

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**Joab Francisco de Souza**

**APLICAÇÃO DE PROJETO PARA  
MANUFATURA E MONTAGEM EM UMA  
ABORDAGEM DE ENGENHARIA REVERSA:  
ESTUDO DE CASO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito para obtenção do título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Produção*.

**Orientador:** Prof. Carlos Henrique Pereira Mello, Dr.

**Co-orientador:** Prof. Carlos Eduardo Sanches da Silva, Dr.

**Itajubá**

**2007**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB\_6/1700

S729a

Souza, Joab Francisco de

Aplicação de projeto para manufatura e montagem em uma  
abordagem de Engenharia Reversa : estudo de caso / Joab Fran\_  
cisco de Souza. -- Itajubá,(MG) : [s.n.], 2007.

135 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello.

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva.

Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Desenvolvimento de produtos. 2. Projeto para manufatura e  
montagem. 3. Engenharia Reversa. I. Mello, Carlos Henrique Pe\_  
reira, orient. II. Silva, Carlos Eduardo Sanches da, co-orient. III.  
Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

CDU 658.624(043)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**Joab Francisco de Souza**

**APLICAÇÃO DE PROJETO PARA  
MANUFATURA E MONTAGEM EM UMA  
ABORDAGEM DE ENGENHARIA REVERSA:  
ESTUDO DE CASO**

Dissertação submetida a aprovação por banca examinadora em 06 de Agosto de 2007, conferindo ao autor o título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. José Carlos de Toledo (UFsCar)

Prof. Dr. Sebastião Carlos da Costa (UNIFEI)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva (Co-orientador)

Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello (Orientador)

**Itajubá**

**2007**



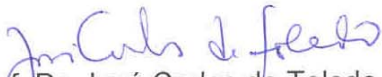
Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002


## ANEXO I


### PRONUNCIAMENTO DA BANCA EXAMINADORA


A Banca Examinadora, abaixo assinada, nomeada pela Portaria nº 393, de 03 de agosto de 2007, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: **“Aplicação de Projeto para Manufatura e Montagem em uma Abordagem de Engenharia Reversa: Estudo de Caso”**, apresenta pronunciamento no sentido de que o Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá solicite ao DRA (Departamento de Registro Acadêmico) a expedição do título de **Mestre em Ciências em Engenharia de Produção**, na área de Concentração **Qualidade e Produto**, satisfeitas as demais exigências regimentais a **Joab Francisco de Souza**.

Itajubá, 06 de agosto de 2007.

  
Prof. Dr. José Carlos de Toledo  
1º Examinador – UFSCar

  
Prof. Dr. Sebastião Carlos da Costa  
2º Examinador - UNIFEI

  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches da Silva  
3º Examinador – UNIFEI – Có-Orientador

  
Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello  
4º Examinador – UNIFEI – Orientador

## Dedicatória

... O qual recompensará cada um segundo as suas obras, a saber: A vida eterna aos que, com perseverança em fazer bem, procuram glória, honra e incorrupção. (Romanos 2:7)

Dedico primeiramente à Deus pela perseverança que foi me dada como um dom que me faz sempre buscá-lo e que sempre me ajudou nos propósitos que tenho, inclusive o de concluir este trabalho.

Dedico de forma geral os resultados obtidos com o trabalho às pessoas que participaram neste processo de forma direta e indiretamente.

Entre os tantos que participaram, gostaria de lembrar primeiramente dos meus pais, Jovino Francisco de Souza e Eunice, que, mesmo dentro de suas humildes raízes, identificaram a necessidade de mostrar-nos a importância de encarar os obstáculos de frente e a necessidade de um bom preparo acadêmico e com isto a disposição para estar sempre aberto a novos conhecimentos.

Dedico à minha esposa Lygia e às minhas filhas Carolina e Raphaela que foram as pessoas que, de certa forma, mais perderam com minhas ausências, mesmo quando estava fisicamente dentro de casa.

Por último, sem utilizar ordens de importância, dedico aos Doutores Carlos Mello e Carlos Sanches, pelos direcionamentos que me deram e pelas correções nas “viagens” que em algumas vezes comecei a fazer.

## **Agradecimentos**

O presente trabalho de dissertação de mestrado tem o direito de ser chamado exatamente pelo termo utilizado no início desta linha, um “grande trabalho”.

Poucos empreendimentos pessoais e profissionais que assumi encarar na minha vida necessitaram de uma demanda tão expressiva de força de vontade, esforço e esperança (além da sorte de ter o trabalho inicial lido e selecionado dentro de um apertado processo seletivo). Porém o resultado obtido no final e mesmo os obstáculos que foram vencidos durante o processo com certeza me fizeram crescer e observar detalhes que de outra forma não teria nem mesmo levado em consideração.

Então, agradeço novamente de forma muito especial àqueles que foram mencionados na dedicatória.

Agradeço também aos meus colegas do curso de especialização que deu início a todo este processo, Márcio, Douglas, Edvaldo e Grama, por termos passados pelo agradável incômodo de nos deslocarmos apertadamente em nossos carros para outras cidades aqui no sul de Minas Gerais.

## Resumo

O presente trabalho faz uma análise sobre um modelo de desenvolvimento de produtos composto de oito fases que foi adaptado visando a integração das metodologias de Projeto para Manufatura e Montagem (DFMA) e a Engenharia Reversa (ER).

Objetiva-se analisar como a busca ao atendimento das necessidades da produtibilidade e montabilidade em uma abordagem de engenharia reversa pode ajudar no processo de desenvolvimento de novos produtos.

Buscou-se inicialmente uma revisão bibliográfica sobre os temas abordados e um estudo mais específico para a análise e adaptação do modelo de desenvolvimento de produtos.

A metodologia de pesquisa utilizada foi o estudo de caso, onde o pesquisador esteve em contato direto com o objeto de estudo que foi a equipe de desenvolvimento de produtos de uma empresa de porte médio que possui uma participação ascendente no mercado em que atua. A pesquisa foi desenvolvida fazendo um acompanhamento das fases do modelo.

Ao final foi realizada uma entrevista com os diretores e supervisores das áreas que poderiam sofrer impactos diretos e indiretos com a aplicação do modelo e os resultados foram compilados para ajudar nas avaliações finais.

Os resultados observados com a aplicação do modelo no caso estudado mostram que existe a possibilidade de ganhos potenciais com a sua aplicação, tanto em termos de reduções em custos e prazos, como com o aumento da confiabilidade do processo através das avaliações prévias para melhor utilização dos recursos produtivos, sejam eles existentes na fábrica ou em planejamento para aquisição.

Ganhos estes que podem ser muito importantes para o processo de desenvolvimento de produtos das pequenas e médias empresas (PME), onde é muito comum a desestruturação dos processos devido à limitação de recursos e à necessidade de obtenção de resultados imediatos.

## **Abstract**

The present work makes an analysis on a model of development of products composed by 8 phases that was adapted in order to make a integration between Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) and the Reverse Engineering (ER) methodologies.

The objective is to analyze how been working with attending the production needs in an approach of Reverse Engineering can help in the process of development of new products.

At the initial part was made a bibliographical revision of the main themes, soon after a more specific study for the analysis and adaptation of the product development model.

The research methodology used was the case study research, where the researcher was in a direct contact with the study object that was the team of development of products of a medium company that is in an ascending participation in his market. The research was developed making an attendance of the phases of the model.

At the end an interview was accomplished with the directors and supervisors of the areas that could suffer direct and indirect impact with the application of the model and the results were compiled and helped in the final evaluations.

The observed results with the application of the model shows that really exist potential gains with this application in terms of costs reductions and time to launch as with the increase of the reliability of the process through the previous evaluations for better uses of the productive resources, be them existent in the factory or in planning for acquisition.

These gains can be very important to the product development process of small and medians companies, where is very common works with mis-structured processes due to the limitation of resources and because the need of obtaining of immediate results.



## Lista de figuras

Figura 1.1	Participação do mercado x tamanho da empresa (número de funcionários)	18
Figura 2.1	Modelo básico com seqüência de fases comuns a outros modelos referência	26
Figura 2.2	Priorização das atividades do desenvolvimento e a estratégia adotada	31
Figura 2.3	Seqüência de atividades que caracterizam a aplicação da E.R.	38
Figura 2.4	Modelo proposto por Gurgel	42
Figura 2.5	Custos totais da produção	48
Figura 2.6	Transferência informações Engenharia x Produção (Processo)	51
Figura 2.7	Passos comumente praticada em projeto usando a metodologia DFMA	52
Figura 2.8	Características geométricas que afetam o manuseio no DFMA	56
Figura 2.9	Outras características que afetam o manuseio no DFMA	57
Figura 2.10	Influência na força de montagem de componentes	58
Figura 2.11	Seqüência de montagem em pirâmide	59
Figura 2.12	Operações adicionais de posicionamento para montagem	60
Figura 2.13	Necessidade de pré-posicionamentos ao soltar o componente	60
Figura 2.14	Rearranjo das conexões para melhorar a eficiência de montagem	61
Figura 2.15	Exemplo de conjunto com a facilitação de acesso durante a montagem	62
Figura 2.16	Exemplo de conjunto sem a possibilidade de ajuste	62
Figura 2.17	Análise cinemática de posicionamento de um bloco	63
Figura 2.18	Exemplo de excesso de restrições cinemáticas e uma das possíveis soluções	64
Figura 2.19	Esquema de cotação funcional	64
Figura 2.20	Esquema de questionamento para componentes candidatos a eliminação	67
Figura 2.21	Valores angulares para Alpha e Beta	70
Figura 3.1	Processo tradicional de desenvolvimento do produto com DFMA	81
Figura 3.2	Processo de desenvolvimento do produto com abordagem na E.R.	83
Figura 3.3	Proposta de inclusão do DFMA no processo de Engenharia Reversa	84
Figura 3.4	Adaptação do modelo proposto para desenvolvimento de produtos com o uso do DFMA no processo de Engenharia Reversa	85
Figura 4.1	Produto nacional a ser analisado e o forno alemão de referência	98
Figura 4.2	Fornos em estudo	100
Figura 4.3	Principais sistemas dos produtos em análise	101
Figura 4.4	Diferenças entre os painéis do forno referência e o nacional	103
Figura 4.5	Detalhe do sistema de isolamento do ambiente interno dos fornos	104
Figura 4.6	Detalhes da ventoinha do forno de referência	105
Figura 4.7	Detalhes do sistema de iluminação do forno de referência	105
Figura 4.8	Detalhes do sistema de sensoriamento dos fornos	106
Figura 4.9	Detalhe dos fornos – Visualização dos sistemas da porta	107
Figura 4.10	Detalhes da porta interna de vidro	108
Figura 4.11	Detalhes do acabamento superior da porta interna de vidro	109
Figura 4.12	Detalhes da fixação superior e inferior da porta externa	110
Figura 4.13	Detalhes da maçaneta dos dois fornos	111

Figura 4.14	Detalhes da trava da maçaneta dos dois fornos	114
Figura 4.15	Detalhe da proposta de conceito para o travamento do trinco	119
Figura 4.16	Proposta de conceito em resina pelo processo de FDM	120

### **Lista de tabelas**

Tabela 2.1	Ganhos obtidos com a redução de custos com a aplicação do DFMA	49
Tabela 2.2	Custos totais da produção de referencia	49
Tabela 2.3	Tabela com tempos pré-determinados para manuseio	69
Tabela 2.4	Tabela com tempos pré-determinados para inserção	72

### **Lista de quadros**

Quadro 4.1	Resumo das características dos dois fornos e suas análises	116
------------	------------------------------------------------------------	-----

### **Lista de equações**

Equação 2.1	Eficiência de montagem	66
-------------	------------------------	----

## Lista de siglas

DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i> (Projeto para manufatura e montagem)
DFA	<i>Design for Assembly</i> (Projeto para montagem)
DFM	<i>Design for Manufacturing</i> (Projeto para manufatura)
ER/RE	<i>Reverse Engineering</i> (Engenharia reversa)
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Desdobramento da função qualidade)
PME	Pequenas e Médias Empresas
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (Análise do modo e efeito da falha)
TRIZ	<i>Theory of Inventive Problem Solving</i> (Teoria para solução inventiva de problemas)
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> (Modelagem por deposição de material fundido)

# SUMÁRIO

## 1. INTRODUÇÃO

1.1	Considerações iniciais	15
1.2	Objetivo	15
1.3	Justificativa	16
1.4	Limitações do trabalho	18
1.5	Metodologia de pesquisa	19
1.6	Estrutura da dissertação	21

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1	Processos de desenvolvimento de produtos	23
2.1.1	Estratégias para desenvolvimento	28
2.1.2	Incentivo sistemático à criatividade	33
2.1.3	Preparo e conhecimento tecnológico da equipe	34
2.2	Engenharia reversa – ER, <i>Reverse Engineering (RE)</i>	36
2.2.1	Modelamento de componentes	39
2.2.2	Análise funcional de subconjuntos	41
2.3	Projeto para Manufatura e Montagem ( <i>Design for manufacture and assembly – DFMA</i> )	43
2.3.1	Conceituação	43
2.3.2	Etapas para a aplicação do DFA	51
2.3.2.1	Processo de análise e guia para projeto	53
2.3.2.2	Manuseio de componentes	54
2.3.2.3	Inserções e fixações	57
2.3.2.4	Outros guias gerais para projeto	61
2.3.2.5	Sistemática para o desenvolvimento do DFA	65
2.3.2.6	Eficiência de montagem	65
2.3.2.7	Estimativa do tempo de montagem	67
2.3.2.7a	Manuseio manual	68
2.3.2.7b	Sistema de classificação para inserção e fixação manual	71
2.3.2.7c	Aplicação da metodologia do DFA	74
2.3.2.8	Razões para não implementar o DFA	75
2.3.2.9	Benefícios com a implementação do DFA	78

## 3. MODELO PROPOSTO COM A INTEGRAÇÃO DAS METODOLOGIAS

3.1	Identificação da oportunidade e aquisições do produto considerado como referência no mercado	85
3.2	Coletar e preparar dados iniciais	86
3.3	Formação da equipe	88
3.4	Desmontar (informações sobre o produto)	89
3.5	Medir e testar (informações sobre os componentes)	91
3.6	Especificar e documentar	93
3.7	Prototipar	93
3.8	Analisar e rever os resultados	94

#### **4. ESTUDO DE CASO**

4.1	Unidade de análise	95
4.2	Aplicação do modelo	96
4.2.1	Identificação da oportunidade	97
4.2.2	Coletar e preparar dados iniciais	98
4.2.3	Formação da equipe	99
4.2.4	Desmontagem e informações sobre o produto	100
4.2.4.1	Visualização geral dos fornos	101
4.2.4.2	Motor elétrico	102
4.2.4.3	Esguicho de água	102
4.2.4.4	Painel elétrico	102
4.2.4.5	Sistema de exaustão de gases	103
4.2.4.6	Isolamento do ambiente interno	103
4.2.4.7	Circulação de ar aquecido	104
4.2.4.8	Sistema de iluminação do ambiente interno	105
4.2.4.9	Porta de vidro interna	107
4.2.4.10	Ancoragem da porta externa	109
4.2.4.11	Maçaneta da porta	110
4.2.4.11a	Sentido de abertura.	111
4.2.4.11b	Posição neutra da alavanca	111
4.2.4.12	Trava da maçaneta	112
4.2.4.12a	Travamento do trinco da maçaneta	112
4.2.4.12b	Ângulo de movimentação	113
4.2.4.12c	Força de giro da alavanca	114
4.2.4.13	Resumo das características	115
4.2.5	Medir e testar, informações sobre os componentes	115
4.2.6	Documentar, informações sobre a produtividade	117
4.2.7	Prototipar	118
4.2.8	Analisar e rever os resultados	120

#### **5. RESULTADOS E COMENTÁRIOS FINAIS**

5.1	Objetivo principal da pesquisa	122
5.2	Objetivos gerais	123
5.3	Sugestões para trabalhos futuros	124

#### **6. REFERÊNCIAS**

Bibliografia	126	
ANEXO A	Proposta de formulário para análise de ER	134
ANEXO B	Roteiro de entrevista	135

# Capítulo 1 - Introdução

## 1.1 Considerações iniciais

Apesar das empresas saberem que nenhum empreendimento pode sobreviver no mercado sem estar ligado diretamente com os anseios de seus clientes é muito comum observarmos que seus sistemas de desenvolvimento de produtos são antigos e muitas vezes entendidos como um conjunto de atividades conduzidas de forma não estruturada baseado simplesmente na busca por soluções aos problemas técnicos de seus produtos.

Sistemas como estes geralmente consideram que o mais importante é a capacidade técnica da equipe de projetistas e não levam em conta, muitas vezes, que ter um sistema estruturado pode auxiliar no processo de criação de produtos, na elaboração e condução das idéias, além de contribuir também na busca de melhores alternativas sob o ponto de vista dos diversos processos internos da empresa.

Em uma análise mais focada, percebe-se que os sistemas de desenvolvimento de produtos na maioria das empresas vencedoras e que buscam constantemente o seu crescimento através de metodologias modernas de gestão, sobretudo de reconhecimento das necessidades dos clientes e de desenvolvimento de produtos, não consideram que as soluções sejam desenvolvidas unicamente pelas mãos de um grupo reduzido de pessoas. Sabem que todas as atividades estão na realidade interligadas e devem passar pela avaliação e participação de um grupo maior de profissionais com características interdisciplinares para que possam sempre considerar o levantamento e tratamento de problemas relativos ao produto e aos processos direta ou indiretamente ligados a ele.

## 1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a adequação de um modelo que faz a integração do projeto para manufatura e montagem (*Design for Manufacturing and Assembly - DFMA*) ao processo de desenvolvimento de produtos, em uma abordagem de engenharia reversa (*Reverse Engineering - ER*), descrevendo os seus ganhos potenciais.

Souza, Silva e Mello (2006) propõem uma adaptação de um modelo que considera o desenvolvimento de produtos baseados em análises de engenharia reversa de um produto de referência com uma abordagem de projeto para manufatura (que será detalhado no capítulo 3).

Segundo os pesquisadores, existem ganhos potenciais com a utilização de técnicas de aproveitamento de conceitos já testados pelo mercado, sobretudo se estas avaliações, com considerações sobre os impactos nos processos produtivos, estiverem dentro de uma metodologia estruturada em uma análise preventiva.

Espera-se então avaliar e analisar este modelo de desenvolvimento de produtos, através do estudo dos conceitos utilizados na sua concepção e da aplicação de suas etapas sobre um processo de desenvolvimento de um produto com base em outro de referência mundial.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre os temas relacionados, visando contribuir com a base de conhecimentos sobre estes assuntos, onde a literatura acadêmica na língua portuguesa apresenta certa carência;
- Analisar a aplicação do modelo estudado na unidade de análise selecionada;
- Elaborar propostas para serem utilizadas no produto partindo dos conceitos estabelecidos pelo modelo;
- Identificar a possibilidade de ganhos no processo de desenvolvimento de produtos como redução do prazo para lançamento e de investimentos através da observação das características dos produtos de referência do mercado e da antecipação das análises da manufaturabilidade nas fases iniciais do desenvolvimento do produto;
- Identificar a potencialidade de aplicação às restrições inerentes ao contexto econômico das pequenas e médias empresas (PME).

### **1.3 Justificativa**

Cada vez mais o mercado tem imposto aos produtos requisições de características que vêm se desenvolvendo e se atualizando de forma muito rápida e as empresas sabem que para se manter neste mercado são obrigadas a aprender a analisar e atender a estas necessidades a uma velocidade muitas vezes maior que o próprio surgimento delas (HUANG e MAK, 1998). Desta forma, técnicas para análise do mercado são utilizadas para auxiliar na interpretação do que o mercado esta necessitando ou do que ele ainda necessitará.

A percepção, análise e atendimento destas necessidades devem ser estabelecidos antes mesmo delas serem solicitadas (AKAO e MAZUR, 2003), porém o processo de análise e atendimento destas requisições depende de muito esforço e aplicação de recursos técnicos e financeiros,



fatores normalmente comuns nas grandes empresas que investem alto para depois lucrarem com a divulgação da sua condição de pioneirismo. Entretanto, mesmo em grandes e médias empresas é comum ser considerado como parte integrante do processo de desenvolvimento do produto, rodadas com alterações do projeto do produto e do processo produtivo para ajustes e correções de conceitos, que poderiam ter sido avaliadas e tratadas em fases iniciais do projeto e não durante o início de produção. Esta forma de trabalho tem feito com que muitos empreendimentos fiquem inviabilizados.

Por outro lado, têm-se os clientes na espera de lançamento de novos produtos, sempre no menor tempo possível. Alguns desses clientes ficam aguardando a sua “marca preferida” lançar um novo produto. Na realidade o tempo de renovação de seus produtos e o potencial de renovação de modelos e diversificação das versões passou a ser mais uma das características que ajudam a redefinir o conceito de marca preferida. Este ritmo acelerado das exigências dos consumidores obriga as empresas a manterem atualizados e competitivos seus produtos no mercado e, conseqüentemente, o processo de desenvolvimento destes. Para alcançarem estes resultados, os produtos precisam ser constantemente melhorados com base no que está sendo mais consumido ou desejado pelos consumidores.

Dufour (1996) é enfático ao dizer que muitos dos novos projetos, mesmo que inconscientemente, são na maioria dos casos, reprojeto baseados em um produto já existente. Porém, esta atividade não pode ser unicamente de forma intuitiva, dependendo apenas do empirismo, mas realizada através de uma metodologia sistematizada que oriente o trabalho do projetista e da equipe de desenvolvimento de produtos, desde a identificação do problema até o projeto final do produto, oferecendo maiores possibilidades de sucesso.

Silva (2001) cita que a média e pequena empresa destacam-se como grandes agentes de desenvolvimento econômico para o país, trazendo como conseqüência direta, além do fator financeiro, o aumento da sua participação na geração de empregos. Muito embora continue com pouco potencial de exportação e de desenvolvimento de novos produtos devido, principalmente, às restrições de recursos e ao baixo acesso às competências técnicas específicas, é possível identificar o crescimento da participação em mercados antes somente presenciados por grandes e tradicionais corporações.

Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2005), as pequenas e médias empresas ultrapassavam os 40% das empresas brasileiras em 2005 (vide figura 1.1). Analisando mais especificamente do ponto de vista que um de seus principais problemas é a falta de um processo sistemático de desenvolvimento de produtos, passa a ser uma opção

muito propriamente adequada observar mais atentamente os produtos existentes no mercado, sobretudo aqueles considerados como pioneiros e com melhor desempenho reconhecido pelos consumidores. Silva (2001) pondera que neste tipo de empresa ser considerado como pioneiro não é um dos fatores críticos de sucesso, então se adiciona a esta análise, o estudo da montabilidade e manufaturabilidade pela avaliação estruturada das condições e dos recursos produtivos disponíveis, interna e externamente, como forma de redução de custos imprevistos e otimização dos prazos para lançamento de produtos.

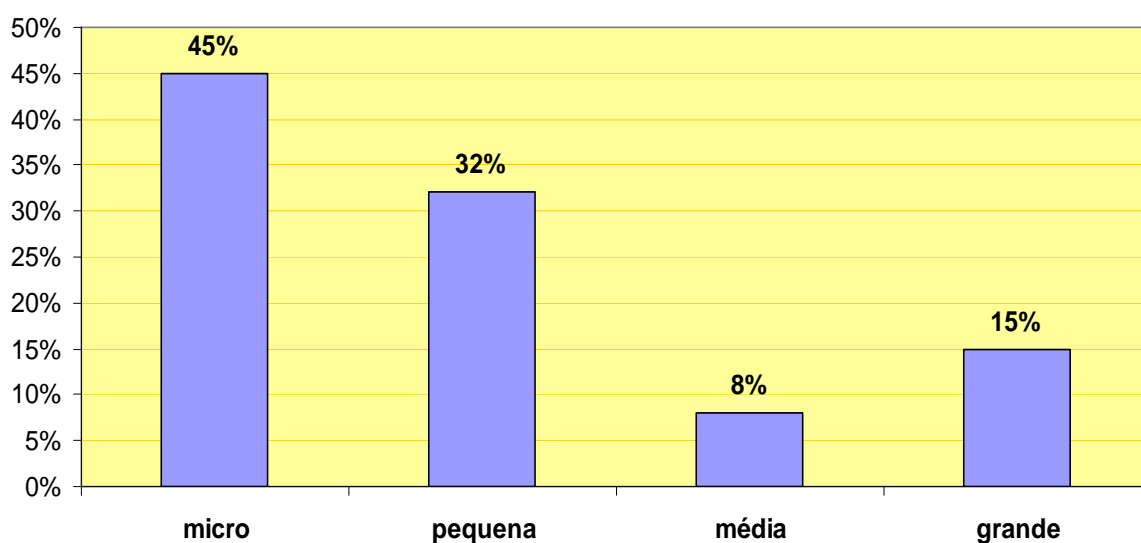


Figura 1.1 – Participação do mercado x tamanho da empresa (número de funcionários)  
Fonte: Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2005)

## 1.4 Limitações do trabalho

Espera-se que os conceitos estudados pelo presente trabalho possam ser aplicados para qualquer tamanho de organização e qualquer tipo de produto e até mesmo para operações com envolvimento de serviços e logística.

Espera-se, no entanto, observar um especial benefício nas pequenas e médias empresas com produtos formados por componentes mecânicos e elétricos montados manualmente ou com baixo ou médio grau de automatização e com um volume de produção que possa justificar o investimento de tempo nas análises de montabilidade.

Visto que o modelo em análise é na realidade uma adaptação de outros já existentes, buscar-se-á a análise e verificação da sua adequação, sobretudo na parte em que as adaptações são mais aplicáveis, como no desenvolvimento do produto e do processo.

## 1.5 Metodologia de pesquisa

O método de pesquisa a ser empregado no presente trabalho é o estudo de caso único.

Yin (2001) define o estudo de caso como uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. A investigação de estudo de caso enfrenta uma situação tecnicamente única em que haverá muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados e, como resultado, baseia-se em várias fontes de evidências, com os dados precisando convergir em um formato de triângulo; e, como outro resultado, beneficia-se do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e a análise de dados.

Segundo Eisenhardt (1989), uma definição inicial da questão da pesquisa, mesmo que em termos gerais, é importante para a construção de teorias a partir do estudo de caso. Uma pesquisa sem foco torna-se susceptível de ser subjugada pelo volume de dados. A definição da questão de pesquisa dentro de um tópico abrangente permite ao pesquisador especificar o tipo de organização a ser abordada e o tipo de dados a serem coletados.

