliéster puras, após a polimerização, possuem propriedades mecânicas insuficientes para a aplicação no campo da engenharia. E as fibras de vidro puras também não possuem propriedades mecânicas suficientes para aplicações estruturais, além de apresentarem um alto desgaste por abrasão. Entretanto, esses dois materiais, que, separados, não têm função estrutural, quando unidos apresentam características excepcionais para aplicações estruturais.

As características que recomendam o uso da fibra de vidro como elemento de reforço em materiais compostos são:

- Elevada relação entre resistência mecânica e peso;



- Elasticidade perfeita;
- Propriedades térmicas atrativas: são incombustíveis, retêm boa parte de sua resistência a temperaturas elevadas, possuem baixo coeficiente de dilatação e elevada condutividade térmica;
- Não absorvem umidade, não apresentando, por isso, problemas de inchamento, alongamento ou desintegração;
- Notável estabilidade dimensional;
- Excelente resistência à corrosão;
- Excelentes características elétricas;
- Baixo custo.

Em função dessas características, os plásticos reforçados com fibra de vidro estão sendo usado nas mais diversas áreas e aplicações, como por exemplo:

- **Automobilístico:** Carrocerias para ônibus e caminhões, caçambas, sistemas de arrefecimento, peças e componentes para automóveis, ônibus, caminhões e tratores, motocicletas e veículos especiais, cabinas, container, defletores, tanque para combustível;
- **Construção civil:** Elementos estruturais, pisos, painéis, formas de concreto, piscinas, caixas d'água, banheiras, balcões e pias para cozinha, coberturas industriais, pontes, passadiços, painéis decorativos, tanques para lavar roupas, venezianas, vitrais;
- **Naval:** Cascos para barcos, navios e submarinos, reservatórios de água e combustível, dutos de ventilação, bóias, docas flutuantes;
- **Peças industriais:** Bombas centrífugas, carcaças de máquinas de oficina e escritório, capelas para produtos químicos, chaminés industriais, ciclones, coifas industriais, coletores de pó, caçamba

transportadoras, câmaras frigoríficas, cabos de ferramentas, cabines de pintura, discos para tratamento biológico de esgotos, evaporadores, estrutura de equipamentos como elevadores e balanças, filtros de ar, filtros pensa, elevadores de gás e ar, ossos artificiais, rolos para impressoras, revestimento de tanques, revestimentos anticorrosivo, tanques cilíndricos para líquidos, tanques para decapagem, telhas, bandejas farmacêuticas e industriais, caixas, tubulações;

- **Elétricas eletrônicas:** Aplicações em transformadores, motores, geradores, sistema de chaveamento e equipamentos eletrônicos, antenas parabólicas, carcaças de ventiladores e aparelhos eletrodomésticos, caixas de fusíveis, luminárias;
- **Esportes e lazer:** Varas de pescar, arcos e flechas, tacos de golfe, bastões, varas, raquetes, esquis, capacetes protetores, equipamentos de piscinas e parques;
- **Aeroespaciais e militares:** carcaças de foguetes, hélices, vasos de pressão, barcos de assalto, peças para blindados, proteções contra maresia, capacetes a prova de bala;
- **Mobiliário:** Poltronas, bancos de praça, móveis para escolas e auditórios, assentos de ônibus, enfeites ornamentais;
- **Química:** Tanques de armazenamento, tubulações e dutos de indústria química, em virtude de sua resistência ao ataque e a corrosão.

As matérias-primas utilizadas para obter as fibras de vidro são devidamente selecionadas e formuladas pelos fabricantes e o material obtido é tratado quimicamente como convém, para torná-lo adequado ao uso como reforço de resinas, a figura 13, apresenta de forma superficial o processo de fabricação de fibra de vidro.

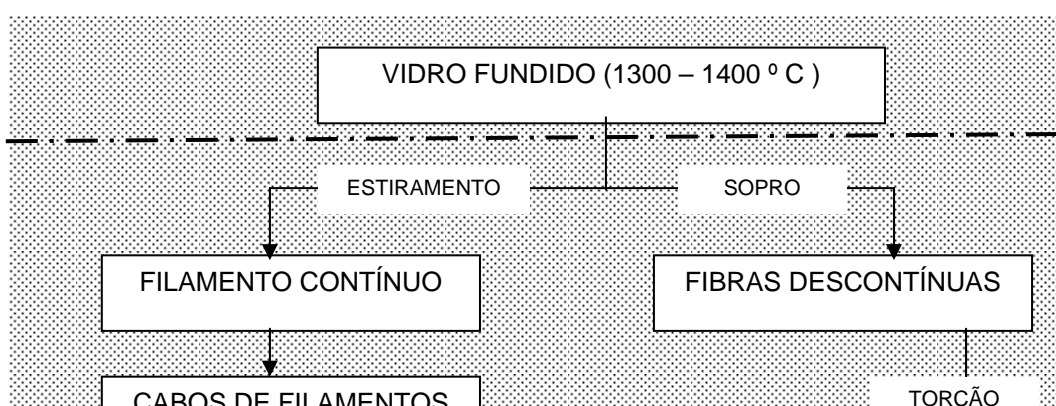


Figura 13 – Esquema geral do processo de fabricação de fibra de vidro.  
(Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 18).

Existem dois tipos básicos de fibras. Um deles é constituído de uma fibra espessa e alcalina, produzida em grande escala para uso em isolamento térmico. Essa fibra geralmente não é adequada para uso com reforço em resina poliéster.

As fibras empregadas para reforço de poliéster consistem em filamentos produzidos a partir da fusão de óxidos metálicos. Após o estiramento, os fios são submetidos a tratamentos químicos especiais com a função de:

- (i) Atuar como filme lubrificante, impedindo que os diversos filamentos de vidro sejam desgastados por abrasão durante seu processamento;
- (ii) Segurar os diversos filamentos de vidro em um feixe coeso (fibras);
- (iii) Atuar como agente de união química entre os filamentos de vidro e a resina plástica.

As fibras de vidro são produzidas como filamentos contínuos, com muitos metros de extensão, ou como filamentos curtos, com até meio metro de extensão. Filamentos contínuos são, em geral, trefilados a partir do vidro fundido, a velocidade da ordem de 3 Km/min. As fibras curtas são fabricadas por um processo de sopro, pelo qual se dirige vapor ou gás aquecido sobre o vidro fundido. As fibras produzidas pelos dois processos podem ser apresentadas como feixes, fios ou cordas, torcidas ou trançadas. Os fios de fibras de vidro podem ser apresentados como tecidos ou mantas.

As fibras comerciais podem ser apresentadas de várias formas. Os filamentos contínuos de fibra de vidro têm diâmetro que varia entre 0,0025 a 0,02 mm. Fibras de diâmetro maior tem sua flexibilidade reduzida, e se comportam mais como barras do que como fibras.

Comercialmente as fibras de vidro são apresentadas como “roving”, tecidos de “roving”, tecido de fibra de vidro que são as mantas de fios picados e as mantas de fios contínuos (manta de sobreposição), o véu de sobreposição, e a fibra moída.

O “roving” consiste de um certo número de fibras paralelas reunidas numa espécie de fita enroladas em um tubo ou carretel. Existem dois tipos básicos, que são: o “roving” contínuo é constituído por fibras estritamente paralelas, especificadas pelo número de fios por mecha, ou por seu rendimento, definido pelo peso por unidade de metro (g/km),

denominado de “TEX”. Já o tecido de “roving” ou o tecido de fibras de vidro é constituído por filamentos dispostos em zigue-zague, e mantidos em posição por uma leve torção e por uma resina.

O “roving” para ser aplicado, pode ser picado em comprimentos que variam de 30 a 60 mm, conforme a aplicação pretendida, isso pode ser feito tanto pelo fabricante como pelo usuário.

As mantas de fibras de vidro (manta de filamentos cotados), apresentam uma distribuição uniforme, mas aleatória, das fibras, contínuas ou picadas, que são mantidas coesas por um adesivo resinoso. As mantas de fibra de vidro contínuas (manta de sobreposição), apresentam melhor integridade e podem ser ajustadas a formas mais complicadas sem desmanchar ou rasgar. Para a moldagem manual, quando se requer que as fibras sejam rapidamente molhadas ou quando é importante a ajustagem de contornos, são usados mantas com adesivo de alta solubilidade. Já na moldagem em prensa, ou sempre que haja o risco de a resina desmantelar a estrutura da manta, e criar regiões pobres em fibra de vidro, são então empregadas mantas com adesivo de baixa solubilidade.

As mantas são comumente especificadas em termos de seu peso por unidade de área ( $\text{g/m}^2$ ).

As mantas de cobertura ou véu de superfície são mais finas e macias, e mais conformáveis porque apresentam um menor teor de adesivo, encontram sua aplicação em contornos mais complicados.

A união química entre os filamentos de vidro e a resina é de fundamental importância prática, pois permite que dois materiais de natureza tão diferente e que apresentam módulos de elasticidade tão diversos atuem em perfeita harmonia quando submetidos às solicitações do ambiente.

A fibra de vidro é um dos materiais mais resistentes que se conhece. (ALBA Química indústria e Comércio Ltda., 1988, p.19) afirma que a máxima resistência à tensão de um filamento de vidro com diâmetro

médio na faixa de 9 a 15 micra é da ordem de 3,5 Gpa.



Figura 14 – Tecidos de fibra de vidro (bidirecional).

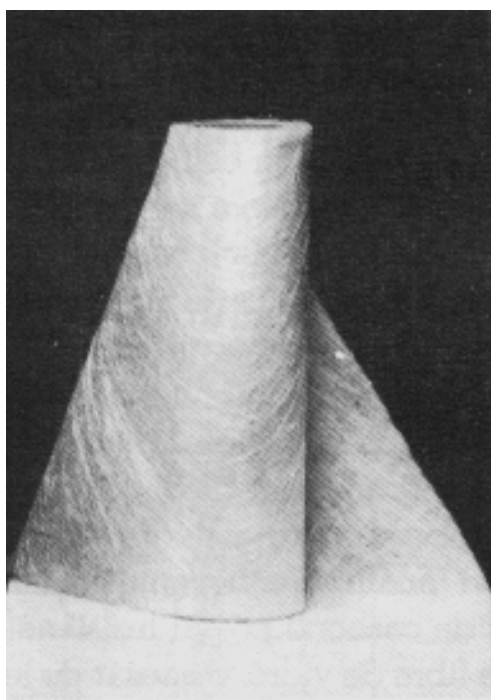
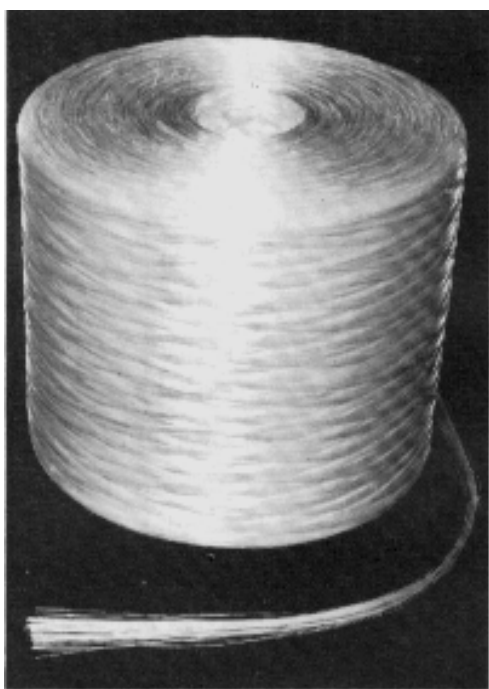


Figura 15 – Roving.

Figura 16 – Manta de fibras de vidro.

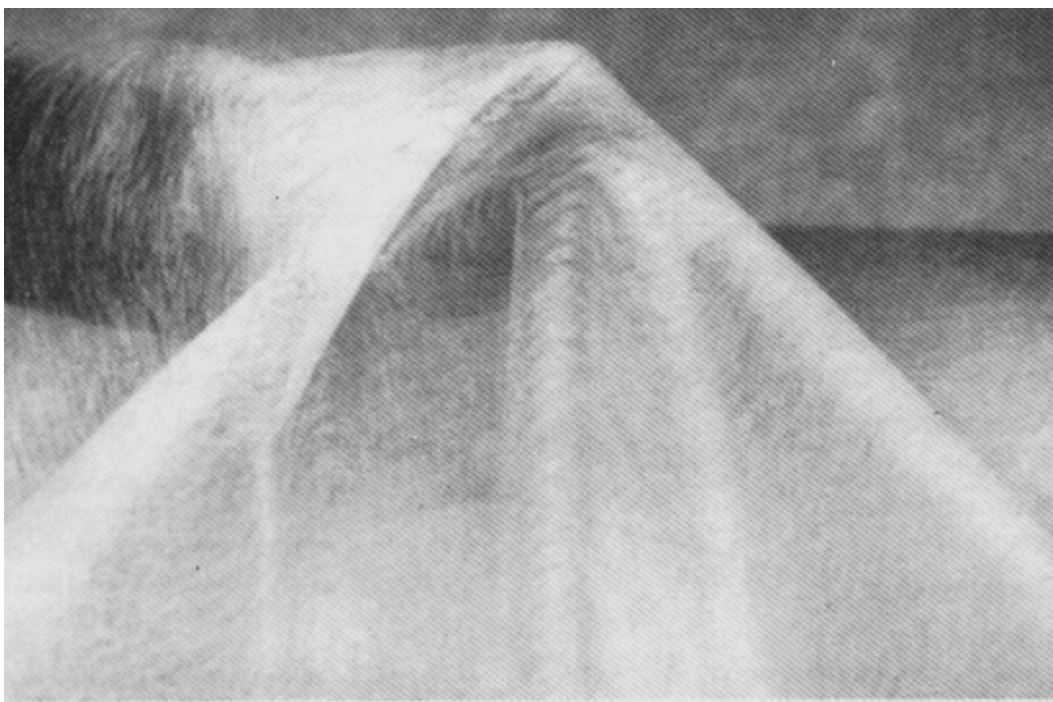


Figura 17 – Vêu de superfície.

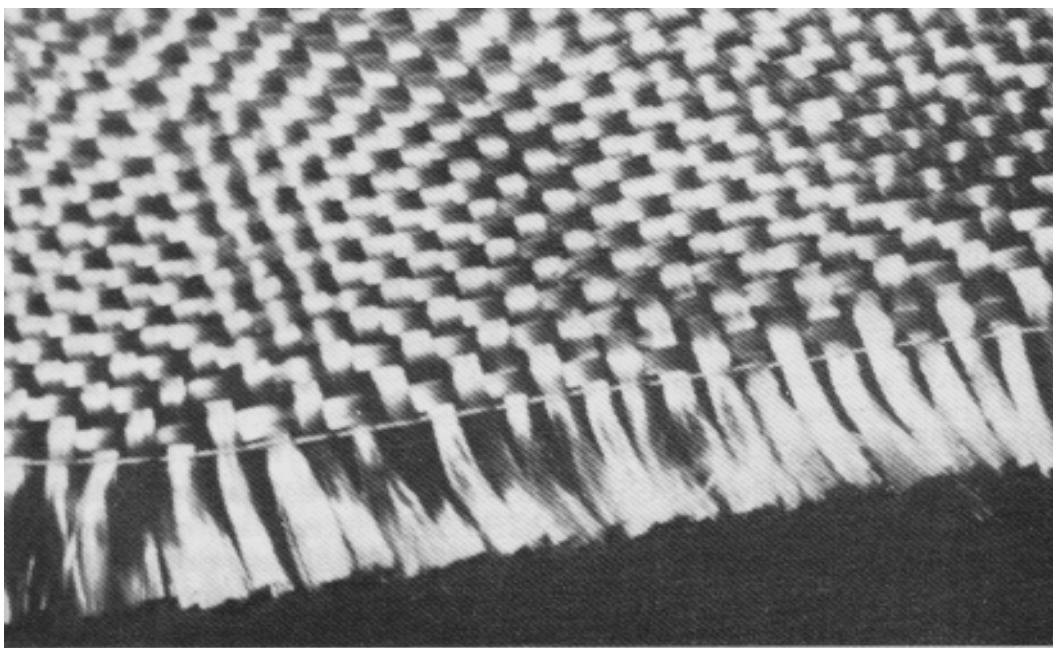


Figura 18 – Tecido de roving ou tecido pesado.

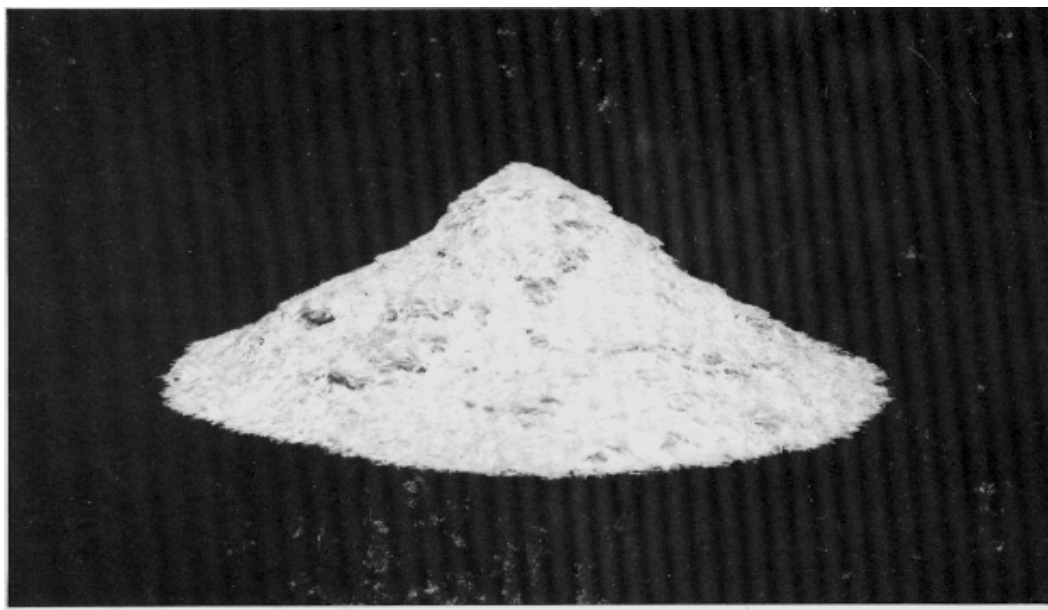


Figura 19 – Fibra de vidro moída ou picada.

A tabela 03 mostra um comparativo entre as propriedades de uma resina poliéster reforçada com fibras de vidro típicas e outros materiais. E a tabela 04 mostra as propriedades típicas do plástico reforçado com fibras de vidro, com diferentes tipos de reforço de vidro.

Tabela 03 – Comparativo entre propriedades de uma resina poliéster reforçada com fibras de vidro típicas e outros materiais. (Fonte: CRYSTIC, Tecnologia em Resinas Poliéster, Alba Química Indústria e Comércio Ltda, São Paulo. 1988, p. 16).

Material	Teor de vidro		Peso específico	Resistência à tração	Módulo de tração	Resist. específica
	% volume	% Peso				
Poliéster/tecido	54	70	1,9	800*	30*	400*



de roving						
Poliéster/tecido de fibras de vidro	38	55	1,7	300	15	200
Poliéster/manta de fibras	18	30	1,4	100	7	70
Aço carbono estrutural	-	-	7,8	310	200	40
Duralumínio	-	-	2,8	450	70	150
Madeira mole (tipo pinheiro-Douglas Fir)	-	-	0,5	75	13	150
Madeira dura (tipo nogueira, imbuia)	-	-	0,8	150	15	200
Cimento Portland	-	-	2,0	10	17	5
Cimento/fibra de vidro (com 28 dias de cura ao ar)	3,1	4,3	2,1	17	20	8

\* Na direção da fibra.

Tabela 04 – Propriedades físicas, típicas do Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro. (Fonte: CRYSTIC, Tecnologia em Resinas Poliéster, Alba Química Indústria e Comércio Ltda, São Paulo. 1988, p. 16).

Propriedades	Unidade	Manta de fibras picadas	Tecido de roving	Tecido fino de fibras de vidro	rovings
Teor de vidro	% volume	18	29	38	54
Peso específico	% peso	30	45	55	70
Resistência à tração	MPa	100	250	300	800
Módulo de tração	GPa	8	15	15	40
Resistência à compressão	MPa	150	150	250	350
Resistência à flexão	MPa	150	250	400	1000

Módulo de flexão	GPa	7	15	15	40
Resistência ao impacto IZOD não-entalhado*	KJ/m <sup>2</sup>	75	125	150	250
Coefficiente de expansão linear	X10 <sup>-6</sup> /° C	30	15	12	10
Condutividade térmica	W/mK	0,20	0,24	0,28	0,29

\* Testado na borda.

### 3.5. Projeto e Construção de Moldes

Para a produção de peças em PRFV, é necessário somente um molde, podendo ser tanto macho quanto fêmea, dependendo da face, que deverá ser lisa. Esses moldes geralmente são produzidos também com resina poliéster reforçada com fibra de vidro. Um molde desse tipo é resistente, resiliente e leve. As resinas em geral podem ser usadas satisfatoriamente para a confecção de moldes. Um bom molde de PRFV produzirá centenas de moldagens com um mínimo de manutenção. O molde poderá ser reforçado onde for necessário, sendo facilmente montado numa guarnição simples de madeira ou metal. Uma vez preparado um modelo orientador adequado, os moldes de PRFV poderão ser feitos fácil e rapidamente.

Os moldes de PRFV são produzidos sobre modelos ou, em caso de peças simples, sobre a própria peça original, usando-se o processo de moldagem por contato. Esses modelos podem ser produzidos com estruturas de madeira, metal ou gesso, como mostra a figura 20. Devem ter um acabamento primoroso e bem polido para ter uma superfície perfeitamente lisa. O gesso ou outros materiais porosos devem ser vedados com uma tinta (tinta Duco) ou verniz de nitrocelulose, antes de

serem encerados e polidos. A camada de “gel-coat” deverá ter uma espessura de 0,5 a 0,6 milímetros, que, apesar de ser maior que a recomendada para uso em moldagem é, entretanto necessária para resistir a lixamentos e polimentos adicionais que possam ser exigidos durante o período de uso do molde. Para se produzir o molde, poderá ser utilizada qualquer resina poliéster adequada para moldagem por contato. Entretanto, se o molde for planejado para ser usado repetidas vezes por longo tempo, deverá ser utilizado um poliéster resistente ao calor, que proporcionará uma superfície mais dura e resistente, além de uma melhor estabilidade geral. Recomenda-se uma resina tipo isoftálica, de alta termodistorção.

Moldes pequenos devem ter o dobro de espessura das pelas a serem moldadas por eles. Os de grandes dimensões podem ser reforçados com a colocação de nervuras do lado oposto. Os moldes podem ser montados numa esquadria, de forma que fiquem estendidos sobre o piso ou montados em algum tipo de armação rotativa ou articulada. Os materiais empregados para a confecção de nervuras de reforço poderão ser madeira o metal maciço, trefilado, metálicos, ocos ou tubos de plásticos e também espuma de plástico ou papel torcido em forma de corda. Seja qual for o material, será necessário apenas um suporte para a aplicação do plástico reforçado. Os suportes são ajustados nos contornos do molde e cobertos com duas ou três camadas de reforço de fibra de vidro impregnada de resina poliéster. Antes da colocação das nervuras de reforço nos moldes, deve-se verificar se o laminado está suficientemente curado e se a espessura é adequada; caso contrário, a retração da resina em torno das nervuras poderá provocar a distorção do laminado e deixar marcas na superfície do molde. (figura 21).

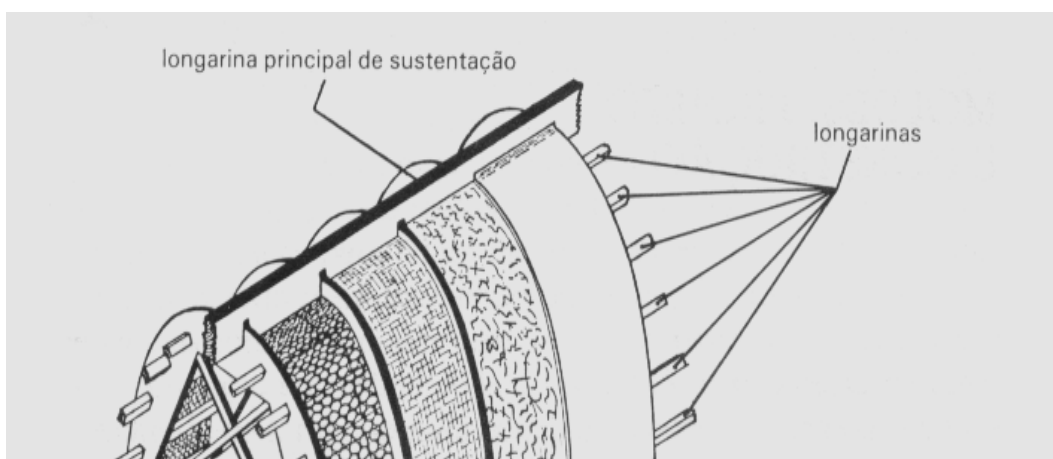


Figura 20 – Construção de um modelo em gesso. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 46).

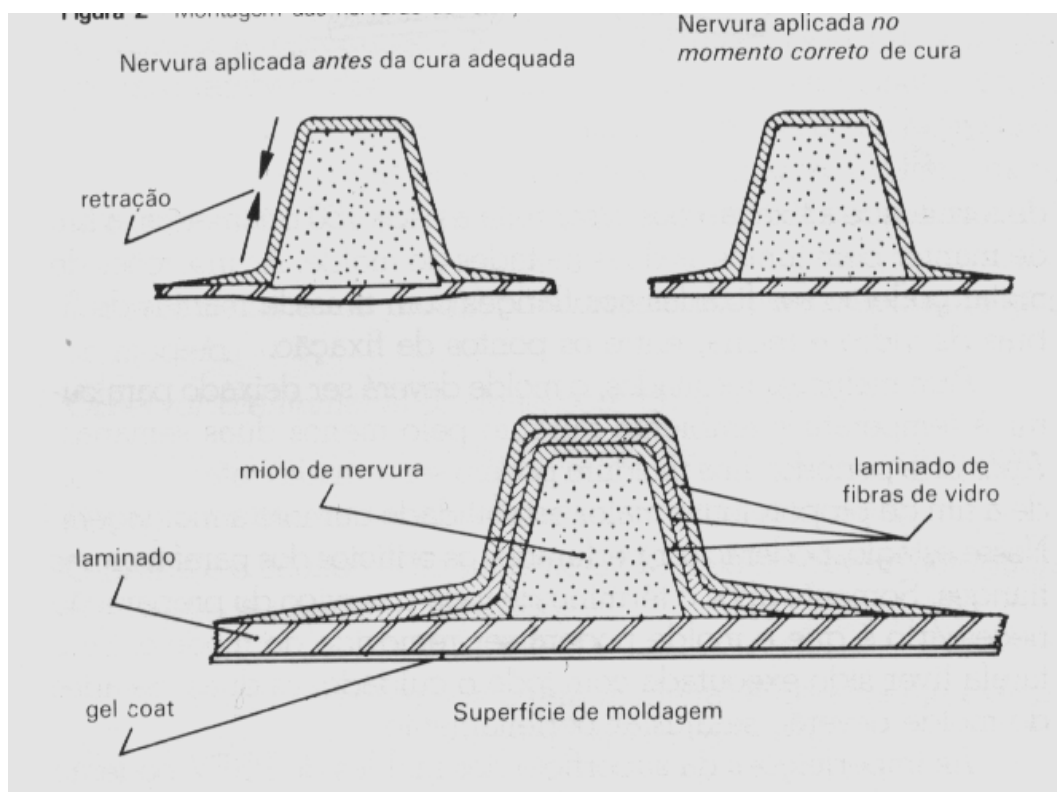


Figura 21 – Montagem das nervuras de reforço. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 47).

Às vezes, é necessário produzir moldes com traçados profundos ou rebaixamentos, o que tornaria difícil ou impossível a retirada dos modelos inteiros. Nesse caso, é essencial o uso de um molde bipartido. Um bom exemplo disso é a produção de grandes cascos para barcos, onde o molde é partido na linha da quilha a fim de acomodar a “casa caída” (casa de máquinas) na popa. A construção de flanges para moldes partidos é ilustrada na figura 22. “Rovings” contínuos devem ser usados como reforço em cantos agudos, onde as áreas de resina não-reforçada estão bastante propensas a quebras acidentais. Quando a resina estiver completamente curada, os flanges devem ser raspados até aproximadamente 75 milímetros. Para evitar danos e proporcionar uma longa vida útil, os flanges devem ser 50 por cento mais espessos do que o molde. Mesmo com esse reforço, o laminado poderá não suportar as severas cargas localizadas, impostas por porcas e parafusos ou grampos. Dessa forma, é aconselhável fixar chapas de metal ao longo dos flanges, de forma que a fixação possa ser feita a cada 150 milímetros, a fim de manter bem juntas as duas metades do molde. As inserções de metal poderão ser fixadas aos flanges com tiras de mantas de fibras de vidro e resina, entre os pontos de fixação.

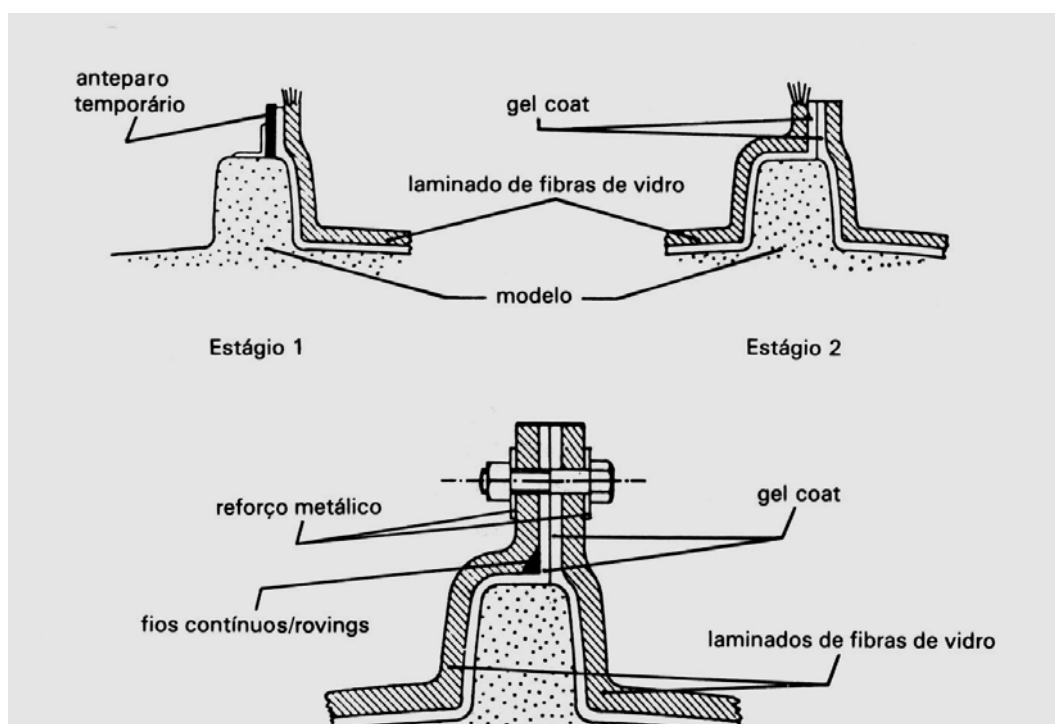


Figura 22 – Montagem de flanges para moldes bipartidos. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 48).

Para melhores resultados, o molde deverá ser deixado para curar a temperatura ambiente durante pelo menos duas semanas. Após esse período, uma moldura poderá ser armada e atada ao molde a fim de proporcionar maior estabilidade durante a moldagem. Nesse estágio, poderão ser perfurados os orifícios dos parafusos nos flanges. Somente após o término de todo o serviço de preparação necessário é que o molde poderá ser removido do modelo. Se a tarefa tiver sido executada com todo o cuidado, as duas metades do molde deverão se ajustar perfeitamente.

As imperfeições da superfície dos moldes de PRFV poderão ser removidas com um abrasivo fino, como um polidor de metal ou lixa d'água número 600, seguido da aplicação de uma pasta polidora. Antes do uso, deverá aplicar-se ao molde cera isenta de silicone.

O molde, planejado para prestar bons serviços durante um longo tempo, deverá ser conservado adequadamente. Quando não estiver em uso, deverá ser conservado coberto, estendido, apoiado na sua base e protegido contra pó, umidade e contaminação ambiente. Durante sua utilização, deverá ser mantido sob constante cuidado, de forma a se poder sanar qualquer imperfeição tão logo ela surja. As ferramentas afiadas deverão ser mantidas fora do alcance das faces do molde.