A questão de pesquisa para o presente trabalho poderia ser expressa por: como a técnica de projeto para manufatura e montagem pode ser integrada no processo de desenvolvimento de produtos em uma abordagem de engenharia reversa?

Souza, Silva e Mello (2006) propuseram um modelo visando esta integração. Na presente pesquisa, este modelo será aplicado ao processo de desenvolvimento de produtos de uma empresa de porte médio situada no Sul de Minas Gerais, com o objetivo de analisar e verificar a sua adequação. Esta unidade de análise é fabricante de fornos industriais e está desenvolvendo um novo modelo de forno com características necessárias para competir com produtos de marcas líderes do mercado nacional e mundial.

A empresa selecionada possui uma equipe de projetistas capacitada para a geração de produtos nas áreas em que atuam, porém não existe uma equipe formada para lidar com os problemas de processos, apesar de a própria produção possuir conhecimentos para lidar com os problemas diários relacionados a estes assuntos. Identifica-se na empresa a ausência de uma sistematização para o processo de desenvolvimento de novos produtos, sobretudo com a utilização de ferramentas como o DFMA e a ER.

Os instrumentos de coleta de dados empregados para desenvolver esta pesquisa foram:

- Análise de documentos (tais como desenhos, fluxogramas, procedimentos, fichas de processo);
- Informações técnicas retiradas de catálogos e sites da empresa unidade de análise;
- Observação e análise estruturada dos componentes do produto estudado e do próprio equipamento de referência;
- Observação através de visitas à área fabril para verificação dos processos e equipamentos utilizados para manufatura e montagem do produto, bem como suas características e limitações;
- Entrevista semi-estruturada, de aproximadamente 30 minutos cada uma, com representantes-chave das áreas da direção, produção e assistência técnica. Para tanto foi elaborado um roteiro de entrevista (vide Anexo B) para complementar as análises sobre as fases de desenvolvimento.

A opção pelo estudo de caso único, apesar de limitar a generalização das conclusões (VOSS, TSIKRIKTSIS e FROHLICH, 2002), se deu pelo fato dele se apresentar como um caso revelador (YIN, 2001). A unidade de análise selecionada possui um processo de desenvolvimento de produtos muito ativo e com recursos aprovados para aplicação da engenharia reversa no desenvolvimento de um dos seus modelos de forno industrial. A justificativa para a escolha da unidade de análise encontra-se no capítulo 4.

A realização da pesquisa empírica se deu por meio de visitas programadas (com duração média de três horas cada uma) na empresa com os representantes-chave relacionados com o processo de desenvolvimento de produtos. No sistema utilizado pela empresa, não existia uma equipe formada para a criação de um novo produto, desta forma as informações iniciais estavam totalmente disponíveis na área de engenharia de produto.

Através da observação acompanharam-se as principais fases de desenvolvimento do produto, visando identificar as partes (peças ou componentes) do produto mais propícias para a aplicação do modelo estudado. Finalmente, foi conduzida uma entrevista semi-estruturada (vide roteiro de entrevista no Anexo B) com os representantes-chave responsáveis pelos principais processos da empresa para que fosse possível avaliar a percepção deles a respeito

dos ganhos reais ou potenciais que a aplicação do modelo proposto e das abordagens e técnicas envolvidas poderiam proporcionar.

## **1.6 Estrutura da dissertação**

O trabalho está dividido em capítulos da seguinte forma:

### **Capítulo 1**

Este capítulo apresenta o tema abordado no trabalho, o problema e como se relaciona às pequenas e médias empresas, a justificativa da importância do trabalho, os objetivos, as limitações, a metodologia de pesquisa, e a estrutura estabelecida.

### **Capítulo 2**

O segundo capítulo está formado pela revisão de literatura sobre o tema. Dentro desta revisão são detalhados em três partes os conceitos necessários para o desenvolvimento da pesquisa. São eles:

- O desenvolvimento de produtos com uma abordagem de forma genérica e também com uma visão mais focada aos problemas específicos relacionados às pequenas e médias empresas;
- O estudo do desenvolvimento de produtos com base em um produto de referência do mercado e do reprojeto de um produto existente utilizando a abordagem da engenharia reversa;
- O estudo da técnica de projeto para manufatura e montagem (DFMA) como suporte ao processo de desenvolvimento de produtos.

### **Capítulo 3**

Neste capítulo é detalhado o modelo adaptado por Souza, Silva e Mello (2006) que é utilizado como base para aplicação das metodologias tratadas no referencial teórico.

## **Capítulo 4**

Complementando o exposto no capítulo 3, nesta parte do trabalho é apresentada a aplicação do modelo proposto através da realização de um estudo de caso em uma unidade de análise para a verificação da aplicação do modelo.

## **Capítulo 5**

O capítulo apresenta uma discussão sobre os resultados obtidos com a aplicação do modelo mostrando sua aplicabilidade e em quais ambientes pode ser utilizado;

Apresenta também uma avaliação dos resultados práticos obtidos com trabalho na empresa analisada assim como sugestões para temas para trabalhos futuros.

## Capítulo 2 - Referencial teórico

Busca-se neste capítulo a realização de uma revisão de literatura através principalmente de livros, dissertações, teses e artigos científicos nacionais e internacionais, com o objetivo de revisar os conceitos relacionados aos temas do trabalho.

Este referencial será dividido em três partes básicas: sistemas atuais de desenvolvimento de produtos, engenharia reversa (ER) e projeto para manufatura e montagem (DFMA).

A primeira parte servirá como um breve levantamento da situação atual dos sistemas de desenvolvimento de produtos praticados pelas empresas, sobretudo mantendo o foco nos sistemas normalmente disponíveis às pequenas e médias empresas, que é o cenário que este trabalho se propõe a discutir.

Sobre a engenharia reversa, serão discutidos seus conceitos básicos e suas vantagens, pois como será visto, esta abordagem é uma das bases para o atendimento dos objetivos que a pesquisa busca demonstrar.

Por fim será realizado um estudo sobre a manufaturabilidade e montabilidade dos componentes de um produto (DFMA). A revisão deste tema será baseada principalmente nos guias elaborados por Boothroyd e Dewhurst, Bralla e Back que são os principais autores nacionais e internacionais sobre o assunto; junto a isto, serão apresentadas outras abordagens sobre outros autores, inclusive com observações e experiências dos pesquisadores envolvidos no trabalho.

### 2.1 Processos de desenvolvimento de produtos

Segundo Porter (1996), obter eficiência operacional é uma das estratégias competitivas, como meio viável de atender as necessidades dos clientes com velocidade a um custo aceitável. O processo sistemático de planejamento e desenvolvimento de produtos é a primeira e mais importante ferramenta da qualidade, pela sua grande influência nos custos e na qualidade intrínseca dos produtos e serviços.

Pahl *et al.* (2005) mencionam que, em geral, produtos somente têm êxito quando satisfazem três condições:

- Atendem aos requisitos dos clientes;
- Marcam presença no mercado na hora certa (*time-to-market*) e;

- Possibilitam preços praticáveis no mercado.

Especificamente falando do processo de execução do projeto de criação de produtos, as principais alterações nesta área são decorrentes de avanços ocorridos nos recursos informatizados como:

- *Softwares* de auxílio ao projeto (*Computer Aided Design - CAD*): são recursos que podem ser considerados como ferramentas que praticamente materializam a idéia dos projetistas. Obviamente o tempo gasto com operações específicas de detalhamentos de desenhos fica mais reduzido quando é tratado por projetistas mais experientes no *software*, porém não necessariamente são os usuários com mais tempo de utilização. Ferreira *et al.* (2001) dizem que a gradual redução do tempo de vida dos produtos faz com que as empresas desenvolvam novos produtos em tempos cada vez menores, o que somente é possível com o desenvolvimento destes recursos;
- *Softwares* de auxílio à manufatura (*Computer Aided Manufacturing - CAM*): este tipo de recurso, além de permitir a otimização do processo produtivo, sobretudo em processos de usinagem, permite também a obtenção de protótipos mais rápidos e mais funcionais a um custo menor, como mencionado por Ferneda (1999), Youssef (1995) e Sokovic e Kopac (2005);
- *Softwares* para análise de esforços (*Computer Aided Engineering - CAE*): servem para auxiliar nos cálculos de estruturas e solicitação de esforços em cada parte do modelo matemático criado pelo CAD. Este recurso, em conjunto com os dois anteriores, são os que mais ajudaram a aumentar o grau de complexidade dos produtos atuais, com um detalhamento mais rápido, esforços pré-calculados e manufatura otimizada, os produtos cada vez mais vão poder ter seus limites tecnológicos esgotados ou transpassados;
- Métodos para simulações de movimentos, análise estruturais e imagens fotorealistas: além dos processos de prototipagem rápida, também têm contribuído muito neste processo de facilitar as definições dos projetos atuais de produtos e, conseqüentemente, no crescimento do nível de complexidade destes;
- Recursos tecnológicos para testes funcionais dos produtos: cada vez mais existe a necessidade de penetração de novos mercados mundiais. Neste sentido, Chiusoli e Toledo (2000) mencionam que um dos recursos para tal é a aprovação de laboratórios para testes



funcionais de produtos, sejam internos ou terceirizados, com posterior busca por selos internacionais de qualidade;

- Outros recursos como simulações de movimentos e interferências, análise do modo e efeito das falhas (FMEA): como o citado por Shahin (2004) sobre a relação dos defeitos com o índice de satisfação dos consumidores, análise de elementos finitos e outros mais foram otimizados e informatizados permitindo sua aplicação efetiva e completa nos sistemas de desenvolvimento de produtos atuais.

Os avanços alcançados com o desenvolvimento da capacidade de processamento de dados, praticamente anulam os limites de realização das operações manuais. Um modelo visual (físico) ou protótipo de um componente, de um molde ou de uma ferramenta provisória pode ser construído em tempos bastante reduzidos.

Da mesma forma segue o processo de obtenção de modelos virtuais e físicos de um produto, também com a utilização de recursos informatizados cada vez mais potentes para a obtenção de coordenadas tridimensionais de um objeto em um processo de engenharia reversa como será verificado no capítulo 3.

Na medida em que esses avanços nas ferramentas para projetos foram se desenvolvendo, as características gerais dos produtos foram diretamente afetadas.

Como não é possível limitar o desenvolvimento de produtos à capacidade dos recursos produtivos, é necessário então investimentos em novas tecnologias em processos de produção, novos tipos de máquinas, dispositivos, equipamentos e ferramentas, fazendo com que haja uma adequação geral do processo de desenvolvimento como um todo chegando até os limites da produção, cadeia logística integrada e assistência técnica.

Com o objetivo de melhorar suas posições no mercado, as empresas já perceberam que cada vez mais devem dar atenção não somente às inovações dos recursos para projetos, mas também devem observar os processos de desenvolvimento de produtos, para que estes possam atender por completo aos requisitos de seus consumidores.

Harmsen *et al.* (2000) afirmam que o processo de desenvolvimento de produtos aumenta, a cada dia, sua importância em contribuir para o sucesso das organizações, consolidando-se entre os profissionais acadêmicos e empresariais como um processo crítico que necessita de aprimoramentos contínuos.

Para Freixo (2004) é fácil perceber que decisões tomadas de forma planejada e antecipada durante as fases de um desenvolvimento do produto (sobretudo as iniciais) podem influenciar diretamente na sua dificuldade de ser fabricado. No momento de se escolher determinada alternativa de projeto deve-se estar atento ao impacto que tal alternativa tem sobre os tempos e custos de fabricação, de operação, de manutenção e até mesmo de descarte do produto. Além disso, decisões incorretas tomadas no início do desenvolvimento do produto podem ser muito difíceis de serem revertidas.

Sobre os modelos de desenvolvimento de produtos, Ogliari (1999) cita que é possível encontrar diversos tipos disponíveis na literatura, onde a principal diferença entre eles ocorre normalmente nas denominações de suas fases, mantendo-se quase que constante as suas seqüências e conceitos. Estes modelos de desenvolvimento de produtos, de uma forma geral, foram elaborados com o propósito de acelerar o processo de desenvolvimento de produtos através da racionalização dos recursos e delegação das tarefas, resultando indiretamente em aumento na capacidade de trabalho e melhor controle das fases, permitindo a elaboração de cronogramas mais realísticos e melhor controle sobre os custos e recursos aplicados.

Ogliari (1999) estabelece também um modelo básico que compreende a seqüência utilizada nos outros modelos conforme o ilustrado na figura 2.1.

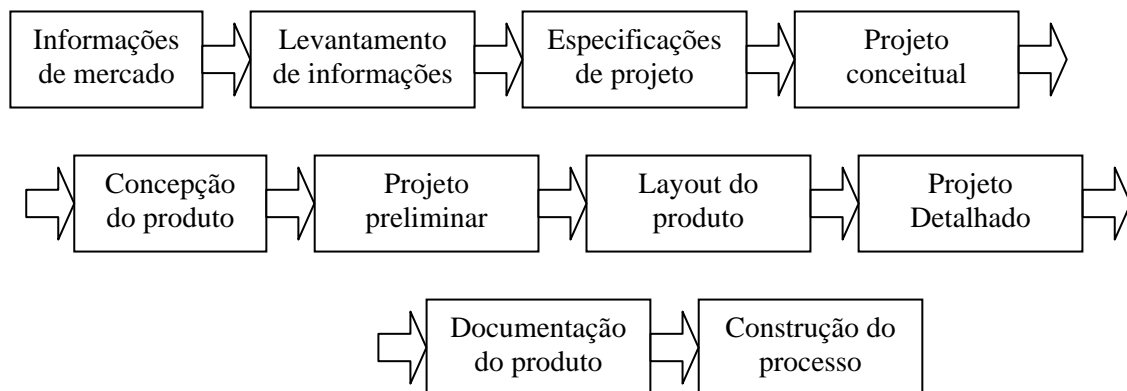


Figura 2.1 – Modelo básico com seqüência de fases comuns a outros modelos referência  
Fonte: Adaptado de Ogliari (1999)

Os sistemas de desenvolvimento de produtos devem ser naturalmente compostos por um conjunto de procedimentos que envolvam múltiplas áreas de conhecimento, sobretudo técnico e criativo, sejam eles conduzidos individualmente ou por um grupo de profissionais.

Este processo passa primeiramente pela identificação da necessidade do cliente. Ele deve ser ouvido e suas requisições analisadas e tratadas, o projeto concebido e, nas fases seguintes, traduzidas em termos técnicos, para que possa ser produzido e disponibilizado com o mínimo de requisitos atendidos dentro de um tempo e custo esperado (OGLIARI, 1999).

Akao e Mazur (2003) mencionam inclusive que o cliente deve ser atendido no mínimo porque, cada vez com maior frequência, satisfazer o cliente não é mais suficiente, quando satisfazer o cliente deixa de ser um diferencial e passa a ser um pré-requisito para estar no mercado, a estratégia das empresas precisa voltar-se para a inovação, afirmação também compartilhada por Lowe *et al.* (2000). É necessário sempre ter algo a mais para oferecer para os clientes, Campos (1992) cita que as empresas precisam atentar para os seguintes aspectos:

- Captar as necessidades dos clientes;
- Pesquisar e desenvolver novos produtos baseados nestas necessidades transformando-as em desejos muitas vezes;
- Pesquisar e desenvolver novos processos que garantam melhor qualidade com custos menores;
- Gerenciar sistemas administrativos que conduzam a maiores produtividades.

Conclui ele dizendo que o objetivo principal de uma empresa é a sua sobrevivência através da satisfação das necessidades dos clientes, acionistas, colaboradores e, enfim, a sociedade como um todo.

Carvalho e Back (2000) dizem que atualmente estão disponíveis mais de 200 diferentes métodos para apoiar o processo de solução criativa de problemas, esta diversidade no entanto desaparece e o número real reduz, ao se analisar as diferenças dos princípios em que são concebidos.

Back (1983) havia resumido anteriormente que o projeto de um componente ou sistema apresenta em cada caso, características e peculiaridades próprias e à medida que o projeto é iniciado em cada uma de suas fases, desdobra-se em seqüência de eventos formando um modelo próprio específico ao projeto em andamento que, quase sempre, possui componentes comuns a todos os modelos.

É provável que em um futuro muito próximo, mesmo em empresas de pequeno e médio porte, seus sistemas de desenvolvimento de produtos sejam baseados não somente na intuição e experiência dos seus projetistas, dependendo somente de resultados de metodologias de tentativas e erros, mas também que sejam baseadas em modelos com conceitos cientificamente testados.

O modelo de desenvolvimento de produtos em uma última análise irá depender do tipo de empresa e a estratégia que ela utiliza. Neste sentido será então realizada, na seção seguinte, uma verificação sobre as estratégias de desenvolvimento de produtos frente ao posicionamento da empresa no mercado em que atua. Em seguida serão analisados outros dois aspectos que são muito importantes no desenvolvimento de produtos, independentemente do modelo e estratégia da empresa, o incentivo sistemático à criatividade e o preparo tecnológico dos componentes da equipe.

### **2.1.1 Estratégias para desenvolvimento**

O processo de desenvolvimentos de novos produtos, sobretudo os considerados inovadores que buscam o atendimento de novos ou recentes requisitos dos consumidores, requer de qualquer empresa investimentos elevados para o estabelecimento de ambiente favorável a médio e longo prazo. É necessário, portanto, que este posicionamento esteja completamente alinhado diretamente com as estratégias da empresa. Esta iniciativa, inclusive, será mais bem aproveitada se partir de seus escalões superiores e ser bem assimilada pelos seus executores.

Inovar é o ato de trazer algo novo, renovar algo que existe, porém com conceitos e conteúdos diferentes dos originais existentes. Neste sentido pode-se dizer que as empresas inovadoras são aquelas que investem em pesquisas de tal forma a garantirem que os seus produtos tenham características novas relativas ao mercado que atuam.

Baxter (1998) menciona que empresas buscam oportunidades para inovação e conquista de posicionamento de pioneirismo e tentam agarrar a possibilidade de lançamento de produtos antes da concorrência no mercado, porém muitas vezes esta busca é feita ao acaso e não a fazem de forma estruturada. Nesta corrida recursos humanos e financeiros são então remanejados para estes objetivos e os resultados acabam não sendo conforme o esperado e talvez possa se perceber que a empresa poderá estar perdendo outras oportunidades mais importantes ou mais prioritárias.

Para evitar conseqüências indesejadas e também perda da oportunidade o que se considera sensato é o estabelecimento de metas alinhadas com o plano estratégico da empresa e, em função disso, organizar a estrutura gerencial, os investimentos e os recursos humanos. Baxter (1998) sugere quatro classificações para as estratégias de desenvolvimento de produtos:

### **a) Ofensivas**

Adotadas por empresas que querem manter liderança no mercado e que dependem de investimentos pesados em pesquisa e desenvolvimento sempre buscando introduzir conceitos inovadores em seus produtos com o objetivo de se colocarem ou de manterem a posição de liderança do mercado. Neste tipo de estratégia, a empresa busca referência para desenvolvimento diretamente junto aos clientes ou através da verificação sobre o que os concorrentes estão fazendo ou pesquisando e trabalham com visões pró-ativas e com perspectivas de retorno de investimentos a longo prazo.

Normalmente uma característica comum que está ligada às empresas com esta estratégia é a existência de equipes especificamente destinadas à pesquisa de mercado e de novas tecnologias para produtos e processos. Costumam dar grande importância às patentes e registros dos produtos para com isto poderem garantir o monopólio durante certo tempo, onde os lucros são muito maiores porque praticamente não tem competidores no mercado; lucro este que, em muitos casos, serve também para cobrir os custos inevitáveis de projetos mal sucedidos.

O grande ganho com esta estratégia é justamente a possibilidade de poder se utilizar da condição de pioneirismo para tirar proveito comercial junto aos consumidores tanto com relação a disponibilização do produto como na manutenção da imagem corporativa da empresa.

### **b) Defensivas**

São adotadas, geralmente, pelas empresas que querem seguir a empresa líder do mercado, também chamado de estratégia do segundo melhor.

Dependendo da rapidez como a empresa consegue absorver as inovações lançadas por outras e ainda introduzir diferenciais sobre o produto pioneiro ou mesmo impor reduções de custos com o processo no seu produto, os ganhos serão diretos apesar de possivelmente menores e os

riscos também serão menores, além de poder estar competindo diretamente com a empresa líder do mercado.

Os ganhos reais obtidos com esta estratégia é notadamente a redução dos custos de pesquisa em novas tecnologias, sobretudo as tecnologias empregadas no desenvolvimento do projeto do produto, visto que a parte relativa ao processo ainda terá que ser realizada ou parcialmente adaptada ou mesmo desenvolvida.

Pode parecer uma postura muito cômoda e de falta de competitividade, porém deliberadamente permitem que outras empresas arquem com custos maiores de desenvolvimento de produtos e pesquisas tecnológicas, além de correrem os maiores riscos com a tentativa de abrirem novos mercados. Pode também parecer que é uma estratégia somente interessada em copiar ou de não possuir criatividade própria, mas na realidade é uma forma bem racional de economizar com grandes investimentos que o pioneirismo requer, além de evitar riscos maiores com produtos mal recebidos pelo mercado.

### **c) Tradicionais**

São as estratégias adotadas por empresas que atuam em mercados estáveis, com linha de produtos estáticos, onde existe pouca ou nenhuma demanda de mudanças nos produtos pelo mercado onde atuam.

Neste cenário as inovações são pouco relevantes, limitando-se a mudanças mínimas no produto que geralmente irão objetivar redução de custos, facilitar a produção ou aumentar a confiabilidade do produto.

Esta estratégia tende a gerar uma paralisação no sistema de desenvolvimento de produtos das empresas que a adotam e geralmente não se equipam de recursos (humanos e tecnológicos) para introduzir inovações, o que pode se tornar uma armadilha. Se a pressão dos consumidores por novos produtos aumentar, ela poderá não ter tempo hábil para recuperação do controle da situação.

Algumas empresas que no passado costumavam ser ofensivas ou mesmo defensivas acabam se tornando tradicionais quando percebem estar sem concorrência, por acharem que o seu produto é insubstituível no mercado ou por acreditarem que os seus consumidores são fieis à marca, acabando por sucumbirem facilmente.

### d) Dependentes

Adotada por empresas que, do ponto de vista de desenvolvimento de produtos e projetos, não possuem autonomia para lançamento de seus próprios produtos. Estas empresas geralmente dependem de suas matrizes ou atendem diretamente seus clientes de forma particular e específica como acontece nas autopeças, por exemplo, ou mesmo no mercado de produtos sob encomenda. Nestas situações as inovações ficam mais por conta de melhorias no processo de fabricação.

Como pode ser visto na Figura 2.2 é necessário um investimento maior em engenharia de produção nas empresas com estratégias tradicionais e dependentes porque nestes mercados, para manterem sua sobrevivência, o maior impacto em seus clientes está na redução constante de custos, uma vez que os investimentos com novos desenvolvimentos já foram realizados e amortizados pelos anos de existência do produto.

Tipo de estratégia	Pesquisa e desenvolvimento	Inovação do design	Prazo para entrar no mercado	Engenharia de produção	Marketing técnico	Patentes
Ofensiva	XXX	XXX	XX	XX	XXX	XXX
Defensiva	X	XXX	XXX	XX		XXX
Tradicional				XXX		
Dependente				XXX		

Figura 2.2 – Priorização das atividades ligadas ao desenvolvimento e a estratégia adotada  
Fonte: Adaptado de Baxter (1998)

Para poderem garantir o acompanhamento científico e tecnológico do mercado e estarem preparadas para as alterações nos requisitos de seus clientes, as empresas líderes com adoção de estratégias ofensivas devem considerar em seus quadros de funcionários especialistas em diversas áreas de atuação, tais como:

- O desenvolvimento em *design*, evitando a repetição de conceitos;
- O detalhamento do projeto para transformar rapidamente novos conhecimentos e novas idéias em produtos de sucesso comercial;
- Área de patentes para proteger os seus inventos;
- Forte área de *marketing* para convencer os consumidores sobre as vantagens e eventuais inclusões de novos conceitos e novas classes de produtos no mercado;

- Equipe de engenharia de produção para no meio de tudo isto, ainda assim, manter o padrão de qualidade e confiabilidade dos seus produtos atuais e o menor ciclo possível de desenvolvimento do processo de novos produtos.

As empresas com estratégias defensivas têm como grande missão a observação constante do mercado, principalmente em como este mercado se desenvolve e se posiciona em relação ao produto da empresa líder de referência. As principais áreas de atuação são:

- Desenvolvimento de produtos e processos de produção, principalmente com relação aos prazos para desenvolvimento e introdução no mercado;
- Área de *marketing* não tão forte quanto as de estratégias ofensivas, visto que o mercado já está aberto pela empresa pioneira e as classes de produtos já estão definidas, mas com potencial para defender os motivos e explorar a condição de opção mais viável em relação ao produto líder.

O objetivo principal destas empresas com estratégias defensivas é gerar nos consumidores uma dúvida sobre a condição de pioneirismo entre as empresas envolvidas, fazendo com que eles não consigam identificar claramente a diferença de tempo entre os lançamentos do produto pioneiro e o dela e gere um questionamento sobre qual de fato é o produto pioneiro.

Uma saída neste processo é direcionar um processo de *marketing* fazendo com que o consumidor considere o seu produto como a melhor opção não somente pela qualidade já conhecida, mas também como um produto que foi mais elaborado, e com isto teve um tempo maior para lançamento, inclusive com características a mais em relação aos outros concorrentes no mercado.

Contudo, Baxter (1998) em sua análise comenta que nem sempre existe uma clara separação entre as estratégias escolhidas pelas companhias, mesmo as empresas pioneiras não devem desprezar uma oportunidade para aproveitar alguma idéia dos concorrentes; a condição da estratégia depende mais da situação do mercado do que exatamente das origens da empresa.

Analisando mais detalhadamente o histórico de grandes inventos atuais e passados, muitas vezes é difícil definir exatamente de quem é a real condição de pioneirismo. Em algumas situações o título de inovador não está exatamente no produto que se está lançando no mercado, mas sim na postura que a empresa adota, revendo, por exemplo, o conceito do



produto e incluindo algumas características que podem colocá-lo em uma nova classe de produtos ou adicionar novas funções às já existentes.

Visto que, em geral, a condição das pequenas e médias empresas (PME's) não é necessariamente a de pioneirismo e que suas estratégias de desenvolvimento de produtos não são necessariamente ofensivas, devido a necessidade de grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, muitas vezes este entendimento e uma revisão na estratégia passa a ser o ponto chave para a redução de custos ou, até mesmo, a possibilidade única de desenvolvimento de novos produtos de uma forma estruturada e com maiores chances de sucesso.

### **2.1.2 Incentivo sistemático à criatividade**

A criatividade é a base para o desenvolvimento de novos produtos. Existem diversos métodos para estimular a criatividade que testificam que esta habilidade não pode ser considerada somente como inata, mas sim desenvolvida e conquistada através de incentivos no momento certo e nas pessoas certas.

Carvalho e Back (2000) dizem que diversos métodos têm sido propostos para orientar a solução criativa de problemas. Possuem o objetivo principal de incentivar a geração de idéias e de permitir o controle sobre os caminhos das inovações que elas podem gerar. Comentam também que a criatividade no desenvolvimento de produtos não pode ser tratada como puramente casual. Ferroli *et al.* (2004) por outro lado, considera que um sistema com excessos de burocracia, operações da organização que sufocam a racionalidade substantiva e a ausência de liberdade são fatores inibidores da criatividade.

Appleton e Garside (2000) mencionam que infelizmente todos os métodos de gerenciamento de projetos baseados em sistemas informatizados têm a tendência de inibir o processo criativo, em uma posição que não se encaixam nas tendências atuais de informatização de todos os processos.

Silva, Ulbricht e Fiod (1998) dizem que a humanidade tem contemplado no último século grandes modificações que foram capazes de alterar fundamentalmente as idéias e concepções sobre a criatividade. O grande ganho neste processo foi justamente no mecanismo envolvido na criatividade e seus bloqueios. Comentam que desde os tempos remotos antes de Cristo, a criatividade era considerada como algo sobrenatural e que era oriunda de entidades divinas. Na idade média, no século XIV, com o surgimento do movimento Humanista a criatividade

começou a ser reformulada até o século XVII, quando da implantação definitiva do Renascimento. Entretanto, os grandes avanços neste processo foram somente no século XX com a aplicação de abordagens mais técnicas com estudos sobre o comportamento humano e, posteriormente, com as metodologias e práticas para o incentivo à criatividade.

No processo de desenvolvimento de produtos, sobretudo de produtos inovadores, a necessidade de utilização desta habilidade é determinante para o sucesso do projeto. O processo de estímulo criativo deve ser aplicado não somente à parte técnica da equipe, mas em toda ela, com o objetivo de fomentar a discussão em um nível mais abrangente sobre toda a empresa e com resultados mais efetivos.

### **2.1.3 Preparo e conhecimento tecnológico da equipe**

Bariani, Berti e Lucchetta (2004) fazem uma análise para identificação de candidatos a eliminação/integração através da utilização de metodologias como a Teoria para Solução Inventiva de Problemas (Theory of Inventive Problem Solving - TRIZ), que considera a análise de soluções criativas através da estruturação e sistematização através de princípios e parâmetros de engenharia. Eles mencionam que o número de tentativas pode variar com a complexidade da eliminação ou integração de componentes e com a criatividade dos envolvidos, mas irá crescer significativamente se a solução do problema não estiver dentro do campo de experiência dos projetistas. Desta forma, os profissionais ligados à área de criação de produtos devem estar sempre, de uma forma sadia e não estressante, com a mente voltada para o objeto em desenvolvimento e as situações e problemas que o rodeiam.

O caso de Arquimedes e a história da coroa do rei Herão podem dar um exemplo de como o processo de incentivo a criatividade funciona. O rei havia encomendado a um ourives uma coroa de ouro puro. Uma vez pronta, o desconfiado rei solicitou a Arquimedes que a analisasse e dirimisse a dúvida: era a coroa confeccionada de ouro puro ou feita de uma amálgama com prata?

Porém Arquimedes não conseguia imaginar como calcular o volume de um objeto tão complexo. Naquela época, como o peso específico destes metais era conhecido, a medição do volume era uma forma comum e segura de realizar tal tipo de verificação da qualidade por comparação.

Arquimedes passou tempos de análises sem êxito, somente conseguiu resolver o problema quando ao tomar banho observou que, à medida que seu corpo mergulhava na banheira, a

água transbordava. Conta a história que Arquimedes, eufórico, teria saído pelas ruas, completamente nu, gritando "*Eureka, eureka*", que significa "Achei, achei".

Refeito do vexame, Arquimedes comprovou que houve fraude ao comparar o volume de fluido deslocado entre a coroa e blocos com o mesmo peso em materiais conhecidos. Deste fato decorre o princípio de Arquimedes, lei básica da Hidrostática (VENTURI, 2006).

Esta história mostra que além da inspiração é necessário que haja uma preparação para identificação do problema e de suas possíveis soluções, talvez nada acontecesse se Arquimedes não tivesse o preparo suficiente em física e matemática para identificar esta propriedade e sua possível aplicação no seu problema em particular.

Certas situações, por outro lado, direcionam para a não avaliação imediata de uma idéia, ato que em algumas situações pode se tornar um grande erro ou no mínimo um atraso no resultado final, como nos exemplos do papel de recados e do tocador de fitas cassete portátil.

O *Post-it* foi inicialmente considerado um erro pela 3M porque estava completamente em desacordo com a idéia dos outros produtos visto que o enfoque era a busca por adesivos mais poderosos quanto possível. Spencer Silver seu criador tentou por cinco anos encontrar alguma aplicação para sua criação, um adesivo mais fraco, mas não encontrou. Percebeu certo dia em uma igreja que um colega costumava utilizar tiras de papéis para separar os hinos que iriam cantar, e acontecia destes papéis caírem com frequência. Foi o ponto chave para encontrar a aplicação que estava procurando, anotar recados e poder ser colado em qualquer superfície, sem danificá-la ou sujá-la com vestígios de cola (3M, 2006).

Outro caso bastante interessante é o de Akio Morita, presidente da Sony que com sua habilidade de criar novos produtos através da observação, notou que em Nova York as pessoas tinham o hábito de ouvir músicas no carro e levavam grandes rádios para os parques. Foi quando percebeu a possibilidade de lançamento do primeiro aparelho *walkman*, lançado na década de 1970. Porém, por não existir uma classe específica para seu novo produto, iria ter que enfrentar a de tocadores de fitas cassete que também gravavam músicas. Como lançar um novo gravador que, mesmo com a vantagem de ser portátil, não gravava e ainda por cima deveria ser utilizado por uma única pessoa com fones de ouvidos? Sua visão além dos limites do usuário possibilitou o sucesso deste produto. Morita dizia que os consumidores solicitam o que conhecem ou imaginam, mas os técnicos podem imaginar condições ainda mais desafiadoras (EXAME, 1999).

Desta forma a criatividade deve ser estimulada em todas as situações de desenvolvimento de produtos, porém este estímulo deve ser dado após a equipe estar devidamente preparada e motivada para entender sobre todas as funções relativas ao produto, além de estar preparada para identificar e analisar todas as possibilidades de soluções aos problemas.

## **2.2 Engenharia reversa (ER), *Reverse Engineering (RE)***

O tema Engenharia Reversa (ER) leva a uma dedução prévia de tratar-se do processo de elaboração de produtos em um caminho oposto ao normalmente utilizado, onde parte-se de um produto pronto para através deles, obter um desenvolvimento e as especificações do projeto. De uma forma genérica pode-se entender desta forma, visto que a diferença básica adicionada ao processo é a obtenção ou utilização de protótipos (neste caso pode-se considerar o produto de referência como sendo um dos protótipos) na fase inicial do processo, reduzindo custos e o ciclo de lançamento de produtos novos.

Dias (1998) faz uma consideração sobre o termo ser naturalmente evitado na linguagem técnica formal e que ela não somente desempenha um papel importante na difusão direta de novas tecnologias como no próprio desenvolvimento tecnológico global, uma vez que os líderes se mantêm pressionados a estarem sempre buscando novos caminhos e mantendo-os abertos para serem trilhados por empresas seguidoras. Os estudos de Silva et. al. (2005) concluem que o resultado esperado pela utilização da ER é a obtenção de produto suficientemente próximo ao produto já conhecido e testado pelo mercado, mas suficientemente diferente, considerando melhorias, adequações e otimizações. Este caminho diminui o risco de falhas nos projetos e reduz custos com investimentos em testes de mercado e obtenção de protótipos. Porém, a ER é um tema evitado por países geradores de tecnologia por ser frequentemente confundido com a simples cópia de produtos (MURY, 2000).

Segundo Nogueira e Lepikson (2006), a ER é uma metodologia de projeto que permite a criação de novos produtos em intervalos de tempos menores e com maiores possibilidades de sucesso se comparada às metodologias convencionais e, por este motivo, atrai grande interesse na sua utilização. Citam também que o menor investimento financeiro e prazos reduzidos de desenvolvimento já são por si só importantes, mas o fato de lançar um produto novo baseado em algo que já obteve o reconhecimento do mercado é, talvez, o maior dos atrativos, principalmente pela redução dos riscos do investimento feito.

A ER, na realidade, deve ser utilizada como uma metodologia para implementação de melhorias em produtos, onde é utilizado como ponto de partida outro produto com conceitos ou características técnicas melhores e já aplicados e testados no mercado, objetivando o aperfeiçoamento e não a simples cópia do produto já existente, em um processo de repensar o produto existente (KIM, 1997).

Diferentes abordagens para a definição da ER estão disponíveis na literatura. A mais comumente observada é voltada ao desenvolvimento de *softwares* e sistemas computacionais. Ferreira *et al.* (2001) mencionam que a ER é uma técnica usada para recuperar a informação dos documentos do *software* e do seu código fonte, visando obter a sua representação em um alto nível de abstração facilitando a compreensão do sistema. Braga (2006) e Peres *et al.* (2006), simplificam dizendo que a ER é o oposto da engenharia convencional de desenvolvimento de *softwares*. O ciclo de vida parte de um nível de abstração mais baixo (forma detalhada de entendimento do problema) para o nível mais alto, sendo que no sistema convencional quanto mais o projeto avança, mais baixo é seu nível de abstração.

Anquetil (2006) define a ER como sendo a ação de analisar um sistema com dois objetivos: identificar os componentes do sistema e as relações entre eles e criar uma representação do sistema em outra forma ou em um nível de abstração mais alto. Ele faz uma comparação ao processo de obtenção de detalhes construtivos de uma bomba mecânica a partir de uma existente na qual não se tem mais disponível a documentação para sua especificação e aquisição.

Ingle (1994) define a ER como um processo de levantamento de informações sobre um produto de referência através da sua desmontagem, com o objetivo de determinar como ele foi desenvolvido, desde seus componentes separados até o produto final. Sua abordagem defende claramente a aplicação da Engenharia Reversa com o objetivo de gerar um produto o mais similar possível ao original com um nível de investimento que possa garantir a geração de lucros ao empreendimento (Retorno sobre o Investimento).

A pesquisadora propõe a aplicação da ER em quatro estágios, que são: desmontagem, medição e testes, recuperação de dados técnicos e, por fim, a construção de protótipos. Conforme ilustrado na figura 2.3, estes estágios são aplicados após uma análise criteriosa de escolhas de candidatos. A maior parte dos bons candidatos será evidenciada com as seguintes características:

- Fatores econômicos, como a dificuldade de obtenção ou avaliações de materiais devido aos custos de pesquisa, por exemplo;
- Logísticas, com relação ao acesso e disponibilização;
- Retorno de investimento;
- Complexidade técnica.

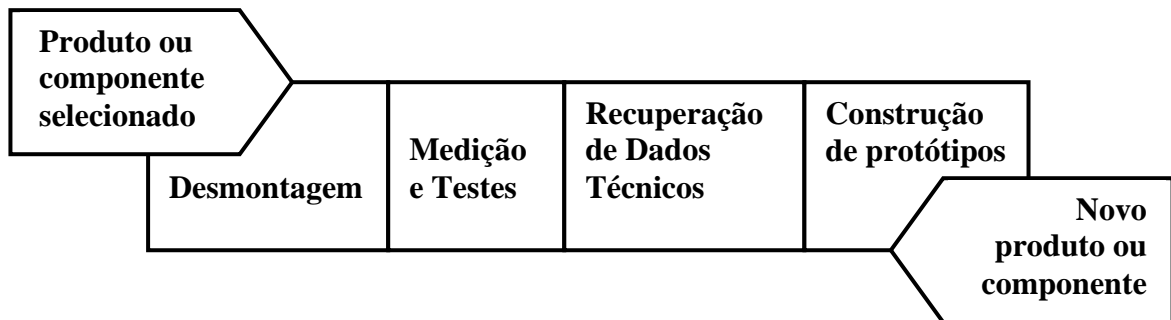


Figura 2.3 – Seqüência de atividades que caracterizam a aplicação da ER  
Fonte: Ingle (1994)

Para cada uma das fases é necessária a realização de uma documentação para que os pontos analisados sejam registrados e considerados de forma sistemática, tanto com relação às questões técnicas como com relação aos ganhos previstos com reduções de custos. Ingle (1994) propõe a utilização de um formulário específico para esta avaliação (vide Anexo A), que pode ser utilizado como referência, apesar de não ser um ponto crítico o seu preenchimento.

Durante a fase de desmontagem, o objetivo é a observação de detalhes construtivos e identificação dos conceitos utilizados no produto de referência, e se estes conceitos e seus detalhes são relevantes para os clientes da empresa que o produz e se será para os clientes da empresa atual.

Para a fase de medição e testes, busca-se o levantamento de informações geométricas com ou sem a utilização de recursos informatizados como CAD e *scanners* (vide os métodos mencionados no tópico 2.2.1), e outras informações técnicas como acabamentos superficiais, materiais e tratamentos térmicos e outros aspectos relacionados a função do componente ou sistema do produto.

Para a terceira fase de recuperação de dados técnicos, executam-se efetivamente as confirmações que foram levantadas na fase anterior. Nesta fase deve-se realizar uma

verificação mais profunda das compatibilidades dos componentes do produto com o conceito que se pretende utilizar no novo projeto (componentes eletrônicos ou mecânicos obsoletos, por exemplo) e otimizações podem ser aplicadas nestas análises.

Por fim, a quarta fase proposta por Ingle (1994) é a construção de protótipos, que podem variar em quantidade, dependendo dos custos envolvidos com sua obtenção e das características que precisam ser avaliadas, desde características somente relacionadas com a estética e dimensional, até as características funcionais como resistência ao desgaste ou necessidade de suportar pressões e temperatura e outras características técnicas.

Souza, Silva e Mello (2006) separam as definições relativas à ER em outras duas divisões mais ligadas às áreas de desenvolvimento de produtos, sendo elas o modelamento de componentes e a análise funcional de subconjuntos.

### **2.2.1 Modelamento de componentes**

A primeira forma de análise da metodologia a ser apresentada é a mais difundida e utiliza a aplicação da ER através da utilização de dispositivos e de metodologias de capturação e manipulação de superfícies e prototipagem rápida como em Hsiao e Chuang (2003), Fisher (2003), Sokovic e Kopac (2005) e Federici (2006). O objetivo principal destas metodologias é a obtenção de modelos matemáticos das superfícies em análise e, a partir delas, complementar o desenvolvimento e construção de um ou mais componentes de um produto.

Visando a utilização de modelamento de superfícies, Lima (2003) define a ER como sendo uma tecnologia que consiste em criar modelos virtuais a partir de peças reais e desta forma é possível produzir novas peças, produtos ou ferramentas a partir de modelos ou componentes existentes.

Fisher (2003) estabelece ainda que mesmo nestes casos, de escaneamento de superfícies, é necessária uma profunda interferência humana para uma obtenção de resultados positivos.

Sokovic e Kopac (2005) separam os tipos de captura de superfícies baseando-se nas formas como as informações das superfícies são verificadas. Estes dispositivos podem ser com ou sem contato com o objeto.

A medição com contato pode ser:

- Manual, através de calibradores, escalas e blocos de medição, para uma aplicação mais simples e com menor precisão, além de ser mais demorada para a aquisição dos dados e seu registro;
- Pela utilização de máquina de medir por três coordenadas, aonde a medição é executada com um equipamento de dimensionamento tridimensional que possui um sensor de contato para detectar a posição de uma ponta especial no momento do toque no objeto. Este equipamento pode estar acoplado a um sistema de interpretação das informações para depois ser traduzido em modelo matemático;
- Através da digitalização de dados eletromagnéticos ou sônicos, que necessitam de pontas referenciais (em contato com o objeto) para o levantamento da nuvem de dados, como é chamado o grupo de pontos referentes a uma superfície (FEDERICI, 2006).

A medição sem contato, não exige partes do objeto sendo tocadas e podem ser classificados ainda em ativo ou passivo dependendo do tipo de luz que utilizam. O ativo envolve a luz do equipamento e o passivo utiliza luz ambiente. Os métodos mais comuns são:

- Por emissão de raios *lasers*;
- Métodos de medição da reflexão de luzes e sons sobre o objeto.

Em todos estes casos os autores mencionados consideram a obtenção de informações geométricas de superfícies através da digitalização manual ou eletrônica um excelente método para desenvolvimento de produtos; consideram também a grande importância da construção de protótipos. Hsiao e Chuang (2003) comentam especificamente sobre alguns dos materiais utilizados para esta finalidade tais como poliuretano, polistireno expandido, espuma, barro, argila, gesso, madeira e serragem, cera, resinas e outros.

Os tipos mais usuais de prototipagem normalmente utilizados são divididos em dois grupos, por adição de material, na qual um objeto é confeccionado pela deposição de material sobre uma camada existente, e por retirada de material onde, ao contrário, um modelo é esculpido por processos variados.

A prototipagem rápida tem contribuído diretamente nos processos de desenvolvimento de produtos atuais, fazendo com que sejam cada vez mais curtos e têm contribuído também para



que os produtos possuam cada vez maiores complexidades em suas geometrias, atendendo as necessidades estéticas e ergonômicas dos consumidores.

### **2.2.2 Análise funcional de subconjuntos**

A segunda classe de definições de ER, sob a qual o trabalho busca referenciar-se, está voltada a uma análise sobre a influência dos componentes de um conjunto ou subconjunto sobre o produto final. São analisadas suas dimensões, tolerâncias e interferências, seus materiais e outros aspectos técnicos (SOUZA, SILVA e MELLO, 2006; MURY, 2001; OTTO e WOOD, 1998; McEVILY, 2005; SILVA *et al.*, 2005).

Nesta segunda abordagem, o projeto de ER é mais abrangente, apesar de existir pouca literatura específica sobre o tema, porque nela é possível aplicar técnicas de melhoria da montabilidade e manufaturabilidade dos componentes e analisar as seqüências de montagem e equipamentos necessários para sua produção, como será visto no capítulo 3.

Alguns objetivos da ER apontados por Souza, Silva e Mello (2006) são:

- Resgatar um projeto de um produto descontinuado há muito tempo pelo fabricante (ou mesmo a inexistência deste fabricante);
- Documentação técnica inadequada ou incompleta do produto original ou a documentação esteve perdida ou mesmo nunca existiu;
- Dificuldades de suporte pelo fornecedor do produto original;
- Desenvolver produtos modernos com alta complexidade das geometrias envolvidas nos componentes;
- Redefinir e reanalisar algumas características do produto que foram mal projetadas. Por exemplo, um excessivo desgaste pode indicar onde um produto deveria ser melhorado;
- Fortalecer as características boas de um produto baseado no uso em longo prazo do produto;
- Analisar as características boas e ruins do produto de competidores;
- Explorar novas formas e novas características para melhorar o desempenho de produto.
- Desenvolver métodos competitivos de comparação para entender os produtos dos competidores e desenvolver produtos melhores;

- O modelo de CAD original não é suficiente para permitir modificações ou métodos industriais atuais (exemplo somente desenhos bidimensionais);
- Atualizar ou substituir os materiais obsoletos ou processos industriais antiquados por tecnologias mais atuais e menos-caras;
- Comparar digitalmente as superfícies contra uma especificação ou modelo, inclusive com a possibilidade de medição de materiais moles e frágeis.

Além destes objetivos, Sokovic e Kopac (2005) citam que a ER pode ser aplicada em outros casos como: resgate de projeto de componentes que fazem parte de conjunto sem documentação, extração de perfis bidimensionais de um modelo existente e facilitar a duplicação de moldes com ou sem documentação. Otto e Wood (1998) consideram que a utilização da ER é fortemente indicada em casos de reprojeto, onde o produto de referência é o próprio produto atualmente em uso. Nestes casos, podem-se obter grandes conquistas, sobretudo se a equipe mantiver-se com visão focada nas necessidades dos consumidores em relação ao produto.

Gurgel (2001) menciona que o objetivo da ER é levantar toda a tecnologia inserida no projeto e na fabricação de um produto concorrente. Faz uma comparação a uma autópsia de um organismo vivo onde baseado em metodologia de análise estruturada tem como função o entendimento do funcionamento dos componentes internos do organismo. Objetivando estabelecer uma estruturação no processo de identificar pontos vitais, vantagens competitivas e fraquezas.

O método proposto por Gurgel envolve a desmontagem do produto observando os seguintes elementos: análise funcional, análises físicas, análises químicas, metrologia e pesagem, conforme pode ser visto na figura 2.4.



Figura 2.4 – Modelo proposto por Gurgel.  
Fonte: Gurgel (2001)

No que tange o desenvolvimento ou adaptação de um produto, o ponto crítico para a ER é a formulação de especificações do novo produto, sendo para tanto necessárias atividades de pesquisa e desenvolvimento. A elaboração do projeto do processo produtivo também apresenta uma complexidade que demanda conhecimentos técnicos.

O conceito de que a ER consiste na simples cópia de um produto também é questionado por Dias (1998), que enfatiza a necessidade de *expertise* técnica por parte de seus analistas tanto no levantamento das informações técnicas do produto como da forma como este será produzido.

Esta *expertise* é necessária para se antecipar erros de projeto, como o mencionado por McEvily (2005) sobre o acidente ocorrido em um avião monomotor, em 1989 nos Estados Unidos. O piloto, durante o procedimento para aterrissagem, ao tentar recuperar a potência do avião para corrigir sua trajetória, já próximo ao aeroporto, teve a infeliz surpresa de não ter a resposta do motor e se viu obrigado a realizar uma aterrissagem forçada em uma avenida, colidindo com um automóvel e causando a morte do seu motorista.

O autor cita que após uma análise minuciosa dos detalhes envolvidos no acidente, percebeu-se que a causa foi o desgaste excessivo no eixo da borboleta do carburador, o processo de desgaste teve início durante sua montagem no mancal. O projeto havia sido concebido em um processo de ER mal analisada, que identificou e utilizou materiais equivalentes, porém com dureza inferior no eixo. Outro fator foi a ausência de chanfro de convite no canto vivo do furo (característica a ser abordada mais profundamente no capítulo 3). Estes fatores acabaram por gerar falha no polimento e, conseqüentemente, o início do desgaste, gerando o acidente com uma vítima fatal. Conclui o pesquisador dizendo que o uso da ER pode gerar situações de risco se não forem adequadamente analisadas e ajustadas às necessidades do projeto.

Souza, Silva e Mello (2006) identificam a ER como uma abordagem de desenvolvimento de produtos que está alinhada com as estratégias defensivas de desenvolvimento de produtos, que podem ser aplicados às necessidades das pequenas e médias empresas.

## **2.3 Projeto para Manufatura e Montagem (DFMA), *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)***

### **2.3.1 Conceituação**

Os conceitos envolvidos com a necessidade de identificação dos aspectos relacionados a construção de produtos não é recente e remonta a antes de 1788 quando *Le Blanc*, um francês

fabricante de mosquetes, aplicou conceitos de intercambiabilidade através do estabelecimento de tolerâncias aos componentes e desenvolvendo sistemas para garantir a repetibilidade do processo em sua produção, sendo que antes cada produto era uma peça única de artesão (BRALLA, 1999).

Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989, 2002) e Bralla (1986, 1999) consideram a manufatura como o processamento para obtenção individual de componentes, seja de conformação ou de transformação, e montagem a junção ou união de diversos componentes para formação de um produto completo ou subconjuntos deste produto. Neste sentido, nenhuma manufatura será considerada como montagem, assim como também não serão os processos como usinagem, moldagem, etc.

O termo projeto (*design*) pode ter diversos significados como definições estéticas (cores e formas) ou pode também significar em nível mais técnico o detalhamento de materiais, formatos e tolerâncias de cada componente individual de um produto ou o estabelecimento de parâmetros de sistemas como, por exemplo, o cálculo de uma estrutura ou posicionamento de tubos ou engrenagens (BAXTER, 1998).

A técnica de DFMA é geralmente separada em duas abordagens, o projeto para manufatura (DFM) e o projeto para montagem (DFA).

Rozenfeld *et al.* (2006) e Boothroyd e Dewhurst (2005) dizem que o DFM é uma abordagem que enfatiza aspectos da manufatura, tais como estamparia, forjamento, injeção e outros processos voltados à conformação mecânica e a usinagem. Existe uma vasta bibliografia que aborda o assunto dentro dos ambientes acadêmicos, sobretudo nas escolas técnicas de base, onde a aplicação de conceitos que reduzam os custos com a utilização de equipamentos é um fator crucial às empresas. Contudo, essa técnica visa a efetiva influência do conhecimento das características de processamento sobre o desenvolvimento do produto, tais como:

- Ângulos de saída de ferramentas;
- Raios e cantos vivos;
- Usinabilidade e custos das opções de materiais disponíveis;
- Acabamentos e outras características ligadas aos aspectos de construção, usualmente através de dispositivos ou ferramentas automatizadas.

A segunda abordagem é o DFA, que consiste em obter e analisar informações sobre as várias alternativas de *layout* de componentes ainda durante o desenvolvimento do projeto do produto, ponderando-se características como:

- Número total de itens, comparando com o número ideal de componentes que o sistema poderia ter;
- Dificuldades de manipulação dos componentes;
- Inserção de componentes;
- Seqüência e tempo de montagem.

Para Youssef (1994), as análises do DFM devem se basear nos conhecimentos tecnológicos e sociais do processo produtivo. Para os conhecimentos tecnológicos é importante que sejam considerados os conhecimentos científicos sobre o processamento, forma de concepção de projetos, características dos materiais, da manufatura e outros. Para os conhecimentos sociais são necessárias as considerações sobre a cultura organizacional, entender os conceitos utilizados pela equipe de projeto, natureza da formação dos projetistas e as características dos fornecedores e dos funcionários.

Costa e Silva (2004) citam (exageradamente) que para o DFA o produto ideal possui apenas um componente e reforça o conceito de que o foco principal é a redução de componentes.