### 3.5.1. Construção do modelo

O modelo geralmente é construído em madeira ou gesso, segundo desenho. Em alguns casos, uma peça já existente pode ser modificada, reforçada, polida, etc., usada como modelo. A seguir é apresentada apenas a forma mais comum de construção de moldes.

É muito importante que o modelo seja construído com esmero, visando à reprodução não apenas das dimensões críticas da peça, mas também dos vários detalhes que a acompanham. Erros, omissões e falta de perícia nessa fase da construção se reproduzirão em todas as peças produzidas posteriormente. Os itens mencionados abaixo devem ser criteriosamente observados :

- Todos os detalhes de produção e projeto devem ser incorporados ao modelo.
- Observar atentamente as dimensões críticas da peça.
- Observar a existência de ângulos de desmoldagem adequados.
- Prever sistemas de desmoldagem, ar comprimido, etc.
- O brilho e o acabamento superficial do modelo dever ser iguais ao desejado na peça acabada.

A construção do modelo (em madeira) é geralmente executada de acordo com a seqüência abaixo descrita:

- (i) Estrutura de reforço;
- (ii) Entabamento (revestimento da estrutura com tábuas);
- (iii) Acabamento.

Onde no acabamento deve-se executar os seguintes serviços:

- Aplicação de uma camada de resina poliéster de baixa viscosidade (aproximadamente 300 cP) e tempo de gel longo (aproximadamente 30 minutos) ;
- Aplicação de massa plástica sobre a superfície do modelo;
- Lixamento, até a obtenção de uma superfície lisa e regular;
- Aplicação de uma camada de gel coat de aproximadamente 0,5 milímetros;
- Lixamento com lixas finas
- Marcação dos pontos de fixação, furações, etc., que serão reproduzidos no molde.

Toda a madeira exposta deverá receber um verniz selador para evitar a absorção de umidade. Caso o projeto especifique a inclusão de superfícies texturizadas, como na reprodução de padrão madeira, couro, ou outros, as matrizes para essas reproduções deverão ser coladas ao modelo logo após o lixamento da massa plástica. Essas matrizes deverão ser protegidas durante a aplicação do “gel coat”.

As operações de aplicação de massa plástica e de gel coat no modelo aumentam suas dimensões de 1 a 2 milímetros em relação às dimensões originais da madeira. Esse fato deve ser levado em consideração ao se construir a estrutura em madeira.

- **Conservação:** É necessário observar também a conservação da estabilidade dimensional do modelo. Geralmente, os modelos são construídos e guardados num canto qualquer, sendo usados apenas por ocasião da construção de um novo molde. Os modelos em madeira devem ser guardados em locais de baixa umidade relativa do ar, e nunca devem ficar expostos ao sol, para que não se deformem.

Em alguns casos, talvez seja conveniente construir o modelo também em plástico reforçado com fibras de vidro, que, ao



contrário da madeira, não absorve umidade e apresenta excelente estabilidade dimensional.

### 3.5.2. Construção dos moldes

Sobre a superfície do modelo, confeccionado com a observância de todos os detalhes desejados na peça final, será construído o molde em PRFV. A seguir, as fases da construção.

- **Aplicação de desmoldante:** Antes de se iniciar a laminação do molde, deve-se cobrir a superfície do modelo com desmoldantes adequados. A experiência tem aconselhado a aplicação de três demãos de cera apropriada para desmoldagem de poliéster (existem muitas no mercado). Sobre a última demão de cera (após a evaporação de seus solventes), aplica-se álcool polivinílico, que forma um filme que facilita significativamente a desmoldagem posterior entre molde e modelo. Infelizmente, o filme de álcool polivinílico não é liso e brilhante e, conseqüentemente, não permite a obtenção de um molde com superfície lisa e brilhante. Para contornar esse inconveniente, aplica-se mais uma ou duas camadas de cera líquida (com alto teor de solventes) sobre o filme de álcool polivinílico, efetuando-se o polimento sobre cada camada.
- **“Gel coat”:** Para a construção de moldes, deverão ser usados apenas gel coats à base de resina isoftálica com alto peso molecular, que possuem boa resistência ao calor, boa dureza superficial e são relativamente resilientes (flexíveis). Os “gel coats” isoftálicos com neopentilglicol (NPG), por apresentarem mínima absorção de umidade, conservam o brilho superficial por

longo tempo. Se houver a possibilidade de os modelos permanecerem expostos a ambientes úmidos durante longos períodos, aconselha-se o uso de “gel coat” isoftálico com NPG. O “gel coat” deverá ser aplicado com pistola em duas demãos, ou camadas, uma com 0,4 milímetro e a outra com 0,2 milímetro de espessura. A espessura final do “gel coat” deverá ser aproximadamente 0,6 milímetro.

- **Laminação:** Sobre o gel coat devem-se aplicar várias camadas de resina poliéster reforçada com fibras de vidro. É conveniente que para essa finalidade seja usada uma resina semelhante àquela que serviu de base para o “gel coat”, isto é, resina isoftálica com bom equilíbrio entre as características até certo ponto conflitantes, tais como: alta resistência ao calor; alta resiliência; baixa viscosidade; baixa reatividade.

A laminação deverá obedecer à seguinte sequência:

- (i) Primeiramente deverá ser laminada uma camada de manta fina ( 225 g/m<sup>2</sup>) com alta relação vidro-resina. É importante que o teor de vidro seja mantido o mais alto possível, objetivando reduzir a retração da resina e conseqüentemente evitar o surgimento de ondulações e transferência de “desenho de fibras” sobre a superfície do molde;
- (ii) A camada seguinte (também manta de 225 g/m<sup>2</sup>) somente deverá ser laminada após a cura da anterior. Todas as bolhas de ar deverão se abertas e preenchidas com massa plástica antes do início da laminação;
- (iii) O mesmo procedimento deverá ser adotado para todas as outras camadas subseqüentes, até se atingir a espessura final desejada para o molde (geralmente 6 milímetros).

Apenas as duas primeiras camadas de manta deverão ter gramagem de 225g/m<sup>2</sup>. As demais poderão ser construídas com mantas de 450g/m<sup>2</sup> ou até mesmo roving picado.

- **Reforço do molde:** A estruturação do molde através de nervuras possibilita a obtenção de moldes leves, rígidos e de baixo custo. O espaçamento, largura e altura das nervuras dependerão das dimensões e formato do molde, por exemplo:
  - (i) Moldes de grandes dimensões requerem nervuras maiores;
  - (ii) Moldes de curvaturas pouco acentuadas requerem pequeno espaçamento entre nervuras.

Ao reforçar o molde com nervuras, devem-se observar os seguintes aspectos :

- (i) A nervuração somente deverá ser iniciada após a cura completa do laminado do molde; caso contrário, poderá ocorrer marcação do “desenho de nervura” do “gel coat”;
- (ii) Antes da nervuração, o laminado do molde deverá ter espessura mínima de 6 milímetros;
- (iii) A resina usada para a laminação da nervura deverá ser catalisada para cura lenta. Não deverá ser laminada nenhuma camada de reforço sobre a nervura antes que a camada anterior tenha dissipado sua exotermia. Esse procedimento visa proteger o gel coat contra o surgimento do “relevo das nervuras”;
- (iv) Caso sejam usados núcleos rígidos para as nervuras (madeira, aço, etc) é conveniente que estes sejam forrados pela interposição, entre o núcleo e o laminado do molde, de uma tira de espuma de poliuretano, que absorve o esforço de

marcação do núcleo rígido, impedindo sua transferência ao “gel coat” do molde;

- (v) É conveniente que o perímetro do molde seja construído com uma tira metálica inserida dentro do laminado. Essa tira metálica servirá de guia para as facas usadas na rebarbação das peças moldadas.

Em seguida, faz-se a desmoldagem (entre o molde e o modelo de madeira), a remoção das rebarbas, e inicia-se o acabamento da superfície do molde.

- **Acabamento:** Lavar a superfície do molde com água corrente para a remoção de resíduos do filme de álcool polivinílico. (Caso o álcool polivinílico tenha sido recoberto com cera, este procedimento poderá ser dispensado). Em seguida, a superfície do molde deverá ser lixada com lixa d’água números 400 e 600. Após o lixamento, a superfície deverá passar por um polimento com pasta de polir e politriz com boina de lã de carneiro. O excesso de pasta poderá ser removido com estopa embebida em álcool etílico.
- **Amaciamento:** Normalmente, é muito mais difícil a desmoldagem de uma peça qualquer de molde novo do que de um molde já usado, ou amaciado. Isso se deve às microirregularidades existentes na superfície do molde novo, que tendem a se reduzir com o uso contínuo, quer por desgaste, quer por recobrimento através do acúmulo de desmoldante. As primeiras desmoldagens, que amaciam o molde, deverão sempre ser feitas com o emprego de cera juntamente com álcool polivinílico como desmoldante. Após a produção de 5 peças dispensa-se a aplicação de álcool

polivinílico no molde. Recomenda-se encerar o molde após cada moldagem até se atingir produção de 15 peças. A partir desse estágio, o enceramento somente deverá ser feito após a desmoldagem de 5,10 ou 15 peças, dependendo da peça, qualidade da cera, etc.

- **Desmoldagem:** Geralmente, a separação entre a peça moldada e o molde é muito simples e não oferece grandes dificuldades. Algumas peças de contornos mais complexos e pequenos ângulos de desmoldagem podem apresentar algumas dificuldades, facilmente evitáveis. A seguir, algumas recomendações úteis para desmoldagens difíceis:
  - (i) Furar o molde e introduzir bicos para injeção de água ou ar comprimido entre a peça e o molde;
  - (ii) Inserir cunhas de madeira entre o molde e a peça moldada. Ao se recorrer a esse artifício, deve-se tomar cuidado especial para não arranhar o gel coat do molde ou da peça, bem como não trincar a peça moldada;
  - (iii) A desmoldagem pode ser facilitada martelando-se a peça e ou o molde com martelo de borracha;
  - (iv) Reaplicar o desmoldante em partes que tenham tido contato com panos contaminados com estireno ou acetona, mão do operador, etc.;
  - (v) Laminar cordas ou outros pontos de agarre sobre a superfície da peça, que servirão para retirá-la do molde e que poderão ser facilmente eliminados após a desmoldagem.

### 3.5.3. Durabilidade do molde

Em geral, os moldes de resina poliéster reforçada com fibras de vidro usados para moldagem de peças pelos chamados “processos de moldagem por contato” apresentam uma vida média de quinhentas peças, dependendo da peça moldada, das condições de moldagem, qualidade do desmoldante, frequência de limpeza da superfície do molde, etc. Caso seja necessário prolongar a vida do molde, é possível restaurar sua parte essencial (o “gel coat”) removendo-se totalmente a camada danificada e substituindo-a por nova camada. Essa restauração propicia economias substanciais, principalmente em moldes grandes em que apenas pequenas áreas requerem reparos, com um pequeno custo de material.

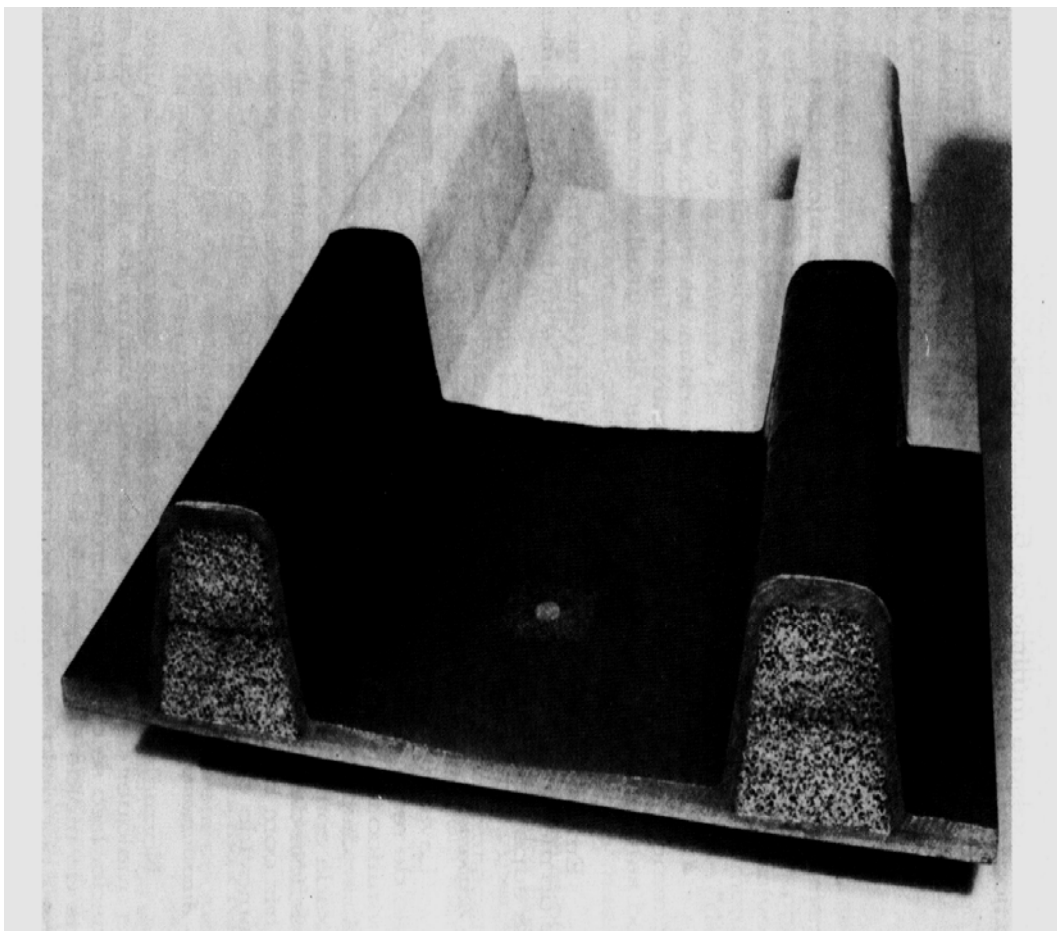


Figura 23 – Nervuras de reforço para laminados empregando miolo de espuma. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 54).

### 3.6. Processos de Fabricação por Molde Aberto ou Moldagem por Contato Manual.

#### 3.6.1. Moldagem Manual (“hand lay-up”)

O processo conhecido como moldagem manual (“hand lay-up”) ou laminação manual consiste na colocação de mantas ou tecidos de fibras de vidro sobre a superfície do molde, seguida de aplicação de resina. As mantas ou tecidos de vidro são cortados no formato aproximado do contorno do molde e colocados manualmente sobre sua superfície. Em seguida inicia-se a impregnação dessas fibras com resina poliéster. Em geral, a resina poliéster é aplicada com o auxílio de rolos ou pincéis, sendo que em alguns casos também são empregadas pistolas. A compactação das fibras de vidro e a eliminação das bolhas de ar são feitas com a aplicação de roletes ou pincéis. O processo obedece à seguinte seqüência de operações descritas a seguir:

- (i) **Aplicação de agentes desmoldantes:** A escolha do agente desmoldante depende do tamanho e complexidade da peça e do acabamento da superfície do molde. Pequenas séries de peças de fórmula simples necessitam de apenas um filme de álcool polivinílico (PVAL) aplicado em fórmula de solução por meio de um pano, esponja ou pulverização sobre a superfície encerada. Moldes de formas mais complexas ou de grandes superfícies exigem maior atenção. Para cada moldagem, o molde deve ser encerado inteiramente e recoberto com um agente desmoldante. Os desmoldantes à base de ceras modificadas com silicone podem interferir seriamente na desmoldagem e devem ser testados antes do uso. O PVAL é encontrado em forma de solução em água ou solvente, ou

como concentrado para diluição. É apresentado tanto em cores como incolor. Além disso, há no mercado diversos tipos de emulsão de cera. Informações complementares podem ser obtidas no nosso Departamento de Assessoria Técnica. Após a aplicação do agente desmoldante em toda a superfície do molde, deve-se esperar que ela seque completamente. Devido à sua baixa viscosidade, a solução de PVAL irá escorrer pelas superfícies verticais e acumular-se nos cantos, o que pode demandar um tempo mais longo de secagem. Caso isso não seja observado e se iniciar o processo de moldagem antes de o molde se encontrar totalmente seco, a peça certamente irá aderir ao molde, danificando-o irremediavelmente.

- (ii) **Aplicação de “gel coats”:** A durabilidade de ma peça moldada em PRFV depende principalmente da qualidade de sua superfície exposta. Deve-se adotar todas as precauções para se evitar que as fibras de vidro se aproximem demais dessa superfície, onde poderão ser atacadas pela umidade. A proteção mais adequada é o “gel coat”, que de forma geral, é a parte mais importante de um laminado. É também a sua parte mais vulnerável. Assim, portanto, deve-se dar uma atenção especial à formulação e aplicação de “gel coats”. Nunca será demais enfatizar a necessidade de uma boa mistura, especialmente, quando se utilizam pigmentos e cargas. A mistura inadequada pode provocar pequenos pontos de concentração de material estranhos ou estrias, que irão prejudicar a aparência da peça moldada e poderão diminuir também as suas propriedades físicas. Sempre que possível, a mistura deverá ser feita em agitador mecânico. Os misturadores mais adequados são aqueles que, durante o



processo, não criam vórtex, uma vez que não misturam bolhas de ar ao líquido em agitação. O “gel coat” pode ser aplicado com pincel ou através de pulverização, requer o uso de equipamento com injeção de catalisador. Como alternativa, pode-se utilizar as resinas “gel coat” padrão, reduzindo-se as viscosidades pela adição de 5-10 por cento de estireno. A espessura deve ser mantida em 0,4-0,5 milímetro. De forma geral, com a aplicação de 450-600 g/m<sup>2</sup> de “gel coat” obtém-se a espessura necessária. Caso a camada de “gel coat” fique abaixo da espessura exigida, poderá não atingir a cura completa e deixar transparecer o relevo das fibras de vidro do reforço. Caso a camada de “gel coat” exceda a espessura ideal, ela poderá se trincar ou fissurar, e se tornará mais sensível ao impacto aplicado ao lado oposto do laminado. Se a camada de “gel coat” apresentar espessura não-uniforme, a cura se dará em velocidades diferentes, provocando tensão sobre a resina; isso pode resultar em fissuras e, no caso de resinas “gel coat” pigmentadas, em manchas, prejudicando a aparência final da peça. Em uma superfície vertical, uma resina de poliéster normal irá escorrer para a parte mais baixa do molde. A fim de assegurar a cobertura necessária, deve-se utilizar um aditivo tixotrópico ou uma resina “gel coat” especialmente formulada para esses casos. Os gases de estireno evaporado podem se acumular em moldes profundos, inibindo a cura do “gel coat”. Deve-se providenciar a remoção desses gases a fim de garantir a cura completa. Quando necessário, o “gel coat” poderá ser sustentado na parte posterior por um tecido de fibras de vidro ou pela incorporação de um véu de superfície de fibras de vidro ou sintéticas, como fibras de poliéster ou acrílicas. Para algumas aplicações, é possível

reforçar o “gel coat” com um véu de superfície de fibras sintéticas ou de vidro, o que proporciona uma superfície rica em resina, além de auxiliar a equilibrar o laminado. A resina é aplicada sobre ao gente desmoldante no molde, ao passo que o véu de superfície é aplicado e pressionado diretamente na resina. Em seguida, realiza-se a moldagem (“lay-up”) principal. Apesar de o acabamento superficial não ser tão perfeito quanto o produzido pelo “gel coat” não-reforçado, ele é, entretanto, adequado para diversas aplicações.

- (iii) **Laminação (lay-up):** O próximo passo no processo de moldagem por contato é a laminação principal dos reforços de fibra de vidro com resina poliéster. A aplicação pode ser iniciada assim que a camada superficial (“gel coat”) estiver suficientemente endurecida para resistir ao ataque do solvente da resina. A maneira mais simples de se verificar isso consiste em tocar o gel coat com um dedo limpo. Se o “gel coat” estiver ligeiramente pegajoso, mas o dedo permanecer perfeitamente limpo, este será o ponto exato para a laminação, que deverá ser iniciada dentro de 5 horas. A manta de fibras de vidro picadas é o reforço mais comumente empregado para a moldagem por contato. Entretanto, os tecidos pesados (tecidos de “rovings”) também podem ser usados. Os reforços devem ser preparados antes do início da laminação. Podem ser cortados ou ajustados com tesoura ou faca afiada, se necessário. O uso de gabaritos precisos poupa tempo e evita desperdício de material. A quantidade de resina necessária pode ser calculada pesando-se as fibras de vidro que serão usadas para a moldagem. Para mantas de fibras de vidro picadas, a relação resina/fibra de vidro deve ser de 2:1 a 2½:1 em peso ( 29-33 por cento de fibra de vidro

por peso ). Aplica-se o mais uniformemente possível uma única e farta camada de resina sobre o “gel coat”, e a primeira camada de fibras de vidro deve ser firmemente colocada no lugar e comprimida com um pincel ou rolete. A resina irá impregnar a manta de fibra de vidro rapidamente e dissolver o aglomerado que une essas fibras. A manta perde então sua unidade, e as fibras se distribuem livremente, amoldando-se aos contornos do molde. A menos que seja realmente necessário, nenhuma resina adicional deverá ser aplicada sobre as fibras de vidro até que estas estejam perfeitamente impregnadas, uma vez que isso poderia causar o aparecimento de bolhas de ar entre o laminado e o “gel coat”. Ao se utilizar pincel para a impregnação, deve-se trabalhar no sistema de pincel batido (pontilhado) e não de forma normal. Pincelar em várias direções e sentidos pode desalojar as fibras e distribuí-las de forma desigual. Recomenda-se pincéis com cerdas claras para laminados de cores claras. A consolidação do laminado é obtida mais rapidamente com a utilização de rolete em vez de pincel. Existem diversos tipos de roletes especialmente desenvolvidos para a moldagem de contato manual. Os de pás e os de arruelas têm-se revelado os mais apropriados para a remoção das bolhas de ar que se formam na resina. O reforço em cantos internos agudos é mais bem consolidado com um rolete de uma só arruela ou com pincel. É de fundamental importância certificar-se de que a primeira camada de fibras de vidro está perfeitamente impregnada, caso contrário o ar deixado próximo à camada superficial poderá formar bolhas se o laminado ficar exposto ao calor durante a sua vida útil. Pedacos adjacentes de manta de fibras picadas podem ser unidos a topo ou por sobreposição. As juntas a topo devem ser feitas

cuidadosamente, de forma que não haja fendas entre elas. As juntas por sobreposição podem ser invisíveis, e, a não ser que seja necessário para o enrijecimento da estrutura, não deverão ser sobrepostas em mais de 25 milímetros. A fim de tornar a junta menos visível, deve-se, ao impregnar as fibras de vidro, espalhar o excesso de manta para cada lado ao se girar o pincel em pequenos círculos, acompanhando a linha de junta. Camadas subsequentes de resina e fibras de vidro são aplicadas até se atingir a espessura desejada. Cada camada deve ser trabalhada até que esteja totalmente impregnada. Quando se desejar um laminado espesso, não se deve aplicar mais de quatro camadas de resina e fibras de vidro antes que a resina atinja o ponto de gelatinização. Essa precaução evita a exotermia, que poderá resultar tanto em fissuração da superfície, como numa desmoldagem antecipada ou descoloração da resina pigmentada. Por outro lado, também é importante evitar intervalos prolongados entre as aplicações das camadas, a menos que se use uma resina de tempo em aberto longo. Para se obter um acabamento liso no lado oposto da peça moldada, deve-se usar um tecido fino de fibras de vidro como camada final de reforço. Isso dará um acabamento mais esmerado do que aquele obtido com a manta de fibras de vidro picadas e uma aparência atraente quando pintado. Depois que a resina estiver gelatinizada, permanecerá em estado de elasticidade por um tempo limitado (tempo em aberto). Nesse estágio, o laminado poderá ser rapidamente rebarbado, devendo-se introduzir no molde, para essa finalidade, margens de rebarbação adequadas. Geralmente, despendem-se apenas cerca de 20 minutos nesse tipo de operação, que é discutida mais adiante. Os laminados podem ser enrijecidos por nervuras, que serão

laminadas do lado oposto. O princípio é o mesmo daquele já descrito para a construção do molde. (ver figura 20). O estágio em que as nervuras devem ser colocadas é determinado pela forma, pela espessura e pelo uso final da peça. Como regra geral, aconselha-se a colocar as nervuras imediatamente antes da última camada de manta de vidro. As nervuras devem ser cobertas com uma manta de vidro e perfeitamente impregnadas com a resina de laminação. A camada final de manta poderá ser aplicada sobre toda a área da peça moldada a fim de dar uniformidade a toda a superfície. Às vezes são necessárias inserções de metal, especialmente no caso de peças moldadas que devam ser fixadas a uma outra peça, como dobradiças ou suportes. Essas inserções poderão ser ajustadas nos respectivos lugares durante a operação de laminação. Se algumas dessas fixações forem submetidas a cargas intensas, a espessura do reforço dessas inserções deverá ser trabalhada de forma a diminuir suavemente até alcançar a espessura padrão do resto da peça laminada, distribuindo-se a carga por uma área maior. Essas inserções deverão ser colocadas o mais próximo possível do meio do laminado. A área de contato entre a inserção e o laminado deverá ser o maior possível e de forma retangular. O desbastamento da superfície metálica com jato de areia também é muito útil. Pequenos orifícios feitos na inserção ajudam a melhorar a adesão ao laminado, e pode-se estabelecer uma ligação realmente forte passando-se mechas de fibras de vidro por esses furos. Dessa forma, obtém-se uma continuidade entre o laminado e a inserção.

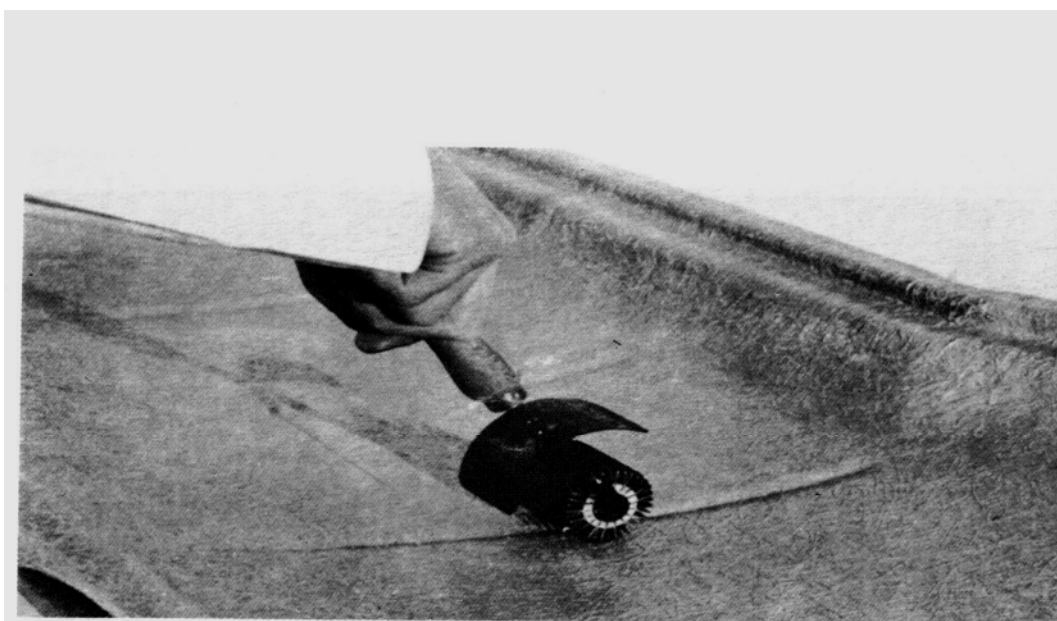
- (iv) **Desmoldagem:** A menos que a peça moldada seja complexa, o processo de desmoldagem deverá ser uma operação simples, desde que o agente desmoldante tenha sido aplicado corretamente. Soltam-se as bordas do laminado do molde; em seguida, um forte puxão é o suficiente para libertar toda a peça. Com peças de formatos mais complexos, o uso de ar comprimido entre os molde e a peça moldada ajudará a desmoldagem. Durante a construção do molde, já se podem providenciar os orifícios para ar comprimido. Cascos de barco ou formatos similares poderão ser desmoldados deixando-se escorrer água lentamente entre o molde e o laminado, desde que tenha sido utilizado um agente desmoldante solúvel em água. Para moldes grandes e espessos, algumas pancadas de martelo de borracha na parte externa ajudarão a desprender o molde. Se se usar um molde articulado, as peças separadas poderão ser forçadas para fora do molde nos flanges, usando-se parafusos ou macaco hidráulico. Os flanges devem ser altamente reforçados com a utilização de diversos parafusos, de modo a se aplicar uma força uniforme em toda a extensão dos flanges.



Aplicação de desmoldante à superfície do molde

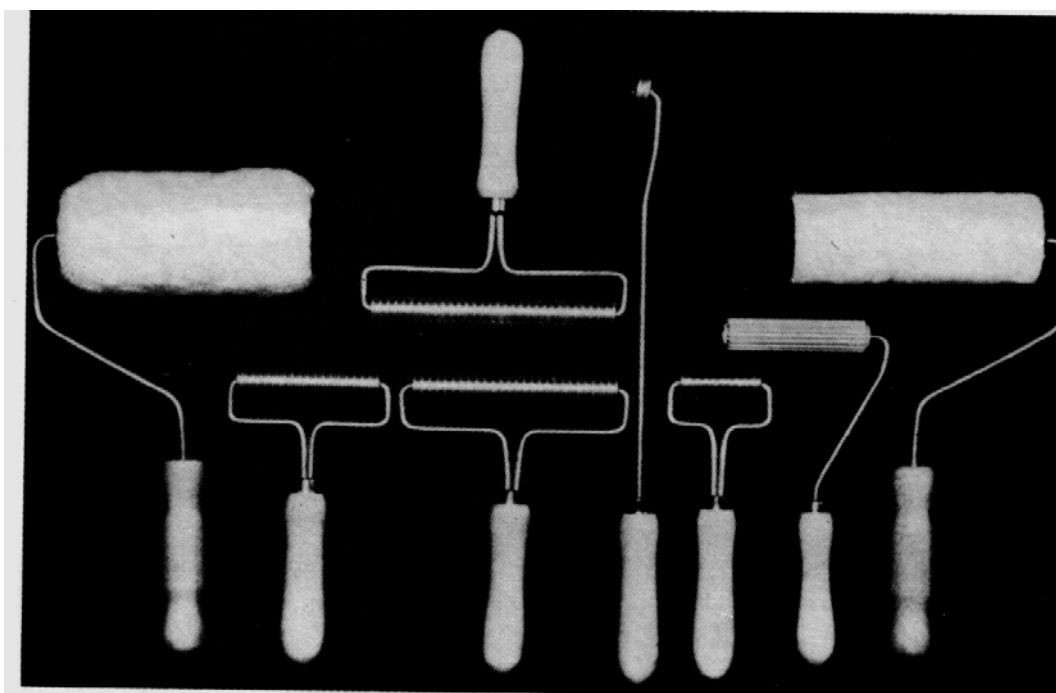


Figura 24 – Seqüência de operações do processo de laminação com PRFV por moldagem manual (“hand lay-up”). (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 66).



Consolidação da manta impregnada

Figura 25 – Operações do processo de laminação com PRFV por moldagem manual (“land lay-up”). (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 67).

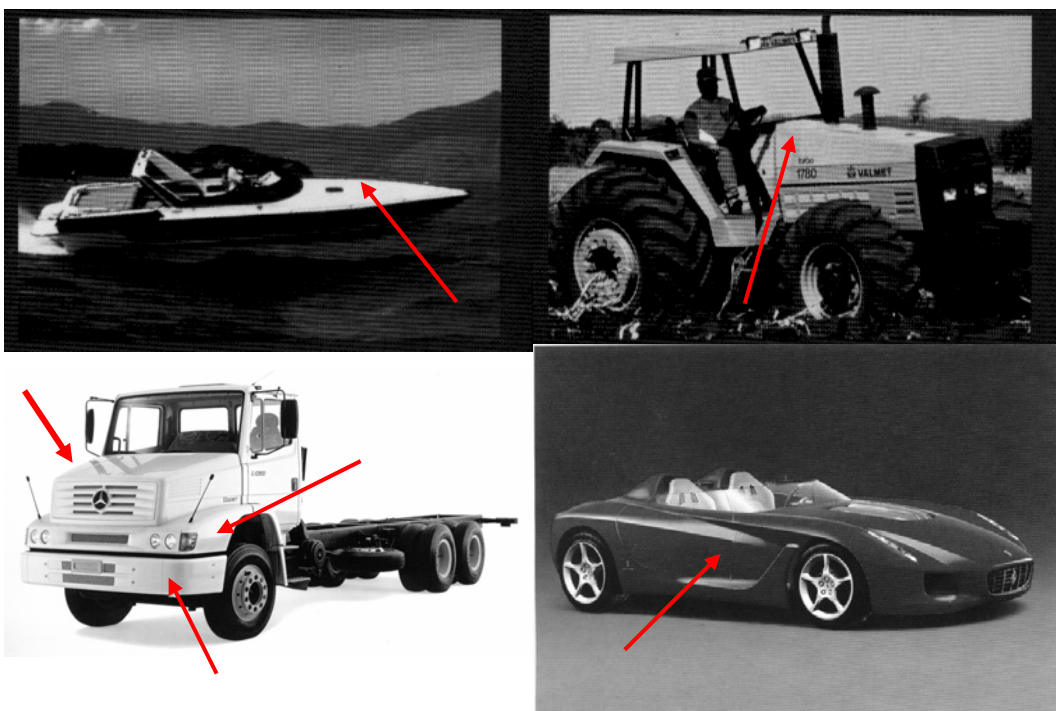


Roletes e pincéis para consolidação de laminados





Figura 26 – Ferramentas utilizadas no processo de moldagem por laminação manual. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 66).



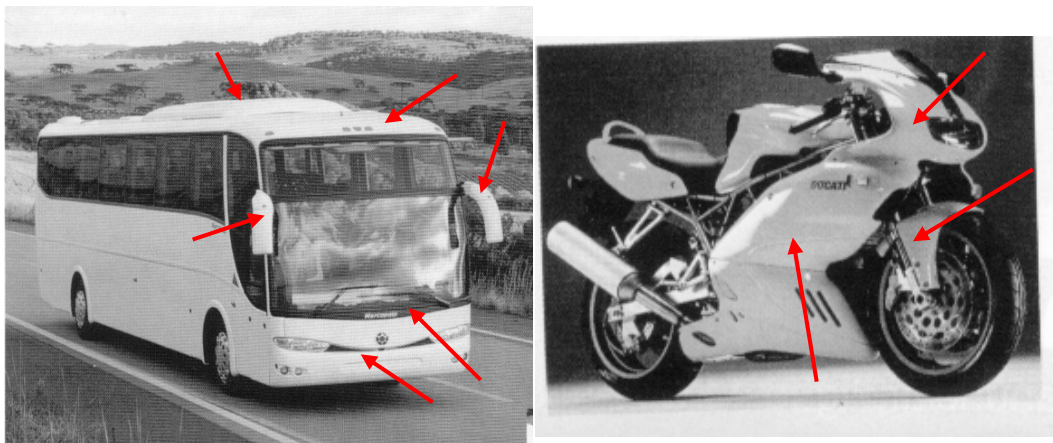


Figura 27 – Exemplos das diversas aplicações do PRFV nas indústrias naval, máquinas agrícolas e automobilística.

- (v) **Pós-cura:** Os laminados de PRFV podem levar algumas semanas para alcançar sua maturidade completa. Esse período pode ser reduzido em 3 horas pela pós-cura a 80°C ou por um período maior a uma temperatura mais baixa. Melhores resultados são obtidos ao se deixar a peça moldada estabilizar-se à temperatura ambiente por um dia ou dois antes da pós-cura. A fim de se prevenir deformações, recomenda-se manter as grandes peças moldadas num gabarito simples, enquanto elas amadurecem.
  
- (vi) **Rebarbação e acabamento:** A fim de ganhar tempo aconselha-se a realizar a rebarbação do laminado enquanto a resina ainda estiver “verde”. Isto poderá ser feito com uma faca própria, afiada, trabalhando-se em ângulos certos em relação ao laminado ou, alternativamente, com tesoura. Deve-se tomar muito cuidado para não se distorcer a peça moldada nesse estágio. A borda do molde poderá ser

utilizada como guia para a rebarbação e deve ser reforçada adequadamente para esse fim. Um laminado de PRFV completamente curado não é um material fácil de ser cortado ou usinado, uma vez que o fio de corte das ferramentas de aço se desgasta rapidamente. Para a operação de corte recomendam-se, sempre que possível, discos ou rebolos abrasivos. Para qualquer outra operação de usinagem, recomenda-se o uso de ferramentas equipadas com pontas de vídia. As ferramentas manuais portáteis são freqüentemente usadas para laminados difíceis e complicados. As serras elétricas portáteis do tipo tico-tico provaram ser muito úteis para o corte de rebarbas e aberturas de fendas, especialmente se forem equipadas com lâminas de aço rápido. Orifícios de até cerca de 10 milímetros podem ser perfurados com brocas de pontas de vídia. Acima dessa medida, recomenda-se o uso de cortadores em vez de brocas. As rachaduras podem ser evitadas usando-se a menor pressão possível, começando-se a operação pela face acabada, isto é, pela face do gel coat. Para prevenir o aparecimento de trincas e danos no contorno do furo, durante a perfuração, os laminado deverão ser apoiados sobre madeira. É essencial que a resina esteja completamente curada antes de se iniciar qualquer acabamento final. Até mesmo quando se utiliza um gel coat e a subsequente pintura final não for necessária, o agente desmoldante deverá ser completamente eliminado por lavagem. Em seguida, a peça poderá ser polida com qualquer um dos produtos normais de polimento. Se a peça moldada for pintada, serão necessários cuidados especiais para se eliminar todo agente desmoldante. Os agentes desmoldantes à base de álcool polivinílico podem ser facilmente lavados com detergentes e água quente

abundante. Poder-se-á encontrar dificuldade se a cera ou o silicone usados como desmoldante estiverem em contato direto com a peça moldada. Neste caso haverá necessidade de se utilizar lixa d'água ou outras lixas finas para a remoção efetiva do agente desmoldante. Ao se projetar peças moldadas com acabamento de pintura, deve-se evitar a utilização de ceras e silicones. Diversos fabricantes de tintas produzem primers especiais com uma aderência muito boa a superfície de plásticos reforçados. Recomenda-se o emprego desses produtos para acabamentos realmente resistentes. Uma vez limpa e seca a superfície, pode-se aplicar primers sem lixamento prévio. Ao se aplicarem primers comuns, recomenda-se lixar a superfície com uma lixa fina a fim de se obter uma melhor aderência. A maioria das tintas pode ser usada em laminados de PRFV. Para acabamento em estufa, a peça moldada deverá ser pós-curada a 80° C antes da aplicação do acabamento. Em geral, os acabamentos de secagem ao ar livre podem ser aplicados sem pós-cura. Muitos acabamentos de nitrocelulose são também adequados, mas é importante certificar-se de que a resina esteja perfeitamente curada, a fim de se evitarem os ataques pelos solventes às resinas ainda não curadas.

### 3.6.2. Moldagem por pulverização ou a pistola (“spray-up”)

Uma variação do processo descrito anteriormente é o processo de pulverização (“spray-up”). A aplicação simultânea da resina poliéster e fibras de vidro picadas através de equipamento de pulverização tem sido amplamente utilizada nos últimos anos. Existem diversos sistemas de pulverização no mercado que obedecem, basicamente, ao mesmo

sistema de funcionamento, ou seja: picar o fio de vidro no comprimento especificado, geralmente de 20 a 50 milímetros, adicionar a resina e o catalisador numa pistola, e pulverizar o molde com uma mistura de fibra de vidro picada e resina catalisada. Os dois principais tipos de equipamento de pulverização são os de tambores geminados e o de injeção de catalisador. No primeiro, usa-se uma pistola com bocal pulverizador duplo, e para evitar o endurecimento da resina na pistola, esta é dividida em duas partes, uma é catalisada e a outra, acelerada. Geralmente, as duas partes da resina são alimentadas na pistola a partir de reservatórios pressurizados, ou, então, alimentadas diretamente do tambor de resina por meio de bombas hidráulicas. Os dois jatos de resina convergem próximo à superfície do molde simultaneamente com um jato de fibra de vidro injetado por um picador de fios. No outro sistema, o catalisador líquido é cuidadosamente dosado na resina pré-acelerada quando passa pela pistola de um único bico e misturado, tanto dentro da pistola pulverizadora como fora dela, por meio de um bico especialmente projetado para esse fim. O reforço de fibra de vidro picada é colocado sobre a superfície do molde como no processo anterior. Alguns tipos de aplicador são usados tanto para a aplicação apenas de resina quanto para a impregnação de manta ou tecidos de fibra de vidro, ou para a pulverização de “gel coat”.

Embora muito do trabalho manual seja eliminado com o uso do processo de pulverização, o roletamento completo ainda é necessário, não apenas para consolidar a mistura fibra de vidro com a resina, como também para certificar-se de que a porção catalisada e a acelerada sejam misturadas adequadamente.

Nesse processo, exigem-se uma habilidade e uma prática consideráveis para controlar a espessura do laminado, mantendo uma proporção constante de fibra de vidro e resina. A perda de estireno por evaporação durante a pulverização é reduzida pelo borrifamento de resina, isto é, pela deposição de resina em pingos ou gotas.

A pulverização de “gel coat” pode ser feita tanto pelo sistema de injeção de catalisador como pelo sistema de tambor. Este último é geralmente usado para a produção de pequenas séries ou de séries que necessitem de frequentes trocas de cores. O equipamento de um tambor tem um recipiente que geralmente consiste numa pistola comum pulverizadora de tinta, equipada com um bico adequado. Dessa forma, a produção é limitada pela vida útil da resina. É muito importante lavar o equipamento com acetona imediatamente após o uso a fim de evitar sua solidificação na pistola ou no recipiente. A pulverização reduz o custo de mão-de-obra, e quando o volume de produção é suficientemente grande para se manter o equipamento em uso constante, as técnicas de pulverização são plenamente justificadas. Essas técnicas, porém, não resolvem todos os problemas da moldagem por contato manual. Apesar disso, a pulverização é atualmente usada em larga escala em todo o mundo, e nas mãos de um operador hábil e experiente, a maioria dos equipamentos de pulverização irá aumentar significativamente a produção, em comparação com a aplicação por pincel.

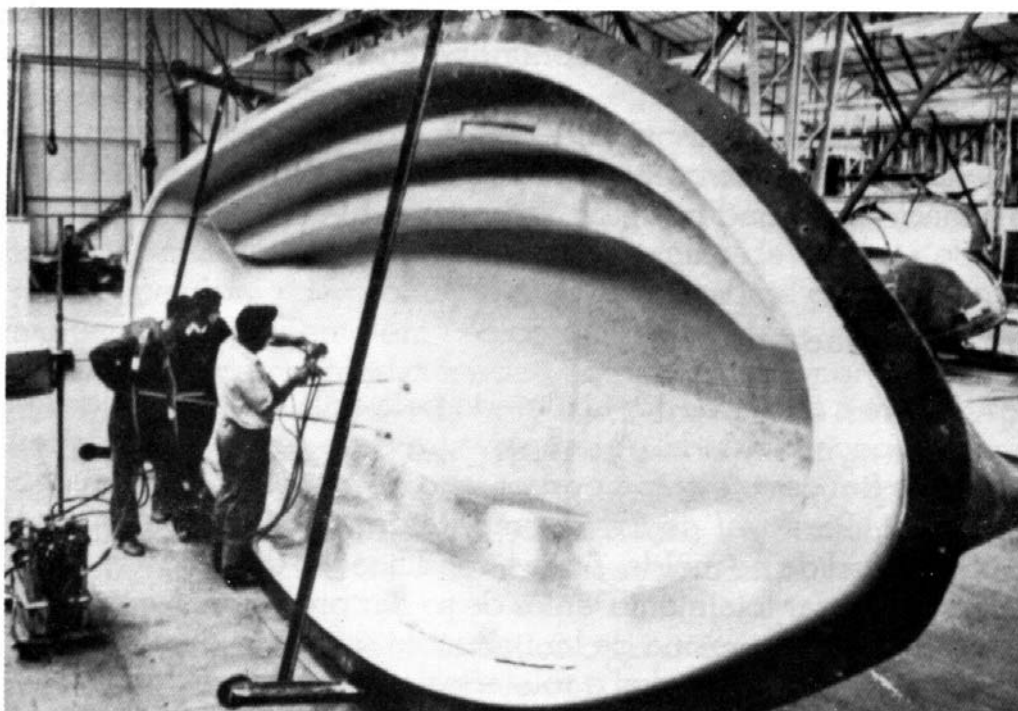
Ao se utilizar um pulverizador com duas cabeças pulverizadoras, a resina deverá ser dividida em duas partes iguais: uma para cada tanque de pressão. O catalisador, calculado para a quantidade total de resina, deve ser disperso numa das metades desta, ou seja, em um dos tanques, e o acelerador, também calculado sobre o total, deve ser disperso no outro tanque. Na realidade, a resina contida em cada um dos tanques terá recebido o dobro da quantidade de agente de cura e como consequência terá uma redução na vida útil.

Em equipamento de injeção de catalisador, uma resina pré-acelerada é bombeada para a pistola, e um catalisador líquido adequado, vindo de um recipiente separado, é adicionado à resina da pistola em dosagem controlada automaticamente durante o fluxo. Mas deve-se ter o cuidado para que ao se usar dois tanques pressurizados, observar os

tipos de catalisador empregados e as respectivas pressões permitidas, e consultar os fornecedores dos catalisadores.

Um método alternativo para laminação que vem sendo usado de forma crescente é o equipamento “aplicador/saturador”, projetado para saturar com resina ativada reforços de fibra de vidro, como mantas de fibras de vidro, tecidos ou tecidos de “rovings”. Comparando com o sistema de aplicação por pulverização, esse método facilita o controle preciso de quantidade de reforço aplicado. Outra vantagem importante é a menor liberação de estireno na atmosfera durante o trabalho.

Atualmente seu uso está restrito à moldagem de peças relativamente grandes, como painéis de construção civil, cascos de barco de grande envergadura, etc.



Moldagem por pulverização de um bote salva-vidas utilizando resina CRYSTIC



Figura 28 – Moldagem por pulverização (“spray-up”). (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 72).

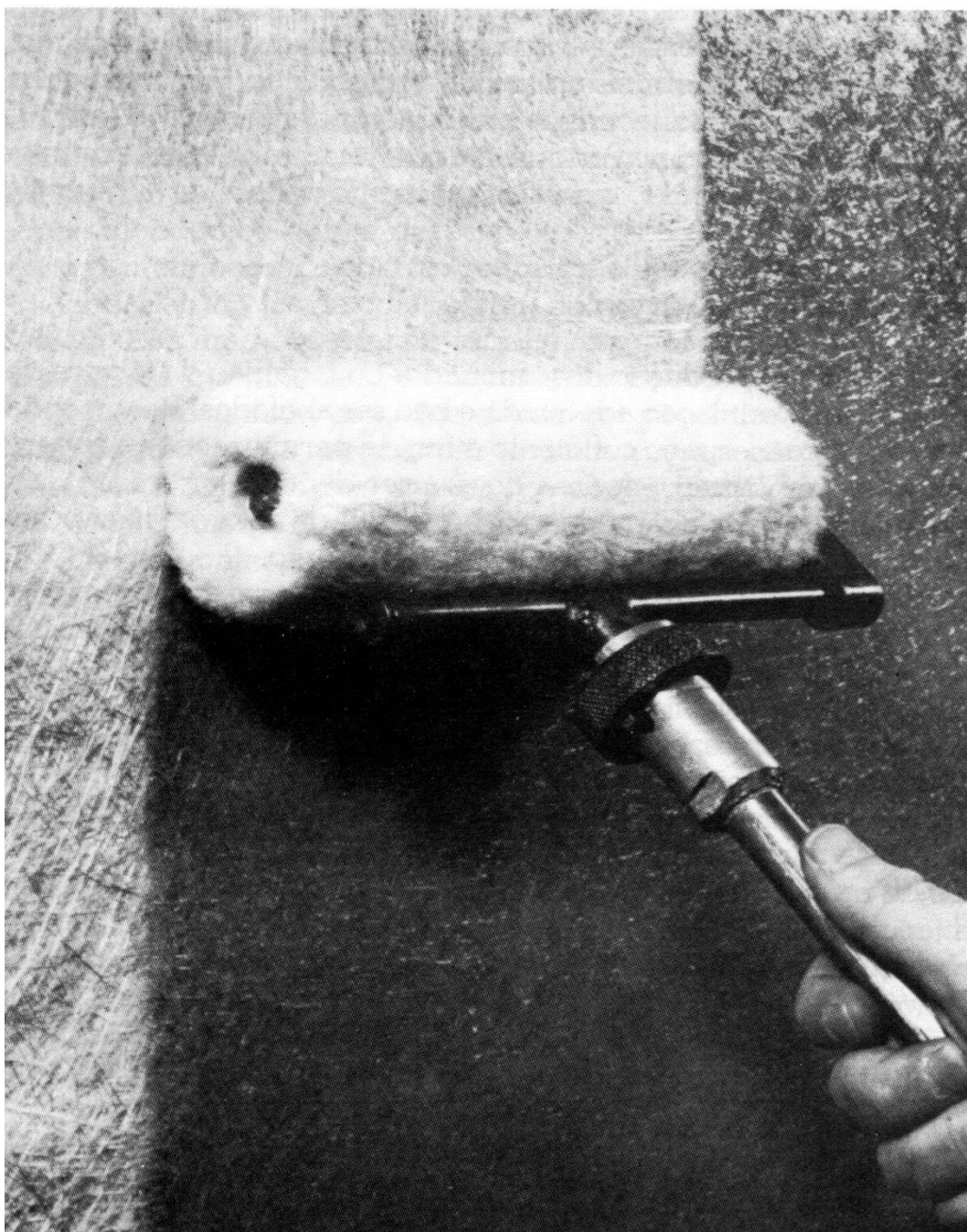




Figura 29 – Moldagem com o uso de aplicador / saturador. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 73).

#### 3.6.2.1. Cura auxiliada por calor

A cura a frio pode ser acelerada pela aplicação de calor moderado à peça moldada. A temperatura deve ser aumentada lentamente a fim de se evitar a evaporação do estireno ou a formação de bolhas. Para “gel coats”, a temperatura deve ser elevada até 30 a 35° C, medida no molde. Após a solidificação do “gel coat”, o molde deverá esfriar totalmente, antes de se dar prosseguimento à moldagem. Quando a resina de laminação e o reforço de fibra de vidro estiverem sido aplicados e roletados, a temperatura poderá ser aumentada novamente, mas não deverá exceder os 35° C, antes da gelatinização. Após a solidificação, a temperatura poderá se aumentada gradativamente até cerca de 60° C e mantida por aproximadamente 1 hora. Antes da remoção do molde, a peça moldada deverá ser resfriada.

#### 3.6.2.2. Moldes aquecidos

Um método efetivo de se aquecer um molde consiste em colocar tiras de folhas finas de alumínio para aquecimento dentro do laminado

durante a confecção do molde. Essas folhas de alumínio são fornecidas em rolos de aproximadamente 30 centímetros de largura. As seções aquecedoras são repetidas a cada 17 centímetros. Cada unidade de aquecimento normalmente tem uma resistência de 5,7 $\Omega$ . As tiras podem ser laminadas no molde por moldagem de contato manual (“hand lay-up”). A resina ser usada na construção dos moldes, aplicando-se o gel coat isoftálico para a camada de superfície. Essa aplicação é particularmente útil para a moldagem em ambientes de baixas temperaturas ou para reduzir o tempo do ciclo de moldagem. Ligando-se o molde a uma fonte de eletricidade, pode-se obter uma temperatura de 60° C. Por outro lado, o alumínio para aquecimento poderá ser usado como parte integrante da peça moldada em si, para algumas aplicações específicas, tais como carrinhos de chá com aquecimento, onde temperaturas de 50 a 60° C poderão ser desejadas. Por questões de segurança, a voltagem da fonte alimentadora não deverá exceder 55 volts, ver figura 30 abaixo.

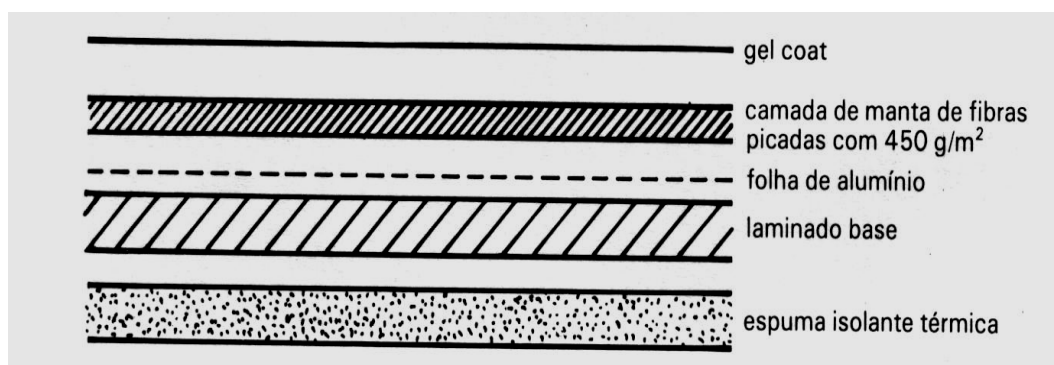


Figura 30 – Construção de laminados com aquecimento embutido.  
(Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 74).

### 3.7. Processos de Fabricação por Moldagem Mecânica

Existem diversos métodos de produção de peças moldadas em

PRFV por processos mecânicos. Esses processos diferem consideravelmente no tipo de equipamento usado e no produto final.

Apesar de a moldagem mecânica exigir, normalmente, um investimento de capital consideravelmente mais alto do que a moldagem por contato, ela apresenta diversas vantagens:

- (i) Controle mais rigoroso da qualidade;
- (ii) Precisão das tolerâncias dimensionais;
- (iii) Previsão mais exata e consistência das propriedades mecânicas do laminado;
- (iv) Redução drástica da emissão de estireno durante a moldagem.

#### 3.7.1. Pultrusão

O processo de moldagem mecânica por pultrusão consiste basicamente em fios impregnados de resina que são usados para confecção de hastes e bastões de considerável resistência, passando pelo processo de pultrusão, através de matrizes aquecidas. Essas hastes são usadas para a fabricação de varas de pesca, hastes de alavancas, cabos de raquetes e antenas de veículos. Foi patenteado um processo pelo qual perfis maiores e de seção complicada podem ser extrudados ou “pultrudados” (extrudados por tração). Neste processo de fabricação devem ser usadas resinas adequadas para este tipo de aplicação.

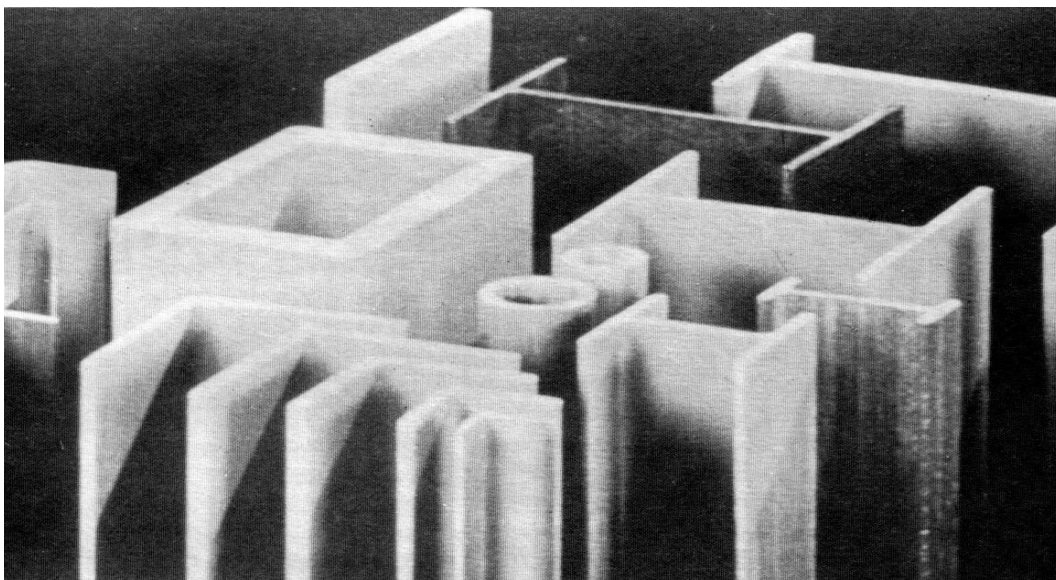


Figura 31 – Perfilados produzidos pelo processo de pultrusão (extrusão tracionada). (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 81).

### 3.7.2. “*Filament winding*”

O princípio no qual se baseia o processo de “*filament winding*” é bastante simples. Consiste no enrolamento de um filamento ou “*roving*” de fios contínuos num mandril rotativo, após a passagem do fio por um banho de resina, onde há um dispositivo que controla a absorção da resina. Algumas camadas de fios são colocadas no mandril até a espessura desejada, com o ângulo de enrolamento entre 25 a 85 graus, em relação ao eixo de rotação. O fio poderá, entretanto, ser bobinado longitudinalmente, circunferencialmente, helicoidalmente ou uma combinação dos três tipos. A resistência desejada determinará o ângulo de bobinamento. Apesar de os fios de vidro constituírem o material mais comumente empregado neste processo, outras formas de reforço também podem ser incorporadas, como fitas tecidas, mantas de fibras picadas, etc.

O mandril, embora seja normalmente feito de aço, poderá ser produzido a partir de uma variedade de materiais, e, inclusive, na fabricação de certos tipos de recipientes cilíndricos, utiliza-se um mandril flexível e pressurizado. No caso de laminados compostos que usam PVC, polipropileno e graus especiais de metal como material de revestimento, o mandril é substituído por revestimentos pré-fabricados.

O processo de “*filament winding*” é reconhecido como um dos mais econômicos para produção de peças cilíndricas. É usado principalmente para a produção de grandes tanques cilíndricos, tanques de processo,

chaminés, condutores e tubos capazes de resistir a condições críticas de desempenho. Algumas resinas foram especialmente desenvolvidas para esse processo.

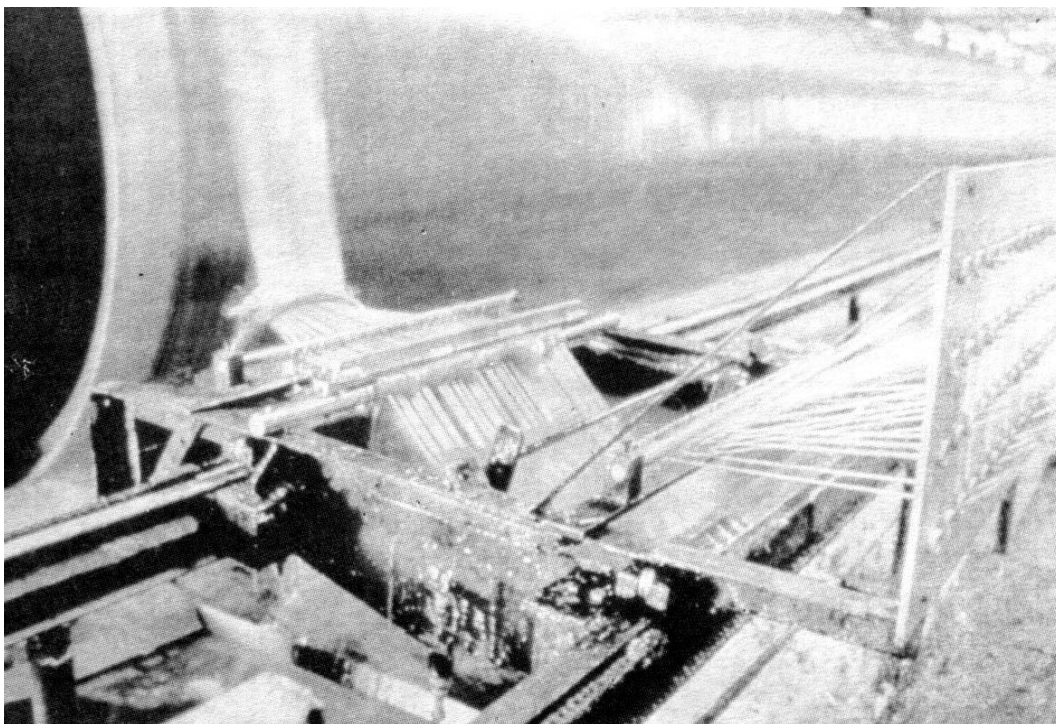


Figura 32 – Moldagem pelo processo de “*filament winding*”. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 82).

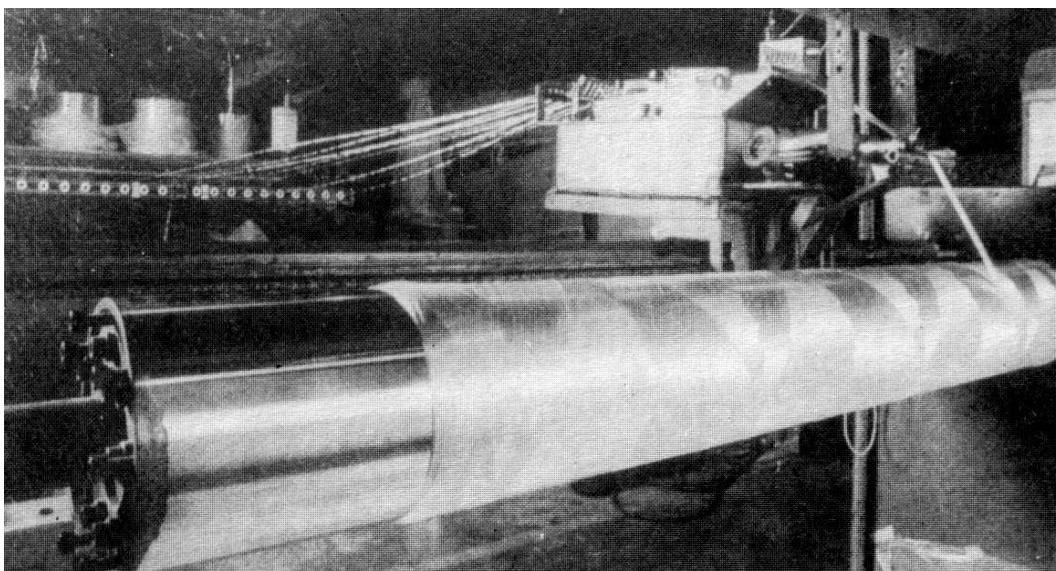


Figura 33 – Moldagem pelo processo de “*filament winding*”. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 83).

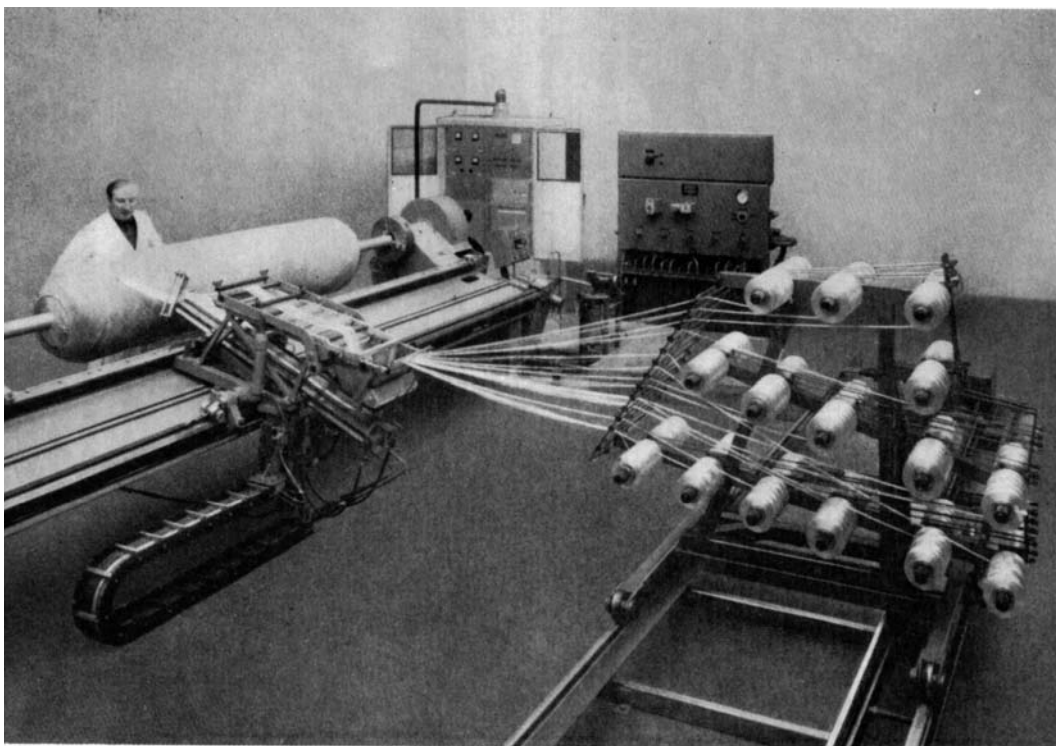


Figura 34 – Moldagem pelo processo de “*filament winding*”. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 84).