Além da redução da quantidade de componentes, durante as análises de DFA devem-se levar em consideração a obtenção de ganhos através de outros fatores, tais como:

- Transporte e movimentação de componentes;
- Manutenção e assistência técnica do conjunto no campo;
- Componentes multifuncionais e padronizados;
- Conceitos similares entre outros produtos;
- Resíduos gerados pelo processo;
- Detalhes para facilitar orientação e posicionamento do componente através do tato;
- Redução de necessidades de ajustes;
- Outros fatores ligados direta ou indiretamente ao processo produtivo e às outras operações ligadas ao produto e sua obtenção, manuseios e descarte.

Ambas as abordagens visam incluir ainda no início do processo de desenvolvimento de produtos a redução dos custos pela otimização do processo produtivo, sem sacrificar a qualidade do produto, através da inclusão ou retirada de detalhes que objetivam a antecipação de possíveis problemas, que em muitos casos se repetem de projeto para projeto, podendo ser reduzidos ou mesmo eliminados.

Através da aplicação da técnica do DFMA, pode-se identificar como os recursos disponíveis na produção podem interferir no sucesso do projeto, buscando analisar detalhes no produto com o objetivo final de aproveitar melhor os recursos industriais da empresa, sempre mantendo o atendimento às necessidades dos clientes, através da simplificação nos processos de fabricação e montagem e da redução de custos. Para Gurgel (2001) o trabalho em parceria entre engenharia de produto, fornecedores e engenharia de processo para estudar os envolvimento do processo antecipadamente agrega agilidade na resolução de problemas.

Pereira e Manke (2001) citam que frequentemente problemas com a montabilidade e problemas com a qualidade dos componentes ou mesmo do projeto são identificados e tratados somente durante o início de produção ou em lotes intermediários de engenharia. Catapan, Forcellini e Ferreira (2004) contribuem acrescentando que nestes pontos, mudanças são criticamente necessárias para que a fábrica possa produzir com os recursos existentes.

Algumas vezes estas alterações são em número tão excessivo que pode resultar em atrasos na liberação para o início de produção e, conseqüentemente, no lançamento do produto, podendo até inviabilizá-lo comercialmente visto que esta é uma das características relevantes dos dias de hoje.

Completando ainda, Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989, 2002) e Back (1983) consideram que quanto mais tarde as mudanças ocorrem, mais caras serão as suas implementações e, conseqüentemente, piores os resultados para o projeto como um todo. Desta forma não é somente importante levar em consideração as necessidades e limites da produção, mas também estas considerações devem ser analisadas e tratadas o quanto antes possível dentro do ciclo de desenvolvimento de produtos. O tempo gasto a mais nas fases iniciais do projeto pode gerar uma redução no tempo total de desenvolvimento do produto, outros ganhos são obtidos através da redução do número de peças e do tempo total de montagem. Para eles, as principais características geradas pela aplicação destas metodologias são:

- Procura obstinada pela qualidade do produto baseado no ponto de vista do cliente final;

- Contribuição simultânea entre os membros do time baseados nas necessidades da empresa e dos fornecedores;
- Opção por manufaturas inovadoras e modernas, porém desenvolvidas sem que haja sub ou sobrecargas, buscando adequar ao máximo o projeto do produto aos limites dos recursos disponíveis e vice-versa;
- Entrosamento e coordenação das equipes internas e externas permitindo um desenvolvimento do *learning organization*;
- Clientes e fornecedores fortes financeiramente e estímulos para melhorar esta saúde financeira e confiança recíproca;
- Ambiente propício, para facilitar e estimular a criatividade individual.

Dalglish, Jared e Swift (2000), Kim (1997) e Appleton e Garside (2000) mostram que os produtos têm sido desenvolvidos com um excessivo número de peças e, invariavelmente, com custos acima do esperado, gerados principalmente pela complexidade do processo de produção.

Para O'Driscoll (2002), os custos totais que incidem sobre um processo de desenvolvimento de produtos são compostos por:

- Custos diretamente relacionados com o projeto do produto desde o conceito até o início da produção do produto físico final;
- Despesas relacionadas com a garantia da marca e das características técnicas do produto físico.

Ainda segundo o autor, estes fatores acima ocupam aproximadamente 10% do total para cada um, e o restante são relativos aos custos de manufatura, que são aqueles relacionados com a produção propriamente dita, conforme ilustra a figura 2.5. Além disso, especificamente estes custos da manufatura, que representam 80% do total, podem ser divididos em três subcategorias:

- Mão de obra que podem variar de 2 a 15%;
- Materiais e processos para a manufatura de 50 a 80%;

- Despesas gerais e custos indiretos de 15 a 45%.

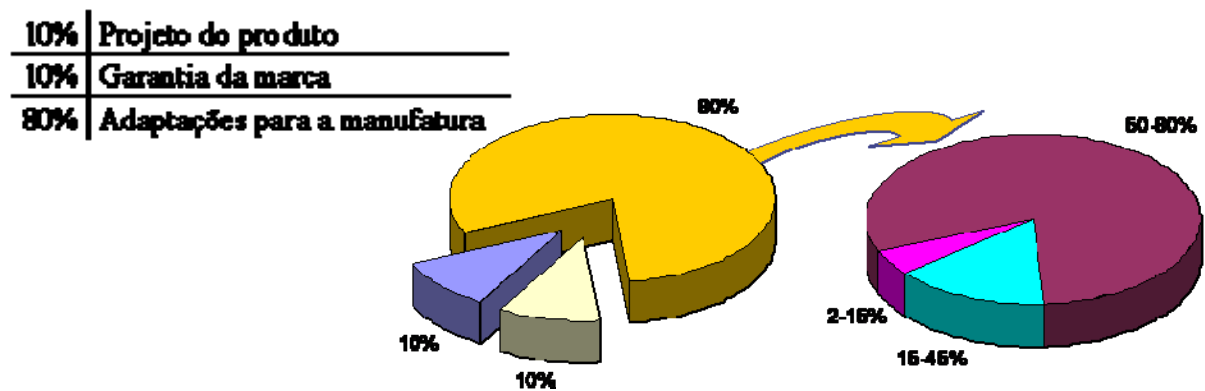


Figura 2.5 – Custos totais da produção  
 Fonte: Adaptado de O’Driscoll (2002)

Como podem ser observados, os custos com projeto e garantia da marca são aproximadamente 20% dos custos totais de um produto, porém tipicamente os outros 80% dos custos que se referem à manufatura são definidos ou estão relacionados com as decisões tomadas nas fases iniciais do projeto. Tal evidência implica que atuações antecipadas sobre o projeto do produto podem influenciar diretamente sobre reduções diretas nos custos da manufatura (O’DRISCOLL, 2002).

Apesar dos números apresentados serem questionáveis, ou mesmo não poderem ser generalizados para todos os tipos de produtos e empresas, é possível perceber que existe uma estreita relação entre as decisões tomadas durante as fases iniciais e as conseqüências nas fases finais de produção. Ou seja, o que deve ser investido em termos de recursos financeiros e de tempo para a introdução de um novo produto considerado na fase inicial do projeto influencia diretamente sobre os custos necessários para garantir a produção conforme o especificado.

Existem diversos exemplos na literatura sobre ganhos com a aplicação do DFMA, entre elas pode-se destacar a de Fabricius (1994) que obteve redução no custo geral por ampère em uma família de equipamentos para soldagem da ordem de 40%, entre outros ganhos indiretos. Com a aplicação da técnica, Boothroyd e Dewhurst (2005) indicam em seus relatos reduções superiores a 50% em número de operações, através da aplicação da técnica com o auxílio de *software*, conforme demonstrados na tabela 2.1.



Tabela 2.1 – Ganhos obtidos com a redução de custos com a aplicação do DFMA

Redução de ciclos de montagem	Acima de 61%
Redução do número de operações na montagem	Acima de 50%
Redução no número de montagens defeituosas	Acima de 68%
Redução do <i>lead time</i> de vendas	Acima de 50%

Fonte: Boothroyd e Dewhurst (2005)

Parker (1995) demonstra otimizações que chegam a até 84% sobre o tempo de montagem dos componentes, conforme mostrado na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Custos totais da produção de referência

Melhoria com o DFMA	(%)
Tempo de montagem	84
Custo de montagem	74
Número de peças unificadas	65
Total de peças	66
Número de operações	81

Fonte: Fonte: Parker (1995)

Back (1983), Bralla (1986, 1999), Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989, 2002) e Dorf e Kusiak (1994) disponibilizam em suas obras uma base para auxílio nas definições e direcionamentos de projeto de produto com o objetivo de otimizar os desenvolvimentos de produtos, sobretudo do ponto de vista da divulgação dos conhecimentos e aplicações técnicas.

Contudo, Back (1983) alerta que trabalhos como estes não devem ser considerados somente como um guia para serem executados somente uma vez e esquecidos, mas sim devem ser utilizados como referência permanente para consultas. A idéia básica é resgatar as perguntas: “Isto já foi tentado? Por quê?” ou “Porque fazemos isto desta forma?”. É um meio de potencializar novas concepções.

Parker (1995) em seu relato sobre a utilização do DFMA menciona que na empresa estudada, que produzia equipamentos para respiração artificial, foram realizadas seções especiais para análise do novo projeto, inclusive com reuniões por mais de três dias fora da fábrica. Já para Gurgel (2001), a equipe de desenvolvimento de produtos e de processos deve estar

continuamente interagindo para que o processo de desenvolvimento perdure não somente durante o desenvolvimento do projeto, mas também durante a vida útil do produto, observando os aspectos de assistência no campo e desenvolvimento contínuo dos meios produtivos.

Bralla (1999) em seu guia, uma coletânea de artigos e revisões de material técnico sobre cada uma das especialidades abordadas, comenta ser uma referência para os interessados em aplicar técnicas de DFMA. Cita que a intenção básica é a criação de uma ferramenta educacional para quem deseja desenvolver habilidades nos projetistas que permitam desenvolver produtos e componentes com a melhor condição possível de manufaturabilidade e com custos mínimos.

Entretanto, ninguém pode esperar guardar na memória todos os aspectos tratados nos livros, como sugestões de tolerâncias dimensionais, limites de processos de acabamentos superficiais, materiais e tratamentos térmicos e outros aspectos relacionados a cada tipo de processo produtivo. É uma boa prática consultar constantemente a literatura e os documentos elaborados para os desenvolvimentos anteriores, onde se podem encontrar bons e maus caminhos.

Nos processos de desenvolvimento normalmente utilizados por um grande número de empresas, o projeto do produto é passado das mãos dos profissionais de criação para os engenheiros de processos que irão traduzir os requisitos e necessidades da manufatura e montagem para que possam adaptar-se às necessidades e aos requisitos do produto apresentados, como o ilustrado comicadamente pela figura 2.6. Neste sentido todos os esforços necessários são aplicados para garantir que se possa obter o atendimento de todos os requisitos do produto buscando investir o mínimo possível em equipamentos e, em alguns casos, sacrificando-se até as condições ergonômicas da operação.



Figura 2.6 – Transferência informações Engenharia x Produção (Processo)  
 Fonte: Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

O objetivo principal da metodologia é a eliminação de atitudes como as que normalmente têm sido observadas em projetistas com pensamento do tipo “Nós desenhamos, vocês constroem”, em uma abordagem de “jogar por cima do muro”, onde o projeto de produto é passado para outros departamentos sem nenhuma interação entre os profissionais.

### 2.3.2 Etapas para aplicação do DFA

A figura 2.7 esquematiza os passos seguidos quando se utiliza o DFA durante o processo de desenvolvimento de produtos. A análise de montabilidade e manufaturabilidade é primeiramente conduzida para a simplificação somente em nível de estrutura do produto, buscando avaliar, em uma análise superficial, se o produto não possui excessos de peças, mesmo que baseada apenas no histórico de projetos anteriores. Então, os custos iniciais são estimados para o projeto original e para as condições propostas, para poder ser utilizado no auxílio de decisões estratégicas. Durante este processo, os melhores materiais e processos de fabricação dos diversos componentes são considerados e analisados, e as propostas de alteração do produto, ainda em fase de detalhamento e prototipagem, são incentivadas e discutidas.

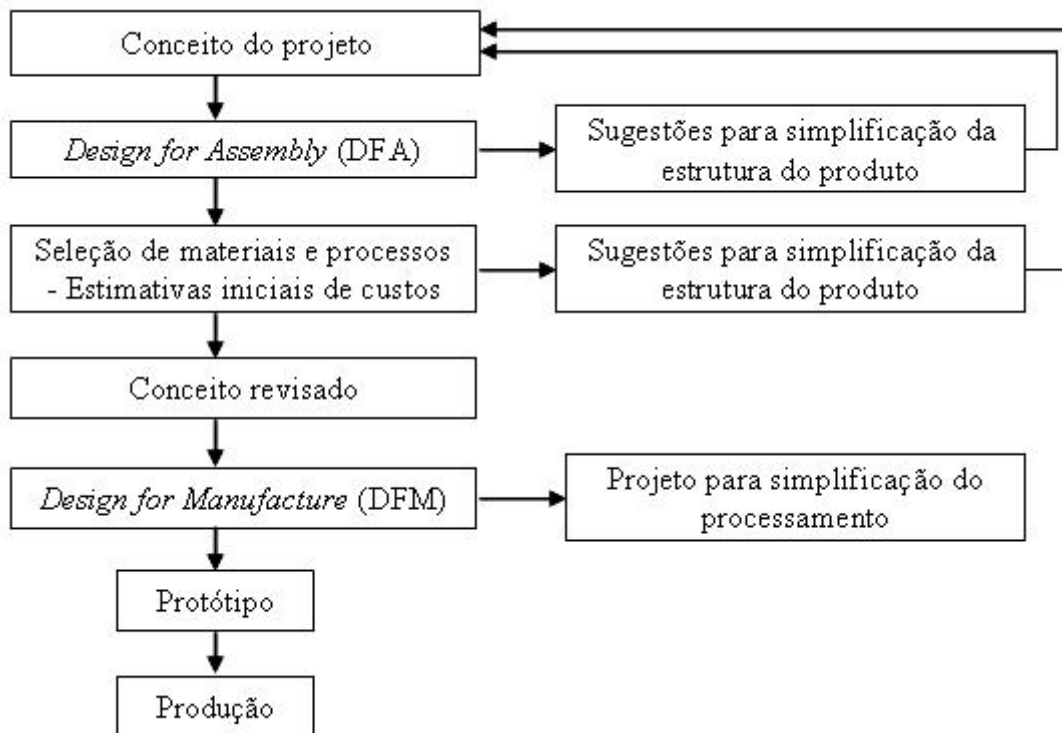


Figura 2.7 – Passos comumente praticada em projeto usando a metodologia DFMA  
Fonte: Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

Daabub e Abdalla (1999) sugerem ainda uma classificação inicial do tipo de montagem dos componentes em cinco categorias:

- Manualmente montado;
- Manualmente montado com auxílio mecânico;
- Automaticamente montado usando equipamento de indexação;
- Automaticamente montado usando equipamento de transferência e posicionamento dedicado;
- Automaticamente montado com sistema de transferência e posicionamento programável;
- Automaticamente montado com a aplicação de robôs com dois braços.

Para os dois primeiros casos deve ser dado foco à forma de manuseio dos componentes e dificuldades de inserções, e para os outros casos o foco fica por conta das geometrias envolvidas e como fazer o posicionamento de forma automática, como o analisado em Coma, Mascle e Véron (2003).

Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989, 2002) comentam que os objetivos principais esperados com a técnica do DFMA são:

- Promover uma ferramenta para garantir que os projetistas ou time de desenvolvimento façam considerações eficientes sobre a produtividade nas fases iniciais do projeto, o que diminui o perigo de dar-se foco somente na função do produto;
- Guiar o projetista ou equipe na simplificação do produto e, conseqüentemente, nas reduções de custos, diretamente no custo da operação de montagem e na quantidade de peças e indiretamente no custo de produtividade com a redução da complexidade dos componentes confeccionados interna ou externamente;
- Agrupar, disponibilizar e difundir as experiências que geralmente ficam mantidas com os projetistas mais experientes, tornando o processo mais inteligente e auto-suficiente através da disseminação das idéias analisadas, gerando um processo de crescimento do nível das análises a cada novo produto;
- Estabelecer uma base de dados aplicáveis em análises posteriores de estudos de tempos de montagem e fatores de custo para diversas condições de projeto de produto;
- Melhorar a comunicação entre os departamentos envolvidos no processo de criação de produtos da empresa e o líder do projeto para que as decisões realizadas durante o processo fiquem bem documentadas e disponíveis para futuras consultas;
- Abrir e manter o canal de comunicação entre os profissionais da manufatura e a engenharia de produto possibilitando que qualquer melhoria futura, tanto no produto como no processo, sejam analisadas e tratadas de forma mais eficiente.

Alguns outros objetivos mais específicos do DFMA podem ser estabelecidos ou observados para cada tipo de produto ou serviço onde se deseja aplicá-la. Huang e Mak (1999), por exemplo, exploram a aplicação da técnica através de *softwares* com o uso da rede de computadores da *internet*.

### **2.3.2.1. Processo de análise e guia para projeto**

A análise de um projeto começa identificando-se se o produto será montado manualmente, de forma semi-automática, completamente automática (por robôs) ou mesmo com alguma combinação entre eles. Esta informação está relacionada com o nível de produção de

determinado produto e a quantidade de recursos (pessoas e equipamentos/espacos) que será disponibilizado para este fim. Onde se considerará em uma primeira análise:

- Condições de manuseio manual ou transporte mecânico dos componentes;
- Forma de fornecimento (proposta inicial de embalagem) dos componentes principais;
- Acessos no posto de trabalho e a condição da pegada dos componentes no caso de manuseio manual;
- Forma de abastecimento e realimentação dos postos.

Mesmo em condições de montagem completamente automáticas ou semi-automáticas deve ser considerada a forma de posicionamento do componente para manuseios através de robô ou manipulador automático, por exemplo, onde os critérios para orientação dos componentes são mais críticos.

A análise do processo de montagem manual de componentes será dividida em duas operações básicas: manuseio e inserções e fixações. A seguir será realizado um detalhamento de cada um deles.

### **2.3.2.2. Manuseio de componentes**

Sugai (2003) cita que os movimentos básicos, segundo a metodologia MTM (*Methods-Time-Measurement*) são os das mãos, braços e corpo, com o objetivo de executar uma tarefa, como por exemplo, movimentar a mão para alcançar um objeto.

Gurgel (2001) destaca manuseio como sendo o deslocamento de materiais ou ferramentas sem o auxílio de equipamentos e de forma manual, e movimentação como o transporte executado com o auxílio de equipamentos como carros, paleteiras e outros.

Este tópico irá analisar o manuseio manual de componentes que compreende os movimentos relacionados com as operações básicas de apanhar, orientar e mover um ou mais componentes em seqüências repetitivas.

Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989, 2002), existem condições geométricas dos componentes que podem gerar condições melhores ou piores de manuseio. Para facilitar estas operações, o projetista deve observar alguns detalhes para serem incluídos ou retirados do produto, como os mencionados a seguir:

**a) Simetricidade:** sempre que possível projetar detalhes simétricos sobre os três planos ortogonais do componente. Se, no entanto, não for possível manter o componente simétrico, deve-se então aplicar este conceito no máximo de detalhes possíveis, sobretudo sobre o eixo imaginário normal ao plano de inserção. No exemplo da figura 2.8a, o pino da direita possui somente um lado chanfrado. Esta escolha pode inicialmente parecer mais barata para construção, mas piora a condição de manuseio, uma vez que o operador terá que ter um tempo para observar, ou mesmo que sentir pelo tato o lado correto de montagem, podendo gerar erros de montagem e aumento de custos;

**b) Assimetricidade:** detalhes que precisam ser realmente assimétricos por necessidades específicas do produto (como poderia ser o caso dos pinos da figura 2.8a) devem ter esta condição evidenciada, para que seja facilmente sentida pelo tato durante o manuseio. Segundo a metodologia MTM, a eliminação da necessidade de verificação visual e a decisão do quanto é necessário virar um componente podem significar reduções diretas no tempo da operação (vide figura 2.8b);

**c) Acomodação entre as peças:** providenciar detalhes nos componentes, sem que afete o funcional do produto, para prevenir a ocorrência de aderência entre as paredes internas de umas com as externas das outras durante o transporte, principalmente quando em formação de pilhas, gerando dificuldade e movimentos extras para a retirada de uma peça da pilha (vide figura 2.8c);

**d) Embarçamento:** existem geometrias de componentes que têm a tendência natural de embarçar-se nas outras peças quando estocadas e movimentadas, principalmente em fornecimentos a granel, geradas por conterem pontas e aberturas como acontece com molas, olhais e anéis abertos, ou mesmo alinhadas, como no caso de juntas abertas. Evitar características que possam permitir estes embarçamentos através da redução de aberturas ou gerando desde o início do projeto condições favoráveis para a movimentação e estocagem, de forma a evitar o entrelaçamento entre as peças (vide figura 2.8d);

**e) Adesão por contato de superfície:** evitar peças que possam ficar grudadas às outras, devido à planicidade e acabamentos superficiais, sobretudo em peças com necessidade de oleosidade nas faces junto-postas com fornecimento em feixes (vide figura 2.8e). Se possível, criar detalhes para facilitar a operação de separação das peças (pela redução da dificuldade ao rompimento da tensão superficial da camada de óleo);

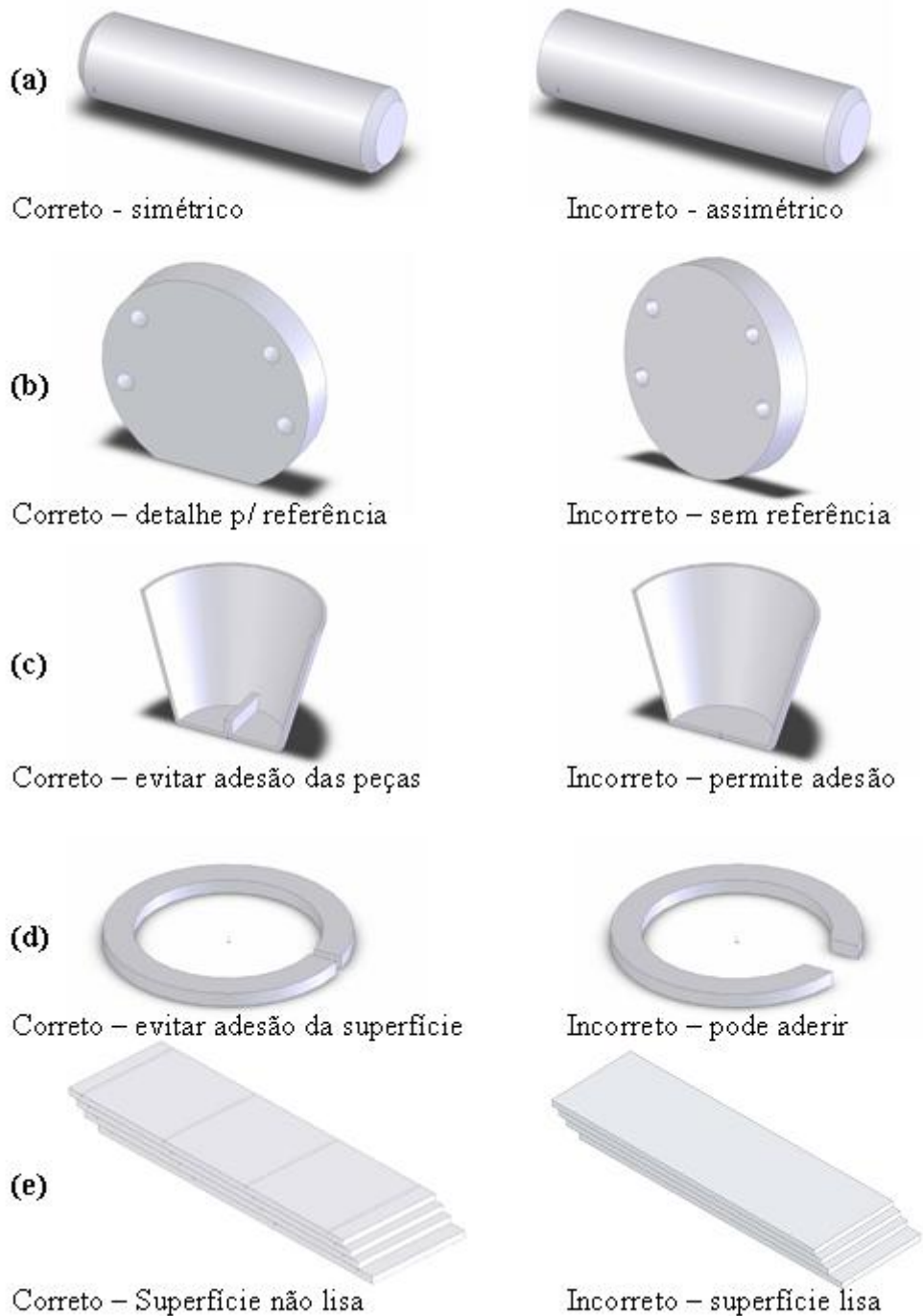


Figura 2.8 – Características geométricas que afetam o manuseio no DFMA  
 Fonte: Adaptado de Boothroyd (1989)

**f) Outras situações:** evitar, sempre que possível, projetar peças escorregadias, delicadas, flexíveis, muito pequenas ou muito grandes, ou que possam oferecer perigo no manuseio, (vide figura 2.9) mesmo que seja apenas potencial, como em peças pontiagudas, detalhes ou gumes cortantes ou que lascam facilmente. Segundo Sugai (2003), pela metodologia MTM, consome-se mais tempo em operações em que, mesmo intuitivamente, o operador acha que pode se ferir.



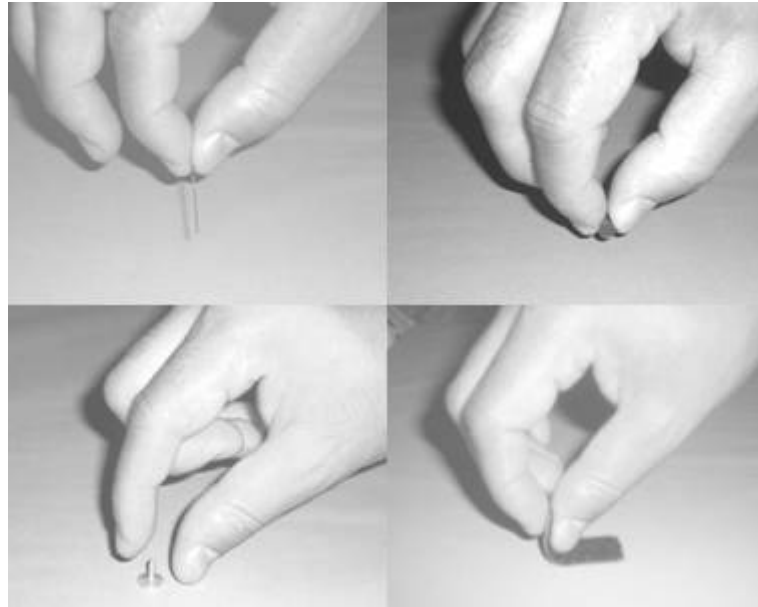


Figura 2.9 – Outras características que afetam o manuseio no DFMA  
 Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

### 2.3.2.3. Inserções e fixações

Compreende os movimentos das operações repetitivas de posicionar e unir um ou mais componentes com o objetivo de criar um conjunto planejado de peças. Para facilitar a inserção de peças o projetista deve atentar para:

#### a) Força de montagem

Projetar de tal forma que exista pouca ou nenhuma resistência para inserção, provendo chanfros ou guias para inserção entre as duas peças. Definir uma folga maior entre as peças pode facilitar a montagem, porém um cuidado deve ser observado nestes casos para que este aumento não possa gerar travamento entre as peças durante a montagem, motivado pelo desalinhamento dos seus eixos. Um maior comprimento auxilia a evitar o desalinhamento entre estes eixos (vide figura 2.10a).

Prever, sempre que possível, saídas de ar no alojamento ou no eixo que pode ser através de furo passante ou rebaixo para permitir uma montagem mais suave, sobretudo em conjunto de peças com pouca folga, de modo a facilitar a inserção de componentes em seus alojamentos (vide figura 2.10b).

Em situações de montagem de eixos com rebaixos (ou outros corpos cilíndricos ou não) em alojamentos também com medidas escalonadas, providenciar para que o corpo menor sirva de guia para o corpo maior (vide figura 2.10c).

Providenciar para que peças com rebaixos longos sejam automaticamente localizadas no eixo de furos pela utilização de chanfros convite para evitar operações posteriores de localização e alinhamentos (vide figura 2.10d);

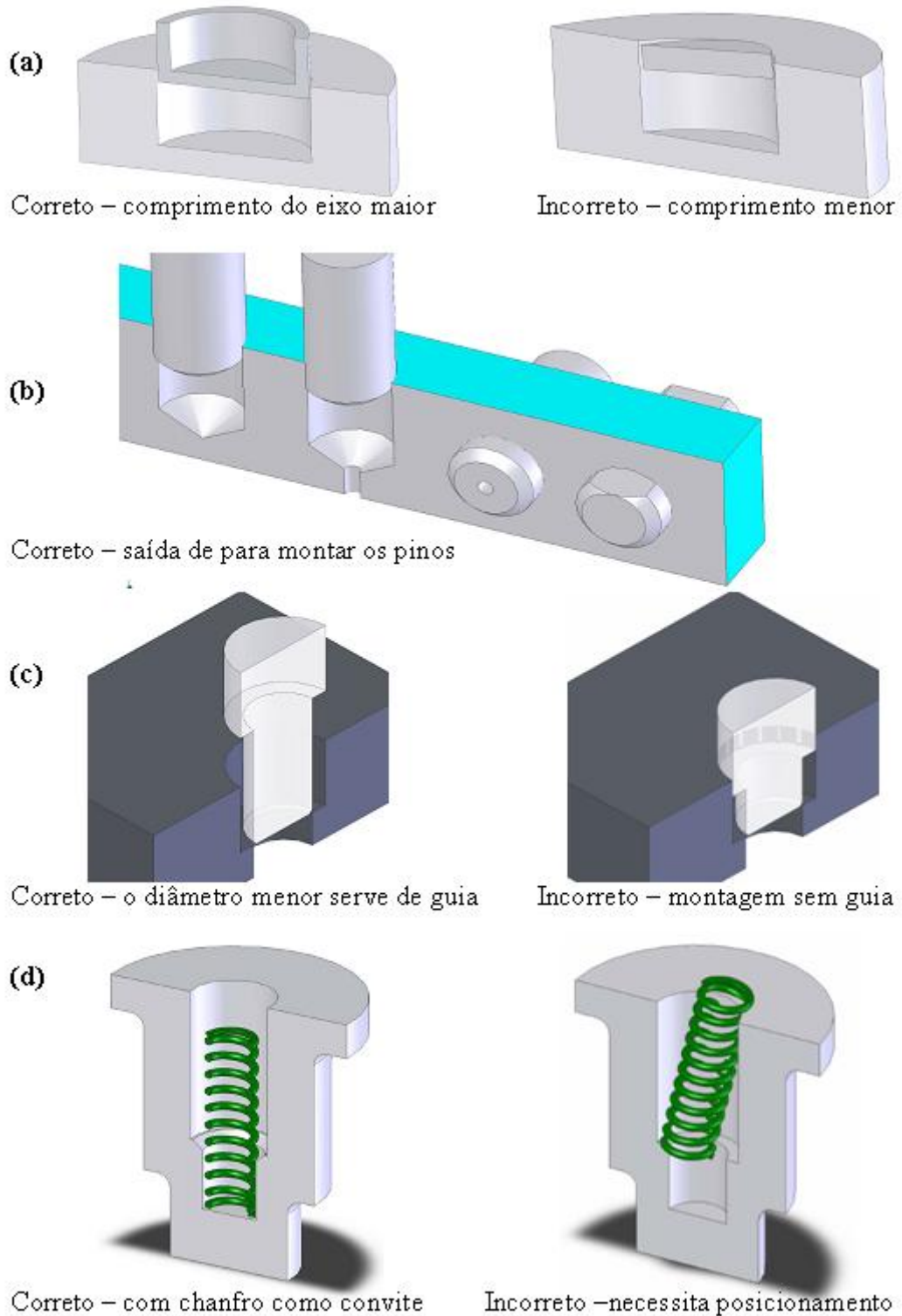


Figura 2.10 – Influência na força de montagem de componentes  
Fonte: Adaptado de Boothroyd (1989)

### **b) Padronização**

Padronize utilizando peças, métodos e processos comuns, entre todos os modelos e mesmo entre as linhas de produtos para permitir o uso de volumes maiores que geralmente resultam em redução de custos, além de possibilitar a utilização de ferramentas padronizadas e facilitar o treinamento industrial podendo gerar reduções consideráveis em ciclos operacionais. Sobretudo, é possível obter uma grande redução em padronização ao se utilizar elementos de máquinas mecânicos e elétricos comuns de mercado que possam permitir facilidades com a estocagem, abastecimentos e utilização de ferramentas manuais.

Neste aspecto Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989) não consideram uma questão muito importante. É necessário observar que em algumas situações é possível obter ganhos maiores ainda com a utilização de componentes/equipamentos especiais em uma abordagem exatamente oposta ao citado neste item; é necessário verificar se não existem ganhos indiretos com a manufaturabilidade e montabilidade.

### **c) Seqüência de montagem**

Projetar os componentes de tal forma que a seqüência de montagem seja como em uma pirâmide sobre um eixo imaginário de referência que geralmente permite montagens por cima. Esta forma geralmente facilita a centralização automática das peças e evita a ocorrência de montagens cegas (vide figura 2.11).

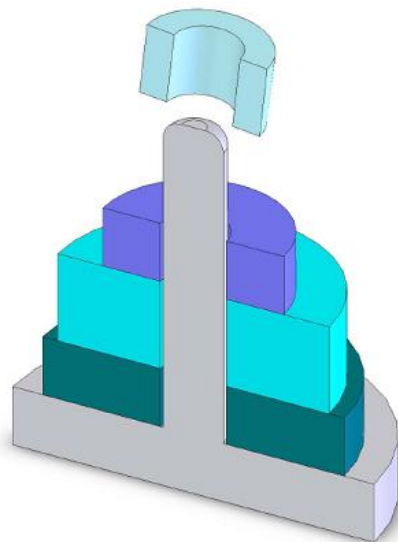


Figura 2.11 – Seqüência de montagem em pirâmide  
Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

#### d) Operações adicionais de montagem

Evitar projetar sistemas que, durante a montagem de subconjuntos, seja necessário segurar e manter posicionada uma das peças para servir de ponto de posicionamento e inserção do outro componente ou subconjunto. Se esta operação for realmente necessária, então prever a inclusão de algum detalhe na peça para que esta fique parada e provisoriamente centralizada na posição até ser montada e travada definitivamente (vide figura 2.12).

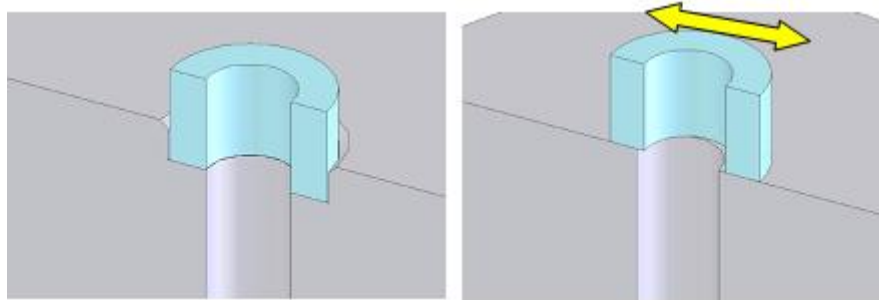


Figura 2.12 – Operações adicionais de posicionamento para montagem  
Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

#### e) Pré-posicionamento

Projetar para que a peça seja localizada antes de ser liberada. Uma fonte potencial de problemas na inserção é quando, devido às restrições do projeto, a peça precisa ser solta antes de estar posicionada dentro de uma montagem. Dentro destas circunstâncias é importante a criação de detalhes para gerar confiança que a peça esteja na trajetória de montagem correta com a repetibilidade necessária (vide figura 2.13).



Figura 2.13 – Necessidade de pré-posicionamentos ao soltar o componente  
Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

#### f) Elementos de fixação

Existe uma quantidade considerável de opções de elementos de fixação disponíveis no mercado. Sua escolha irá depender, principalmente, do tipo de aplicação, custo, acesso a

montagens e desmontagens (ferramental e treinamento disponíveis), força de união e acabamentos.

Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989) demonstram uma seqüência com uma relativa redução de custos para os diferentes processos de fixação:

- Trava mecânica por encaixe (fixada somente com a inserção mecânica);
- Dobra manual de orelha ou detalhe plástico (inserção de um pino recortado em um orifício com posterior giro ou amassamento de uma orelha);
- Rebitagem, soldagem por ultrassom (necessidade de equipamentos ou ferramentas);
- Parafusamento, pinos, colagem (adição de componentes extras).

#### g) Acesso para fixadores

Evitar a disposição de elementos fixadores em faces opostas do conjunto para possibilitar a operação de fixação com somente uma localização do dispositivo de aperto sem a necessidade de reposicionamentos do conjunto no dormente. Neste sentido, pode-se utilizar, por exemplo, parafusos fixos diretamente na parede do componente rosqueado e não com porcas.

#### 2.3.2.4. Outros guias gerais para projeto

Pode-se destacar alguns outros cuidados para a condução técnica de projetos:

- Evitar conexões: se existe a necessidade de conexões (sobretudo flexíveis) então se deve tentar localizar no mesmo alinhamento e até mesmo no mesmo ponto como o ilustrado na figura 2.14 (a quarta figura representa a melhor situação, sem a conexão);

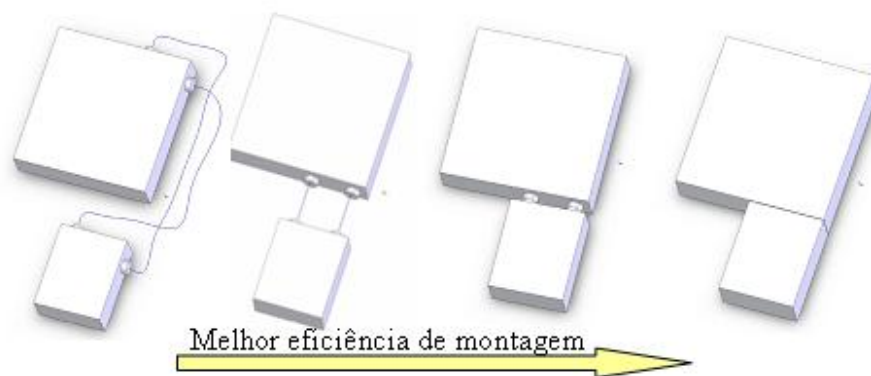


Figura 2.14 – Rearranjo das conexões para melhorar a eficiência de montagem  
Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

- Projetar de tal forma que as operações de montagem não fiquem inacessíveis: a figura 2.15 mostra duas situações onde, na primeira, os parafusos ficam dentro da caixa necessária, dificultando o posicionamento destes;

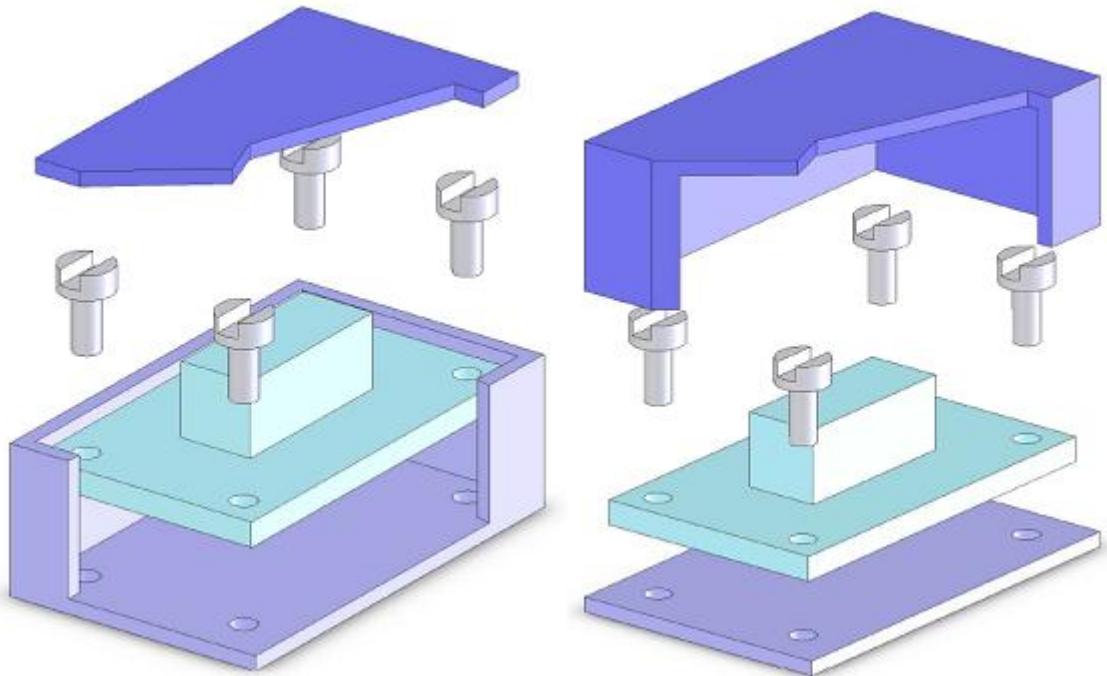


Figura 2.15 – Exemplo de conjunto com a facilitação de acesso durante a montagem  
Fonte: Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

- Evitar ajustes: a figura 2.16 mostra o exemplo de duas peças que necessitam ser confeccionados em diferentes materiais e fixas por dois parafusos para permitir o ajuste do comprimento total da montagem. Se o conjunto for substituído por uma peça única, com o comprimento calibrado através de uma nova análise das dimensões e tolerâncias, irá haver reduções nos custos de montagem e de número de componentes, mesmo após ser considerado o possível aumento no custo de matéria-prima;

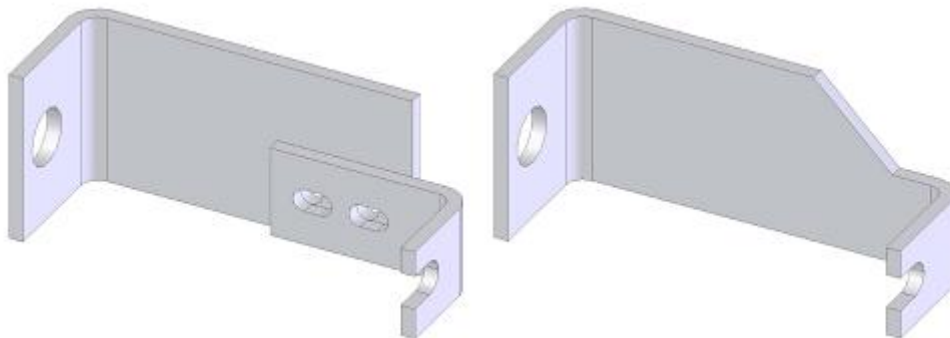


Figura 2.16 – Exemplo de conjunto sem a possibilidade de ajuste  
Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

- Utilize os princípios da cinemática no projeto: existem situações em que a super-restrição de movimentos pode gerar dificuldade de montagem. O proposto aqui é que a análise da montagem leve em consideração a quantidade mínima de pontos de restrição, somente o suficiente para a eliminação dos graus de liberdade para permitir o seu travamento. Em geral, a super-restrição significa maior precisão dos componentes e, conseqüentemente, maior custo para manufatura e montagem (VALENTOVICĪ, 2000). A figura 2.17 mostra um exemplo em que a localização de um cubo quadrado em um plano pode ser realizada facilmente com apenas três pontos.

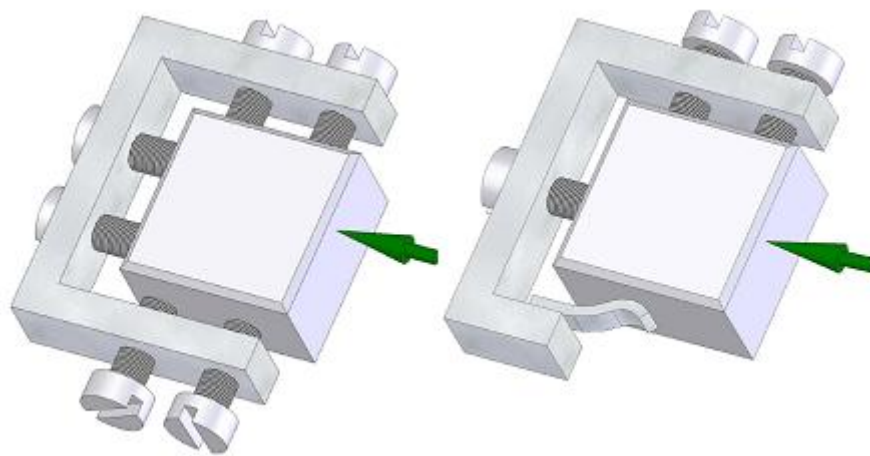


Figura 2.17 – Análise cinemática de posicionamento de um bloco  
Fonte: Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

Na figura 2.18 foi aplicado o conceito de cinemática entre os componentes. Mantendo-se as funções do conjunto foi, primeiramente, eliminado um os pinos e, em uma segunda análise, foram eliminados os dois pinos e a arruela com o suporte.



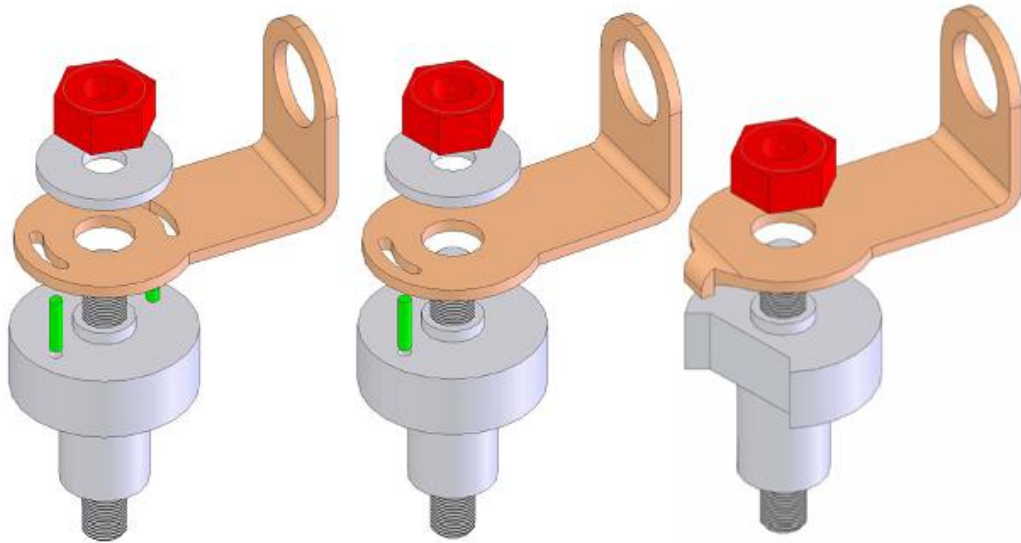


Figura 2.18 – Exemplo de um conjunto com excesso de restrições cinemáticas e uma das possíveis soluções

Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

Ji e Lau (1999) sugerem a utilização da cotação funcional (vide Figura 2.19), na qual as informações dimensionais dos detalhes dos componentes devem ser planejadas e especificadas de forma a garantirem as necessidades funcionais do projeto. Esta aplicação é realizada para garantir a precisão necessária entre os ajustes dos componentes, sem, contudo reduzir os campos de tolerâncias permitindo consequentemente um custo de manufatura otimizado. O mesmo objetivo é citado por Chiabert, Lombardi e Orlando (1998) com relação a utilização de tolerâncias geométricas que garantem a função do componente dentro do conjunto e permitem uma redução no custo para sua obtenção e controle.

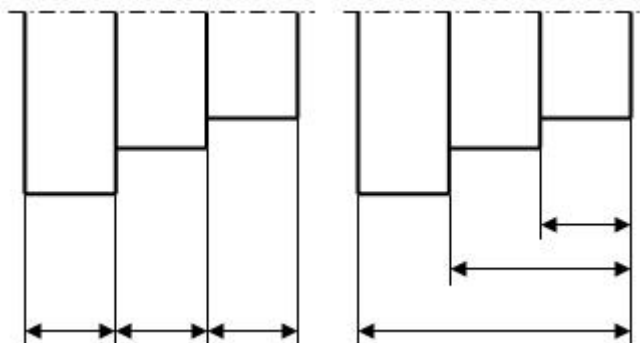


Figura 2.19 – Esquema de cotação funcional  
Fonte: Chiabert, Lombardi e Orlando (1998)



Regras como estas são muito úteis para um direcionamento básico e genérico para projetistas, porém, são insuficientes por não permitirem uma análise quantitativa e também não permitem elencar quais regras são mais úteis ou qual poderia trazer melhores resultados para manuseios, inserções ou fixações. Por fim, apesar das regras serem muito úteis para o desenvolvimento técnico, por não possuir um sistema de pontuação para as dificuldades envolvidas, a sua utilização não possibilita a realização de comparações entre as situações existentes e as soluções propostas.

### **2.3.2.5. Sistemática para o desenvolvimento do DFA**

Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989), os métodos analíticos têm sido desenvolvidos há muito tempo para se determinar quantitativamente qual o mais econômico processo de montagem de um produto e analisar o grau de dificuldade de montagem manual, automática e montagem por robô. Estudos experimentais foram realizados para medir os efeitos da simetria, tamanho, peso, espessura e flexibilidade no tempo de manuseio manual. Experimentos adicionais foram conduzidos para quantificar o efeito da espessura das peças na dificuldade de pegada e no manuseio utilizando pinças, o efeito da geometria das espiras finais (paralelas ou planas) em molas no tempo de manuseio e posicionamento e o efeito do peso no tempo de manuseio para peças que requerem pegada com as duas mãos. Foram realizadas análises teóricas e experimentos verificando os efeitos da inclusão de chanfros, detalhes para evitar agarramento entre a peça base e a peça a ser inserida, a geometria da peça e montagens com obstrução da visão (montagem cega) sobre o tempo de montagem.

Segundo Sugai (2003), os valores predeterminados de tempo foram definidos através de filmagens de pessoas realizando movimentos básicos, foram então aferidos e dispostos em tabelas para que através de um sistema de codificação pudesse ser estimado o tempo a ser gasto com manuseio manual e processos de inserção e fixação e então serem utilizados para estimativas de tempo de montagem.

### **2.3.2.6. Eficiência de montagem**

Um item essencial para a técnica de DFA é a medição da “Eficiência de Montagem” (vide equação 2.1) da proposta de projeto em análise, adaptada de Boothroyd (1989).

$$E_{ma} = N_{\min} \times \frac{t_a}{t_{ma}} \quad [2.1]$$

Onde:

$E_{ma}$  - Eficiência de montagem manual, que é a relação que estabelece o grau de aproveitamento das análises de otimização do projeto e mede a facilidade de manuseio, inserção e fixação das peças;

$N_{\min}$  - Número mínimo teórico de componentes de um produto, que representa uma situação ideal onde cada peça separada é combinada até que o conjunto seja formado por somente uma única peça;

$t_a$  - É o tempo básico para montagem de cada peça, verifica-se um tempo médio (aproximadamente 3s) para montagem de peças que não apresentam dificuldades de manuseio, inserção ou fixação;

$t_{ma}$  - O tempo estimado para completar a montagem do produto atual, utilizando-se tempos padronizados para se executar a montagem de todos os componentes. Considerar apenas o tempo de montagem desprezando-se o sistema de abastecimento e preparações.

Para a verificação e guia para decisão sobre se os componentes em análise são ou não candidatos a unificação, Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989) consideram as três questões abaixo:

- a. A peça possui movimento relativo entre as outras peças já montadas no conjunto? (não se aplicam a isto pequenos movimentos dentro da acomodação elástica do material, como em molas ou peças maleáveis);
- b. A peça deve ser de material diferente das demais ou deve estar isolada das outras peças? Exemplo para os casos de isolamento térmica ou elétrica, amortecimento de vibração, etc.;
- c. A peça deve estar separada das outras já montadas? Caso contrário, a montagem das peças coincidirá a um dos critérios anteriores (por exemplo, uma tampa para inspeção de componentes internos pode ser do mesmo material do corpo e não ter movimento relativo, porém deve ser montada por último para permitir a montagem dos outros componentes);

Souza, Silva e Mello (2006), porém citam como resultado da experiência práticas em diversas análises de DFA em desenvolvimento de projetos, a adição de pelo menos mais uma questão que pode ajudar na decisão sobre os candidatos à eliminação. A figura 2.20 ilustra este questionamento completo.