### 3.7.3. Moldagem centrífuga

Este processo é usado para a moldagem de tubos e cilindros de até 5 metros de diâmetro. Os fios picados ou manta de vidro picado são colocados dentro de um mandril oco e impregnados com resina poliéster catalisada. O mandril é girado e aquecido até a resina curar. A força centrífuga consolidará o laminado. A resina deve ser adequada para esse

processo. Folhas de poliéster não-reforçado para a produção de botões podem também ser produzidas por centrifugação. A folha é removida do mandril logo após a gelatinização e estendida na posição horizontal antes do início da produção dos botões.

#### 3.7.4. Moldes de abrir e fechar

A produção de componentes de PRFV com a utilização da técnica de moldes de abrir e fechar vem sendo praticada há muitos anos e de diversas maneiras. A técnica de moldagem com prensa quente é normalmente indicada como o processo mais econômico para altos volumes de produção de peças com tolerâncias rigorosas.

Com o tempo, outros critérios, como controle crítico de espessura, consistência de alta qualidade e desempenho, e necessidade de as duas superfícies serem lisas, colaboraram para que esse processo fosse mais usado. Juntamente com esse processo, que exige equipamento e ferramentas dispendiosos, a técnica de prensa fria tem se desenvolvido de forma a conseguir a exploração de muitas das vantagens da prensa quente sem o investimento de um grande capital. Esses processos diferem principalmente quanto aos efeitos da temperatura e pressão, o que impõe uma limitação econômica para a moldagem com prensa quente, mas oferece flexibilidade à técnica de prensa fria, cujas exigências de temperatura e pressão são mínimas.

Algumas das vantagens da moldagem com prensa quente ou fria podem ser alcançadas pela técnica de aspiração de resina a vácuo, usando-se moldes fechados ou, alternativamente, um só molde rígido e folhas flexíveis, que, sob pressão e ou aplicação de vácuo, conformam-se de acordo com os contornos do molde.

Em todos esses processos, com exceção do de prensa a quente, a resina poliéster e o reforço são introduzidos separadamente, sendo o reforço moldado ou pré-formado e colocado no molde, estando bem seco para receber a impregnação com resina poliéster. Apesar de esse

método de unir resina poliéster e reforço ser ainda usado algumas vezes no processo de prensa a quente, ele tem sido de uma forma geral substituído pelo uso de compostos pré-misturados (pre-mix). Esses compostos, que usam reforços de fibras tanto longas quanto curtas, permitem um controle maior das propriedades da peça final, além das vantagens econômicas oferecidas pela facilidade de manuseio.

### 3.7.5. Prensagem a quente

Esta técnica de moldagem é usada principalmente para grandes volumes de produção. O princípio desse processo é o seguinte: a fibra de vidro ou outro reforço e uma quantidade de resina de cura a quente catalisada são colocados num molde de metal polido, de abrir e fechar, aquecido, que é fechado sob pressão. A pressão utilizada é relativamente baixa, geralmente em torno de 50 bars. As temperaturas giram em torno de 100 a 170° C. Geralmente, a pressão e temperatura necessárias à moldagem da fibra de vidro pré-formada adicionada às resinas são bem inferiores às necessárias para compostos de poliéster reforçado do tipo resina SMC ("sheet moulding compound") e BMC ("bulk moulding compound").

O ciclo de produção depende da temperatura, complexidade e peso da peça moldada, podendo ser muito rápido, da ordem de 30 segundos, ou de 2 a 4 minutos, como é o mais comum. Para se atingir um desempenho econômico viável nesse processo, é necessário utilizar uma prensa hidráulica equipada com dispositivo para abrir e fechar automaticamente e com dispositivos de controle preciso das velocidades de fechamento.

Há no mercado de máquinas diversas prensas hidráulicas sofisticadas, projetadas para satisfazer necessidades específicas. Ao se selecionar uma prensa, deverá ser observada a área total do prato, à



distância entre os pratos, quando a prensa estiver totalmente aberta (luz = abertura total anteparos), e a demanda de pressão.

O projeto dos moldes metálicos de abrir e fechar é de importância fundamental, e a ideal seria usar moldes de aço de alta qualidade com tratamento térmica nas arestas e com acabamento cromado ou espelhado. É comum o uso de aço de qualidade inferior ou mesmo metal branco para ferramental a ser usado em produções de pequenas séries. Entretanto, a utilização desse tipo de ferramental exige os maiores cuidados.

#### 3.7.6. Moldagem pré-formada

Na técnica de moldagem com prensa quente onde o reforço de fibra de vidro é colocado a seco, muitas vezes é aconselhável pré-formar a reforço aproximadamente na forma final. Para isso adaptou-se um processo utilizado pela indústria de chapéus de feltro, onde uma tela fina de metal é moldada com a forma desejada e colocada numa mesa rotativa. A lã de vidro cortada é pressionada ou soprada sobre a tela até alcançar a espessura de superfície desejada. Para a aglomeração dessas fibras, o pré-molde é pulverizada com resina em pó ou emulsão. A tela e o pré-molde são transferidos para um forno, passando por um aquecimento de 2 ou 3 minutos a 150° C. Assim, o pré-molde está pronto para a prensagem.

#### 3.7.7. Compostos de moldagem

Um dos importantes aperfeiçoamentos do uso de resinas poliéster para moldagem a quente, com moldes fechados, é a introdução de compostos de moldagem. Esses materiais consistem em resinas poliéster

catalisadas contendo uma mistura de cargas e de fibras de reforço que são fornecidas à indústria de peças moldadas numa forma pronta para uso. Existem três tipos básicos de compostos de moldagem:

#### 3.7.7.1. DMC (“dough moulding compound”)

DMC (“dough moulding compound”), o que significa composto para moldagem em massa ou premix, é uma mistura do tipo massa premix, à base de fibras de vidro ou de sisal. A resina é normalmente uma resina de poliéster estirenada. Entretanto, existem também DMC’s à base de resinas alquílicas ou de monômero dialilftalato.

Os DMC’s de uso geral contêm predominantemente carbonato de cálcio como carga, mas outros tipos de carga podem ser usados para se obterem propriedades finais específicas na peça moldada. O comprimento da fibra reforçadora é normalmente de 3 a 12 milímetros, com teor de fibras de 15 a 20 por cento.

#### 3.7.7.2. BMC (“bulk moulding compound”)

BMC (“bulk moulding compound”), composto para moldagem comum, é similar ao DMC, exceto que é formulado para produzir peças moldadas de melhor qualidade e acabamento. São usadas resinas poliéster isoftálicas para se obter melhor resistência ao calor e estabilidade. São espessadas quimicamente pelo uso de óxidos de metais alcalinos. Além disso, aditivos termoplásticos podem ser acrescentados para reduzir as imperfeições da superfície.

Tanto os compostos DMC como BMC podem ser preparados em forma de corda ou de pequenos lingotes, de acordo com as necessidades de moldagem.

### 3.7.7.3. SMC (“sheet moulding compound”)

SMC (“sheet moulding compound”), composto para moldagem em folhas (filmes), é uma mistura de fibras de vidro, cargas e resina poliéster catalisada, fornecida em folhas em forma de “sanduíche” entre dois filmes de polietileno para evitar a contaminação e a adesão durante o transporte. O SMC é um produto limpo e fácil de utilizar, em moldes simples ou complexos, com capacidade de reproduzir os mínimos detalhes, podendo acomodar inserções e filetes de rosca, com o uso de fixações adequadas no ferramental. Os compostos SMC são materiais termofixos, que requerem, portanto, apenas calor e pressão para fluir por todas as cavidades do ferramental, como se fosse um material homogêneo. Esse fluxo homogêneo ocorre mesmo quando o molde apresenta áreas profundas ou mudanças bruscas de seção, mantendo uma proporção constante de resina e fibra de vidro ao longo de todo o molde. Os compostos SMC produzem peças moldadas com excelente estabilidade dimensional, propriedades mecânicas elevadas (superiores aos compostos DMC ou BMC), boa resistência química e isolamento elétrico. Podem, portanto, ser empregados com segurança na produção rápida e eficiente de peças de alta qualidade, como partes de carrocerias de automóveis, bandejas para produtos químicos, acessórios para iluminação, móveis e uma série de outros produtos.

### 3.7.8. Moldagem por prensa fria.

Este processo preenche uma lacuna entre a moldagem por contato mais lenta e, sem dúvida, a mais indicada para produtos realmente grandes, e a moldagem por prensa quente, um sistema mais rápido e mais dispendioso, usado para a produção de séries mais longas de produtos pequenos e médios. Para a moldagem por prensa fria, as

pressões podem ser bem baixas, da ordem de 1 bar, e não há necessidade de ferramentas aquecidas. Portanto, os moldes podem ser produzidos a partir de PRFV, concreto ou aço. O ciclo de tempo varia de 15 a 20 minutos, e da mesma forma que na moldagem por prensa quente, o produto apresenta os dois lados lisos. A quantidade de vidro pode ser de até 50 por cento do peso, ou seja, a metade da quantidade exigida para um laminado produzido por contato, com resistência mecânica proporcionalmente maior.

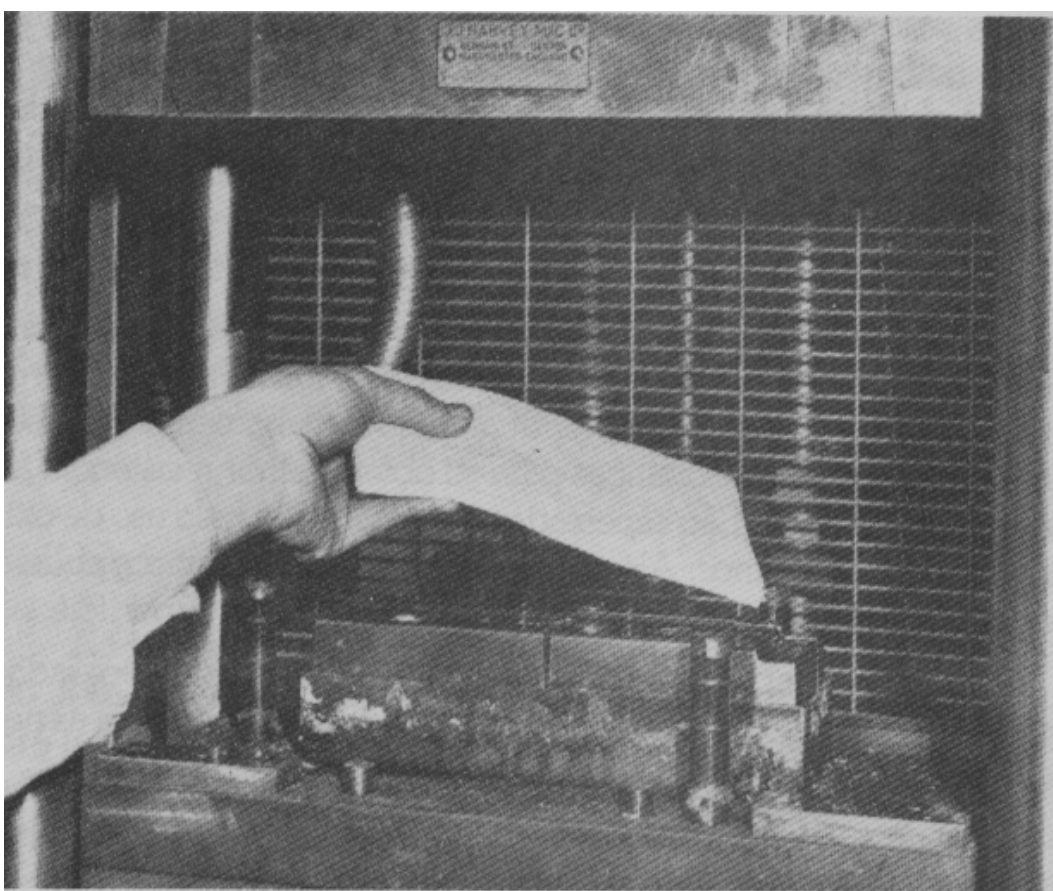


Figura 35 – Moldagem com SMC – Carregamento do filme na prensa.  
(Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 88).



Figura 36 – Moldagem com SMC – retirada da peça pronta. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 88).

#### 3.7.9. Moldagem por injeção de resina (RTM).

Este processo é um sistema de cura a frio que utiliza moldes de abrir e fechar, sujeitos a pressões internas apenas moderadas, e, portanto, podem ser produzidos a partir de PRFV ou ligas metálicas leves.

Coloca-se uma camada de reforço de fibra de vidro sobre a metade inferior do molde, estendendo-a até ultrapassar ligeiramente os seus limites. Em seguida, coloca-se a metade superior do molde em posição, prendendo-a com ganchos de desengate rápido. Quando fechadas, as bordas do molde manterão o reforço no lugar enquanto a resina é injetada. Um equipamento especial é usado para injetar a resina catalisada e pré-acelerada dentro do molde, através de um pequeno orifício.

Uma pressão de até 4 bars é suficiente para a maioria das peças moldadas. Quando o molde estiver suficientemente carregado, uma pequena quantidade de resina irá escorrer no ponto mais fraco ao longo da linha de fechamento, e o orifício da entrada da resina estará selado. O tempo de cura dependerá da espessura da peça; entretanto, peças pequenas de até 1 quilo curam em 4 a 6 minutos.

#### 3.7.10. Moldagem por injeção auxiliada a vácuo

Ao se tentar adaptar o processo de moldagem por injeção de resina para a produção de peças grandes, surgiram diversos problemas práticos muito sérios como pressões excessivamente altas e dificuldades no fluxo de resina, resultando em inconsistência das propriedades das peças finais. Esses problemas podem ser superados com o uso de tecnologia sofisticada e resinas especiais, utilizando-se as técnicas de auxílio com vácuo, combinadas com o que consiste basicamente num método de moldagem por injeção de resina. Esse processo foi utilizado em 1974 para produzir cascos de cruzadores a motor de alto desempenho, de 14 metros de comprimento. O processo foi utilizado pela primeira vez alguns anos antes para produzir a carenagem dos carros da Lotus.

Esse processo apresenta diversas vantagens exclusivas, especialmente a sua capacidade de alcançar rigorosas tolerâncias dimensionais, produzir laminados com propriedades consistentes, adaptar-se às técnicas de montagem industrializada e reduzir a poluição por vapores de estireno na atmosfera do local de trabalho. Esse processo é particularmente adequado para laminados tipo sanduíche para a construção civil, uma vez que proporciona uma ligação melhor entre as cascas e o material do núcleo. Entretanto, exige um considerável investimento de capital e, desde que é projetado para produzir material de alta qualidade e de precisão, requer também pessoal treinado para operá-

lo, sendo viável apenas para longas séries de produção.

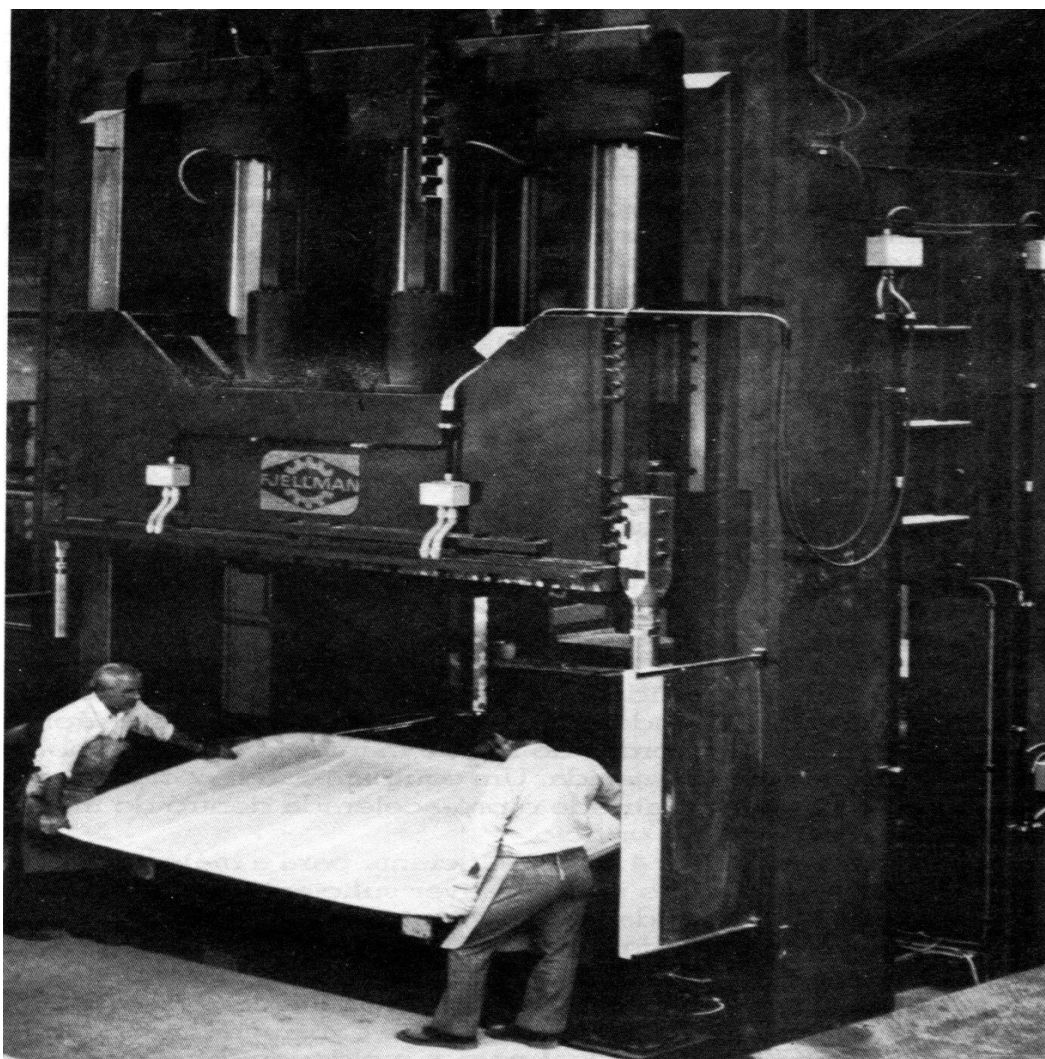


Figura 37 – Prensa de 3000 toneladas, para moldagem de partes de carroceria de veículos em SMC. (Fonte: CRYSTIC, 1988, p. 89).

No quarto capítulo, será descrita a abordagem metodológica desta pesquisa, que se deu em duas fases principais. A primeira fase corresponde à **IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA**, que está subdividida em duas etapas, que são: identificação da necessidade e compreensão do problema.

A segunda fase refere-se à **DESCRIÇÃO METODOLÓGICA**, que está dividida em cinco etapas principais, e a descrição destas etapas será o foco principal do capítulo quatro.



#### 4. ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA NA PESQUISA

Conforme o manual do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção – PPGE/UFES (1995, p.21), “este capítulo deverá descrever como o estudo foi conduzido, de tal modo que permita outro pesquisador recriá-lo se desejar. Deverá conter a descrição do objeto de estudo, aparelho e material utilizado e os procedimentos seguidos”. Partindo desta condição, dividimos este capítulo em duas fases principais; a primeira corresponde à **Identificação do Problema** e esta, se subdivide em duas etapas: identificação da necessidade e compreensão do problema. A segunda fase, **Descrição Metodológica**, está dividida em cinco etapas, que são: (i) Problematização; (ii) Técnicas analíticas; (iii) Definição dos requisitos; (iv) Anteprojeto/Geração de Alternativas; (v) Realização do projeto. A estruturação dessas etapas será o foco principal deste capítulo.

Primeiramente, antes do relato das etapas da identificação do problema, é necessário fazermos uma descrição mais detalhada do dispositivo para corte do “roving”; pois isso ajudará na compreensão por parte do leitor das etapas que estão por ser sintetizadas.

Como já descrevemos no capítulo três, a laminação manual (“hand lay-up”) é um processo de moldagem de peças em PRFV, onde se parte de um molde invertido da peça que se deseja fabricar e contra o qual é colocado manualmente um reforço de fibra de vidro (geralmente manta). E sobre essa manta é aplicado a resina por meio de um pincel ou rolete.

Já na laminação a pistola, tem-se um avanço sobre o processo manual, pois se pode produzir mais com menor envolvimento da mão de obra, e, portanto, com menores custos. Neste processo, a resina em vez de ser aplicada por meio de roletes ou pincéis, é canalizada e pulverizada

contra o molde. O equipamento consiste basicamente por dois recipientes pressurizados, um contendo resina acelerada, e outro contendo catalizador. Então a resina e o catalizador são transferidos pneumáticamente à pistola, onde se misturam e são projetados sobre o molde. Um terceiro recipiente pode conter solvente (acetona), que serve para limpar os dutos e a pistola. Acoplado ao sistema da resina, está um cortador de fibras de vidro contínuas (“roving”), que são atiradas contra o molde simultaneamente com a resina.

O dispositivo cortador de “roving” para ser acoplado ao mandril de uma furadeira elétrica ou pneumática, que é o foco deste estudo, pode-se dizer que está classificado entre o processo manual (“hand lay-up”) e o processo a pistola (“spray-up”). A diferença em relação ao processo a pistola (“spray-up”) é que a resina não é lançada sobre o molde, ela é aplicada com pincel ou rolete, como acontece no processo manual. Somente a fibra de vidro (“roving”) é picada por meio de roletes de corte e então é jogado sobre o molde. A ação de corte acontece pela transferência da rotação do motor da furadeira para os roletes que fazem então o corte do “roving”.

Portanto, após relatarmos o funcionamento do dispositivo para corte do “roving”, ficará mais fácil contextualizar o motivo que nos levou a fazer o estudo em ergonomia deste equipamento.

#### **4.1. Identificação do Problema**

A partir da definição do funcionamento do dispositivo existente para corte do “roving”, podemos observar que este equipamento é de baixa complexidade tecnológica. Seus operadores correm determinados riscos, quando estão operando, devido a problemas de má postura durante a operação de laminação de peças em Plástico Reforçado com Fibras de Vidro PRFV, que são obrigados a assumir por causa do posicionamento

do punho do braço do operador, que acaba ficando curvado para poder permitir que os fios picados do “roving” caiam em cima do molde da peça que esta sendo fabricada. Outro tipo de risco é devido a que os roletes que fazem parte do dispositivo de corte dos fios de “roving” estarem totalmente exposto, podendo causar acidentes ao operador.

#### 4.1.1 Identificação da Necessidade

A etapa de IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE deste estudo realizou-se a partir de observações feitas durante os trabalhos dos operadores, quando estavam fabricando peças em plástico reforçado com fibras de vidro e utilizam o dispositivo para corte do roving acoplado a uma furadeira manual comum.

Primeiramente a produção de peças em PRFV, era totalmente manual, sendo empregado apenas pincéis e roletes como ferramentas de moldagem. Mais tarde, com o aumento de demanda de produção começaram a surgir novos processos de fabricação, novas máquinas, novos tipos de materiais de reforço (fibras), também novos tipos de resinas adequadas para cada tipo de processo de produção.

Na intenção de abranger as micro, pequenas e até as médias empresas, que querem aumentar sua produtividade, mas inicialmente não possuem poder aquisitivo para investir em máquinas mais sofisticadas ou processos de fabricação mais mecanizado, é que foi desenvolvido o dispositivo para o corte do “roving”. Uma máquina de custo baixo, hoje em torno de R\$ 40,00 (quarenta reais), que funciona acoplado ao mandril de uma furadeira elétrica ou pneumática comum, hoje com custo na faixa de R\$ 120,00 a R\$ 250,00, dependendo do modelo.

Partimos do pressuposto que normalmente qualquer empresa ou oficina que trabalha com conserto ou fabricação de peças em PRFV, por mais pequena que seja, possui no mínimo uma furadeira elétrica, e aqueles materiais mais comuns necessários para a laminação de peças

em PRFV, e muitas já utilizam no seu processo produtivo o dispositivo para corte do “roving”.

Portanto, no presente estudo, será analisado exatamente o trabalho dos operadores destas micro e pequenas empresas na utilização do dispositivo para o corte do “roving”, na intenção de melhorar o seu desenho, o seu projeto, para que o novo produto possa trazer ao seu operador um melhor conforto durante o trabalho e conseqüentemente uma melhor produtividade na fabricação ou conserto de peças em PRFV.

#### 4.1.2. Compreensão do Problema

Iniciamos aqui, então, à segunda etapa, a **COMPREENSÃO DO PROBLEMA** com a análise ergonômica da tarefa, onde os principais problemas detectados foram descritos nos quadros 1 e 2. Para uma melhor compreensão, vamos fazer um pequeno resumo da seqüência de tarefas que o operador executa antes e durante os trabalhos de laminação em fibra de vidro utilizando o dispositivo existente para o corte do roving acoplado a uma furadeira manual, que consta basicamente das seguintes etapas enumeradas a seguir:

1. No início dos trabalhos, o operador deverá fazer o acoplamento do dispositivo de corte do “roving” no mandril da furadeira;
2. Posicionamento dos fios do “roving” nos rolos de corte;
3. Acionamento da furadeira para puxar os fios do “roving”, executando um primeiro corte, o qual não é utilizado na laminação da peça;
4. Acionamento da furadeira para picar os fios do “roving”, iniciando assim os trabalhos de laminação;

5. Movimento do braço do operador para que os fios picados sejam espalhados em todo o molde da peça que está sendo laminada;
6. Caso aconteça de uma bobina de “roving” não for suficiente para laminação de toda a peça, o operador deve retornar a fazer o posicionamento dos fios nos rolos de corte, ou seja, retornar a etapa (3) três;
7. Terminado o trabalho de laminação, o operador deverá então desacoplar o dispositivo de corte da furadeira, encerrando os assim trabalhos.

A partir do cruzamento das atividades enumeradas acima, e o que podemos observar durante os trabalhos de laminação, foi possível identificar as atividades que exigem maior esforço, frequência de movimentos e posturas forçadas. Dentre as atividades realizadas pelo operador do conjunto furadeira e dispositivo de corte de roving, a que destacamos com maior problema, foi a posição com que o punho do braço do operador permanece durante a laminação, observamos que o operador tem a tendência de curvar o punho do braço para poder fazer com que os fios de fibra de vidro picada caiam sobre a peça que está sendo moldada. Foi possível fazer um aprofundamento da análise com base na interação entre as atividades e os diversos tipos de problemas detectados. Fagundes apud MEDEIROS (1995, p.92), sugere classificarmos os problemas nas seguintes categorias, conforme descrito no quadro 01.

Durante o trabalho de laminação de peças em PRFV utilizando o dispositivo para o corte do “roving”, os problemas enfrentados pelo operador, de acordo com as categorias ergonômicas, são das categorias de problemas do tipo Interfaciais, Movimentacionais e operacionais.

Após a visualização dos problemas enfrentados pelos operadores do dispositivo cortador de “roving”, foi feito o parecer ergonômico da tarefa, onde foram destacadas as principais classes de problemas ergonômicos identificados, os requisitos para a sua solução, os constrangimentos e custos humanos decorrentes desses problemas, e sugestões que poderiam ser encaminhadas para a tarefa estudada. Estes problemas foram sistematizados na forma de quadro que é demonstrado a seguir (vide, quadro 02).

Quadro 01 – Considerações Ergonômicas

<b>Considerações Ergonômicas</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Constrangimento para o trabalhador</b>
Interfaciais	Inadequações entre o campo de visão e o campo de ação, e o envoltório acional pela desconsideração de usuários externos.	Posturas prejudiciais
Instrumentais	Inadequações de arranjos físicos de painéis de informações e comandos.	Dificuldade na tomada de informações para acionamentos. Prejuízos para a memorização e aprendizagem
Informacionais	Inadequações de telas, painéis, mostradores e placas de sinalização.	Má visibilidade, deficiência na detestação, discriminação e identificação.
Acionais	Constrangimentos biomecânicos no ataque acional e comandos e empunhaduras. Inadequação de ângulos, movimentação, dimensões, conformações e acabamentos.	Prejuízos na apreensão e pressões localizadas.
Comunicacionais	Ruídos na transmissão de informações sonoras ou gestuais	Má percepção das mensagens e problemas no andamento da atividade ou na segurança dos envolvidos.
Cognitivos	Inadequações lógicas e de navegação, encadeamento e apresentação de informações em telas.	Dificuldade de decodificação aprendizagem e memorização
Interacionais	Inadequações na navegação, encadeamento e apresentação de informações em telas.	Dificuldade de decodificação aprendizagem e memorização
Movimentacionais	Excesso de peso e/ou freqüência de movimentação dos objetos a levar ou transportar.	Fadiga física
Deslocacionais	Excesso de caminharmento e ambulações.	Fadiga física

Quadro 01 – Considerações Ergonômicas (continuação).

Espaciais/ arquiteturais	Isolamento; má aeração; insolação; inadequações no isolamento acústico, térmico ou radioativo; inadequações na otimização luminosa, cromática, inadequações das mensagens, ambientais e objetos circundantes.	Deficiência de fluxo, circulação, desconforto.
Físicos/ Ambientais	Incompatibilidade entre os níveis de temperatura, ruído, iluminação, vibração ou radiação e os níveis recomendados	Prejuízos orgânicos.
Naturais	Ausência de proteção às variações das condições atmosféricas.	Exposições às intempéries.
Acidentarias	Ausência de proteção das máquinas, precariedade do solo e de andaimes; rampas e escadas inseguras.	Riscos de lesões.
Operacionais	Ritmo intenso de trabalho, repetitividade, monotonia, pressão de prazos, de proteção e de controle. Falta de autonomia	Fadiga psíquica e emocional
Organizacionais	Parcelamento taylorizado do trabalho falta de objetivação, de delegação de responsabilidade e de poder de decisão e de participação na gestão.	Desmotivação e desinteresse, problemas na qualidade de trabalho.
Institucionais	Inadequações no treinamento ou nos manuais de instruções.	Treinamento deficiente.



Quadro 02 – Parecer Ergonômico dos Problemas.

<b>Considerações Ergonômicas</b>	<b>Classe dos problemas</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Constrangimentos</b>	<b>Custos Humanos</b>	<b>Sugestões</b>	<b>Restrições</b>
Interfaciais	Posição com que o dispositivo cortador de “rovig” se encontra em relação ao mandril da furadeira.	Posição adequada do dispositivo em relação ao mandril da furadeira.	Torção do punho do braço durante os trabalhos de laminação.	Dores no punho e barço. Fadiga física.	Mudar a posição do dispositivo em relação ao mandril da furadeira.	Acesso a inovações. Tecnologia disponível. Investimento em pesquisa

Quadro 02 – Parecer Ergonômico dos Problemas (continuação).

Movimentacionais	Peso do dispositivo de corte do “roving”, mais a furadeira.	Existência de um Suporte para o peso do dispositivo mais a furadeira.	Peso do equipamento sendo suportado pelo braço do operador.	Dores no punho e braço. Fadiga física.	Suporte com uma mola presa no conjunto furadeira/dispositivo.	Acesso a inovações. Tecnologia disponível. Investimento em pesquisa
Acidentárias	Ausência de proteção no dispositivo de corte do “roving”.	Existência de uma proteção para o dispositivo de corte.	Risco de acidente ao operador durante os trabalhos de laminação.	Exposições a acidentes de trabalho.	Proteção para o dispositivo de corte.	Acesso a inovações. Tecnologia disponível. Investimento em pesquisa

## 4.2. Descrição Metodológica

Neste trabalho optou-se pela metodologia projetual proposta pelo desenhista GUI BONSIEPE (1994), que vêm se dedicando nas últimas décadas a preparar, realizar e coordenar cursos de aperfeiçoamento em projeto de produto/desenho em livros que apresentam em primeiro lugar, o pensamento do professor, em segundo, a metodologia projetual proposta por ele, e ainda, a aplicação desta metodologia em diversos exercícios. A atividade projetual sugere a partir da necessidade de resolver um problema. E a arte de projetar implica em: (i) postura racional, ou seja, basear as decisões sobre argumentos; e, (ii) manejar vários parâmetros simultaneamente. Assim, recorre-se às metodologias de projeto, que são instrumentos facilitadores da atividade projetual.

O termo metodologia entende-se a 'arte de dirigir o espírito na investigação da verdade; estudo de métodos'. Ou ainda, como as 'diversas ações em um determinado campo para a solução de problemas'. Bonsiepe observa que uma metodologia não tem finalidade em si mesma, serve como ajuda no processo projetual: (i) dá uma orientação no procedimento do processo (macroestrutura); e, (ii) oferece técnicas, métodos que podem ser usados em certas etapas (microestrutura).

A metodologia proposta por Bonsiepe baseia-se na hipótese de que no processo projetual, dentre a variedade das situações problemáticas, se acha escondida numa estrutura comum. Entretanto, o autor salienta que é equivocado pensar em uma metodologia como uma espécie de "passaporte" que garante soluções ótimas aos mais diversos problemas projetuais.

A amplitude das possibilidades de aplicação dessa metodologia abrange diversas atividades projetuais – processos, organizações e sistemas – fenômenos não materiais, e também estruturas materiais, edifícios, cidades, componentes da construção, produtos, instalações, embalagens.

A metodologia escolhida aqui para guiar o processo projetual tam por característica principal introduzir a sensibilidade estética e social através da utilização de técnicas de visualização, as quais se aplicam no trabalho profissional durante as diversas etapas do processo projetual. Isso a diferencia de outras metodologias que privilegiam as técnicas matemáticas de qualificação.

Ainda segundo Bonsiepe (1986, p.118), a pergunta “como se pode aprender a criar idéias básicas?”, ainda não é respondida satisfatoriamente. Conhecem-se as matrizes de geração sistemática de variantes, porém a riqueza das propostas básicas depende da experiência do projetista. O que se pode afirmar é que a capacidade de criar novos conceitos básicos depende em grande parte do que se chama consciência de projeto, em sentido crítico e um agudo sentido de observação. Portanto, a melhor maneira de assimilar os conhecimentos sobre uma metodologia projetual é através da aprendizagem mediante exemplos, pois somente a recepção passiva das informações não melhora a performance projetual.

Colocamos aqui abaixo uma lista de algumas sugestões oferecidas pelo autor para aqueles que irão utilizar sua metodologia projetual:

- Para libertar-se dos bloqueios mentais é recomendável resistir à tentação de justificar o status quo com relação a defensiva do “isso não vai”. Por traz do categórico “não” se esconde muitas vezes uma incapacidade ou preguiça projetual, até um conservadorismo tecnológico;
- Outra armadilha é o argumento dos custos, às vezes usado como espantalho para frustrar qualquer intento de modificar algo para melhor. Na fase de criação de conceitos básicos, vale dizer uma frase ainda fluida e indefinida, a introdução do argumento dos custos geralmente é prematura, pois nesta fase, nada se sabe

sobre os custos. O “caro” não existe. O que se deve avaliar é um resultado em relação aos custos. A teoria dos custos procura sempre atingir um objetivo definido, ou seja, obter um produto com custo zero, e lucro de dimensões infinitas;

- Com relação aos aspectos estéticos, é importante não confundir qualidade formal de um projeto com uma forma supostamente nova, geralmente arbitrária. Deve-se encontrar um equilíbrio entre dois extremos: por um lado, a banalidade da rotina, por outro, o festejo indiscriminado da forma rebuscada sem argumentos;
- A qualidade de um projeto se manifesta, sobretudo no conceito básico e na coerência da proposta, com seus detalhes. Evidentemente, intervém também fatores culturais. O treinamento nessa capacidade analítica (perceber detalhes e perguntar pelas razões de determinada forma) e sintética (ser capaz de criar conceitos básicos novos e a partir de um programa de objetivos) requer tempo. (BONSIEPE, 1986b, p.40).

É desejável ainda, para o bom aproveitamento desta metodologia que o projetista conheça algumas técnicas de desenho, que mesmo não constituindo um fim em si mesmo, são instrumentos necessários para levar adiante um projeto. Por exemplo: desenhos com lápis e canetas hidrocor, sistemas de perspectivas, gráfica do produto, detalhamento estético-formal, técnicas de documentação de projeto, técnicas de geração de alternativas, detalhamento técnico, morfologia generativa e descritiva, técnicas matemáticas não quantitativas para projetar, cor no produto.

- A tradicional visão do trabalho do engenheiro, como conceituador de um produto e delegação de problemas de detalhes a um projetista, pode requerer uma dolorosa revisão se o engenheiro pretende ter controle efetivo – e não somente nominal – sobre todo o processo de desenvolvimento de produto. A resistência em entrar na solução de detalhes afeta severamente a capacidade de inovação. A tarefa de definir detalhes não pode se delegar a um técnico com argumentos que o profissional deve dedicar-se a coisas “mais importantes”. A qualidade de uma proposta depende da qualidade dos detalhes – conseqüentemente, da concepção global. Esta última é a condição necessária, porém não suficiente para um bom projeto.
- A opinião segundo a qual pode-se fazer um projeto de um produto sem se preocupar, simultaneamente, com a qualidade estética, é discutível. A qualidade estética ou está presente na concepção de um produto, ou nunca estará. Não é um componente que se pode agregar a um produto dado. A qualidade de estética não se dá de graça, como pretende a variante ingênua do funcionalismo, segundo a qual um produto que funciona bem, forçosamente tem qualidade estética. Projetar produtos requer uma sensibilidade e um treino especiais.
- Reiteradamente se constatou o caso de um projetista que tratou de explicar verbalmente um detalhe em vez de recorrer a sua representação visual, utilizando como argumento o fato de não saber desenhar bem. Aqui se manifesta um mal-entendido: a questão não existe numa real ou suposta falta de domínio de técnicas visuais de representação, mais sim numa falta de capacidade projetual. As idéias projetuais incomunicáveis – supostamente escondidas no cérebro do projetista – igualam às

idéias projetuais não existentes. Pois convém relativizar a importância das técnicas do desenho como instrumento para o projeto. Os objetivos destas técnicas não são fazer “desenhos bonitos” (que muitas vezes podem enganar), mas sim ajudar na definição dos atributos físicos de um produto. Existe uma diferença clara entre a função de um projetista e de um ilustrador técnico. “Cada desenho não implica um projeto, porém, cada projeto passa inexoravelmente por uma fase de desenho”. O esboço no trabalho de projeto tem a função de ajudar na tomada de decisões para definir os detalhes técnicos e formais de um produto. Nos cursos de engenharia mecânica, geralmente, os alunos passam por um rigoroso – e talvez excessivo – treinamento em técnicas quantitativas, mas praticamente nem um minuto em técnicas não quantitativas e não discursivas. Nenhuma dessas técnicas é um mistério, e se pode aprender a visualizar propostas projetuais como se pode aprender e visualizar propostas projetuais como se pode aprender cálculo. É simplesmente uma questão de tempo dedicado a adquirir uma outra técnica. Acerca do valor instrumental do desenho como técnica projetual... a contribuição projetual se enxerga – ou não se enxerga sobre a prancheta, não existe nas intenções. (Bonsiepe 1983, p.7)

Seguem-se ainda, com base em Bonsiepe, alguns pontos de vista relacionados ao processo projetual (1984, p. 9-10):

- A ênfase na fase de geração de conceitos básicos em função de idéias, leva facilmente à sobrevalorização das mesmas. Ter idéias é fácil; difícil é realizá-las.

- Gerar alternativas básicas não é sinônimo de *brainstorming*. O critério mais importante não é a qualidade de alternativas que se pode rascunhar sobre o papel, mas a qualidade das alternativas viáveis.
- No momento em que a massa de parâmetros, variáveis e informações tende a paralisar o processo projetual, faz-se necessário formular uma hipótese, ainda que errada... Essa hipótese serve como “veículo de teste”. Ficando preso à análise dos parâmetros, nunca se chega a nada; fica-se sempre na pré-fase do projeto.
- A pressão de sentir-se obrigado a inventar a todo o custo algo novo, que difere radicalmente do existente, pode facilmente conduzir ao “auto-atrapalhamento”. Projetar não é “inventar”. Não se deve confundir projeto com a busca do destaque individual. O processo projetual é – ou deveria ser – um processo de pensamento disciplinado, que se caracteriza pela grande agilidade de passar de um problema parcial a outro problema parcial, avaliando as implicações de um sobre o outro.

O processo projetual, como já foi dito, compreende uma macroestrutura que são suas etapas ou fases e, microestrutura que são as técnicas empregadas em cada uma dessas etapas ou fases.

Os vários autores que se dedicam à metodologia projetual concordam pelo menos com relação à seqüência da macroestrutura: (i) estruturação do problema projetual; (ii) atividade projetual ou projeção; (iii) realização do projeto. Qualquer dessas etapas pode ser subdividida em uma série de passos, entretanto é preferível e recomendável que se faça uma abordagem retroalimentativa à linear.



Podemos exemplificar o que são macro e micro estruturas projetuais na figura 38. Na coluna da esquerda se encontram as macro-estruturas e na coluna da direita, as técnicas e procedimentos que devem ser usados no desenrolar do projeto, isto é, as micro-estruturas, conforme modelo proposto por Bonsiepe em 1984.

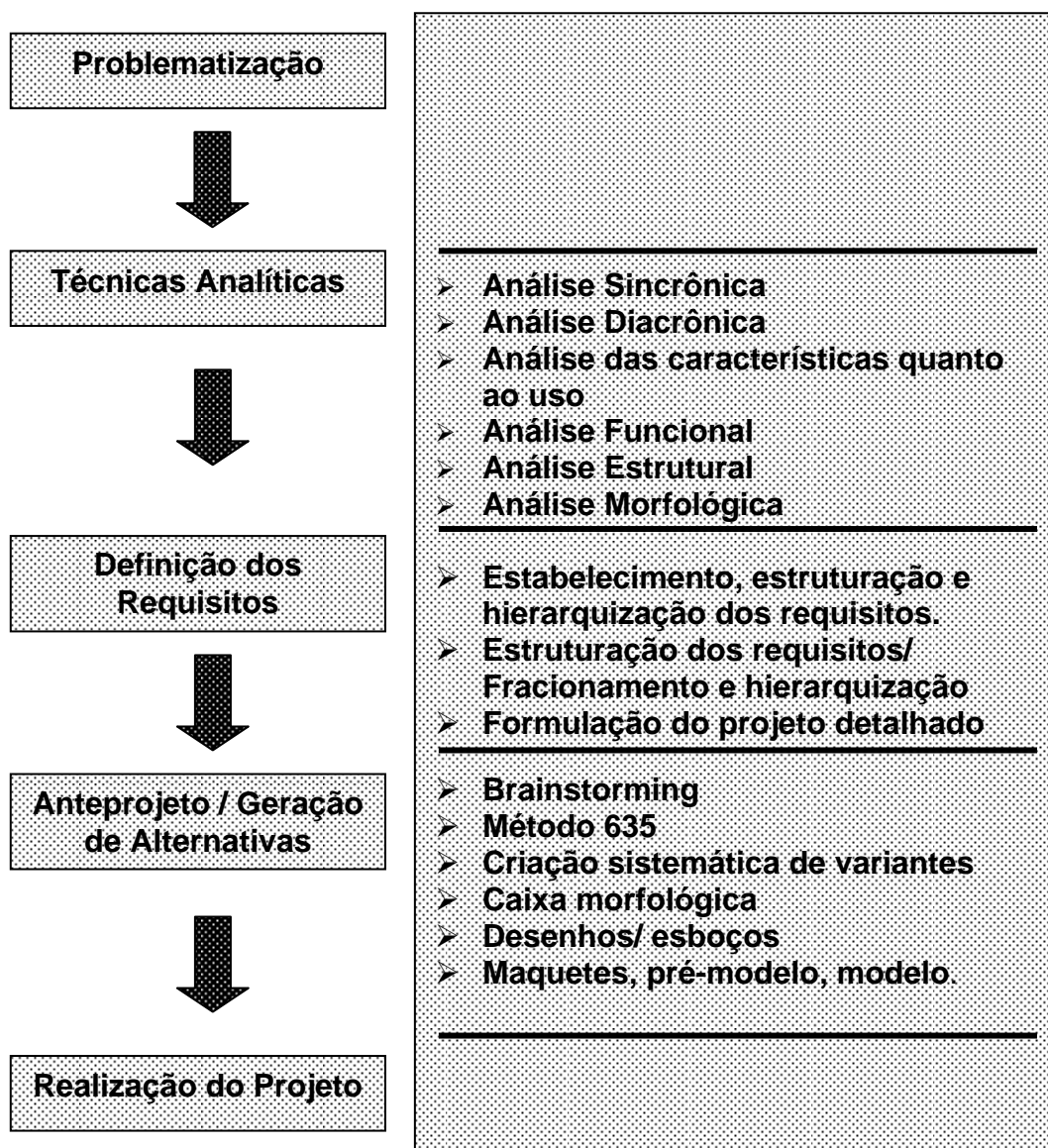


Figura 38 – Metodologia proposta por Bonsiepe.

### 4.2.1 Problematização

Considera-se um problema ou uma situação problemática como uma situação de conflito. A grosso modo, classificam-se os problemas projetuais de acordo com o seguinte critério: **Problemas Bem Definidos** (estruturados) – ou **Problemas mal Definidos** (mal estruturados).

Um problema está bem definido quando as variáveis que compõem são fechadas, e mal definido quando suas variáveis são abertas. Pode-se dizer, que os elementos básicos de qualquer problema projetual são: a **Situação Inicial do Problema (S.I.)**, **Situação Final do Problema (S.F.)**; e, os **Processos de Transformação da Situação Inicial em Final**, ou seja, os métodos, técnicas e ferramentas utilizadas no desenvolvimento do projeto, ver figura 39 abaixo.

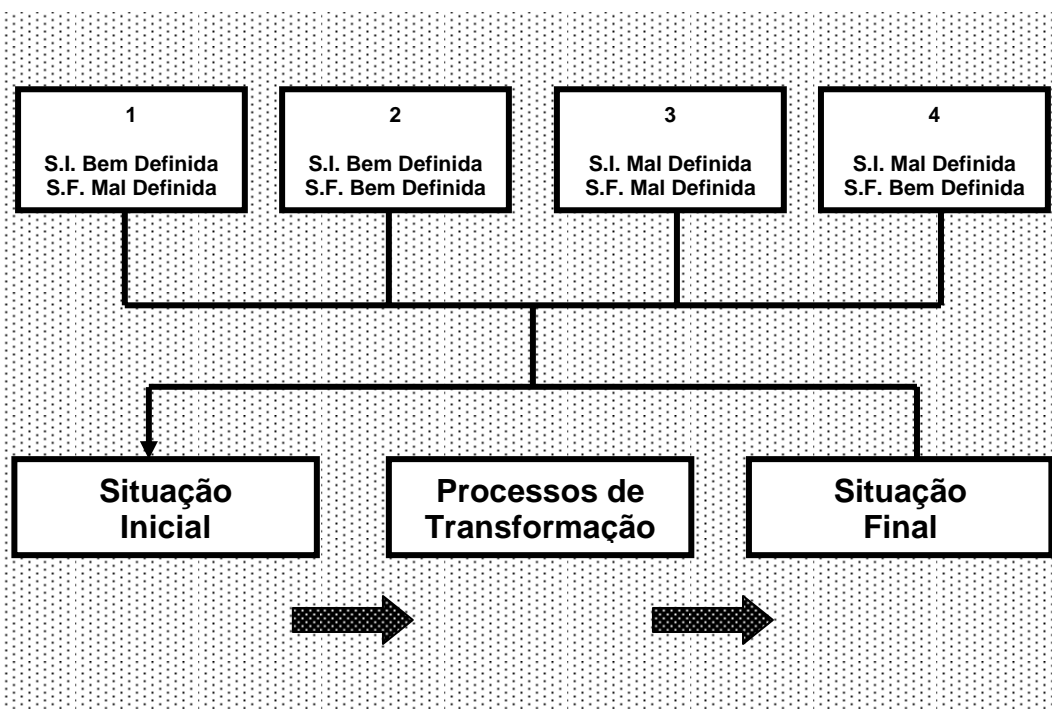


Figura 39 – Taxonomia de problemas (Fonte: Bonsiepe. 1984. p. 34)

O processo de transformação compreende três questões:

- (i) **O que?** – A situação ou alguma coisa que se deva melhorar, os fatores essenciais do problema, os fatores influentes.
- (ii) **Porque?** – Os objetivos, a finalidade do projeto incluindo os requisitos e/ou critérios que uma solução boa deve ter.
- (iii) **Como?** – O caminho, os meios, métodos, técnicas, recursos humanos e econômicos, tempo disponível, experiência.

Para definirmos as Situações Inicial e final do problema em estudo, nos baseamos nos problemas ergonômicos detectados na análise da tarefa em que foram relatados nos quadros 01 e 02 no item 4.1.2 deste capítulo e em observações feitas durante os trabalhos dos operadores, quando estavam produzindo peças em PRFV com a utilização do dispositivo para corte do “roving” acoplado a uma furadeira manual.

Observamos que os trabalhadores quando utilizavam o dispositivo tinham a tendência de dobrar o punho do braço com a finalidade de fazer com que as fibras de vidro picadas caíssem na peça que estava sendo laminada.

Devido a grande repetitividade desses movimentos, os trabalhadores podem sofrer de “síndrome da dor regional” ou também conhecida como D.O.R.T. (doença osteomuscular relacionada ao trabalho, ou L.E.R), que se caracteriza pelo uso em tarefas que envolvem movimentos repetitivos ou posturas forçadas.

Portanto, para montar a situação inicial do problema, foram utilizados os dados das literaturas citadas anteriormente; observações diretas; e os resultados da avaliação ergonômica da tarefa de laminação de peças em PRFV com a utilização do dispositivo para o corte do “roving”. Assim, a situação inicial e final do produto fica assim formulada, ver figura 40.

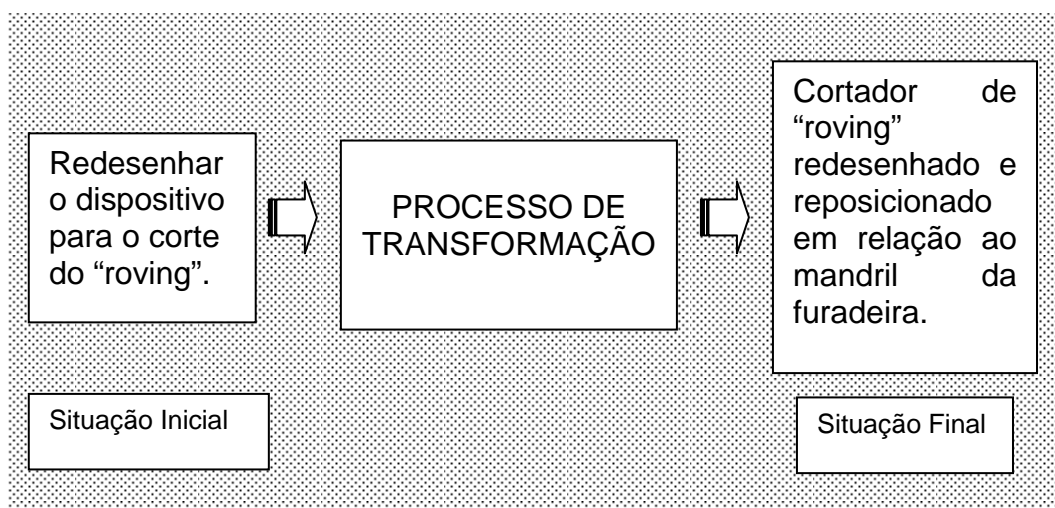


Figura 40 – Situação Inicial / Final do estudo.

No próximo item será apresentado o conjunto de técnicas analíticas realizadas que compõem a segunda etapa da fase dois da metodologia. Essas técnicas visam um maior conhecimento e controle dos fatores que interferem no produto a ser desenvolvido. Assim, busca-se atingir a solução final idealizada.

#### 4.2.2. Técnicas Analíticas

Esta etapa consiste em fornecer, através de técnicas analíticas, subsídios à problemática projetual, através da busca de informações que serão relevantes no projeto do produto.

##### a) Lista de Verificação

Esta técnica serve para organizar de forma exaustiva as informações sobre atributos de um produto, servindo assim para detectar deficiências de informações que devem ser superadas. Quando se começa a fazer a coleta de dados, para projetar um produto, pode acontecer de serem

encontrados produtos, aparentemente, com funções similares, então é necessário fazer uma distinção entre eles, no caso do estudo são: as pistolas de laminação, e o dispositivo para corte do “roving”.

As pistolas de laminação são equipamentos utilizados no processo de laminação manual (“spray-up”), são ferramentas de concepção simples e de fácil operação, esses equipamentos consistem basicamente de um recipiente pressurizado, contendo resina acelerada, e, noutro recipiente, o catalisador. A resina e o catalisador são transferidos para a pistola pneumáticamente à pistola, onde se misturam e são projetados sobre o molde. Para melhorar o controle, geralmente se põe num recipiente, resina acelerada e, noutro, resina catalisada, uma de cor azul e outra de cor amarela. Se a dosagem se a dosagem é satisfatória, a cor da resina que sai da pistola é verde. Um terceiro recipiente pode conter um solvente (acetona), para limpar os dutos e a pistola. Quando estiver tudo calibrado não há necessidade de colorir a resina.

Acoplado ao sistema da resina, está um cortador de fios de fibras de vidro (“roving”), que são atirados contra o molde simultaneamente com a resina. A laminação a pistola (“spray-up”), pode ser considerado como um avanço sobre o processo manual, pois se pode produzir mais com menor envolvimento de mão de obra, e conseqüentemente menores custos.

Já o dispositivo para corte do roving pode ser considerado também como um avanço sobre o processo manual, ou seja, podemos dizer que é um meio termo entre o processo de laminação manual (“hand lay-up”) e o processo de laminação a pistola (“spray-up”), porque, o corte do roving é executado pelo dispositivo e a aplicação da resina é feita manualmente pelos operadores. O dispositivo de corte do “roving”, é encontrado na forma de kit a ser montado pelo usuário, e este kit deve ser acoplado ao mandril de uma furadeira. O dispositivo tem a função de simplesmente fazer o corte dos fios de fibra de vidro (“roving”) e jogar estes fios em cima do molde da peça que vai ser fabricada, este molde já deve conter resina

catalisada, aplicada manualmente pelo operador. O movimento de rotação dos rolos de corte é feito pela rotação da furadeira através do mandril, onde o dispositivo está acoplado.

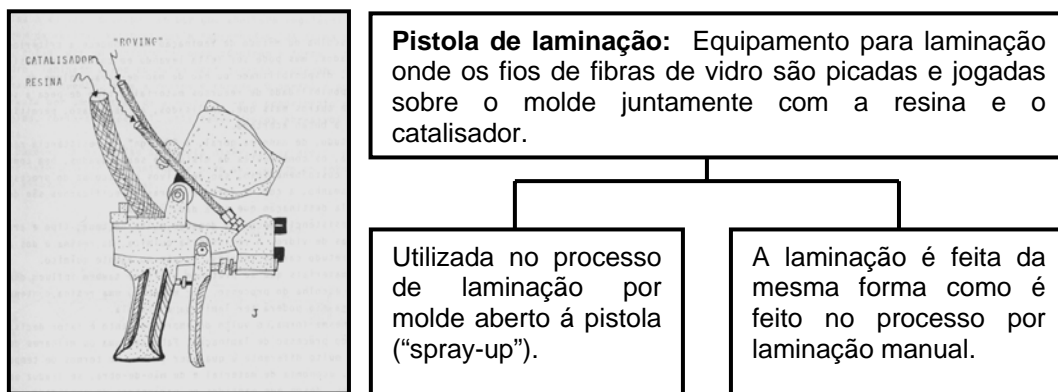


Figura 41 – Esquema da lista de verificação das pistolas de laminação.

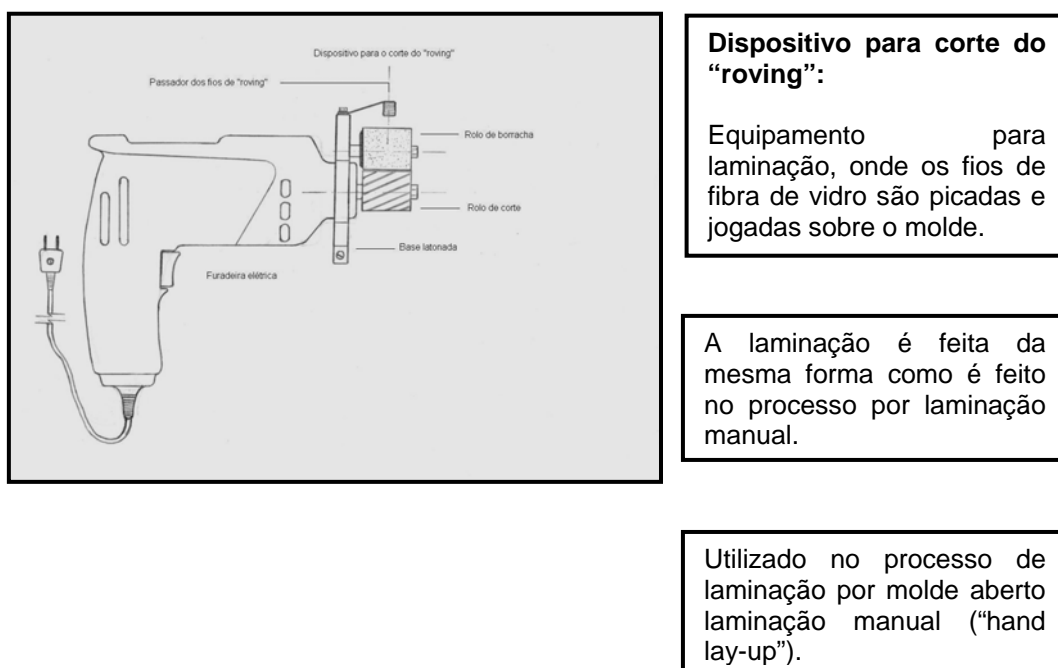


Figura 42 – Esquema da lista de verificação do dispositivo para corte do "roving".

## b) Análise Diacrônica do Cortador de “roving”

A análise diacrônica consiste em um levantamento da evolução do produto para demonstrar suas mutações no transcurso do tempo.

No caso do dispositivo para corte do “roving”, podemos considerar que sua evolução teve origem no processo de fabricação por laminação manual, que pode ser considerado como o mais simples e mais antigo dos processos de moldagem de plásticos reforçados com fibras de vidro.

A utilização da fibra de vidro como elemento de reforço vem sendo empregada desde o início do século XX. As técnicas e equipamentos para moldagem de peças também vem evoluindo com o passar dos tempos. A fabricação de peças em PRFV cresceu de tal forma que foi necessário aperfeiçoar cada vez mais os processos de fabricação e principalmente as máquinas utilizadas nestes processos, com finalidade de fabricar-se peças com maior qualidade e produtividade.

No Brasil, somente no ano de 1970 é que a indústria do PRFV começa a se desenvolver, e com isso começaram a surgir também novas máquinas e novas tecnologias, e os equipamentos vêm se tornando cada vez mais complexos e indispensáveis para facilitar o trabalho do homem na fabricação de peças em PRFV.

Podemos, considerar que a máquina para o corte do “roving”, pode ser considerada como meio termo entre o processo de fabricação manual (“hand lay-up”) e o processo de laminação a pistola (“spray-up”).

A figura 43 mostra uma reprodução resumida do exercício de análise diacrônica da máquina para o corte do “roving”, e teve como objetivo auxiliarem na compreensão e contextualização do problema.

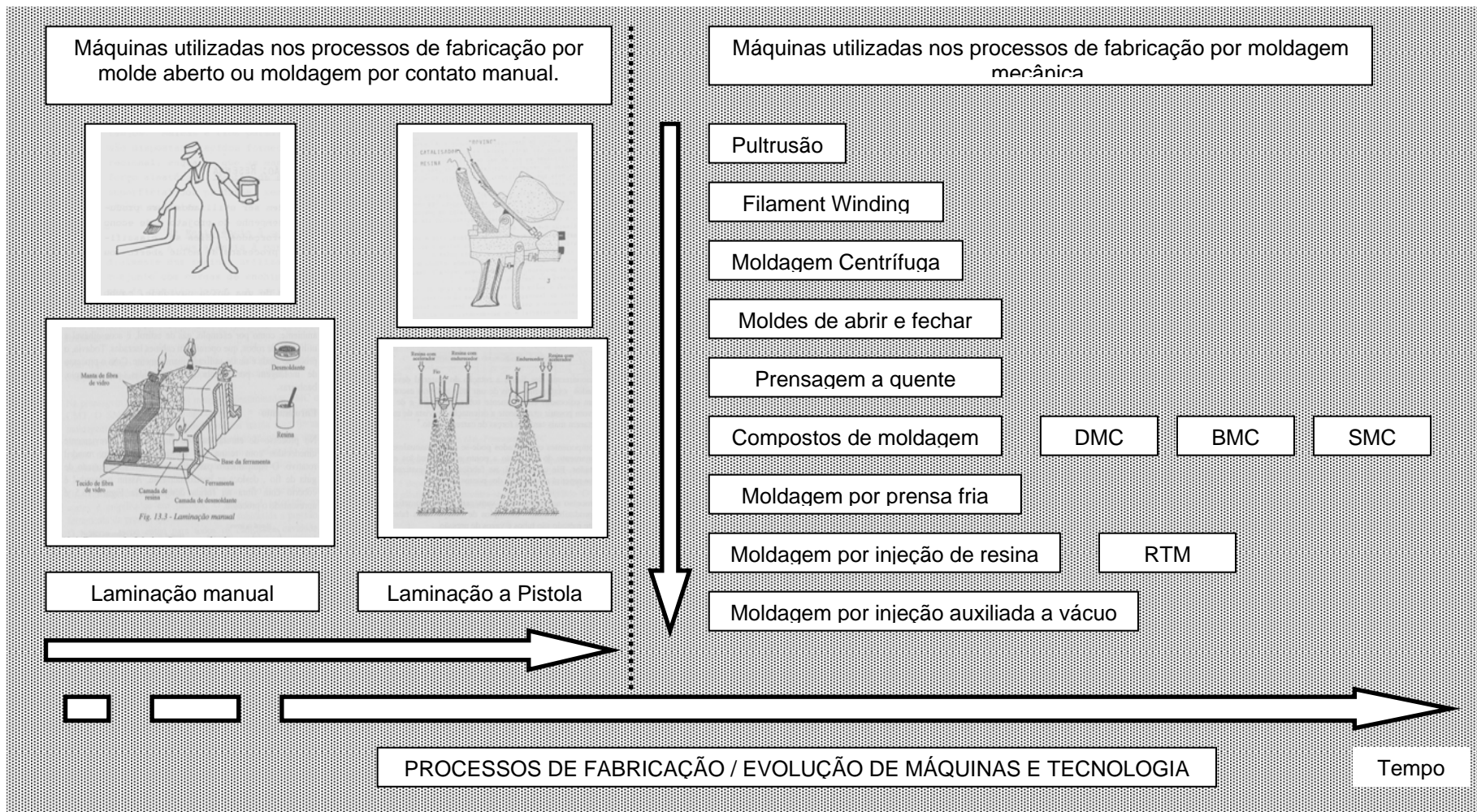


Figura 43 – Análise diacrônica da máquina para o corte do “roving”.



### c) Análise Sincrônica do Cortador de “roving”

A análise sincrônica visa o reconhecimento do universo do produto em estudo nos dias de hoje no mercado em que está inserido.

As máquinas e os processos de fabricação utilizados para a produção de peças em Plástico Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV), tem sofrido grandes evoluções, a introdução de novas técnicas e novas máquinas contribuíram para um aumento na produtividade nas indústrias, porém a racionalização pode ser associada a problemas de ergonomia. Os trabalhadores que hoje produzem peças em PRFV pelo processo manual (“hand-lay up”), com o auxílio da máquina para o corte do “roving” acoplado a uma furadeira elétrica, por longos períodos de operação, acabam tendo sérios problemas de ordem músculo-esqueléticos.

O universo das máquinas para corte do “roving” que funcionam acopladas no mandril de uma furadeira elétrica, utilizadas no processo de fabricação manual de PRFV, não é grande, na verdade existem poucos modelos disponíveis no mercado. Algumas características e aspectos analisados no produto existente são:

- (i) **Ergonomia:** Os operadores correm determinados riscos, quando estão operando, devido a problemas de má postura durante a operação de laminação de peças em PRFV, que são obrigados a assumir por causa do posicionamento do punho do braço do operador, que acaba ficando curvado para poder permitir que os fios picados do “roving” caiam em cima do molde da peça que esta sendo fabricada.
- (ii) **Construção:** Falta de proteção, podendo causar risco de acidente ao operador, devido a que os roletes que fazem parte do dispositivo de corte dos fios de “roving” estarem totalmente exposto.

Assim, podemos dizer que o aspecto 'Ergonomia' mereceu em nossa análise a maior atenção, seguido pelo aspecto da 'construção'.

Após tomarmos conhecimento das características e aspectos da máquina para o corte do "roving" existente no mercado, e de acordo com as análises diacrônica e sincrônica do produto, sentimos a necessidade de redefinir o problema. Isso foi feito a partir de uma nova avaliação dos dados levantados, da literatura consultada, e das máquinas utilizadas nos processos de produção de peças em PRFV, formulando assim novas variáveis para o produto.

#### d) Redefinição do Problema

Portanto, as variáveis desejadas para o cortador de "roving" são:

- (i) **Ergonomia:** Permitir que o operador trabalhe de forma ergonômica e confortável, de modo que não prejudique a sua postura e que não cause nenhum problema de ordem músculo-esquelético.
- (ii) **Segurança:** Segurança para o operador durante o trabalho com a máquina.
- (iii) **Manutenção:** Sua manutenção seja de baixa complexidade.
- (iv) **Manuseio:** Seu manuseio seja fácil, de forma que o sistema seja conhecido pelos usuários.
- (v) **Vida útil:** Aumentar a sua vida útil através da facilidade de manutenção e o manuseio.