- d. Existe alguma necessidade estética ou ergonômica, ou mesmo de processo, relativas ao detalhe em análise que justificam a sua permanência? Existem situações em que o detalhe deve permanecer no conjunto pelas questões levantadas acima. Neste caso não há a fazer a não ser manter o detalhe e procurar gerar as melhores condições possíveis para sua montabilidade.

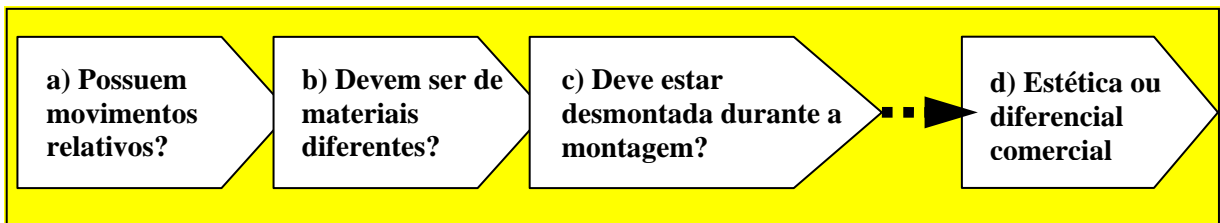


Figura 2.20 – Esquema de questionamento para componentes candidatos a eliminação  
 Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

O projetista, ou a equipe de desenvolvimento, deve considerar as funções de cada componente e sua importância no conjunto, após isto deve concluir se aplicar ou não uma avaliação sobre a possibilidade da sua eliminação ou unificação. Como os cálculos da eficiência de montagem são realizados sobre uma mesma base, eles poderão ser utilizados para realizar comparações entre as situações iniciais e as propostas elaboradas. Os diferenciais encontrados entre estes índices permitem um acompanhamento do grau de desenvolvimento do processo de desenvolvimento de produtos da empresa, desde o projeto em andamento até um acompanhamento geral deste processo.

### 2.3.2.7. Estimativa do tempo de montagem

Para se determinar o tempo estimado de montagem ( $t_{ma}$ ), Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989), sugerem em sua obra a utilização de uma tabela com tempos pré-determinados, que, segundo eles, foram obtidas através de inúmeras experiências e comparações com outros sistemas consagrados de tempos pré-definidos como o MTM (*Methods Time Measurement*) e

WF (*Work Factor*). Este tempo também pode ser estimado com base em conhecimentos de montagens similares, podem ser cronometrados ou com a utilização de tabelas de tempos pré-determinados da metodologia MTM como o estudado por Sugai (2003).

O tempo resultante é na realidade uma referência inicial para se poder quantificar o grau de dificuldade de cada uma das operações envolvidas no processo de montagem e o impacto delas no tempo total. Cada proposta irá gerar um impacto maior ou menor neste tempo.

Os valores apresentados devem ser aferidos e ajustados a cada tipo de empresa, para se chegar desta forma a um grupo de tempos tabelados com cada vez mais características específicas de cada empresa e até mesmo para cada tipo de produto a ser desenvolvido.

### **2.3.2.7.a. Manuseio manual**

O sistema de classificação para o processo de manuseio manual é baseado em um arranjo sistemático das características físicas das peças, que afetam significativamente o tempo de manuseio (vide tabela 2.3). Estas características são:

- Tamanho e geometria;
- Espessura;
- Peso;
- Capacidade de embutir-se em outra peça;
- Capacidade de embaraçar-se com outra peça;
- Fragilidade;
- Flexibilidade;
- Superfícies escorregadias;
- Capacidade de adesão por contato de superfícies com outra peça;
- Necessidade de utilização das duas mãos;
- Necessidade de utilização de ferramenta de aperto;
- Necessidade de aumento ótico;
- Necessidade de assistência mecânica.

Tabela 2.3 – Tabela com tempos pré-determinados para manuseio

A - uma mão	Peças fáceis de pegar e manusear			Peças difíceis de pegar e manusear		
	espessura >2			espessura <=2		
	L>15	6=<L<=15	L<=6	L>6	L<=6	L<=6
	0	1	2	3	4	5
$\alpha+\beta<360^\circ$	1,13	1,43	1,88	1,69	2,18	1,84
$360^\circ\leq\alpha+\beta<540^\circ$	1,5	1,8	2,25	2,06	2,55	2,25
$540^\circ\leq\alpha+\beta<720^\circ$	1,8	2,1	2,55	2,36	2,85	2,57
$\alpha+\beta=720^\circ$	1,95	2,25	2,7	2,52	3	2,73
						6
						7
						8
						9
						10

B - uma mão com pinça	Com pinça					
	Sem lente de aumento auxiliar			Com lente de aumento auxiliar		
	Fácil de pegar (pinça)		Diffícil de pegar (pinça)	Fácil de pegar (pinça)		Diffícil de pegar (pinça)
	E>0,25	E<=0,25	E>0,25	E<=0,25	E>0,25	E<=0,25
	0	1	2	3	4	5
$\alpha\leq 180^\circ$	3,6	6,85	4,35	7,6	5,6	8,35
$\beta=360^\circ$	4	7,25	4,75	8	6	8,75
$\beta\leq 180^\circ$	4,8	8,05	5,55	8,8	6,8	9,55
$\beta=360^\circ$	5,1	8,35	5,85	9,1	7,1	9,55
						6
						7
						8
						9
						10

C - manipulação com duas mãos	Fácil de manusear (duas mãos)			Diffícil de manusear (duas mãos)		
	$\alpha\leq 180^\circ$			$\alpha=360^\circ$		
	L>15	6=<L<=15	L<=6	L>6	L<=6	L<=6
	0	1	2	3	4	5
	4,1	4,5	5,1	5,6	6,75	5
						6
						7
						8
						9
						10

D - duas mãos	Peças podem ser manuseadas por uma pessoa sem ajuda mecânica (2)			Peças não severamente enroscadas ou entrelaçadas e não flexíveis (1)		
	P <= 5Kg			P > 5Kg		
	Peças não enroscam		Peças enroscam	Peças não enroscam		Peças enroscam
	$\alpha\leq 180^\circ$	$\alpha=360^\circ$	$\alpha\leq 180^\circ$	$\alpha=360^\circ$	$\alpha\leq 180^\circ$	$\alpha=360^\circ$
	0	1	2	3	4	5
	2	3	2	3	3	4
						5
						6
						7
						8
						9
						10

L = Largura (mm) / E = Espessura / P = Peso (kg) / Diffícil = pçs enroscam, grudam, escorregam

Fonte: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

A classificação consiste em uma codificação por um número de dois dígitos, cada um variando de 0-9, divididos nos seguintes grupos:

**a) Primeiro dígito:** está relacionado com a forma de manuseio e simetria, se divide em quatro grupos principais:

- Grupo I, de 0 a 3: peças com tamanho e peso normais, que são fáceis de agarrar e manipular com uma mão, sem a ajuda de ferramentas, e que não precisam ser rearranjadas na mão para obtenção de domínio;
- Grupo II, de 4 a 7: peças que necessitam de ferramentas para manuseio devido seu tamanho, porém que ainda podem ser manuseadas com apenas uma mão;
- Grupo III, igual a 8: peças com grande capacidade de embutir-se ou embaraçar-se com outras peças ou ainda peças flexíveis, porém ainda podem ser manuseadas com apenas uma das mãos;
- Grupo IV, igual a 9: peças que requerem duas mãos, duas pessoas ou ajuda mecânica para manuseio e transporte.

Para a definição dos valores de alfa e beta, da tabela estará relacionada com a necessidade de rotação para orientação do componente baseada na simetria da peça (vide Figura 2.21).

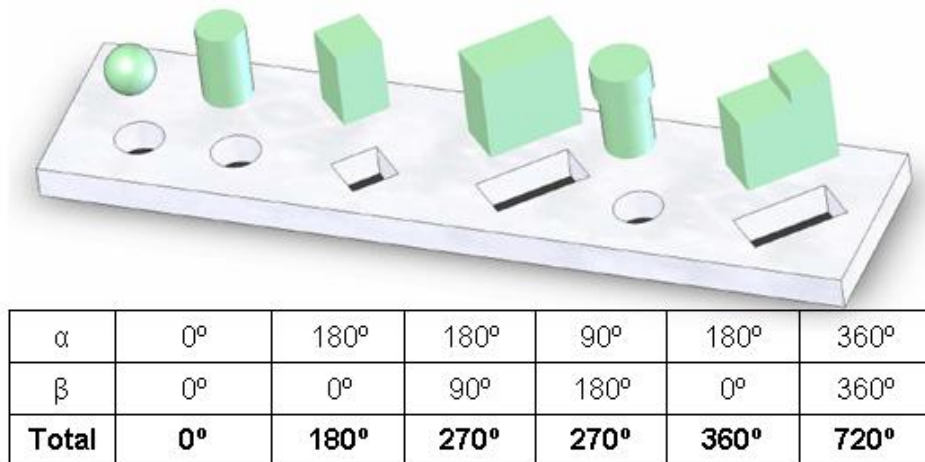


Figura 2.21 – Valores angulares para Alpha e Beta

Fonte: Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989)

A necessidade de rotação nos eixos alpha e beta influenciam também no manuseio e não somente na inserção porque existe um pré-posicionamento do componente que é realizado

durante sua movimentação, porém existe também um alinhamento final nas operações de inserção.

**b) Segundo dígito:** para a classificação dentro do sistema de manuseio, o segundo dígito está baseado nas características físicas e geométricas das peças, para cada um dos grupos do primeiro dígito como vistos anteriormente existe uma subdivisão referente ao segundo dígito conforme abaixo:

- Grupo I: o segundo dígito neste grupo classifica quanto ao tamanho e espessura da peça;
- Grupo II: o segundo dígito neste grupo classifica quanto à espessura, tipo de ferramenta requerida para manuseio e necessidade ou não de equipamento ótico para posicionamento da ferramenta para a realização do manuseio;
- Grupo III: o segundo dígito classifica quanto ao tamanho e simetria da peça (alpha e beta) ou se apresentam ou não dificuldades de manuseios como flexibilidade, escorregadias, pontiagudas, etc;
- Grupo IV: o segundo dígito refere-se à simetria, peso e grau de dificuldade de retirada das peças junto às outras por causa da forma de fornecimento (embaraçamento, auto-embutimento e adesão).

### **2.3.2.7.b. Sistema de classificação para inserção e fixação manual**

As operações de inserção e fixação manual consistem basicamente de uma finita variedade de operações básicas de montagem por união de componentes, tais como inserção de pino no furo, parafusamento, soldagem, rebiteagem, trava forçada, colagem, etc.

O sistema de classificação para inserção e sistemas de fixação manual é baseado na interação entre as peças com relação a sua facilidade de alinhamento e montagem.

As características que significativamente afetam a inserção manual (vide tabela 2.4) e tempos de fixação são:

- Acessibilidade da localização para montagem;
- Facilidade da operação com ferramenta de montagem;
- Visibilidade da localização para montagem;
- Facilidade de alinhamento e posicionamento durante a montagem;
- Profundidade de inserção.







Similar ao sistema de manuseio, o sistema de inserção e fixação se classifica com números de dois dígitos divididos em três grupos principais:

**a) Primeiro dígito:** relacionado ao sistema geral de montagem e as implicações para localização e fixação de componentes e se existem restrições de acesso físico ou visual. É dividido entre três grupos:

- Grupo I, de 0 a 2: peça somente depositada no alojamento, o componente não precisa ficar necessariamente travado após a inserção;
- Grupo II, de 3 a 5: peça montada que envolve um posicionamento e travamento. O componente fica fixado imediatamente após a inserção;

Estes dois grupos são então subdivididos em categorias representando a dificuldade de acesso ou restrição da visão durante a montagem. Não existem valores 6, 7 e 8 para o primeiro dígito.

- Grupo III, somente 9: processos envolvendo a adição de peças as que estão já na posição de montagem no conjunto.

**b) Segundo dígito:** dentro do sistema de fixação, o segundo dígito refere-se às características físicas das peças.

- Grupo I: o segundo dígito para este grupo classifica quanto à facilidade de união das peças e se é necessário manter a peça posicionada ou localizada durante a montagem;
- Grupo II: o segundo dígito classifica quanto à facilidade de união das peças e se a fixação envolve uma simples trava de encaixe, parafusamento ou deformação plástica;
- Grupo III: o segundo dígito classifica quanto ao processo de fixação mecânica, metalúrgica ou processo químico.

Este sistema de tabelas foi eliminado na segunda edição do livro de Boothroyd, Dewhurst e Knight (BOOTHROYD, DEWHURST e KNIGHT, 2002), sendo que atualmente consideram como base para referências os sistemas informatizados para o cálculo destes tempos, que estão disponíveis para venda.

### 2.3.2.7.c. Aplicação da técnica do DFA

Para aplicação da técnica, primeiramente, é necessário ter-se uma fonte de informações de entrada do projeto que pode ser:

- Esquema inicial da montagem, através do qual seja possível definir um descritivo básico das operações de montagem;
- Desenhos técnicos com vistas em cortes ou com vista explodida, que traz um detalhado grau de informações técnicas, mas pode ser limitado com relação ao grau de visualização das implicações da montabilidade;
- Esquema de árvore de montagem que estabelece graficamente a seqüência e as inter-relações de seqüência de montagem;
- Outra grande fonte de entrada de informações para as análises de DFMA é a utilização de protótipos com dimensões e texturas o mais próximo possível do real, que permitam uma completa visualização das interferências de montagem e dificuldades de manuseios e de abastecimentos.

A cada adição de componentes, ou necessidade de operações específicas no conjunto (como torção, parafusamento, aperto, etc.) é adicionada uma nova linha. Os campos das colunas da direita são preenchidos com base nas tabelas de manuseio e inserção da seção anterior com o objetivo de calcular-se o seu tempo de montagem.

Após o cálculo do tempo necessário para realização do manuseio e inserção de cada componente, seja pelo uso das tabelas mostradas acima ou diretamente pela metodologia MTM, cronoanálise ou outra equivalente, faz-se então o cálculo da eficiência de montagem da situação atual.

Com a utilização do formulário com os tempos, tem-se então um mapa das operações com maior impacto no tempo de montagem e, desta forma, para o passo seguinte pode ser utilizada como um direcionador no processo para criação e análise de propostas objetivando a redução de componentes ou adição de detalhes para redução no tempo de montagem.

Os custos de montagem da situação inicial e de cada uma das propostas elaboradas podem ser calculados através da aplicação de um fator baseado no custo de mão de obra para ser multiplicado pelo tempo padrão.

Para cada proposta deve-se preparar um novo formulário para obtenção de planilha com os novos valores para que seja possível a realização de comparações entre as propostas e o grau de impacto na redução do tempo total, no custo e mesmo no atendimento das necessidades dos clientes.

Sugere-se aqui uma outra forma de análise da variação dos índices. Como o sistema é baseado na comparação entre os tempos calculados para o manuseio e inserção dos componentes e o tempo teórico padrão de três segundos por cada componente, pode-se então utilizar diretamente as metodologias de tempos pré-determinados (tais como o MTM ou WF ou a utilização de históricos de tempos cronometrados anteriormente). Esta opção poderia trazer a possibilidade de obtenção de custos muito próximos dos reais a serem praticados durante o processo normal de produção, e nesta análise opcional seria possível considerar outras operações possivelmente necessárias como: retirada de saco plástico de proteção; condição de reabastecimentos e outras.

Nkasu e Leung (1995) consideram as variações normais geradas por erros humanos e problemas com o equipamento e através destas observações geram um algoritmo para o cálculo e análise do tempo padrão para montagem de um conjunto.

### **2.3.2.8. Razões para não implementar o DFA**

Os conceitos envolvidos com a técnica de DFA são muitas vezes aplicados de forma incompleta e não estruturada, causando algumas insatisfações dos usuários e fazendo com que se retorne a utilizar os métodos convencionais, ou passem a achar que a forma convencional (sem estrutura) é mais que suficiente. Muitos são os motivos pelo qual essa técnica não é aplicada, seguem alguns apontados por Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989):

- **Falta de tempo:** segundo os autores, uma das principais reclamações entre os profissionais envolvidos com desenvolvimento de produtos é a constante necessidade de minimizar o prazo de liberação de documentos para a produção, o que faz com que qualquer análise mais elaborada seja realizada somente quando os problemas começarem a surgir. Os executivos e gerentes das empresas precisam perceber que não somente os custos são reduzidos com a antecipação das análises, mas também o tempo de conclusão e liberação dos desenhos e, conseqüentemente, a entrega do produto para a comercialização.
- **Não inventado aqui:** grandes resistências são encontradas quando novas técnicas são propostas para os projetistas e outros profissionais com maiores experiências na empresa

em que atuam. Por conceito, o DFMA deve fluir normalmente entre estes profissionais. Outro fator que gera decepção é o fato de que técnicas como esta são apresentadas à gerentes e membros de níveis superiores que acreditam nas mesmas, porém não conseguem convencer os executores de que a idéia realmente funciona.

Nesta situação o ideal é que existam profissionais de nível médio interessados na idéia, preferencialmente internos da empresa e do processo de desenvolvimento, para poderem identificar e mostrar as vantagens, tanto para os níveis superiores como para os executores dos níveis mais baixos.

Um grande problema pode ser observado quando as análises de DFMA são executadas por pessoal externo ao processo de desenvolvimento (mesmo que da mesma empresa) porque é sempre difícil conseguir mostrar ao dono da idéia que ela deve ser mudada ou reavaliada. Por este motivo a participação dos criadores durante todo o processo de análise é essencial.

Embora nunca assumido pelos projetistas que a técnica não é aplicável, mesmo porque sempre se considera que o seu conceito já é utilizado, se não existir incentivo para a sua adoção de forma estruturada, não vai importar o quão útil ou quão simples possa ser sua aplicação; eles verão que ela somente irá complicar o processo. Desta forma é importante que exista uma geração de incentivos e facilidade de acessos a informações e recursos pela equipe para um perfeito projeto de melhoria do processo de desenvolvimento de produtos.

- **Nós fazemos desta forma há muitos anos:** quando este tipo de indagação é feito existe uma grande probabilidade de significar que alguns procedimentos para o desenvolvimento para produtividade já tenham sido empregados pela empresa. Os custos industriais envolvidos nestes casos, possivelmente, já foram de alguma forma estudados e otimizados ao longo dos anos de uso. Contudo, mesmo em situações como estas, sempre haverá possibilidades de otimizações e melhorias no processo, principalmente se forem observados possíveis vícios de desenvolvimento. Quando todos acreditam que tudo já foi pensado ou tudo está sob controle podem-se perceber grandes falhas. Neste caso, propõe-se que a equipe seja a mais multifuncional possível, inclusive com a possibilidade de inclusão de pessoas externas ao processo interno.
- **Preferência por procedimentos guias e regras técnicas de projeto:** a utilização de regras simples de projeto pode conduzir a um projeto pobre no seu atendimento das

necessidades do cliente. Um sistema pode se tornar simples para o processo produtivo, como as operações de usinagem e conformação ou até mesmo as operações de montagem, porém pode apresentar um completo desencontro com as expectativas do cliente ou gerar um grave problema de logística, assistência técnica no campo ou outros aspectos. Além do fato de eliminar o ponto principal da técnica que é o envolvimento de outras áreas no desenvolvimento do produto.

- **Aplicação do DFMA dificulta a assistência técnica:** pensa-se que ao reduzir número de componentes ou substituição de itens, como parafusos por rebites ou colagens, pode-se influenciar negativamente na facilidade de manutenção e assistência técnica. Na realidade existe uma intenção exatamente oposta a esta argumentação, geralmente produtos considerados fáceis de montagem possuem maior facilidade de desmontagem também. A aplicação do DFMA nas fases iniciais, principalmente com a participação de profissionais da área de assistência técnica (ou mesmo uma avaliação nos níveis de reclamação de campo), podem possibilitar otimizações no projeto. Os resultados esperados com estas análises podem envolver a simplificação dos acessos aos pontos de inspeção e manutenção, substituição de componentes específicos por outros padronizados que facilitem os reparos e considerações dos tipos de ferramentas manuais a serem utilizadas.
- **Baixo custo de montagem:** as descrições iniciais para a aplicação do DFMA podem sugerir que mesmo com custos baixos de montagem em relação ao custo total do produto, em algumas situações, as análises podem ajudar na melhor escolha de material, logística de movimentações, descartes etc. e, ainda assim, grandes reduções podem ser alcançadas de forma indireta.
- **Baixo volume de produção:** o uso de DFMA pode ser importante mesmo com baixo volume de produção porque normalmente nestes projetos não são considerados melhorias e antecipações de problemas de manufatura e montagem, o que pode significar uma fonte potencial de perdas, além da possibilidade de levantamento de outros pontos como os mencionados no item anterior.
- **Isto é somente análise do valor (AV):** os objetivos das duas técnicas (DFMA e AV) são na realidade os mesmos e utilizam a função dos componentes como base para análise de suas necessidades. A diferença principal está no fato de o DFMA ser aplicado geralmente nas fases iniciais do desenvolvimento do produto, enquanto que os projetos de AV geralmente se aplicam em casos de revisão de produtos existentes. Além disso, o DFMA

permite dar um enfoque maior aos detalhes construtivos de cada componente. Outro ponto diferencial é que o DFMA pode também ser aplicado como preparação para um estudo de reprojeto de um produto existente ou mesmo em estudos de engenharia reversa (SOUZA, SILVA e MELLO 2006).

Mas o pior sintoma para a estagnação de qualquer sistema e, sobretudo para a inclusão de melhoria no processo de desenvolvimento de produtos é quando os envolvidos, principalmente, a alta ou média direção, não quer aceitar que o sistema atual não possui necessidade de melhorias no processo.

### **2.3.2.9. Benefícios com a implementação do DFMA**

Bralla (1999) considera outros fatores importantes no projeto de um produto, recomendando verificar e complementar os requisitos de manufatura e montagem, considerando sempre os seguintes princípios básicos:

- **Simplicidade:** diminuir o número de componentes, geometrias menos complexas, seqüência de manufatura mais curta, etc.;
- **Materiais e componentes padronizados:** produção em série, gerenciamento do inventário e facilidade de compra e estocagem;
- **Projeto de produto normalizado:** mesmas especificações em produtos similares;
- **Liberar tolerâncias:** evitar tolerâncias muito justas, que implicam em custos altos;
- **Uso de materiais mais processáveis:** o melhor material é aquele com o menor custo na combinação entre material, processo de usinagem e eficiência mecânica dentro da vida projetada para o produto;
- **Colaboração com o pessoal de manufatura:** trabalho conjunto das pessoas envolvidas no projeto do produto e processo;
- **Reduzir operações secundárias:** operações como inspeção, acabamentos, etc., podem ser tão caras quanto às operações de manufatura primária;
- **Projeto apropriado para o nível esperado de produção:** o projeto do produto deve permitir a aplicação de processos compatíveis com o nível de produção planejado para o produto;

- **Utilizar características especiais de processo:** tirar vantagem das capacidades especiais dos processos de manufatura, eliminando operações onerosas e desnecessárias e utilizando as capacidades internas e eliminando ociosidades;
- **Evitar limitações no processo:** ampliar a possibilidade de escolha de novos processos que produzam as características requeridas pelos clientes para que estes não sejam empecilhos para a busca de novos mercados;
- **Utilizar recomendações técnicas do projeto nos componentes:** melhorar problemas técnicos pontuais para facilitar os processos de manufatura, como: espaçar convenientemente as furações em partes usinadas, moldadas, estampados e fundidas; evitar quinas afiadas em processos de injeção, fundição e forjamento, e outras recomendações como em Back (1983), Bralla (1986, 1999), Boothroyd, Dewhurst e Knight (1989, 2002) e Dorf e Kusiak (1994).

Devem ainda ser considerados os requisitos específicos da montabilidade (DFA). Estes requisitos pretendem melhorar no reprojeto as operações de montagem do produto:

- Facilitando o manejo de peças (identificação, captação da peça e movimentação);
- Facilitando o posicionamento (orientação e alinhamento);
- Facilitando o armazenamento e abastecimentos, ordenando as partes a serem montadas (para montagem automática);
- Facilitando a união das partes (execução da junta);
- Facilitando a ajustagem final das peças (tolerâncias adequadas);
- Prevendo a segurança de posicionamento das peças de ajuste (união que garanta auto-posicionamento);
- Facilitando o controle do posicionamento ou ajuste;
- Prevendo a desmontagem para manutenção ou reciclagem;
- Minimizando o número global de componentes;
- Minimizando o uso de elementos de fixação separados;
- Projetando o produto com componente base (não reposicioná-la durante a montagem);
- Utilizando seqüência de montagem eficiente e projetando componentes com características que facilitem a captação e inserção.

Segundo Souza, Silva e Mello (2006), a inclusão das análises da montabilidade dentro de uma abordagem de engenharia reversa contribui para o problema da necessidade das pequenas e médias empresas na adoção de estratégias mais defensivas, como visto nos capítulos anteriores, que apresenta como principais vantagens menores investimentos e riscos, além da redução no prazo de obtenção de novos produtos.



## Capítulo 3 - Modelo proposto com a integração das metodologias

Conforme comentado no capítulo 2, existe uma variedade de modelos de desenvolvimento de produtos e suas diferenças estão principalmente nas denominações das suas fases. Alguns modelos possuem características mais positivas comparativamente a outros, com relação aos detalhes das fases e técnicas utilizadas. Além disto, foi comentado por Back (1983) que em uma análise mais prática pode-se dizer que cada projeto possui peculiaridades que o torna exclusivo e diferente.

Pahl *et al.* (2005) mencionam um modelo de desenvolvimentos de produtos (vide figura 3.1) que destaca os aspectos importantes para a implantação da engenharia simultânea, considerando basicamente a antecipação e intersecção do início das fases para uma redução do prazo para o desenvolvimento de um novo produto e de acompanhamento de seus custos. Nesta adaptação foi focada utilização do DFMA.