- (vi) Custo de aquisição:** O custo de aquisição seja próximo ao custo do dispositivo encontrado hoje no mercado.

As análises destes dados permitem reformular a Situação Final do produto, ficando assim definido o problema:

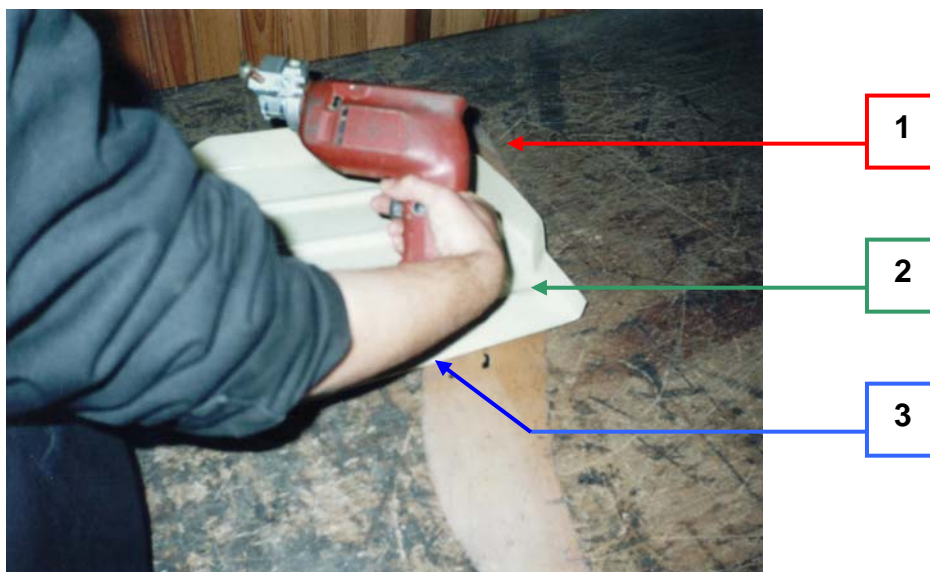
A NOVA MÁQUINA PARA CORTE DO “ROVING” VAI PERMITIR QUE O OPERADOR (LAMINADOR) TRABALHE DE FORMA ERGONÔMICA E COM SEGURANÇA, A SUA MANUTENÇÃO E O SEU MANUSEIO É DE FORMA SIMPLES, SEMELHANTE AO FUNCIONAMENTO DE OUTROS EQUIPAMENTOS E MÁQUINAS CONHECIDAS PELOS OPERADORES, E COM BAIXO CUSTO PARA A AQUISIÇÃO.

#### e) Análise do Produto Existente em Relação ao Uso

O objetivo da análise do produto em relação ao uso é detectar os pontos negativos e criticáveis do produto (BONSIEPE, 1984, p. 38).

Para explicar melhor esta técnica, foram feitas fotografias com o operador utilizando o produto indicando os pontos criticáveis a serem estudados para serem solucionados no produto que será idealizado no estudo, (figura 44).

Analisando o produto existente com relação ao uso, observamos que no momento do seu manuseio ocorrem alguns problemas que podem ser solucionados através de modificações que podem ser feitas na posição do dispositivo de corte do “roving” em relação ao mandril da furadeira. As análises que seguem poderão ajudar na identificação dos fatores que também serão importantes no momento da realização de tais modificações no produto.



- 1 - Posição incorreta da máquina durante o trabalho de laminação.
- 2 - Postura forçada do pulso do operador durante o trabalho de laminação.
- 3 - Postura forçada do antebraço devido ao trabalho estático contínuo, com pronunciado esforço muscular estático.

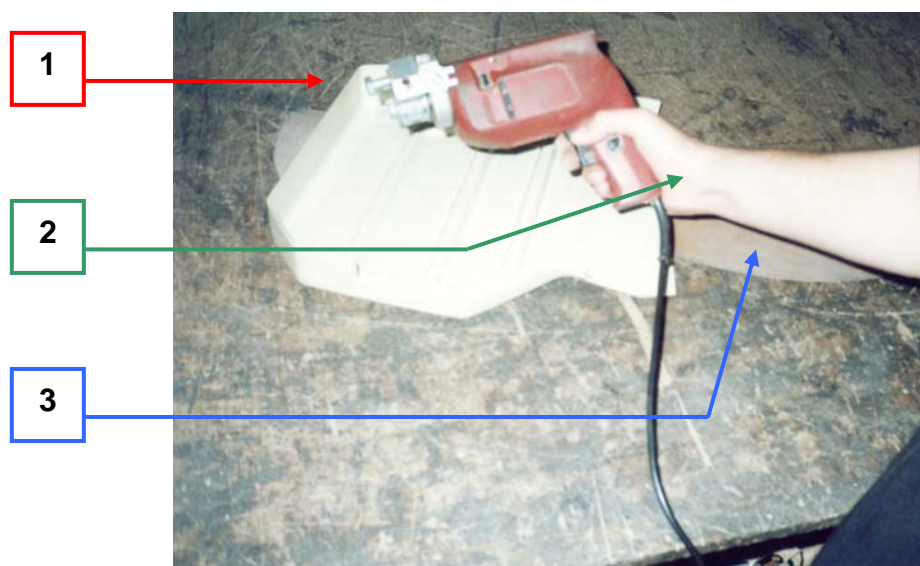


Figura 44 – Pontos críticos do produto existente.

f) Análise estrutural do dispositivo de corte do “roving”

A análise estrutural serve para reconhecer e compreender os tipos e o número dos componentes e subsistemas principais de montagem, tipologia de uniões e tipo de carcaça de um produto, para que possamos conciliar com as mudanças sugeridas.

O dispositivo para o corte do “roving” é constituído basicamente pelos seguintes componentes:

- (01) uma base metálica, normalmente constituída por um material de liga de alumínio (latão) que serve para a fixação do dispositivo na carcaça da furadeira e também como suporte para as demais partes que compõem o dispositivo que será listado a seguir;
- (01) um parafuso de fixação da base, que serve para fazer o aperto da base metálica na carcaça da furadeira;
- (01) um passa-fio, por onde os fios do “roving” passam para serem posteriormente cortados pelos rolos de corte;
- (01) um parafuso com arruela para fixação do passa-fio na base metálica;
- (01) um cilindro de alumínio provido de fendas para alojar as lâminas de corte, chamado de cilindro de corte ou rotor porta lâminas (para 4, 6 ou 8 lâminas de corte). Este cilindro deve ser fixado no parafuso que prende o mandril na furadeira;
- (01) um cilindro de borracha ou poliuretano, que tem como função comprimir os fios de fibra de vidro contra as lâminas do rolo de corte;
- (02) dois cilindros de madeira (celeron), sendo que, um serve como bucha do cilindro de borracha, e o outro, que tem como função, juntamente com o cilindro de borracha puxar os fios de fibra de vidro para serem picados no rolo de corte;

- (02) dois parafusos com porcas e arruelas, para fixação do cilindro de madeira e o cilindro de borracha na base metálica.
- (02) duas buchas metálicas, uma para o cilindro de madeira e a outra para o cilindro de borracha.

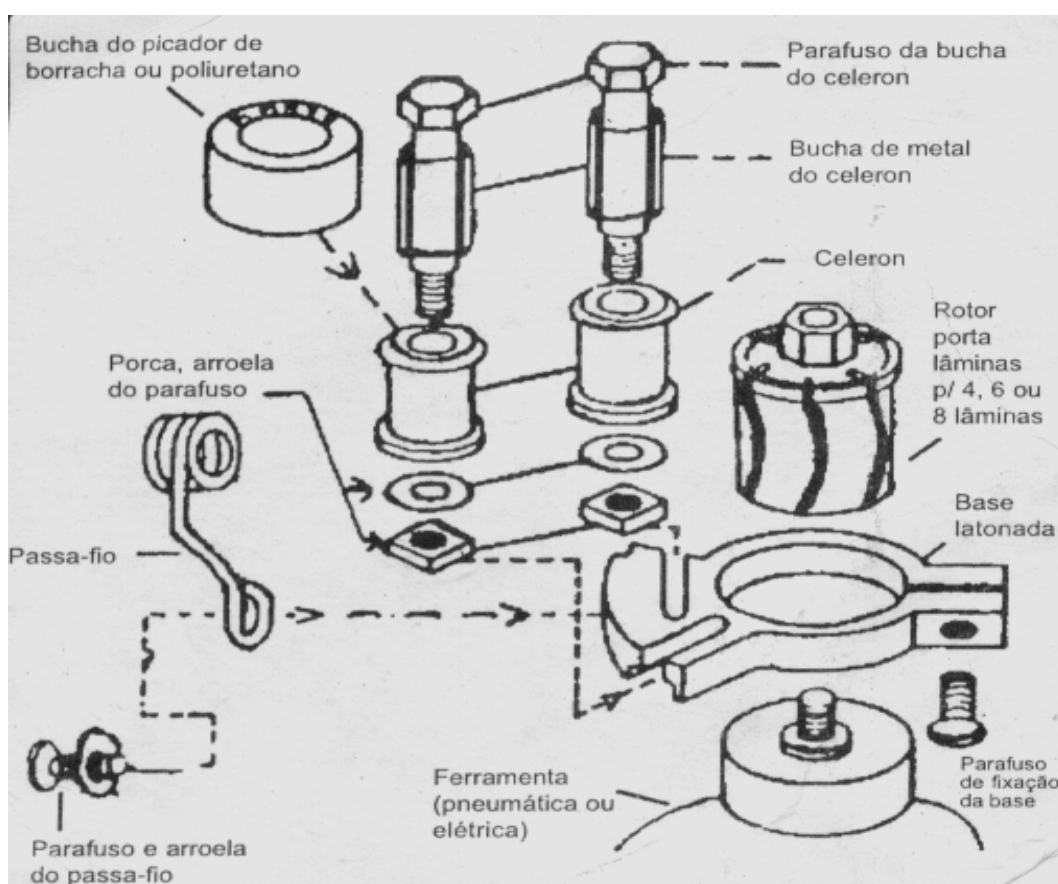


Figura 45 – Análise estrutural do dispositivo cortador de “roving”.

g) Análise Funcional do dispositivo para corte do “roving”

A análise funcional ou análise das funções, serve para reconhecer e compreender as características de uso do produto, incluindo aspectos ergonômicos, macroanálise, as funções técnico-físicas de cada componente ou subsistema de produto e a microanálise.

Função é uma característica do produto que serve a um propósito útil atendendo a uma necessidade real do consumidor, isso inclui confiança, conservação e todas as outras qualidades que um produto deve ter. Segundo BASSO (1991, p.18), função é tudo aquilo que faz o produto trabalhar e/ou vender.

Todas as funções devem ser classificadas em dois níveis de importância (BAXTER, 1998, p.186).

- (i) **Função Principal:** Apresenta a principal finalidade de um produto; é o motivo de sua existência.
- (ii) **Função Básica:** É aquela que faz funcionar o produto, sem ela, o produto ou o serviço perderá o seu valor e, e em alguns casos, até a identidade.
- (iii) **Função Secundária:** É aquela que auxilia o desempenho da função técnica.
- (iv) **Função de uso:** Possibilitam o funcionamento do produto e podem ser tanto básicas como secundárias.
- (v) **Função de estima:** São aquelas características que tornam o produto atrativo, isto é, aumentam o desejo do consumidor de possuí-lo.

Esta descrição é um item obrigatório para o estudo, é a partir dela que começamos a ter uma idéia clara do motivo da existência de cada detalhe no produto e assim questionar e propor melhorias.

Assim, trazendo estas definições para o problema do cortador de roving, teremos:

1. **Função Principal:** Utilizar fios de vários 'TEX' (gr/km), para fins de laminação.
2. **Função Básica:** Cortar ou picar o roving no tamanho de 3 mm a 6 mm.
3. **Função Secundária:** Puxar o fio de roving;  
Cortar o fio de roving;  
Espaçar o fio de roving;  
Tipo de transmissão de energia utilizada para movimentar a máquina;  
Posição ergonômica de trabalho para o usuário da máquina;  
Tipo de energia a ser utilizada para o acionamento da máquina;
4. **Função de Uso:** Mesmos itens para as funções básicas e secundárias.
5. **Função de Estima:** Máquina de baixo custo para a aquisição.

#### h) Análise Morfológica do Cortador de Roving

A análise morfológica, serve para reconhecer e compreender a estrutura formal (concepção formal) de um produto, ou seja, sua composição, partindo de elementos geométricos e suas transições. Inclui também informações sobre acabamento cromático e tratamento das superfícies. A máquina para o corte de fios de fibra de vidro ("roving"), que funciona acoplado ao mandril de uma furadeira elétrica ou



pneumática, que é o objeto do nosso estudo, possui uma configuração formal simples, o conjunto de suas leis de simetria, síntese e coerência formal, se alteram em função das inovações, processos de fabricação e tendências tecnológicas. Podemos observar, por exemplo, através das análises diacrônica e sincrônica e das figuras abaixo, que as máquinas para o corte do “roving” utilizadas no processo de fabricação manual (“hand lay-up”) comparadas com as utilizadas no processo a pistola (“spray-up”) evoluíram muito, principalmente em função a sua forma e posição de trabalho para o operador (vide figura 46).

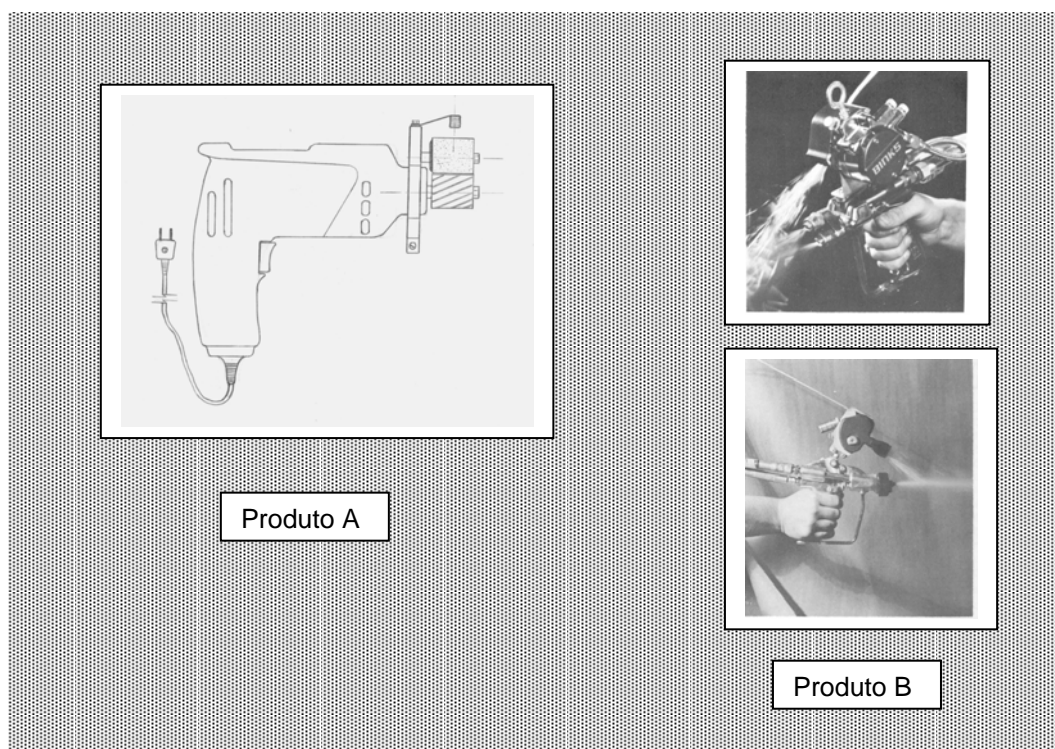


Figura 46 – Análise morfológica do cortador de “roving”.

Podemos observar nas figuras algumas características morfológicas que refletem as diferentes tendências tecnológicas e estágios do desenho projetual dos futuros dispositivos para o corte do “roving”, tais como:

- (i) A posição do dispositivo cortador de “roving” em relação ao punho do operador é totalmente diferente. No “Produto A”, o dispositivo está perpendicular ao braço do operador, fazendo com que o mesmo tenha a tendência de dobrar o punho no momento da laminação de uma peça, o que não acontece no “Produto B”, onde o dispositivo está paralelo ao braço do operador.
  
- (ii) O dispositivo no “Produto B” encontra-se totalmente protegido, não apresentando riscos de acidente para o operador.

Portanto, cada tipo de produto deve ter uma aparência visual adequada à função, isto é, durante o projeto conceitual, é importante criar uma forma visual do produto que reflita o objetivo pretendido. BAXTER chama isto de semântica. Por exemplo, o jipe Range Rover é um carro para uso diferenciado, e deve ter uma expressão semântica diferente. Em matéria de carros, é interessante notar que todas as logomarcas de carros alemães têm um anel de aço, como forma característica. O anel de aço representa integridade, força e qualidade, refletindo as qualidades funcionais da indústria automobilística alemã (1998, p. 189).

A análise morfológica contribui não apenas para o estudo visual dos fenômenos que regem o funcionamento do produto, mas também dos fenômenos simbólicos e subjetivos que fazem parte da sua função como objeto da cultura material de um grupo. Isso revelará o grau de desenvolvimento tecnológico, econômico, cultural daquele setor da sociedade humana.

#### 4.2.3. Definição dos Requisitos

Segundo a metodologia de Bonsiepe, o objetivo desta etapa consiste em listar os requisitos funcionais e os parâmetros condicionantes do produto como: materiais, processos e preço, incluindo uma estimativa de tempo para as diversas etapas e dos recursos humanos necessários para o desenvolvimento do produto. No estudo aqui apresentado, entretanto, o objetivo desta etapa restringe-se a definirmos os principais requisitos de funcionalidade do produto devido às limitações técnicas, de tempo, e de recursos humanos e financeiros.

##### a) Lista de Requisitos

Para orientar o processo projetual em relação aos objetivos a serem atingidos, e com base nas análises descritas anteriormente, podemos considerar os seguintes fatores listados a seguir, como principais metas a serem atingidas:

- (i) **Ergonomia:** A máquina para o corte do “roving”, permita que o operador durante o trabalho utilize de forma a não prejudicar sua postura ou que não cause nenhum problema de ordem músculo-esquelético.
- (ii) **Manutenção:** Possibilite a reposição de peças pelos próprios operadores.
- (iii) **Funcionalidade:** Manuseio compatível com os sistemas de funcionamento conhecidos pelos próprios usuários.

- (iv) **Vida Útil:** Facilitando a manutenção e a funcionalidade aumente a vida útil da máquina de corte do “roving”.
- (v) **Fabricação:** A fabricação não fique restrita apenas a empresas especializadas.
- (vi) **Custos:** Valor percentual baixo e com alto benefício.

Desta forma, baseado nos fatores descritos anteriormente, podemos definir que o novo produto deverá ser: (i) ergonômico, com uma posição de trabalho adequada, sem prejudicar a saúde do operador; (ii) sua estrutura e seus componentes serão simples para que os operadores facilmente entendam o seu funcionamento e possam fazer sua manutenção; (iii) seus componentes deverão ser resistentes, com a finalidade de aumentar a vida útil do produto; (iv) os materiais utilizados para a fabricação serão facilmente disponibilizados e de baixa tecnologia; (v) o grau de complexidade do cortador de “roving”, será compatível com o grau de conhecimentos tecnológicos do operador; (vi) o valor percentual será baixo quando comparado com o valor das máquinas e equipamentos utilizadas na laminação manual de peças em fibra de vidro, e com o benefício trazido quando comparado ao dispositivo para corte do “roving” que hoje existente no mercado.

#### b) Estruturação dos Requisitos

Os produtos não devem ser considerados como objetos isolados, mas como meios para realizar uma função ou satisfazer a uma necessidade. Então, ele só consegue preencher bem essa função se for acompanhado de diversas outras atividades, que complementam o seu estudo físico, tanto antes como após a produção (IIDA, 1990).

Complementando o pensamento de Lida, o autor REDIG (1977, p. 31), em seu livro “Sobre Desenho Industrial”, sugere alguns parâmetros estético-formais e técnico-funcionais, que o produto deve alcançar no momento da sua produção e estes conceitos cruzados com os requisitos do produto, nos auxiliarão a contextualizar as alternativas formais da máquina de corte do “roving”.

Portanto, segundo REDIG (1977, p. 31), diz que o desenho industrial (Design), é o equacionamento simultâneo de fatores ergonômicos, perceptivos, antropológicos, tecnológicos, econômicos e ecológicos, no projeto dos elementos e estruturas físicas necessárias à vida, ao bem estar e/ou à cultura do homem.

Para entender melhor, o autor Redig conceitua os fatores sobre o desenho industrial em geral da seguinte forma:

- **Ergonomia:** homem, usuário, necessidade, sociedade;
- **Percepção:** forma, percepção visual, estética, informação;
- **Antropologia:** utilidade, funcionalidade, uso, comunicação;
- **Tecnologia:** Indústria, seriação, máquina, tecnologia;
- **Economia:** custo, racionalização, produtividade, economia;
- **Ecologia:** ambiente, sistema, harmonia, recursos naturais.

Desta forma, na figura 47, esta mostrando o relacionamento dos parâmetros citados por Redig e os requisitos que consideramos ideais para a máquina de corte do “roving”.

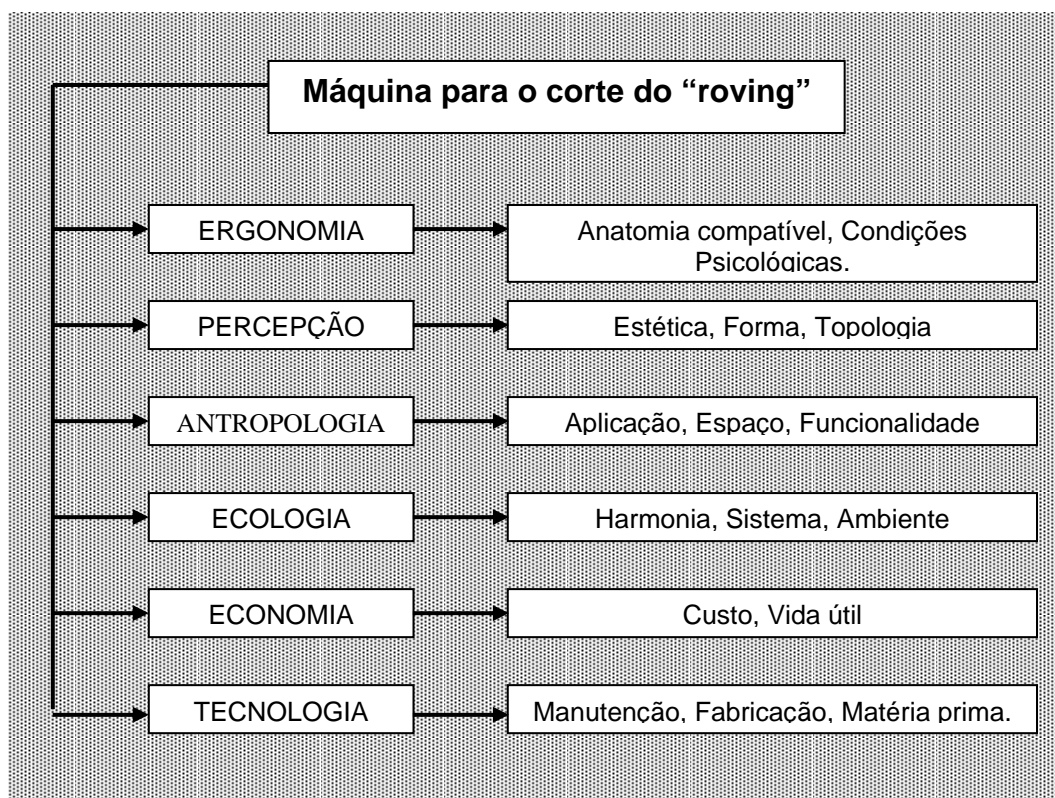


Figura 47 – Relação entre os conceitos de Redig e os requisitos do produto máquina de corte do “roving”.

A próxima etapa da metodologia de Bonsiepe é a Geração de Alternativas. Devido a sua grande contribuição para o estudo, decidimos apresentá-la como um capítulo à parte. Portanto ao final da etapa de Problematização, Análises e Definição dos Requisitos do produto, que nos auxiliaram para determinar as características da máquina de corte do “roving” terá início à etapa de **Geração de Alternativas**, onde ocorrerá a combinação dos dados levantados nas técnicas analíticas, o nosso conhecimento com relação ao assunto em questão, e os ensinamentos referente à criatividade que nos foram transmitidos através de bibliografias e notas de aulas na disciplina de Projeto de Produto, do Programa de

Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

## **5. ETAPAS DA GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS**

De acordo com a metodologia de Bonsiepe, esta é considerada com a penúltima etapa. Mas para o estudo que aqui se apresenta, esta será considerada como a última etapa, pois é aquela onde serão propostas as proporções, dimensões, e outras características do produto sem que se chegue à etapa de teste ou verificação. A modelagem bidimensional, os levantamentos bibliográficos de normas de medidas antropométricas e as normas ISO, proporcionaram as bases para uma modelagem tridimensional, que poderá ser definida como principal Resultado do processo projetual percorrido e a principal Contribuição do estudo.

### **5.1. Inspiração Para a Criatividade**

A interpretação sobre o fenômeno da criação foi objeto de curiosidade humana há muitos séculos. Os pensadores de meio século antes de Cristo, encaravam a criatividade como algo sobrenatural. Nesta interpretação, e de acordo com a cultura da época, acreditava-se que a criatividade resultava de uma inspiração divina. Na antiga Grécia, a criatividade era entendida como uma espécie de mensagem oriunda de entidades divinas, estas idéias prevaleceram até a Idade Média. Com o surgimento do movimento Humanista, os conceitos existentes sobre criatividade começaram a ser reformulados, e com a implantação do Renascimento novos conceitos começaram a ser consolidados.

No início do século XX com o surgimento da psicologia, os conceitos sobre a criatividade começaram a ser modificados. Surgiram abordagens fundamentadas nos estudos psicológicos, como personalidade,



psicometria, cognição, comportamento e outros. Ultimamente, o conceito de criatividade, seus bloqueios, sua dependência, tem sido questões mais largamente abordadas por estudiosos de diversas áreas do saber.

Existem várias linhas de pensamentos que abordam a criatividade, como as teorias filosóficas, psicológicas ou ainda cognitivas, psicanalíticas e humanistas.

Segundo BAXTER (1995, p.51), a criatividade é uma das mais misteriosas habilidades humanas. Ela tem merecido atenção de vários tipos de pessoas, desde um simples artesão até grandes artistas e cientistas. Alguns psicólogos e filósofos decidiram suas vidas estudando-a. Nas últimas décadas surgiram vários métodos para estimular a criatividade, prometendo desbloquear as mais obstruídas pessoas e organizações. Mas será que funcionam? A criatividade pode ser estimulada ou seria uma qualidade inata? Os psicólogos acreditam que sim, a criatividade pode ser estimulada. Assim, todos podem ser criativos, desde que se esforcem para isso.

A Teoria Humanística tem dois aspectos: a criatividade do talento especial; e a criatividade individualista, são decorrentes da personalidade do indivíduo que se manifestam na vida diária, como cuidar da casa, cozinhar, ensinar, etc. Silva et al (1998, p.4), vários pressupostos sobre a criatividade ainda estão surgindo, tendo em comum que a criatividade não depende de antecedentes pré-determináveis. É um processo que não pode ser descrito de maneira lógica, pois é um fenômeno de ordem irracional, que toca o acaso, o imprevisível. Tudo leva a crer que o processo tecnológico eliminará cada vez mais o trabalho humano, que todo o esforço físico e parte do esforço intelectual poderão ser delegados à máquina e que ao homem restará só o monopólio das atividades criativas.

Existem muitos assuntos e teorias ligadas ao tema “criatividade”, abordados em vários livros, teses ou revistas especializadas no assunto, que poderiam ser citadas aqui, mas como não é o objetivo do presente

trabalho não é fazer uma abordagem muito ampla sobre o assunto e sim apenas encontrar subsídios para quebrar nossas algemas para assim liberar a nossa criatividade. Os novos produtos nascem de idéias, que provocam viabilidade, transformam-se em conceitos e captar estas idéias e transforma-las em conceitos certos são assuntos críticos. Nós seres humanos temos a capacidade de pensar e exercitando nosso pensamento podemos ser levados à criatividade. Esse pensamento vem ao encontro com o de Koberg & Bagnal apud SILVA et al (1998, p. 5), que consideram que o maior obstáculo para a criatividade esta dentro das pessoas, principalmente a convicção de que “eu não sou criativo”.

Ao longo deste capítulo vamos mostrar algumas técnicas e exercícios realizados em sala aula, onde, pudemos contar com o auxílio dos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal de Santa Maria - RS (UFSM), que contribuíram bastante para a geração de alternativas e idéias, para o redesenho do produto cortador de “roving”.

Segundo o que foi estudado em sala de aula, o processo criativo pode ser desenvolvido baseados nas seguintes etapas:

- Preparação - Formular o problema e reunir habilidades;
- Esforço concentrado - Trabalho pela solução;
- Afastamento - Descanso mental;
- Visão - Idéia ou reorganização da solução;
- Revisão - Generalização e avaliação.

Nos próximos itens deste capítulo, vamos descrever algumas técnicas que foram utilizadas para gerar alternativas finais para o produto em estudo, que vem complementar os critérios já definidos no capítulo anterior.

## 5.2. Procedimentos para a Geração de Alternativas

O objetivo das técnicas para geração de alternativas é facilitar a produção de um conjunto de idéias básicas, como respostas prováveis a um problema projetual.

Há muitos anos, vários escritores vêm se dedicando a escrever livros sobre a prática da criatividade, como por exemplo, Van Gundy apud BAXTER (1998, p. 58), em seu livro, "A Techniques of structured problem solving", apresenta 105 diferentes técnicas para estimular a criatividade. Já Bonsiepe (p. 43) mostra alguns procedimentos e técnicas, que podem auxiliar as fases do processo criativo.

Portanto, a geração de alternativas da máquina para o corte do "roving", se baseará nas ferramentas sugeridas por Bonsiepe. Mas cabe fazer uma observação, nem todas as técnicas relatadas na figura 48, serão aplicadas durante o processo criativo deste estudo. As que forem, nem sempre seguirão a seqüência sugerida pelo autor para serem realizadas. Logo, serão adaptadas as condições de trabalho e as revisões das normas feitas no segundo capítulo dessa dissertação. Como, por exemplo, nas técnicas para geração de alternativas, algumas ferramentas sugeridas por Bonsiepe, necessitam uma equipe de trabalho ou um grupo de pessoas que participem da formulação de sugestões ou idéias, porém neste estudo nem sempre foi possível formarmos um grupo de participantes ou uma equipe de trabalho. O ideal para formarmos uma equipe, que segundo GOMES, em notas de aula, na disciplina de Planejamento de Produto, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no período de agosto a dezembro de 1999, é que deve ser formada por três profissionais para o planejamento de um produto, são eles: um profissional da área de produção, um de mercado e outro de desenho. Mesmo assim, sempre que possível foram buscadas informações com diferentes profissionais das respectivas áreas.

Para uma melhor identificação das fases de Geração de Alternativas, achamos conveniente mostrar através da figura 48, os elementos-chave das diversas fases do processo criativo e suas respectivas ferramentas, sugeridas por BAXTER (p. 59), e adaptado às exigências da pesquisa.

<b>Elementos-chave das diversas fases do processo criativo e suas respectivas ferramentas</b>	
<p><b>1. Preparação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Explore, expanda e defina o problema</li> <li>- Levante todas as soluções existentes</li> </ul>	<p><b>Ferramentas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise paramétrica</li> <li>- Análise do problema</li> </ul> <p><b>OBS.:</b> Etapa realizada no segundo e quarto capítulo da dissertação.</p>
<p><b>2. Geração de idéias:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pense somente nas idéias, deixe as restrições para uma etapa posterior.</li> <li>- Procure idéias fora do domínio normal do problema.</li> <li>- Use técnicas para               <ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução do problema</li> <li>» Expansão do problema</li> <li>» Digressão do problema.</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Ferramentas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Brainstorming ortodoxo</li> <li>- Brainstorming destrutivo/construtivo</li> <li>- Método 635</li> <li>- Método de transformação, busca de analogias</li> <li>- Caixa morfológica</li> <li>- Criação sistemática de variantes</li> </ul> <p><b>OBS.:</b> Etapa que será realizada neste capítulo.</p>
<p><b>3. Seleção de idéias:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar os bons e os maus aspectos de todas as idéias</li> <li>- Combine as idéias aproveitando as partes boas de cada uma.</li> </ul>	<p><b>Ferramenta:</b></p> <p>Matriz de avaliação e votação (Matriz Morfológica).</p>
<p><b>4. Revisão do processo criativo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Avalie o processo de solução de problemas.</li> </ul>	<p><b>Ferramenta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fases integradas da solução de problemas (FISP).</li> </ul>

Figura 48 – Elementos-chave da criatividade na prática.

Dentre as ferramentas da fase de geração de alternativas, sugeridas por Bonsiepe (p. 43), achamos conveniente elucidarmos algumas delas, facilitando assim ao leitor identificar no texto onde e como elas foram adaptadas às exigências da pesquisa, são elas:

- (i) **Brainstorming ortodoxo:** É o brainstorming clássico, com explícita proibição de formular observações críticas.
- (ii) **Brainstorming destrutivo/construtivo:** Serve para filtrar os pontos fracos das propostas encontradas com o brainstorming ortodoxo, e concentrar a atenção à solução, normalmente utiliza-se quatro a sete participantes.
- (iii) **Método 635 (brainwrinting):** Funciona da seguinte maneira: cada participante anota num formulário três propostas em forma de esboço ou descrições verbais. Depois, passa o formulário para o seu próximo colega, e esse trata de agregar três outras propostas. Depois de cinco minutos, troca-se novamente os formulários. O processo termina quando os formulários tiverem passado por todos os participantes.
- (iv) **Método de transformação de analogias:** Este método serve para aumentar a variedade de soluções, utilizando casos similares em outras áreas, por exemplo, na natureza, ou submetendo os componentes a transformações (verbos de manipulação). Essa técnica é usada para criar um produto novo ou introduzir mudanças profundas existentes.

- (v) **Caixa morfológica:** Serve para cobrir o universo de possíveis soluções, através da combinação de componentes ou subsistemas.
  
- (vi) **Criação sistemática de variantes:** Serve para cobrir o universo de possíveis soluções, identificando princípios básicos e combinando-os.

Portanto, a partir destas seis ferramentas começaremos a geração de alternativas para a máquina de corte do “roving”.

A primeira etapa do processo de geração de alternativas para o nosso estudo foi à escolha das técnicas descritas acima, destinadas a auxiliar e aperfeiçoar nosso processo criativo, a fim de obtermos uma solução para o problema proposto, segundo nossas funções e requisitos de projeto. Optamos então para a aplicação da técnica do brainstorming e posteriormente a técnica chamada de método 635 ou brainwrinting ou “gatilho de palavras” como também é conhecida.

Para a aplicação destas técnicas, é necessário formarmos um grupo de participantes ou grupo de trabalho. Para isso, convidamos os próprios colegas de curso do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), área de Projeto de Produto da UFSM em sala de aula, na disciplina de Projeto de Produto, março a junho de 1999, para participarem.

Então, baseado nos requisitos de projeto, primeiramente foi feito um brainstorming com a finalidade de gerar vários sinônimos para as palavras “puxar”, “cortar”, “espaçar”, “posicionar”, “transmitir”, “acionar”, com o objetivo de encontrar idéias e/ou alternativas para o modo com que a máquina vai executar estas tarefas, caracterizadas pelos verbos em questão.

Assim, com o auxílio dos colegas do (PPGEP/UFSM) foram encontrados os seguintes sinônimos para as palavras:

Para o verbo: “**Puxar**” - Na intenção de puxar o fio de roving.

Tracionar, Tragar, Alimentar, Sugar, Conduzir, Deslizar, Aproximar, Extrair, Estender, Trazer, Estirar, Esticar, Tencionar, Distender, Pultrudar, Trefilar, Brochar, Perfilar, Acessar, Download, Enrolar, Chupar, Succionar, Aspirar, Etc.

Para o verbo “**Cortar**” – Na intenção de encontrar uma maneira para cortar o fio de roving.

Fatiar, Seccionar, Moer, Talhar, Serrar, Seccionar, Plainar, Frezar, Tornear, Limar, Lixar, Esfaquear, Picotar, Etc.

Para o verbo “**Espaçar**” – Na intenção de encontrar uma maneira para cortar o fio de roving no tamanho correto (fios de 3mm a 6mm de comprimento).

Espaçar, Distanciar, Afastar, Ritmar, Cronometrar, Distribuir, Dividir, Desunir, Uniformizar, Desligar, Separar, Retirar, Intercalar, Engrenar, Interromper, Plugar, Saltar, Incrementar, Peneirar, Caminhar, Sincronizar, Dilatar, Contrair, Expandir, Reduzir, Pulsar, Ampliar, Alternar, Programar, Delimitar, Etc.

Para a próxima etapa de geração de alternativas, foi utilizado um método chamado de **6-3-5**, onde esta técnica consiste em distribuir (06) seis folhas de papel em branco, sendo uma para cada componente de um grupo de seis pessoas. Cada pessoa irá escrever (03) três idéias de mecanismo que poderiam ser utilizados para executar as tarefas de

“cortar”, “puxar”, “espaçar”, “transmissão de movimento”, “tipo de energia”, etc. Também baseados nos requisitos de projeto já definidos anteriormente. Após cada um do grupo sugerir três idéias, o papel é passado para o próximo componente do grupo, que escreve mais três sugestões, e assim sucessivamente até que a folha de papel com as primeiras três idéias retorne para as mãos do primeiro componente com as idéias geradas pelos outros (05) cinco companheiros de grupo. A partir daí, estas idéias são listadas e analisadas de modo a eliminar as que não servem para a solução do problema, e separar aquelas idéias que de um modo geral vão contribuir para as possíveis soluções.

Assim, novamente com o auxílio dos colegas do PPGE, chegamos as seguintes idéias para o cortador de fios de roving:

Para “**Puxar**” os fios do “roving”, vide tabela 05.

Tabela 05 - Idéias geradas para o mecanismo de puxar o fio de “roving”.

1	Par de roldanas de borracha	12	Motor de passo
2	Passo de rosca	13	Rosca sem fim
3	Por vácuo	14	Manualmente
4	Esteira com 10 fios	15	Bobinadeira
5	Por deslizamento	16	Corte por tração
6	Tipo agulha de máquina de costura	17	Por came
7	Por ar comprimido	18	Roseta com lâminas afiadas
8	Por um excêntrico	19	Sistema tipo lapiseira
9	Conjunto de garras que se alternam	20	Por ação da gravidade
10	Um único rolo girando	21	Um par de engrenagem
11	Uma bucha flutuante	22	Lançamento do roving já picado

Onde:

- São as idéias que podem contribuir para a possível solução.
- São as idéias que podem ser descartadas.



Para “**Cortar**” os fios do roving, vide tabela 06.

Tabela 06 – Idéias geradas para o mecanismo de “cortar” os fios do “roving”.

1	Tipo máquina de moer carne	12	Por esmagamento
2	Guilhotina	13	Nitrogênio líquido
3	Raio laser	14	Impacto
4	Faca na ponta de engrenagem	15	Puncionadeira
5	Jato de ar	16	Faca
6	Jato de água	17	Rolo com laminas
7	Tesoura	18	Roseta
8	Por abrasão	19	Corte químico
9	Chama	20	Lâmina giratória
10	Tipo picadeira de papel	21	Serra tico-tico
11	Descarga elétrica	22	Fio aquecido

Onde:

- São as idéias que podem contribuir para a possível solução.
- São as idéias que podem ser descartadas.

Assim, da mesma forma que foram geradas as idéias para “cortar” e “puxar” os fios do roving, foram também geradas as idéias para os demais requisitos de projeto, como: “espaçar”, “transmissão do movimento”, “tipo de energia”, “aspecto ergonômico do produto a ser desenvolvido”, “forma de acoplamento da fonte de energia com o dispositivo”, “tipo de usuário”, “custo do produto”, “material para a fabricação”, “tipo de lâminas de corte”, “como posicionar o fio para iniciar o corte”, “proteção para o dispositivo de corte”. As quais, achamos desnecessárias apresentar aqui, para não tornar este trabalho repetitivo e extenso demais. As idéias geradas para estas funções estão descritas na próxima etapa chamada de matriz morfológica.

A partir da posse destes dados, levantados anteriormente, passamos então para a última etapa da fase de geração de idéias, que

corresponde à chamada matriz morfológica, onde são colocadas as possíveis soluções encontradas para o problema, em função dos requisitos de projeto. A matriz morfológica encontra-se no quadro 03.

Quadro 03 - Matriz Morfológica.

FUNÇÕES	POSSÍVEIS SOLUÇÕES					
	A	B	C	D	E	F
<b>01.</b> Puxar o fio.	Um único rolo de borracha.	Sistema excêntrico.	Um rolo de borracha juntamente com um rolo de liga de alumínio com recartinhado.	Bucha flutuante.	Par de engrenagens.	Um rolo de borracha, junto com um rolo de celeron.
<b>02.</b> Cortar o fio.	Sistema tipo guilhotina.	Facas nas pontas de uma engrenagem.	Sistema tipo tesoura.	Conjunto de laminas destacáveis dispostas em um rolo metálico giratório.	Laminas fixas em um rolo metálico giratório.	Tipo prensa excêntrica com punção de corte.
<b>03.</b> Espaçar o fio.	Sistema excêntrico.	Par de rosetas.	Pela distância das lâminas dispostas em um rolo metálico.	Par de engrenagens.	Sistema por came, semelhante máquina de costura	Sistema tipo máquina de costura.
<b>04.</b> Transmissão do movimento.	Utilizar uma turbina por ar comprimido.	Utilizar um motor elétrico ou pneumático.	Usar uma Furadeira elétrica ou pneumática manual.	Utilizar uma retifica elétrica ou pneumática manual.	Utilizar um motor de uma faca elétrica.	Usar um Motor de limpador de parabrisa.
<b>05.</b> Energia utilizada.	Elétrica corrente contínua (CC).	Elétrica corrente alternada (CA).	Elétrica corrente contínua ou alternada (CC/CA).	Ar comprimido	Elétrica e/ou Pneumática	Utilizar fontes alternativas de energia.
<b>06.</b> Aspecto ergonômico do produto a ser desenvolvido.	Sistema tipo máquina de cortar grama por fio.	Utilizar uma máquina já existente com disposição própria para receber o dispositivo de corte.	Desenvolver uma carcaça de forma ergonômica e adaptar um motor elétrico ou pneumático nesta carcaça.	Utilizar uma carcaça de uma máquina já existente e adaptar um motor elétrico ou pneumático nesta carcaça.	Utilizar qualquer tipo de furadeiras elétricas ou pneumáticas e acoplar o dispositivo de corte, melhorando a disposição do sistema já existente.	Fazer uma modificação em uma carcaça de uma máquina já existente e adaptá-la para este uso.

Quadro 03 – Matriz Morfológica (continuação).


<b>07.</b> Forma de acoplamento da fonte de energia com o dispositivo.	Dispositivo acoplado diretamente no eixo de rotação da máquina que vai transmitir o movimento.	Dispositivo acoplado diretamente no eixo de um motor.	Por engrenagens, formando um ângulo de 90° com o eixo da máquina que vai transmitir o movimento para o dispositivo de corte.	Dispositivo acoplado por engrenagens a um motor.	Acoplado por eixo de transmissão tipo eixo cardã.	Utilizar um dispositivo próprio que faça um ângulo de 90° com o eixo da máquina que vai transmitir o movimento para o dispositivo de corte.
<b>08.</b> Tipo de usuário.	Baixo poder aquisitivo.	Médio poder aquisitivo.	Alto poder aquisitivo.			
<b>09.</b> Custo do produto.	Baixo.	Médio.	Alto.			
<b>10.</b> Material de fabricação Máquina / Dispositivo.	Todo em alumínio ou liga de alumínio.	Aço e plástico.	Ferro fundido e plástico.	Todo em Plástico.	Alumínio ou liga de alumínio e plástico.	Todo em aço.
<b>11.</b> Tipo de laminas para o corte.	Lâminas de aço rápido fabricadas para este uso.	Lâminas de estilete.	Lâminas de bisturi.	Lâminas de faca desenvolvidas para este uso.	Lâminas de gilete.	
<b>12.</b> Posicionar o fio para iniciar o corte.	Guia do tipo tubo metálico.	Régua guia.	Por came.	Bucha metálica.	Guia tipo mola (passa fio).	Tubo plástico.
<b>13.</b> Proteção para a máquina / dispositivo.	Sem proteção	Proteção plástica sem direcionador.	Proteção plástica com direcionador para os fios cortados	Proteção de alumínio com direcionador para os fios cortados.	Proteção em chapa de aço com direcionador para os fios cortados.	Proteção em aço ou alumínio sem direcionador.

Quadro 04 - Soluções Encontradas.

Funções	Possíveis soluções					
	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5	Solução 6
<b>01.</b> Puxar o fio	Um único rolo de borracha.	Único rolo de borracha.	Um rolo de borracha juntamente com um rolo de liga de alumínio com recartilhado.	Um rolo de borracha juntamente com um rolo de celeron.	Par de engrenagens.	Sistema excêntrico.
<b>02.</b> Cortar o fio	Lâminas fixas em um rolo metálico giratório.	Conjunto de lâminas destacáveis dispostas em um rolo metálico giratório.	Lâminas fixas em um rolo metálico giratório.	Conjunto de lâminas destacáveis dispostas em um rolo metálico giratório.	Sistema tipo guilhotina.	Sistema tipo guilhotina.
<b>03.</b> Espaçar o fio.	Pela distância das lâminas dispostas em um rolo metálico.	Pela distância das lâminas dispostas em um rolo metálico.	Pela distância das lâminas dispostas em um rolo metálico.	Pela distância das lâminas dispostas em um rolo metálico.	Sistema excêntrico.	Sistema excêntrico.
<b>04.</b> Transmissão do movimento.	Utilizar um motor de uma faca elétrica.	Utilizar um motor elétrico ou pneumático.	Usar um motor de limpador de parabrisa.	Usar uma furadeira elétrica ou pneumática manual.	Utilizar um motor elétrico ou pneumático.	Utilizar um motor elétrico ou pneumático.
<b>05.</b> Energia utilizada.	Elétrica corrente alternada (CA)	Elétrica corrente alternada (CA).	Elétrica corrente alternada ou contínua (CA/CC).	Elétrica corrente alternada (CA) ou pneumática.	Elétrica corrente alternada (CA) ou pneumática.	Elétrica corrente alternada (CA) ou pneumática.
<b>06.</b> Aspecto ergonômico do produto a ser desenvolvido.	Desenvolver uma carcaça de forma ergonômica e adaptar um motor elétrico ou pneumático nesta carcaça.	Desenvolver uma carcaça de forma ergonômica e adaptar um motor elétrico ou pneumático nesta carcaça.	Desenvolver uma carcaça de forma ergonômica e adaptar um motor elétrico ou pneumático nesta carcaça.	Utilizar qualquer tipo de furadeiras elétricas ou pneumáticas e acoplar o dispositivo de corte melhorando a disposição do sistema já existente.	Desenvolver uma carcaça de forma ergonômica e adaptar um motor elétrico ou pneumático nesta carcaça.	Desenvolver uma carcaça de forma ergonômica e adaptar um motor elétrico ou pneumático nesta carcaça.

Quadro 04 – Soluções Encontradas (continuação).

<b>07.</b> Forma de acoplamento da fonte de energia com o dispositivo.	Dispositivo acoplado diretamente no eixo de um motor	Dispositivo acoplado por engrenagens a um motor.	Dispositivo acoplado diretamente no eixo do motor.	Utilizar um dispositivo próprio que faça um ângulo de 90° com o eixo da máquina que vai transmitir o movimento para o dispositivo de corte.	Dispositivo acoplado diretamente no eixo de rotação da máquina que vai transmitir o movimento.	Dispositivo acoplado diretamente no eixo de rotação da máquina que vai transmitir o movimento.
<b>08.</b> Tipo de usuário.	Baixo poder aquisitivo.	Médio poder aquisitivo.	Baixo poder aquisitivo.	Baixo poder aquisitivo.	Médio poder aquisitivo.	Médio poder aquisitivo.
<b>09.</b> Custo do produto.	Baixo.	Médio.	Baixo.	Baixo.	Médio.	Médio.
<b>10.</b> . Material de fabricação Máquina / Dispositivo.	Alumínio e plástico.	Alumínio e plástico.	Alumínio e plástico.	Alumínio e plástico.	Alumínio e plástico.	Alumínio e plástico.
<b>11.</b> Tipo de lâminas para o corte.	Lâminas de aço rápido fabricadas para este uso.	Lâminas de faca desenvolvidas para este uso.	Lâminas de bisturi.	Lâminas de aço rápido fabricado para este uso.	Lâminas de faca desenvolvidas para este uso.	Lâminas de bisturi.
<b>12.</b> Posicionar o fio para iniciar o corte.	Guia do tipo tubo metálico.	Bucha metálica.	Guia do tipo tubo metálico.	Guia do tipo mola (passa fio).	Guia do tipo tubo metálico.	Guia do tipo tubo metálico.
<b>13.</b> Proteção para a máquina / dispositivo.	Proteção plástica com direcionador para os fios cortados.	Proteção em aço ou alumínio sem direcionador.	Proteção plástica com direcionador para os fios cortados.	Proteção plástica com direcionador para os fios cortados.	Proteção em chapa de aço com direcionador para os fios cortados.	Proteção em aço ou alumínio sem direcionador.

 → Provável solução a ser adotada.

Fazendo a análise das possíveis soluções tabeladas na matriz morfológica, e combinando todos os dados, chegamos a várias soluções para o problema proposto, como mostra o quadro 04. Logicamente que poderíamos ter muito mais combinações do que está sendo apresentado aqui, devido ao grande número de dados que poderiam ser cruzados e combinados entre si na matriz morfológica. Mas como o objetivo deste estudo é mostrar a eficiência da metodologia e seus métodos na busca de soluções para um problema de projeto de produto, achamos que não seria necessário listar todas as possíveis soluções que poderíamos encontrar. Apresentamos as mais interessantes juntamente com aquela que achamos ser a mais adequada para o problema.

Após esta fase, achamos que já tínhamos conhecimento suficiente para começar a desenhar o modelo da máquina para o corte do “roving”. Então, com a análise das idéias e das possíveis soluções geradas pela matriz morfológica, passamos para a etapa seguinte que será a de elaboração de alguns desenhos preliminares e conceituais, baseados em uma ou mais soluções encontradas na matriz. Com isso, podemos classificar e identificar qual a solução mais adequada para o problema proposto e que atende satisfatoriamente todos os requisitos de projeto.

Os desenhos e conceituais servirão futuramente para definirmos os desenhos preliminares e daí partirmos para o modelo e assim sucessivamente até o protótipo do produto e finalmente as avaliações e os testes.

Os primeiros desenhos e esboços para a máquina de corte do “roving” foram baseados nas idéias geradas pela matriz morfológica, e podem ser observados nas figuras 49, 50, 51, 52, 53, e 54. As primeiras tentativas serviram também como base para fazer algumas análises e levantamentos das diferentes possibilidades e modelos de máquinas para corte de “roving” que podem ser projetadas ou redesenhadas.

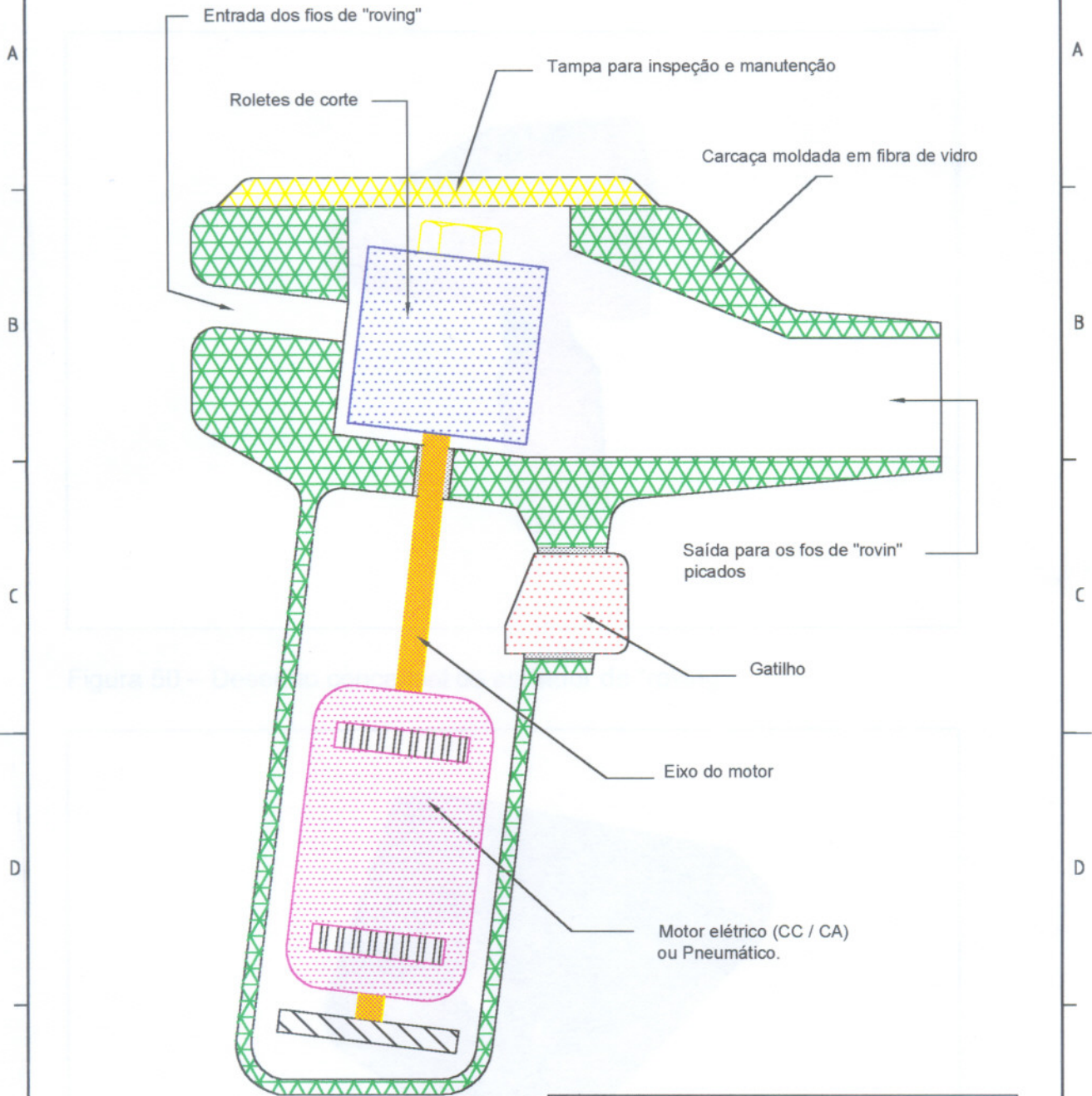


Figura 50 - Des...

Figura 49 - Desenho conceitual do cortador de "roving".

Nome do desenho:		Máquina para Corte do "Roving"			
Cliente:		PPGEP - UFSM			
Resp. Técnico:	Eng.º Gilmar Fernando Vogel Eng.º Mecânico - CREA 76416	Data:	Jul/2001	Ass.:	
Desenhista:	Gilmar	Data:	Jul/2001	Ass.:	
		Umidade:	mm	Escala:	1/1
		Revisão:	01	Nome CAD:	GCAD 01



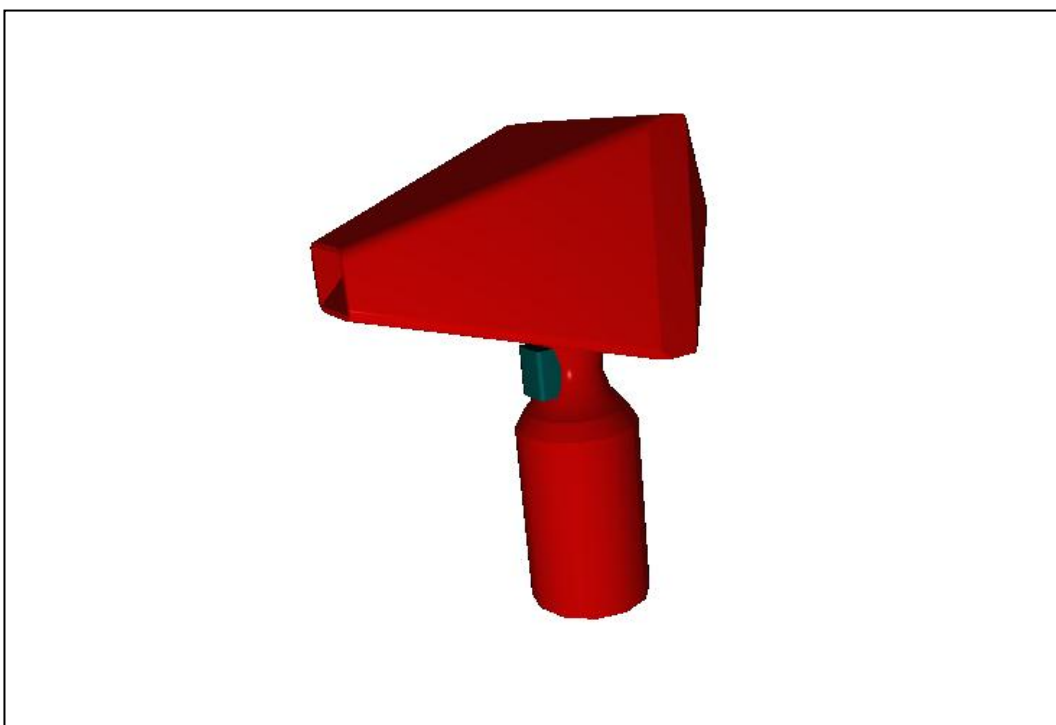


Figura 50 – Desenho conceitual do cortador de “roving”.

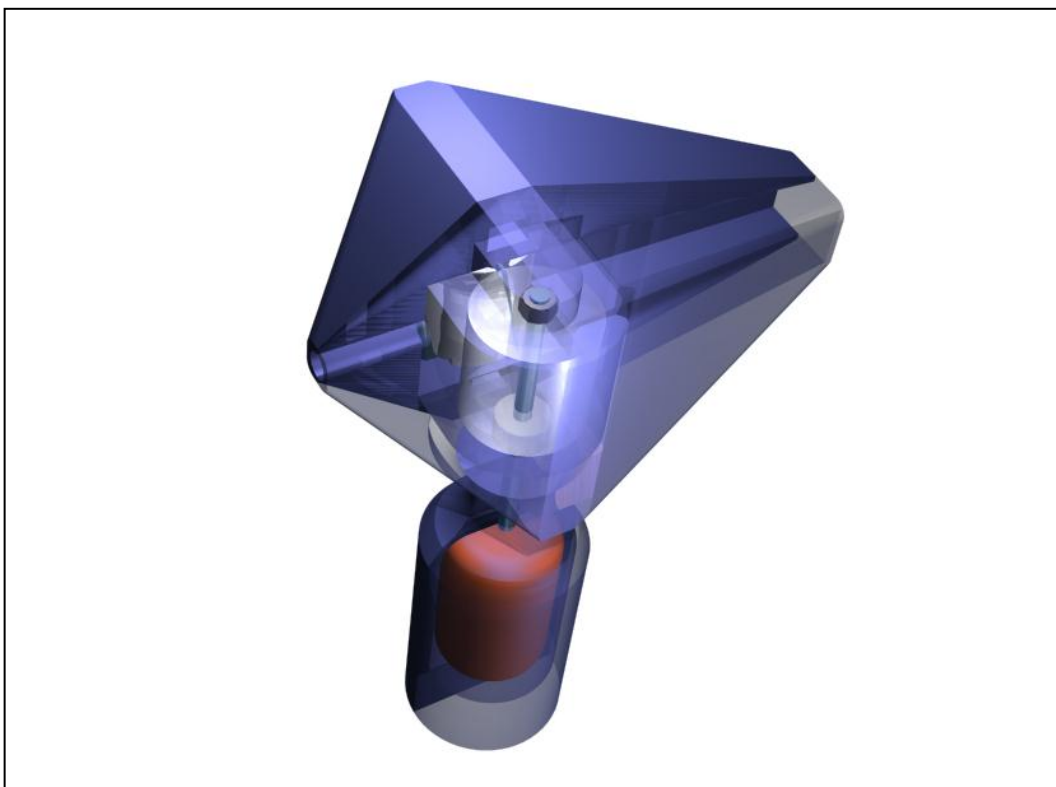


Figura 51 – Desenho conceitual do cortador de “roving”.

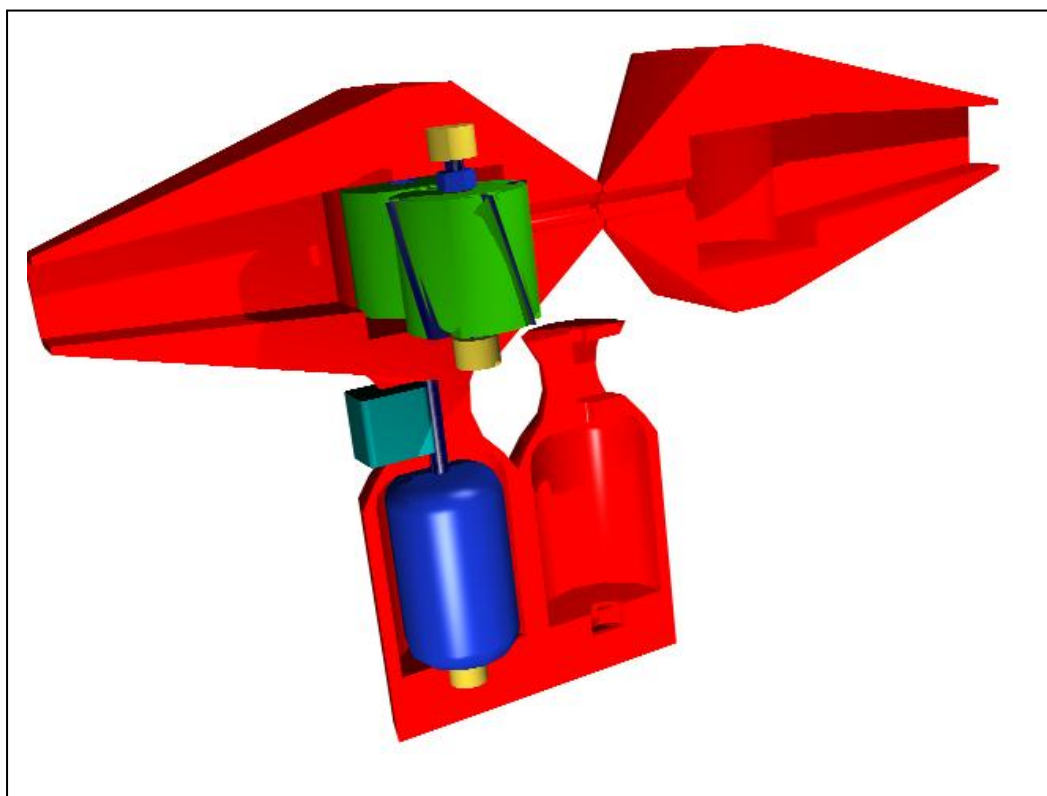


Figura 52 – Desenho conceitual de montagem cortador de “roving”.

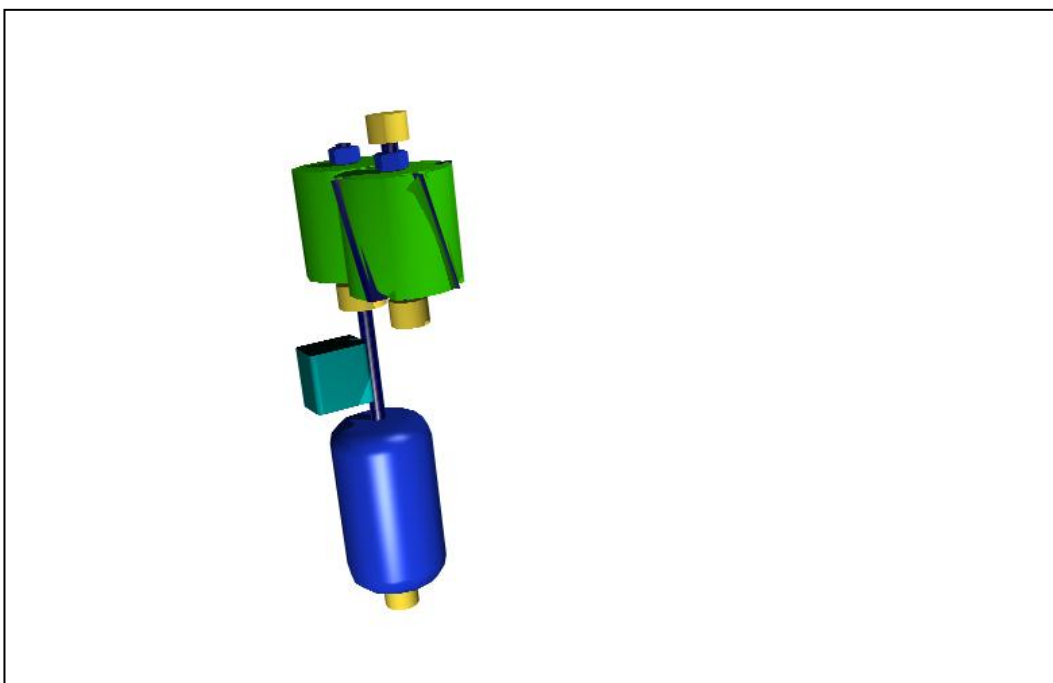


Figura 53 – Desenho conceitual do motor do cortador de “roving”.