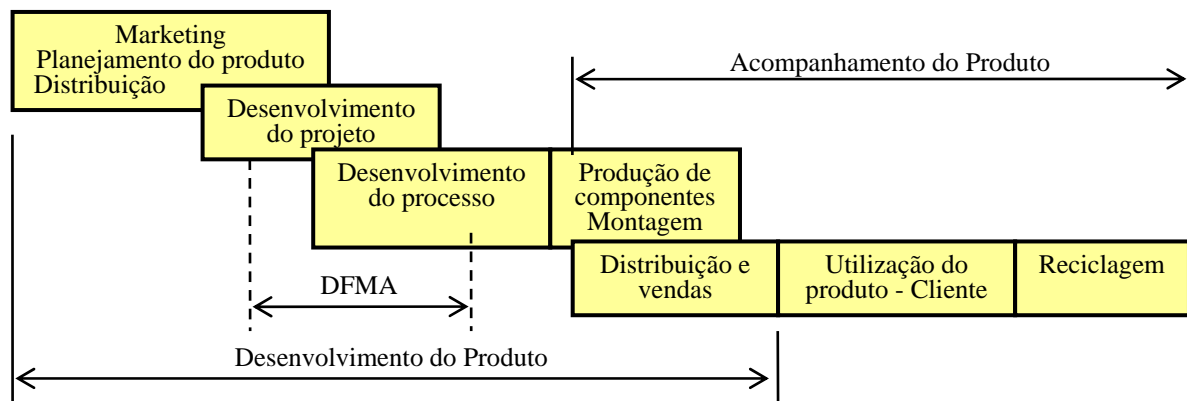


Figura 3.1 – Processo tradicional de desenvolvimento do produto com DFMA

Fonte: Adaptado de Pahl *et al.* (2005)

No processo de criação de um produto sob a ótica da engenharia simultânea as atividades de cada um dos departamentos da empresa caminham, em grande parte, em paralelo. Ocorre também um permanente monitoramento do produto até o fim do seu ciclo de vida.

Segundo Pahl *et al.* (2005), o modelo apresentado contempla a aplicação sistemática de ações que visam configurar e aferir eficazmente os processos internos da empresa com os seguintes objetivos:

- Redução da iteração interna, que é a repetição da mesma etapa de trabalho dentro da empresa;
- Redução da iteração externa, que é o retorno a uma etapa de trabalho principal já executada, ou até mesmo uma nova execução da etapa;
- Redução ou omissão de algumas etapas de trabalho;
- Execução em paralelo de etapas de trabalho, que influencia diretamente na redução do prazo de conclusão do desenvolvimento.

Para o atendimento destes objetivos os seguintes requisitos são necessários:

- Configurações iniciais do produto que permitam o desenvolvimento de seus sistemas, subconjuntos e componentes, ou parte deles, apropriadamente dentro de etapas do processo (produtos em famílias, séries ou modulares, por exemplo);
- Etapas claramente definidas e rigorosamente cumpridas;
- Independência entre as fases do processo.

Pahl *et al.* (2005) ressaltam a importância da constituição da equipe de desenvolvimento ser formada não somente por pessoas responsáveis diretamente pelo projeto, mas também por outros setores que estejam envolvidos com o desenvolvimento de produtos, para que os aspectos tratados ligados ao processo possam ser tratados de forma a romper as fronteiras departamentais.

Este modelo já considera a inclusão de uma abrangência maior do que “os envolvidos com o desenvolvimento de produtos” utilizado normalmente pelas empresas. Esta afirmação justifica, em alguns casos, o parcial desinteresse natural de algumas áreas pelos processos de desenvolvimento. Em um esquema de inter-relacionamentos entre os processos comuns das empresas e o desenvolvimento de produtos, em uma visão mais otimizada utilizada pela Engenharia Simultânea, pode-se destacar a participação, em maior ou menor escala, dos seguintes processos das empresas:

- Engenharia de processos/manufatura;
- Desenvolvimento de fornecedores e negociação de preços dos componentes;

- Produção (administração da produção);
- Controladoria (custos);
- Marketing, vendas e distribuição;
- Assistência técnica;
- Cadeia logística (considerado como compras, planejamento da produção e estocagem de materiais).

Através de verificações práticas para a aplicação da metodologia, sugere-se que outros processos mais específicos de cada tipo de empresa sejam considerados durante o desenvolvimento de um produto novo.

Partindo-se do modelo analisado por Pahl *et al.* (2005), conforme ilustrado na figura 3.1, faz-se então uma adaptação no modelo para a inclusão das considerações realizadas por Ingle (1994) mostradas na figura 2.3 do capítulo 2, de forma que se considere o desenvolvimento de produtos em uma abordagem de engenharia reversa (vide figura 3.2).

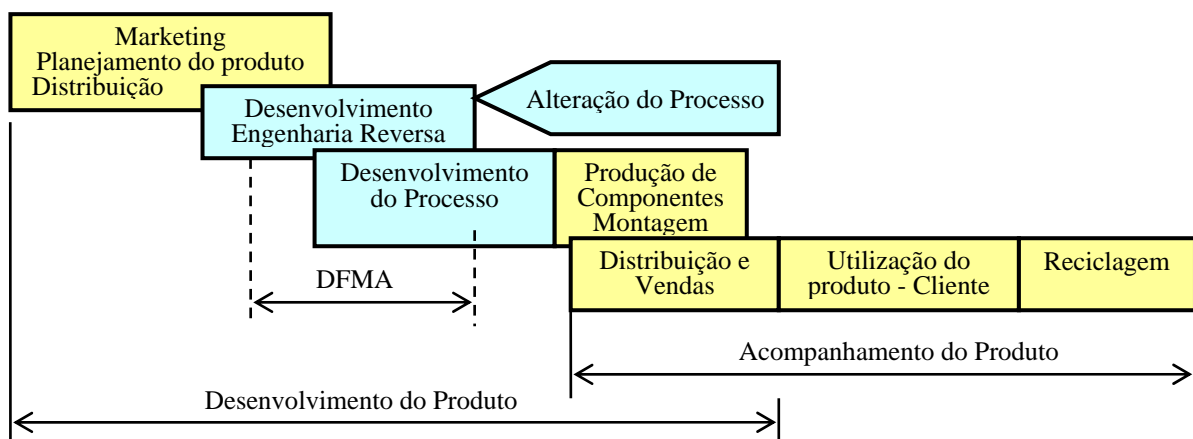


Figura 3.2 – Processo de desenvolvimento do produto em uma abordagem de Engenharia Reversa

Fonte: Adaptado de Pahl *et al.* (2005) e Ingle (1994)

Depois de realizada a inclusão do processo de engenharia reversa, é necessário deixar as fases da mesma (aproveitamento do conceito do produto de referência) de forma clara dentro do

modelo. A figura 3.3 apresenta um detalhamento das fases citadas por Ingle (1994) envolvidas no processo de engenharia reversa.

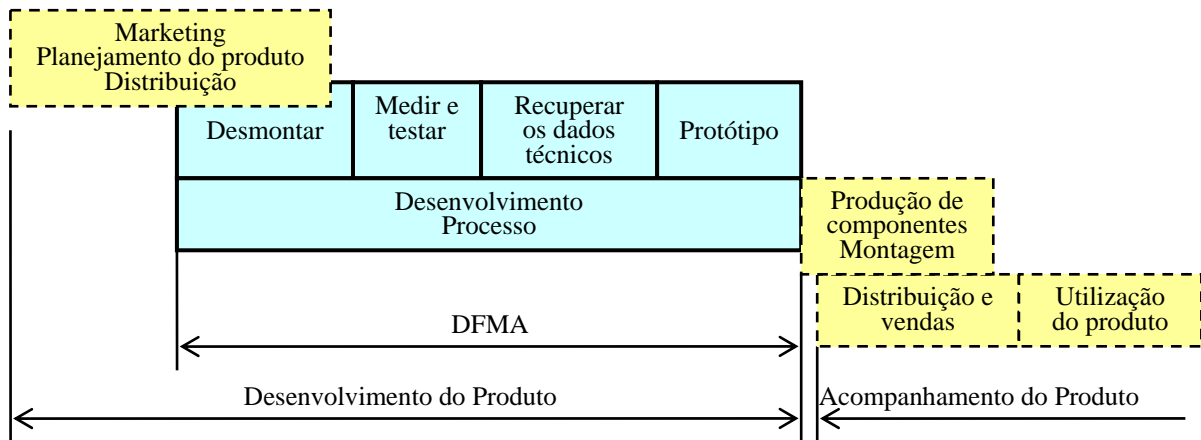


Figura 3.3 – Proposta de inclusão do DFMA no processo de Engenharia Reversa

Analisando o trabalho proposto por Ingle (1994), observa-se que existe uma grande deficiência nas considerações relativas às necessidades da manufatura e montagem. Desta forma, o modelo proposto por esta pesquisa considera que os fundamentos do DFMA sejam incluídos durante as análises de engenharia reversa, fazendo com isto um complemento ao proposto pela autora. A avaliação destas necessidades faz gerar um modelo composto por oito etapas conforme a figura 3.4.

O modelo proposto não busca substituir todas as fases inicialmente propostas por Pahl *et al.* (2005), mas sim as fases específicas de desenvolvimento do projeto e do processo. Ou seja, esta adaptação busca otimizar a parte técnica do processo de desenvolvimento de um produto, desta forma ele poderá ser aplicado a outros modelos existentes, inclusive de reprojetado de um produto, esperando-se que os mesmos resultados finais possam ser obtidos.

Procurou-se definir as fases de forma não seqüencial, para se manter o objetivo principal da engenharia simultânea de inter-relacionamento e interdependência dos processos e departamentos. Definem-se, desta forma, como indicadores para a verificação do andamento das atividades de cada fase a própria conclusão delas.

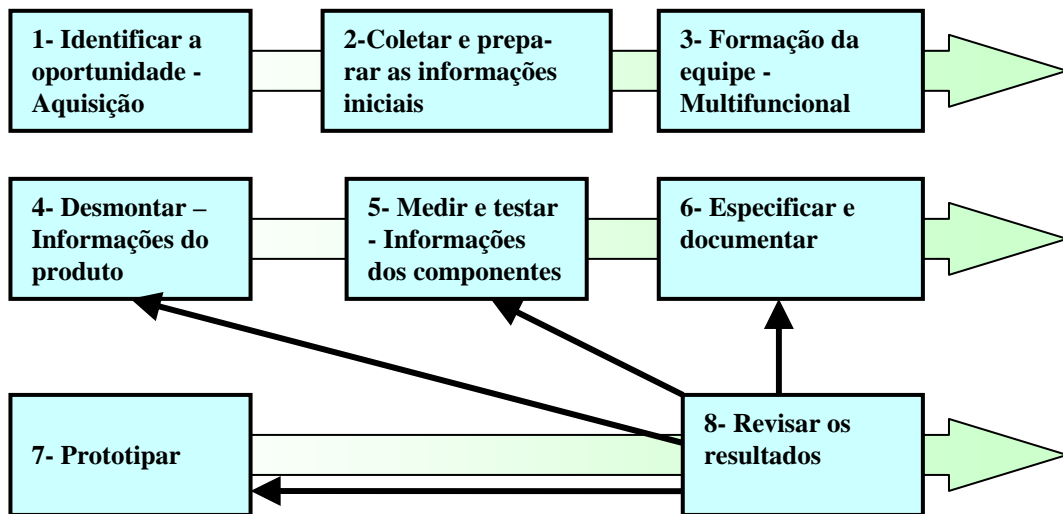


Figura 3.4 – Adaptação do modelo proposto para desenvolvimento de produtos com o uso do DFMA no processo de Engenharia Reversa

As três primeiras fases foram dispostas de forma separada das demais porque estas não são influenciadas pelas fases seguintes, podendo ser consideradas como fases de preparação que, uma vez finalizadas, não necessitam ser revisadas ou reavaliadas.

Nas fases seguintes existe um inter-relacionamento direto e indireto com as outras, seja através da etapa final de revisão ou diretamente uma com as outras, pela revisão realizada paralelamente às atividades. A seguir será realizado um detalhamento de cada uma das fases.

### 3.1. Identificação da oportunidade e aquisições do produto considerado como referência no mercado

Esta fase está relacionada com a primeira do modelo analisado por Pahl et al. (2005). Segundo estes autores, existem inúmeras técnicas de identificação das necessidades do mercado que ajudam a entender e identificar quais características o produto líder do mercado possui e principalmente como ela é percebida. Baxter (1998) destaca as seguintes formas de identificar as oportunidades do mercado: (1) Análise dos produtos concorrentes, muito próximo dos conceitos da Engenharia Reversa, onde menciona que se a equipe que analisa for muito técnica, detalhes comerciais podem ser passados despercebidos e se for muito comercial, alguns detalhes técnicos importantes podem ser deixados de lado; (2) *Benchmarking*, que é a busca não somente do que os concorrentes conseguem fazer, mas compara a situação atual do produto com o que de melhor se pode empregar em termos de novos processos; (3) Monitoramento tecnológico, que é o acompanhamento do movimento do desenvolvimento de

novas tecnologias, antes mesmo do aparecimento delas que ocorre normalmente nos meios acadêmicos através de seus congressos e afins; (4) Previsão tecnológica, que utiliza técnicas de previsão como o método *Delphi*, que utiliza uma série de questionários estruturados que conduzem a um consenso entre os especialistas de um determinado assunto.

É necessário, desde o início, identificar se estas características podem (ou devem) fazer parte do produto atual, algumas características podem ser muito úteis no produto referência, mas pode não ser aplicável ao produto atual.

Neste ponto é importante também ter definido o nível de investimento que se planeja aplicar no projeto, dependendo das condições dos custos envolvidos, os gastos para aquisições, treinamentos e desenvolvimentos podem se igualar ao processo normal e pode-se chegar a conclusão que o produto de referência não é um bom candidato ao processo de engenharia reversa. Conforme comentado no capítulo 2, existem diversos empreendimentos que não tiveram sucesso por causa da falta de planejamento financeiro para o projeto.

O objetivo principal desta fase é identificar e reconhecer a posição que a empresa se encontra no mercado em que atua e identificar qual é o produto a ser considerado como referência. O produto de referência pode até não ser um concorrente direto no mercado em análise, seja pela verificação do seu nível de venda ou pelo questionamento direto sobre a percepção que os consumidores têm sobre suas vantagens.

Podem-se buscar novas características consideradas básicas em outros mercados para serem inseridas no atual com o objetivo de passar a ser considerado uma inovação e, é claro, utilizar esta nova característica como diferencial de venda.

Nota-se que a aquisição do produto de referência para alguns tipos de produto pode se tornar um dos primeiros empecilhos para a continuação do projeto, porém para a grande maioria dos casos é muito difícil evitar este investimento. Para se conseguir uma redução de custo nesta fase uma pesquisa completa sobre as características do produto de referência e a comparação com o produto atual pode substituir a sua aquisição por um tempo até que seja necessária a realização das medições e análises dos componentes.

### **3.2. Coletar e preparar dados iniciais**

Esta fase é a primeira com características técnicas envolvidas, porém não precisa ser executada por alguém necessariamente da equipe técnica de projetos. O objetivo é obter um levantamento inicial do mercado não somente do produto de referência, mas de todos que

podem compor um nível de conhecimento sobre a classe de produtos que se está analisando. Buscando atender o que foi mencionado por Akao e Mazur (2003) sobre a necessidade da percepção, análise e atendimento destas necessidades dos clientes, antes mesmo delas serem solicitadas, o líder do projeto ou a equipe responsável deve conseguir as informações comerciais e técnicas básicas para o início do projeto.

O objetivo desta fase é coletar e dispor todas as informações que possam contribuir para a aplicação da engenharia reversa com a aplicação de técnicas de projeto para a manufatura e montagem (DFMA) considerando as seguintes informações:

- Características técnicas do produto atualmente produzido: já nesta fase pode ser realizada uma comparação prévia das diferenças de características entre o produto atual e o produto concorrente (ou grupo de produtos concorrentes);
- Características técnicas dos materiais utilizados atualmente: a utilização de documentos referenciais dos materiais disponíveis em estoque pode ser muito útil, visto que se pode evitar o acréscimo de mais códigos que implicam em mais operações de controle e maiores investimentos em armazenagem;
- Características de logística (com custos e prazos de obtenção): um levantamento das dificuldades logísticas dos componentes atuais pode ser útil para a realização de comparações mais completas, visto que pode ser um dos fatores a serem considerados durante a escolha de novos materiais ou novos conceitos. Dentro desta questão ainda existe a relevância quanto a preocupação com os tipos de equipamentos disponíveis no sistema produtivo, tais como equipamentos e espaços da produção, sistemas de manuseios, movimentações e transportes internos e externos;
- Características visuais, como acabamentos, cores e afins: em certas ocasiões pode parecer tecnicamente muito lógico um caminho a ser seguido por um projeto, porém o fator visual do produto pode ser o grande direcionador para a definição da escolha correta. O visual do produto é, na grande maioria dos casos, na realidade, o que é percebido e pago pelos consumidores;
- Características gerais iniciais para a desmontagem do produto de referência: neste sentido, deve-se preparar um esboço do produto concorrente através de seu dimensionamento inicial ou através de consultas às informações disponíveis, tais como fichas técnicas e manuais, catálogo, descritivo de especificações de vendas e site da *internet* e outros.

O resultado destas análises irá definir quais os componentes dos sistemas devem ser considerados candidatos a aplicação das análises de engenharia reversa e, conseqüentemente, analisados. Não existe a necessidade de análise de todos os componentes e sistemas, porque isto poderia tomar um tempo excessivamente alto sem um retorno totalmente útil. Desta forma, sugere-se que o líder do projeto ou a equipe com esta responsabilidade faça consultas breves aos profissionais das diversas áreas para que possam gerar informações com qualidade e as mais completas possíveis.

Outro objetivo extremamente importante que deve ser levantado nesta fase é o planejamento do custo do produto e também do projeto. Este levantamento de custos deve ser o mais preciso possível visto que baseado nestas informações poderá chegar-se a conclusões antecipadas de cancelar o projeto e evitar prejuízos maiores, ou então de incentivar aos investidores a manter o projeto em desenvolvimento e incluir novos investimentos ao processo.

Com as informações desta fase, um mapa pode ser elaborado com as decisões tomadas com relação aos sistemas principais que serão considerados como candidatos a engenharia reversa.

### **3.3. Formação da equipe**

Conforme foi citado por diversos autores no capítulo 2, a equipe deveria ser formada considerando a inter-departmentalidade do grupo e que individualmente tenham influências sobre o destino do projeto, que é uma condição necessária para uma boa aplicação da engenharia simultânea e da aplicação das técnicas do DFMA.

A equipe de desenvolvimento deveria conter elementos que detêm o conhecimento teórico e prático sobre todos os detalhes e características do produto produzido pela empresa, e estes conhecimentos devem estar disponíveis para toda equipe, para que nenhuma oportunidade passe despercebida. Igualmente nela deveria conter elementos que detenham conhecimentos sobre os detalhes e limites da produção. Estas características se alinham com a necessidade de *expertise* proposta por Dias (1998) para que o conjunto de experiências possa ajudar o direcionamento (sobretudo técnico) do projeto.

Projetos gerados apenas com pessoas ligadas às áreas técnicas tendem a fazer com que o produto final seja essencialmente técnico. Esta é uma situação relativamente favorável do ponto de vista das condições de desenvolvimento de produto e processo e produção, mas pode



significar, por outro lado, um fracasso total para o produto frente ao mercado consumidor e ao atendimento aos clientes.

A formação da equipe, em alguns projetos, poderá ser antecipada em relação ao passo anterior porque em muitos casos esta antecipação pode ajudar na identificação de características para serem comparadas e condições para serem planejadas. Neste sentido pode-se dizer que a ordem das fases 2 e 3, apesar de independentes, não necessariamente devem seguir a ordem cronológica propostas no modelo.

Outra sugestão com relação à seqüência das fases é a formação parcial da equipe. Durante as três primeiras fases os elementos podem ser convidados na medida em que suas habilidades e conhecimento forem sendo necessários ao andamento do projeto, podendo inclusive ter elementos com participação somente temporária na equipe.

O trabalho pode ser conduzido e liderado por qualquer um dos componentes da empresa e não necessariamente um projetista de produto, apesar destes profissionais normalmente terem o melhor perfil para esta atividade, desde que este elemento tenha acesso a todas as informações necessárias para o bom andamento dos trabalhos, inclusive de custos e, principalmente, o planejamento estratégico da empresa.

### **3.4. Desmontar (informações sobre o produto)**

Esta fase está diretamente relacionada com a primeira das fases propostas por Ingle (1994). A diferença está no fato de ter tido antes uma fase com um completo levantamento, fazendo com que antes mesmo da execução desta operação já se tenha uma visão de como o produto de referência é, ou de como ele deveria ser, baseado nas informações iniciais.

A desmontagem do produto de referência deve ser de forma estruturada e controlada, observando as informações inicialmente levantadas no passo anterior. Todo o processo deve ser documentado com relatos, fotos ou desenhos para que possam ser resgatados em caso de necessidades de consultas futuras.

Durante as operações de desmontagem o DFMA já deve começar a ser aplicado, observando alguns dos seguintes detalhes:

- Dificuldades para a desmontagem e montagem;
- Acessos para mãos e ferramentas, necessidade de ferramentas especiais e outros aspectos específicos de manutenção e assistência técnica;

- Possibilidade de montagem seriada; durante a desmontagem deve-se visualizar como o produto foi montado e como o atual em desenvolvimento será;
- Padronização e normalização de componentes; verificar se o produto possui esta característica e se é possível aplicar esta padronização no produto em desenvolvimento;
- Manuseios de materiais perigosos e outros cuidados necessários;
- Emissão e separação dos documentos ou descritivos dos subconjuntos e de cada componente com detalhes sobre materiais, dimensões e tolerâncias.

Boothroyd e Dewhurst (2005) mencionam que um produto que é fácil de desmontar geralmente é fácil de montar, valendo também a relação contrária.

O objetivo final desta fase é analisar tecnicamente os sistemas de forma sistemática e as funções envolvidas em cada um dos componentes e subsistemas do produto de referência (ou dos produtos) para se disponibilizar informações que serão analisadas mais detalhadamente na fase seguinte. É necessário ter uma preocupação principal na interação entre os componentes, com uma visão muito focada em detalhes técnicos como:

- Tolerâncias;
- Fixações;
- Ajustes;
- Possibilidades de união entre duas ou mais peças para eliminação de componentes;
- Outros detalhes conforme o mencionado no tópico 2.3 do capítulo 2.

Ingle (1994) sugere a utilização de formulários para o registro das informações durante as fases de desmontagem. No anexo A existe uma adaptação da proposta do seu formulário para as anotações dos conjuntos e sistemas analisados nesta fase, assim como as análises dos componentes que será visto no passo seguinte.

Podem-se destacar quatro tipos de diferenças entre os produtos em análise:

- Melhores características no produto de referência que seriam aplicáveis ao modelo atual que podem ser utilizadas como metas de adaptações a curto e médio prazo, ou para

planejamentos futuros de renovações, neste caso, na medida do possível é interessante manter todo o estudo realizado para ser implantado em momento oportuno;

- Melhores características no produto de referência, mas que não seriam consideradas como vantagem competitiva nos mercados onde a empresa atua. Neste caso, poderá depender de outras análises para a identificação da relação entre o custo da alteração e do benefício que ela poderia trazer para a empresa referente aos resultados potenciais no mercado e satisfação dos clientes;
- Melhores características no produto de referência que são aplicáveis e de fácil adaptação. Uma vez identificado esta situação, deve-se então ser realizado o mais breve possível todas as adaptações necessárias e utilizá-las como vantagem competitiva;
- Também existem características que no produto atual são mais positivas que no produto de referência. Então não existe nada a ser feito, a não ser a utilização desta vantagem (como campanhas publicitárias) para ganhar novos mercados.

### **3.5. Medir e testar (informações sobre os componentes)**

Esta fase é na realidade a mais técnica de todas as fases do modelo e objetiva a geração de informações finais sobre os detalhes para a construção de protótipos. Todas as características de controle devem ser levantadas com o objetivo final de preparação para a fase seguinte de detalhamentos.

As informações levantadas nesta fase irão confirmar também se o custo planejado para o produto final realmente é compatível com o planejado na segunda fase.

As ações realizadas nesta fase estão ligadas à medição e realização de testes dos componentes do produto de referência procurando esclarecer as dúvidas relativas às tecnologias de produto e de processo empregadas no conjunto e nos componentes. Devem-se identificar os itens críticos e para isto é possível a aplicação de técnicas como:

- Desdobramento da Função Qualidade (QFD), que pode ajudar a definir se a característica em análise é realmente solicitada pelos consumidores;
- Análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA), que irá ajudar a reduzir a possibilidade de ocorrência de erros e a preparar soluções em caso de inevitável ocorrência;

- Engenharia e Análise do Valor (EV/AV), que irá a ajudar a entender a função de cada sistema e se a sua eliminação é possível;
- Delineamento de Experimentos (DOE), que poderá ajudar na verificação de possíveis relações de causa e efeito.

Nesta fase, identifica-se a aplicabilidade do DFMA durante as análises dos componentes, observando:

- Desgastes prematuros, se o produto em análise estava em uso, e através disto sugerir a aplicação de reforços ou definições de materiais alternativos. A resolução deste problema poderia inclusive ser utilizada como um diferencial e atrativo de vendas do novo produto no futuro;
- Redução do número de componentes (veja as regras no capítulo 2);
- Materiais alternativos, preferencialmente alinhados com a padronização de materiais e de componentes comprados para outros produtos em produção;
- Equipamentos necessários para a manufatura, qualidade, manuseios e transporte;
- *Layout* atual do chão de fábrica, nesta fase deve ser analisado se o arranjo físico atualmente disponível da fábrica e seus recursos podem ser utilizados e de que forma pode ser inteligentemente alterado para se obter a melhor produtividade com a menor movimentação interna possível de materiais e componentes. Como resultado desta verificação, ao final da fase espera-se obter: Ou uma revisão no layout atual planejada em conjunto com o desenvolvimento do projeto, gerando ganhos tanto para o produto como para o processo; Ou a definição de um layout completamente novo partindo-se do zero totalmente otimizado para o produto novo.

Deve-se buscar uma perfeita realização desta fase, através do preparo de documentação técnica como croquis, desenhos 2D e 3D, esquemas e especificações técnicas, para servirem de base para que as ações da fase seguinte sejam realizadas de forma direta, automática e com pouca necessidade de retornos, liberando alguns elementos do grupo para que possam atuar em outros projetos.

Quanto mais apuradas e detalhadas forem as análises do ponto de vista técnico e de custos, mais corretamente poder-se-ão definir os caminhos a serem seguidos nas fases seguintes, mesmo que elas não sejam essencialmente consecutivas.

### **3.6. Especificar e documentar**

Nesta fase o objetivo é gerar documentação técnica com as informações levantadas na fase anterior e especificar novas que foram deixadas para esta fase por pessoas mais ligadas diretamente aos detalhamentos de componentes e processos de produção.

Todas as ações serão executadas com a visão somente para o novo produto utilizando as considerações já realizadas sobre todas as implicações relacionadas ao processo produtivo. Notar que neste ponto do processo de desenvolvimento, o produto resultante já pode ser considerado como um híbrido entre os conceitos utilizados no produto de referência e aprovados pelos analistas e os conceitos normalmente utilizados no produto atual, porém com otimizações relacionadas ao projeto e processo.