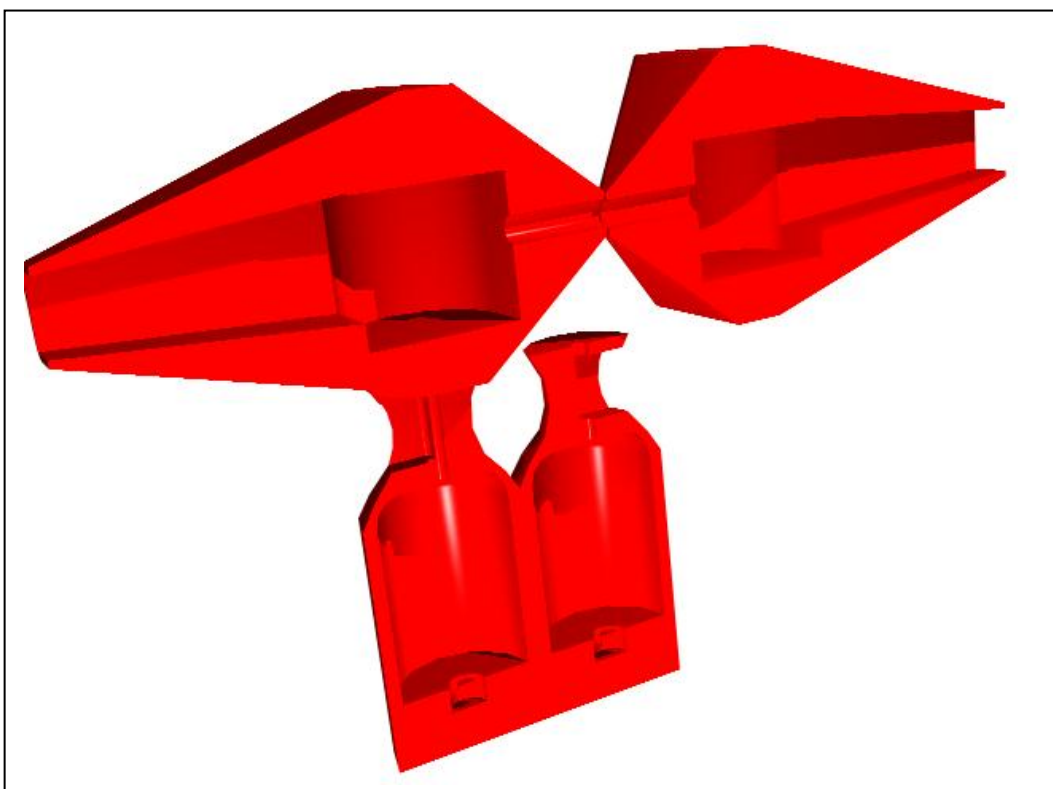


Figura 54 – Desenho conceitual da carcaça do cortador de “roving”.

No segundo momento, voltamos à revisão de literatura, feita no segundo capítulo deste estudo, para obtermos o embasamento teórico necessário e então definirmos qual ou quais as soluções que devemos adotar.

De retorno ao projeto para a máquina de corte do “roving”, foram desenvolvidos mais alguns desenhos conceituais de acordo com as soluções geradas na matriz morfológica, ver figuras 55, 56 e 57.

Após estas etapas, optamos então pela “**SOLUÇÃO 4**”, gerada na matriz morfológica, como sendo a solução mais adequada para o problema proposto, (ver figuras 58 e 59), pela sua simplicidade, facilidade de fabricação, custo relativamente baixo se comparado com o custo dos demais equipamentos utilizados para laminação com fibras de vidro, porque podemos usar um mecanismo de transmissão angular que

existente no mercado, e que resolve o problema da posição do dispositivo de corte do “roving”, em relação ao braço do operador, o que hoje é um dos principais causadores de problemas de saúde para os trabalhadores. Um outro fator importante é que podemos usar qualquer tipo de furadeira manual elétrica ou pneumática para a transmissão do movimento de rotação para o dispositivo de corte, onde já existe um estudo ergonômico adequado de empunhadura e demais fatores que trazem conforto e segurança para o trabalho dos operadores. Também podemos observar que o novo dispositivo de corte do “roving” pode ser montado com a disposição dos rolos de corte na parte de cima da furadeira ou ao lado da furadeira, como o operador preferir, trazendo opções de posição de trabalho para os operadores sem causar nenhum problema de ordem músculo-esqueléticas.

Cabe aqui salientar que as outras soluções geradas pela matriz morfológica, figuras 55, 56 e 57, são muito relevantes, e devem também ser avaliadas, pois podemos observar que estas soluções podem ser consideradas como uma variação da “solução 4” e que podem tornam-se como uma opção de fabricação.

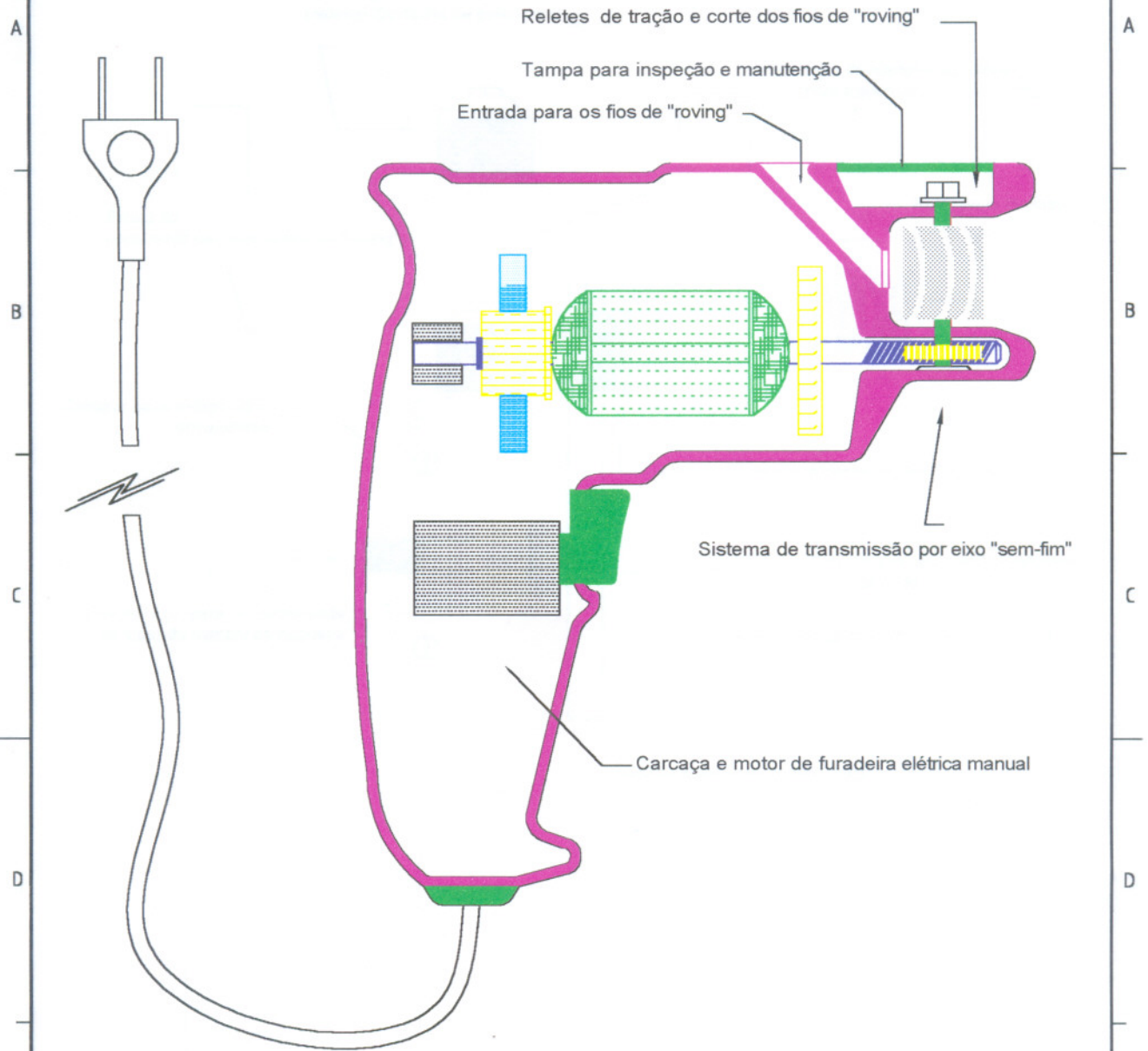


Figura 55 - Desenho preliminar da máquina de corte de "roving".

Nome do desenho:  
**Cortador de "Roving" (desenho preliminar)**

Cliente:  
**PPGEP - UFSM**

Resp. Técnico: Eng.º Gilmar Fernando Vogel  
 Eng.º Mecânico - CREA 76416

Data: Jul / 2001

Ass.:

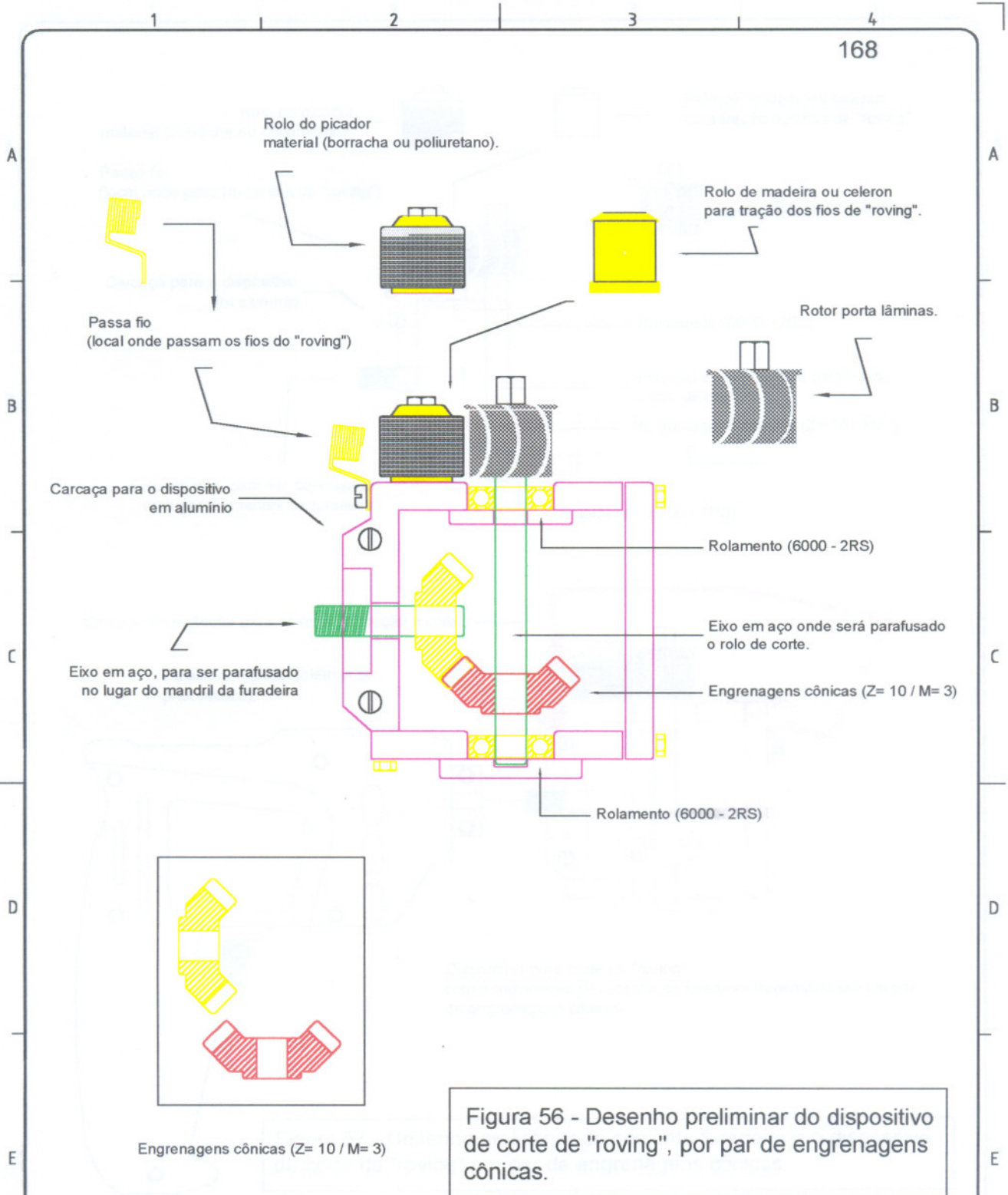
Desenhista: Gilmar

Data: Jul / 2001

Ass.:

Umidade: mm  
 Escala: 1/2

Revisão: 02  
 Nome CAD: GCAD 02



Nome do desenho:					
<b>Dispositivo p/ Corte de Roving</b>					
Cliente:					
<b>PPGEP - UFSM</b>					
Resp. Técnico:	Eng.º Gilmar Fernando Vogel Eng.º Mecânico - CREA 76416	Data:	07/2001	Ass.:	
Desenhista:	Gilmar	Data:	07/2001	Ass.:	
		Umidade:	mm	Escala:	1/2
		Revisão:	03	Nome CAD:	GCAD-03

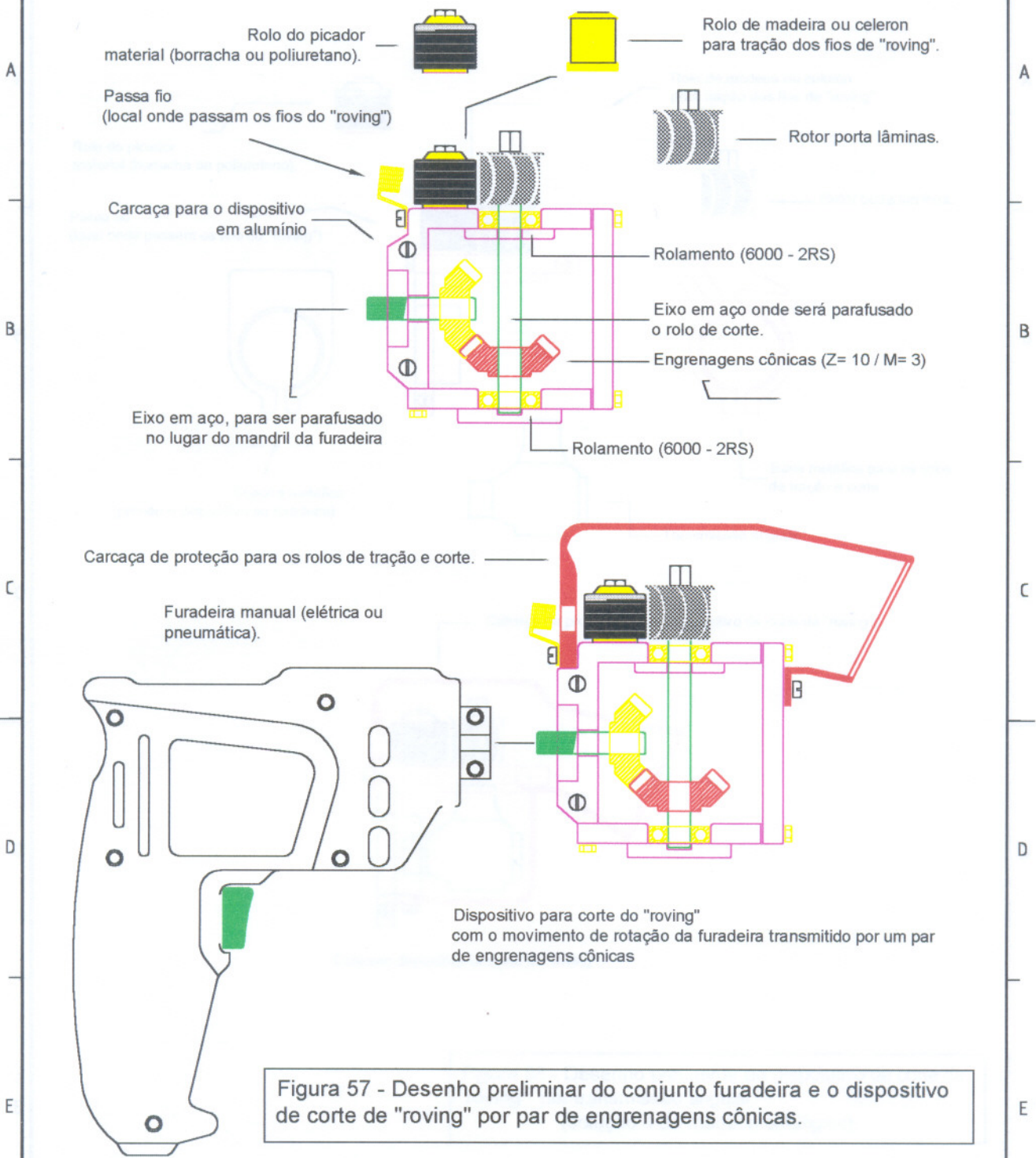


Figura 57 - Desenho preliminar do conjunto furadeira e o dispositivo de corte de "roving" por par de engrenagens cônicas.

Nome do desenho:

Cj. dispositivo de corte do "roving" / furadeira

Cliente:

PPGEP - UFSM

Resp. Técnico: Eng.º Gilmar Fernando Vogel  
Eng.º Mecânico - CREA 76416

Data: 07/2001

Ass.:

Umidade: mm

Escala: 1/3

Desenhista: Gilmar

Data: 07/2001

Ass.:

Revisão: 04

Nome CAD: GCAD 04

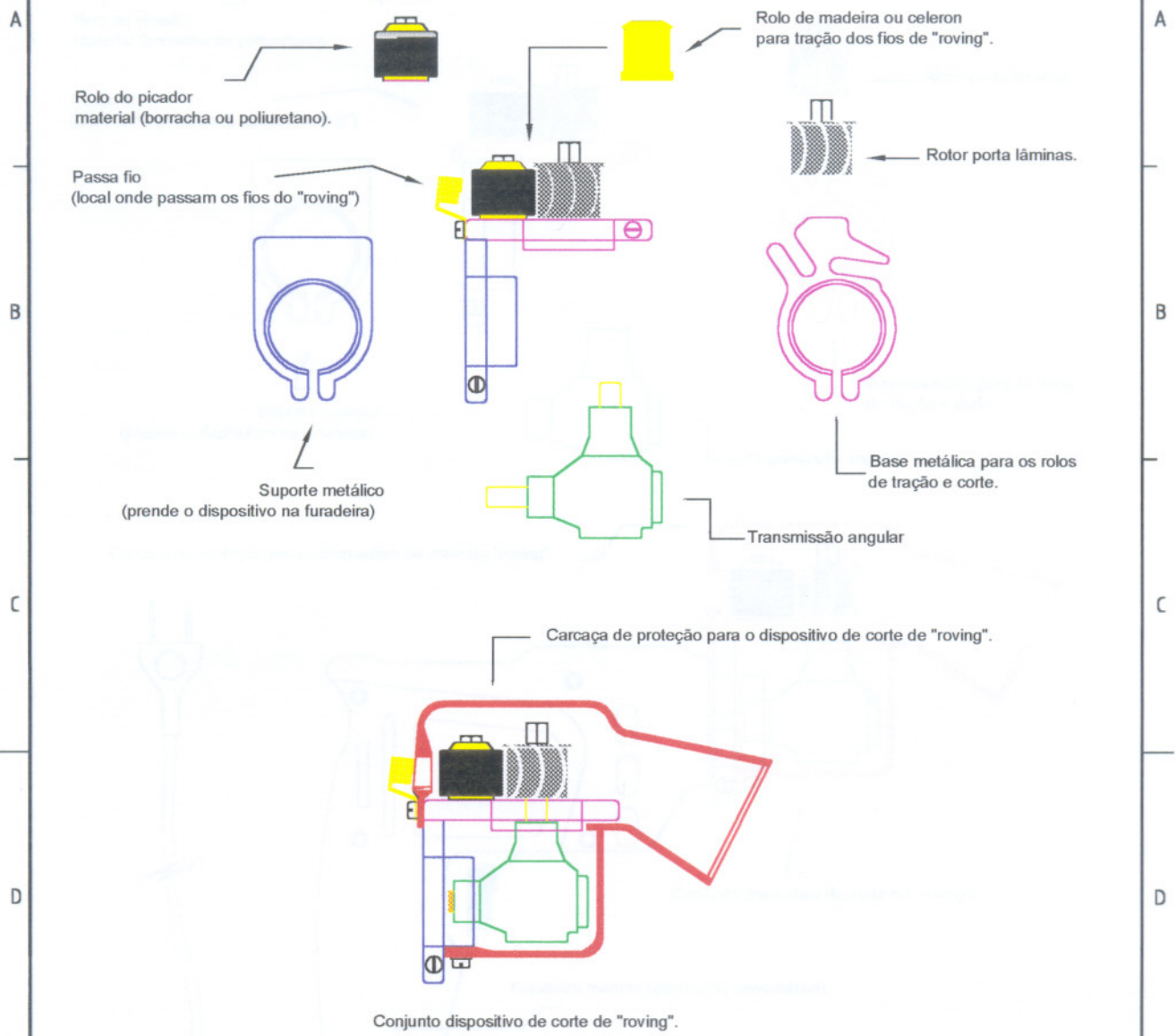
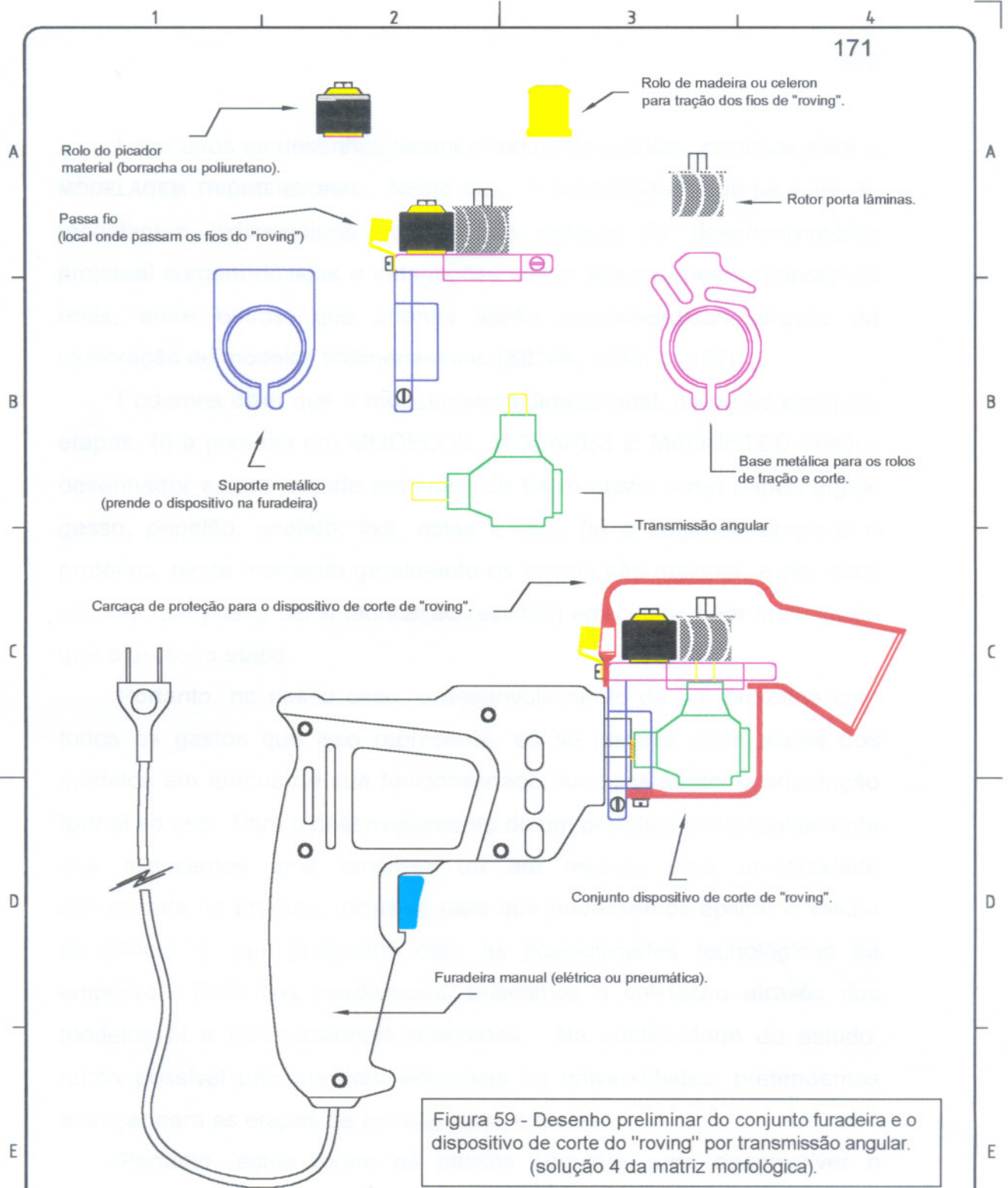


Figura 58 - Desenho preliminar do dispositivo de corte de "roving" por transmissão angular.  
(solução 4 da matriz morfológica).

Nome do desenho:					
<b>Dispositivo de corte de "roving" (Solução 4)</b>					
Cliente:					
<b>PPGEP - UFSM</b>					
Resp. Técnico:	Eng.º Gilmar Fernando Vogel Eng.º Mecânico - CREA 79416	Data:	Jul /2001	Ass.:	
Desenhista:	Gilmar	Data:	Jul /2001	Ass.:	
Umidade:	mm	Escala:	1/3		
Revisão:	05	Nome CAD:	GCAD 05		





Nome do desenho:

Cj. dispositivo de corte do "roving" / furadeira

Cliente:

PPGEP - UFSM

Resp. Técnico: Eng.º Gilmar Fernando Vogel  
Eng.º Mecânico - CREA 79416

Data: Jul /2001

Ass.:

Umidade: mm

Escala: 1/3

Desenhista: Gilmar

Data: Jul /2001

Ass.:

Revisão: 06

Nome CAD: GCAD 06

Logo após os desenhos bidimensionais do produto, partimos para a **MODELAGEM TRIDIMENSIONAL**. Nesta fase, o desenhador pode se valer da modelagem bidimensional, pois neste estágio de desenvolvimento projetual surgem dúvidas e indagações como: volume, peso, proporções reais, entre outras, que apenas serão compreendidas através da exploração de modelos tridimensionais (SILVA, 1988, p. 132).

Podemos dizer que a modelagem tridimensional, divide-se em duas etapas: (i) a primeira em MODELOS, MOCAPES E MAQUETES onde o desenhador estará usando materiais de baixo custo como papel, argila, gesso, papelão, acetato, lixa, colas e etc., (ii) a segunda etapa é o protótipo, neste momento geralmente os gastos são maiores, e por mais simples que possa ser a fabricação resultam em custos bem maiores do que a primeira etapa.

Portanto, no nosso caso, o desenvolvimento de um protótipo com todos os gastos que isso representa, só se justifica após testes dos modelos em termos de sua funcionalidade, funcionamento, e adaptação formal ao uso. Para o desenvolvimento de um protótipo seria conveniente que tivéssemos uma empresa ou até mesmo uma universidade interessada no produto, inclusive para que pudéssemos aplicar e validar os princípios aqui propostos com as possibilidades tecnológicas da empresa. Para fins acadêmicos, buscamos a validação através dos modelos bi e tridimensionais realizados. Na continuidade do estudo, numa possível parceria com empresas ou universidades, pretendemos avançar para as etapas de prototipagem e testes.

Portanto, estes foram os passos seguidos para desenvolver o modelo para a máquina de corte do “roving”. A cada decisão, com relação à forma, tamanho, modelo, localização e principalmente ao tipo de equipamento que seria desenvolvido, nos baseamos em normas e revisões de literatura que foram citadas no segundo capítulo dessa dissertação, mas não devemos esquecer, que também utilizamos muito

nossa imaginação, pois segundo MONTENEGRO (1987, p. 126), Einstein disse: **“A IMAGINAÇÃO É MAIS IMPORTANTE DO QUE O CONHECIMENTO”**.

O último capítulo dessa dissertação será dedicado a responder algumas perguntas que devem ter surgido durante a leitura dessa pesquisa, como: Por quê desenvolver este tipo equipamento? Para que trabalhar no redesenho de uma máquina deste tipo? Então, diante destas e de tantas outras perguntas que poderão surgir, tentaremos responder alguns destes questionamentos, no próximo capítulo, que será dedicado às **CONCLUSÕES DO NOSSO ESTUDO**.

## BIBLIOGRAFIA

ALBA QUÍMICA. **Crystic Tecnologia em Resinas Poliéster**. São Paulo: Livraria Cultura Editora. 1988. 157 p.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1983. 389p.

BASSO, J. L. **Engenharia e análise de valor – EAV: mais as abordagens da administração, contabilidade e gerenciamento do valor: um guia prático para a aplicação: interfaces do EAV x TQM x JIT e outros programas**. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais, 1991. – (Série qualidade e produtividade do IMAN). 194 p.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blücher. 1998. 256 p.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2. ed. 1988. 312 p.

BONSIEPE, G. KELLNER, P. POESSNECKER, H. **Metodologia experimental: desenho industrial**. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1994. 86 p.

BONSIEPE, G. WALKER, R. **Um experimento em projeto do produto: desenho industrial**. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1983.110 p.

BONSIEPE, G. **Estrutura e estética do produto**. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, maio 1986a.118 p.

CARVALHO, A. F. **Apostilas da Fiberglass**. São Paulo.

CONGRESSO BRASILEIRO DOS PLÁSTICOS REFORÇADOS. São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1996.

Dul J. & Weerdmeester B. **Ergonomia Prática**. São Paulo: Edgard Blücher. 1995. 147p.

FAGUNDES, S. B. R. **Bases projetuais da manopla de joistique para acionar a grua do conjunto trator-descascador florestal móvel**. 1999. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o trabalho ao homem**. Porto Alegre: Bookman, 1998. 338 p.

GRISON, E. C. **Poliéster Insaturado**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1987. 113 p.

IIDA, ITIRO. **Ergonomia: Projeto e Produção**. São Paulo: Edgard Blüncher, 1990. 465p.

LITERATURA TÉCNICA RESANA. Mogi das Cruses-SP, 1977.

LITERATURA TÉCNICA SANTA MARINA – Divisão Vetrotex. Capivari-SP. 1997.

Michaeli W. Greif H. Kaufman H. Vossebürger F. J. **Tecnologia dos Plásticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995. 205 p.

MONTENEGRO, G. A. **A invenção do Projeto**. São Paulo: Edgard Blücher. 1995. 131p.

NIEMANN, G. **Elementos de Máquinas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971. v. 1, 6.ed.

OCFIBRAS. **Plástico Reforçado com Fibras de Vidro Guia de Fabricação Pelos Processos Manual (“hand lay-up”) e a pistola (“spray-up”)**. São Paulo, 1982. 47 p.

REDIG, J. **Desenho de Produto: Comunicação Visual: sobre o desenho industrial**. ESDI/UERJ. 1977. 34 p.

REVISTA PLÁSTICO MODERNO. São Paulo: Ed. Qd. n. 267, jul. 1996.

SELL, I. **Ergonomia para Profissionais da Saúde Ocupacional**. In: Vieira, S. I. (Coordenador). *Medicina Básica do Trabalho*. Curitiba: Editora Gênese. 688 p., Cap. 9, 1994. p. 251-322

SILVA, C. E. S. A., ULBRICHT, V. R. S., NETO, M. F. Importância da Criatividade no Contexto Emergente do Desenvolvimento de Produtos. In: Enegep 98. **Anais...** Niterói: UFF/ TEP/ ABERGO/ SEBRAI/ ABEPRO. 1998. (CDROM).

SILVA, D. E. N. **Uma sistematização do processo de desenho projetual com base em estudos sobre cultura material**. Santa Maria: UFSM, 1998. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Maria.

STEMER, E. **Projeto e Construção de Máquinas**. Porto Alegre: Ministério da Educação e Cultura: Globo, 1980.