Caso seja necessário, pode ser possível uma revisão das documentações emitidas nas fases anteriores que inclusive poderão ser utilizados como referência básica para os documentos oficiais da nova versão. A partir desta fase as documentações de todos os conjuntos e componentes passam a ficar registrados através de desenhos e especificações, em conformidade com as normas específicas de cada empresa.

O resultado esperado desta fase é a elaboração de uma documentação o mais completa possível, de tal forma que o novo produto possa ser produzido, estocado, transportado e vendido sem falhas e que todas as informações contidas nela possam ser utilizadas como pesquisa e aprendizagem em novos desenvolvimentos.

### **3.7. Prototipar**

Existem diversas técnicas de obtenção de protótipos, algumas das quais foram citadas anteriormente no tópico 2.2 do capítulo 2, que servem para antecipar as análises visuais e funcionais de um componente de um produto.

O objetivo desta fase, dentro do ambiente de engenharia reversa, é a utilização destes protótipos para auxílio como fonte de entrada de informações nas análises de DFMA, como foi visto no tópico 2.3 do capítulo 2.

Também deve ser considerada a utilização de outras técnicas de antecipação de resultados e das análises finais, como o caso de simulação de possíveis tipos de processos de fabricação por *softwares* específicos ou de análise do fluxo de materiais dentro das cavidades dos moldes utilizados para moldagem por injeção de termoplásticos e montagem por robôs, dentre outras técnicas possíveis.

### **3.8. Analisar e rever os resultados**

A última fase é a de analisar os resultados e incorporar as melhorias necessárias. Conforme pode ser visto na figura 3.4, ela está propositadamente interligada às três fases anteriores sugerindo que ela pode ser realizada concomitantemente durante a execução delas e não necessariamente após a sua conclusão.

Note-se que seu objetivo principal é realizar um gerenciamento sobre todas as fases anteriores e de como o processo está caminhando em relação a prazo e custos. Esta fase é mais bem conduzida pelo líder do projeto e deve ser utilizada como centralizadora das informações.

Uma vez entendida a proposta de modelo para desenvolvimento de produtos baseados em análises de engenharia reversa de um produto referência com uma abordagem de projeto para manufatura, o próximo capítulo apresenta um estudo de caso para verificação da adequação deste modelo em uma unidade de análise.

## Capítulo 4- Estudo de caso

### 4.1 Unidade de análise

A Prática Technicook é uma empresa fundada em 1991, situada em Pouso Alegre (MG), que desde 1994 fabrica com sucesso fornos para panificação e para cozinhas industriais. Oportunidades têm sido aproveitadas pela visão empreendedora de seus dirigentes, como a inovação ao lançar em 2001, durante a crise energética que viveu o país, em tempo bastante reduzido, uma linha de fornos à gás. Esta linha obteve um sucesso tão grande que se tornou, e até hoje é, o seu carro chefe em vendas. Posteriormente, inovou novamente ao lançar os fornos bi-energéticos com aquecimento a gás ou à energia elétrica. No ano seguinte a empresa concretizou as suas primeiras exportações.

Atualmente a empresa possui uma filial em São Paulo, revendas em todo o país com diversos centros de treinamento e uma rede autorizada com mais de 80 empresas para realização de serviços de assistência técnica. A empresa é líder nacional no segmento dos fornos para cozinhas profissionais, sendo referência no mercado em que atua. Passou a exportar o equivalente a 3% das suas vendas para 12 países na América Latina, África e Europa.

Seu foco principal passou a ser as indústrias de panificação e de serviços de alimentação onde desenvolve, fabrica e comercializa equipamentos de cocção de alimentos. A empresa conta com uma área de 2.600 m<sup>2</sup>, com 85 colaboradores que são constantemente treinados, utiliza modernas ferramentas de gestão, investe na modernização de seus equipamentos e está buscando aumentar sua participação no mercado externo e consolidar-se no mercado interno, sendo considerada entre as 35 empresas de médio porte em crescimento no ano de 2005 (EXAME, 2007).

A escolha dessa empresa como unidade de análise se deu por três motivos:

- A empresa possui um sistema de gestão da qualidade certificado, o que tende a assegurar um processo sistemático para o desenvolvimento de produtos;
- A empresa se prontificou a colaborar com o projeto;

- A existência de um projeto de pesquisa firmado entre a Prática e a UNIFEI, aprovado pela FAPEMIG dentro do PAPPE (Programa de Apoio à Pesquisa em Empresas), entre os anos de 2005 e início de 2007.

Como o mencionado no referencial teórico, não é o objetivo do trabalho a criação de um produto exatamente igual ao de referência; o objetivo principal é o de absorver os pontos fortes do produto de referência, por terem estes já sido testados e aprovados pelos consumidores, e utilizá-los na medida em que forem considerados úteis para o produto atual. Esta utilização será analisada do ponto de vista da produtividade para a redução de custos e prazos durante as fases iniciais do projeto.

## **4.2 Aplicação do modelo**

Visto que a empresa do objeto de estudo busca o desenvolvimento de um novo produto que possa concorrer em mercados internacionais, mostra-se uma oportunidade importante a aplicação do modelo proposto e, através dele, baseado em um produto referência já testado pelos clientes internacionais, procurar lançar um produto com características similares ou até melhores. O progresso deste projeto poderá ser utilizado como forma de verificação da adequação do modelo.

O modelo básico foi apresentado aos representantes da empresa para que todo o processo de desenvolvimento pudesse ter uma seqüência conhecida e avaliada. Por se tratar de uma mudança de forma de trabalho e para não gerar possíveis perdas nos trabalhos já em andamento, algumas das fases foram adaptadas às condições existentes. Foi aplicado um questionário (vide Anexo B) com o objetivo de coletar as impressões de cada participante e com estas respostas poder avaliar os impactos que o modelo pôde ou poderia gerar ao processo atual da empresa.

É importante mencionar novamente que, apesar das avaliações terem sido realizadas em quase todos os sistemas do forno em análise, os resultados estarão limitados somente sobre o sistema de travamento da porta do forno; outros sistemas serão sugeridos na conclusão do trabalho para serem analisados pela própria empresa ou por outros pesquisadores interessados no modelo.



A seguir será realizado um detalhamento da forma de condução de cada uma das fases propostas no modelo e como elas foram executadas, buscando relatar como e até onde foi aplicado.

#### **4.2.1 Identificação da oportunidade**

Apesar da empresa em estudo estar em um ciclo notável de crescimento no mercado nacional, ela sabe que não está em uma posição confortável, visto que existem diversos concorrentes com os mesmos objetivos. Desta forma, ela vem buscando expandir cada vez mais a diversidade e a qualidade de seus produtos, assim como os equipamentos e processos envolvidos na produção.

A empresa tem a intenção de exportar para o mercado internacional e, neste sentido, sabe que é crucial a verificação das condições impostas em termos legais e normas que devem ser seguidos. Dentre os principais requisitos impostos por estas normas aos produtos a serem lançados neste tipo de mercado, o que mais se destaca, por se tratar de um produto de processamento de alimentos, é com relação à facilidade de limpeza de seus subsistemas e a possibilidade de retenção de resíduos alimentícios ou de sujeiras em reentrâncias ou saliências e frestas.

O produto atual que será reprojetoado será o forno combinado ECG 6 (vide figura 4.1). Identifica-se uma boa oportunidade com este produto pelo fato de ser este um dos produtos de maior aceitação do mercado nacional e que possui um projeto bastante conhecido pela equipe de projeto e de processos. Visualiza-se, no entanto, antecipadamente uma possível dificuldade de inclusão de novas tecnologias neste projeto. As inovações relativas à aplicação das técnicas de DFMA podem ficar de certa forma dificultada, uma vez que os processos produtivos já estão todos determinados e em utilização e não tratar-se de um produto completamente novo. Neste sentido, uma análise de observadores externos pode ajudar na obtenção de uma postura mais receptiva a novas idéias.

Um dos objetivos que estão alinhados com o plano estratégico da empresa objeto de estudo é o crescimento em mercados internacionais como dos Estados Unidos, o Canadá e o Europeu, procurou-se então identificar quais as possibilidades de produtos para serem utilizados como referência. Nesta busca, observou-se que um mercado em grande expansão é o Europeu onde existe um grande consumo deste tipo de produto. Foi então identificado um forno alemão (cujo nome será omitido deste trabalho) com aplicações técnicas similares ao atualmente

produzido na empresa, porém com algumas características especiais que o fazem com que seja considerado referência nos mercados em que atua (vide Figura 4.1).



Figura 4.1 – Produto nacional a ser analisado e o forno alemão de referência  
Fonte: Silva *et al.* (2005)

#### 4.2.2 Coletar e preparar dados iniciais

Os dados iniciais foram preparados através de identificação de diferenciais entre as características dos produtos em análise. Estas características foram levantadas e analisadas por Silva *et al.* (2005), e dentre as mais importantes pode-se destacar as seguinte:

- O forno de referência cozinha até 15% mais rápido que o forno nacional;
- Alto desempenho térmico;
- Superfície de fácil limpeza;
- Facilidade de acionamento dos cinco modos de cocção;
- Preocupação com a segurança do operador limitando a altura em 1,60metros, assim o operador reduz o potencial de perigo por não trabalhar em alturas superiores ao nível dos olhos;
- Comparando com fornos convencionais o forno de referência ocupa 28% menos espaço;
- Facilidade de limpeza, higiene e descalcificação através de um sistema automático de limpeza.

- Diversas certificações em normas internacionais relacionadas à segurança elétrica e mecânica, higiene entre outras.

### **4.2.3 Formação da equipe**

Esforços já vêm sendo aplicados ao sistema de desenvolvimento de produtos da empresa (a própria relação com a universidade é uma evidência deste esforço), inclusive com uma reestruturação com investimentos em recursos humanos e atualização de *software* e busca por novos processos produtivos. Atualmente, a empresa também passa por um processo de mudança de *layout* fabril e renovação da certificação ISO 9001.

Na empresa analisada não existe a formação de equipes multifuncionais específicas para cada novo produto desenvolvido, o sistema de desenvolvimento de produtos segue o modelo tradicional em que as fases normalmente não se sobrepõem. Existe uma sistematização destas fases baseado no requisito 7.3 (projeto e desenvolvimento de produtos) da norma ISO 9001 versão 2000.

Como visto no referencial teórico, bons resultados serão conquistados com um bom balanço entre o desenvolvimento do conhecimento técnico dos envolvidos no processo e um sistema de gerenciamento dos projetos através de metodologias estruturadas com o estabelecimento de fases e indicadores de desempenho com metas claras a serem cumpridas e a elaboração de planos de ação para cada meta não atingida. Neste sentido, mostra-se necessário um maior esforço no sentido da elaboração de um processo estruturado para o desenvolvimento de novos produtos não somente entre os elementos da Engenharia de Produtos, mas com a participação de outras áreas da empresa.

Os componentes da Engenharia de Produtos têm grande experiência com o tipo de produto que desenvolve e seus materiais envolvidos e um bom conhecimento sobre os processos produtivos, porém não existe um departamento de Engenharia de Processos estabelecido ou mesmo componentes com características profissionais especificamente ligadas a esta área, ficando para a administração da produção este tipo de avaliações e ações. Sugere-se aqui a criação de um departamento com funções específicas desta área, com a incumbência de desenvolver e atualizar os métodos de produção e, através disso, buscar ganhos com a continuidade e otimização dos processos e a inclusão de melhorias constantes com a

qualidade da manufatura, além da constante possibilidade de reduções de custos e melhorias nas condições ergonômicas.

Os ganhos com a aplicação das ferramentas do DFMA tendem a ficar mais evidentes quando os trabalhos são conduzidos por pessoal ligado à área de processos (com a participação de elementos das demais áreas).

#### 4.2.4 Desmontagem e informações sobre o produto

A seguir, são separados os sistemas e realizada uma comparação e detalhamento entre os dois fornos.

A figura 4.2 mostra os modelos de fornos em análise. Algumas das características somente foram confirmadas durante o processo de desmontagem. As informações relativas aos materiais, que precisariam de análises específicas, não foram consideradas necessárias devido ao fato dos envolvidos neste processo terem uma experiência considerável neste tipo de informação e também devido às limitações de tempo e investimentos financeiros. As análises ficaram mais focadas nos conceitos dos mecanismos utilizados em cada um dos sistemas envolvidos.



Forno Prática Technicook  
Modelo: ECG-6



Forno de referência  
Origem: Alemanha

Figura 4.2 – Fornos em estudo

A figura 4.3 separa os diversos sistemas dos fornos que serão analisados e comparados na seqüência, os elementos ilustrados na figura serão utilizados como um índice de referência para auxiliar nas comparações entre os fornos.

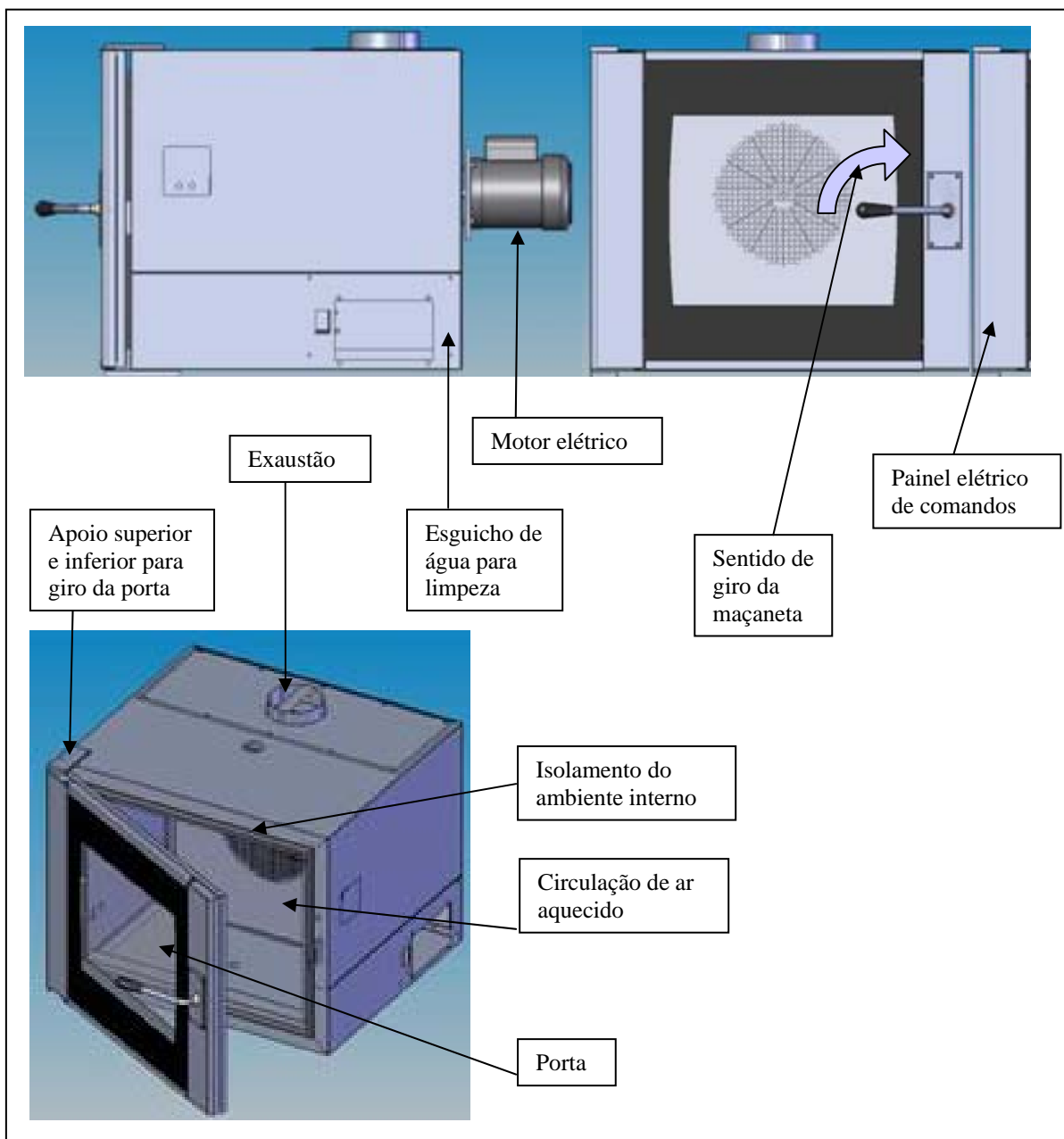


Figura 4.3 – Principais sistemas dos produtos em análise

#### 4.2.4.1 Visualização geral dos fornos

Observa-se inicialmente que o forno de referência possui linhas mais modernas e delicadas, se assemelhando mais aos fornos vendidos como eletrodomésticos e não como forno profissional como ambos são categorizados. Esta impressão inicial de robustez do forno nacional é gerada pela predominância do aço inoxidável e poucos detalhes decorativos de plásticos, por exemplo. Esta diferença pode ser considerada como uma característica favorável ao forno nacional, uma vez que o público alvo busca, na realidade, a robustez de um forno profissional, e não a aparência visual de um forno de uso doméstico.

Esta característica poderia ser analisada com maiores detalhes em trabalhos futuros em uma abordagem de QFD para verificação junto aos consumidores se a aparência de robustez é realmente positiva.

#### **4.2.4.2 Motor elétrico**

No forno nacional este componente se dispõe na parte traseira do corpo, que pode gerar alguns problemas relacionados à assistência técnica. No forno referência a solução aplicada foi a disponibilização interna, na parte lateral do corpo, o que faz com que a especificação deste componente seja mais crítica em relação ao nacional para suportar a temperatura mais elevada. Não será analisada a aplicação deste sistema neste trabalho.

#### **4.2.4.3 Esguicho de água**

O forno de referência possui um esguicho de água que fica embutido no corpo do forno quando não está em uso. Esta característica é muito interessante principalmente ao observarmos que o alojamento deste não permite a retenção de resíduos, como pó do ambiente ou acúmulo de gorduras, muito comum neste tipo de equipamento.

No forno nacional este sistema fica posicionado na parte interna, o que significa menos possibilidades de acúmulos de sujeiras e uma maior flexibilidade para o usuário para limpeza do local. Apesar de ser um ponto aplicável no processo de Engenharia Reversa, não será analisada a aplicação deste sistema neste trabalho, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

#### **4.2.4.4 Pannel elétrico**

O forno de referência possui uma Interface Homem-Máquina (IHM) que permite fácil localização dos comandos e leitura dos parâmetros em utilização, porém os consumidores identificam que o utilizado no forno nacional possui também um painel simplificado, inclusive com uma característica positiva em relação ao forno referência, a utilização de botões tipo membrana que permitem uma limpeza mais facilitada.

O sistema utilizado no forno referência possui outra vantagem que é a possibilidade de inclusão de textos curtos, que podem ser utilizados para criação de menus inteligentes, textos explicativos e até mesmo receitas (vide figura 4.4). Não será analisada a aplicação deste sistema neste trabalho.



Figura 4.4 – Diferenças entre os painéis do forno de referência e o nacional

#### 4.2.4.5 Sistema de exaustão de gases

Até onde foi possível realizar a sua desmontagem, ambos os fornos possuem sistemas de exaustão similares. Desta forma não será analisada a aplicação deste sistema neste trabalho, podendo ser realizado em trabalhos futuros uma análise mais profunda da forma construtiva deste sistema.

#### 4.2.4.6 Isolamento do ambiente interno

A guarnição utilizada no forno de referência, apesar de ser construída aparentemente do mesmo material que o forno nacional, é moldada e poderia ser um sistema interessante para análises em detalhes e um bom candidato à Engenharia Reversa (vide figura 4.5). Porém, devido a falta de padronização e às necessidades de investimentos em equipamentos e ferramentais especializados e o volume atual de produção da empresa em análise, não se justificariam os benefícios. De toda forma, o sistema utilizado no forno nacional (tubo extrudado e conformado sobre uma moldura) é simples e traz resultados funcionais suficientes.

Desta forma, este sistema, em uma primeira análise, não será considerado nas análises de Engenharia Reversa, o que não significa que em um outro momento não poderá ser reavaliado em futuras necessidades de reduções de custos.

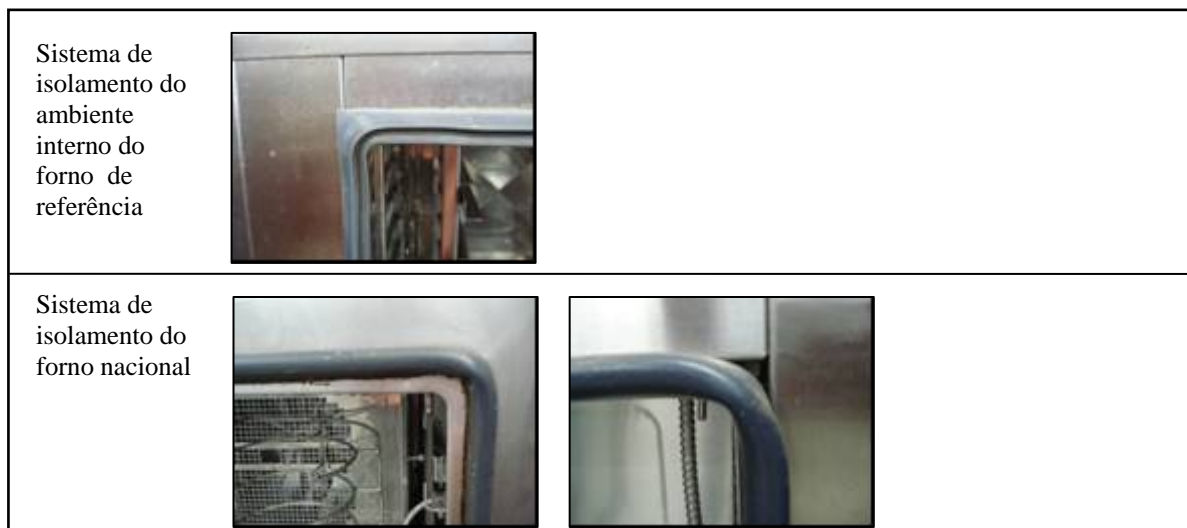


Figura 4.5 – Detalhe do sistema de isolamento do ambiente interno dos fornos

#### 4.2.4.7 Circulação de ar aquecido

Os conceitos de projeto utilizados para este sistema possuem uma diferenciação bastante elevada entre os modelos. A ventilação no forno referência é executada por uma ventoinha na parte lateral (vide figura 4.6) enquanto o forno nacional se utiliza de uma ventoinha na parte traseira do corpo.

Este sistema possui um potencial muito grande de aplicação de técnicas de Engenharia Reversa, sobretudo pelo diferencial que este componente demonstrou nas comparações funcionais iniciais. Observando o processo de soldagem das aletas da ventoinha do forno nacional, percebe-se que através das técnicas do DFMA seria possível uma obtenção de grandes ganhos com otimizações.

O trabalho não irá abordar este sistema porque para isto seria necessário um investimento de tempo muito elevado por parte do pesquisador e dos componentes da equipe da empresa. Fica a sugestão para análise desse sistema em novas pesquisas ou pelos próprios componentes da empresa.



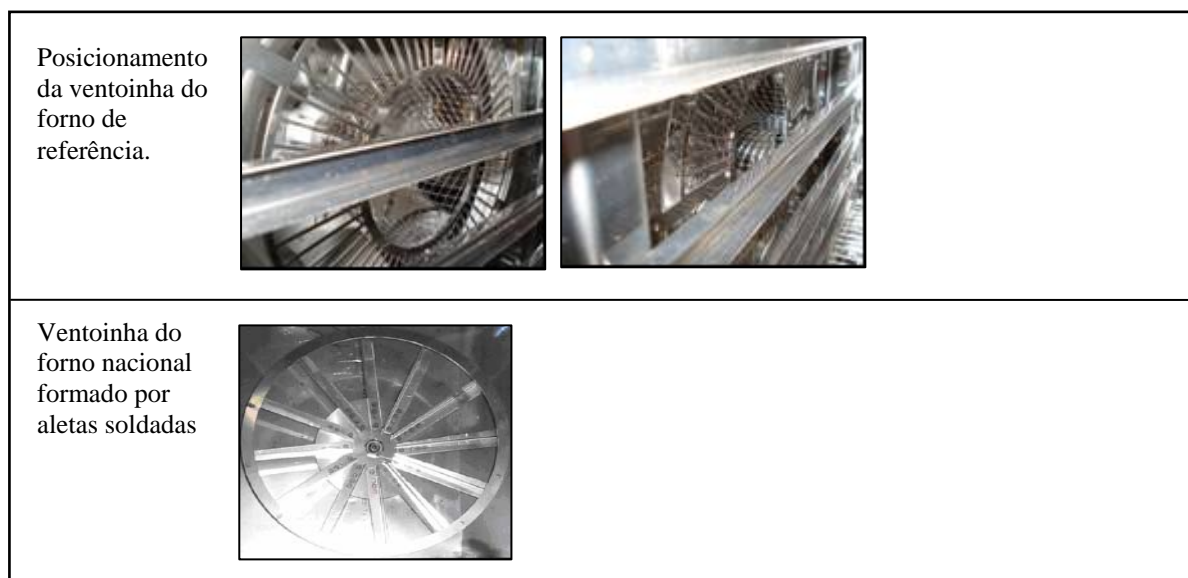


Figura 4.6 – Detalhes da ventoinha do forno de referência

#### 4.2.4.8 Sistema de iluminação do ambiente interno

O forno de referência possui uma lâmpada que fica localizada na parte lateral interna do forno com uma lente de proteção; no forno nacional se utiliza uma lâmpada fixa diretamente na porta atrás do vidro. Identifica-se aqui um ponto importante a ser observado por se tratar de um aspecto relacionado com as normas de limpeza. Neste caso deve ser realizado um estudo no tipo de material utilizado para a fabricação da lente de proteção da lâmpada.



Figura 4.7 – Detalhes do sistema de iluminação do forno de referência

Outro ponto relacionado com a iluminação do ambiente interno é o sistema de sensoriamento da porta aberta ou fechada (vide figura 4.8). No forno referência utiliza-se um sistema

magnético embutido na porta principal e sensor na caixa do forno. No forno nacional aplica-se um sensor elétrico acionado por pino pelo contato da porta com pino.



Figura 4.8 – Detalhes do sistema de sensoramento dos fornos

Apesar de existirem pontos aplicáveis neste sistema no processo de Engenharia Reversa, o mesmo não será analisado neste trabalho, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

A seguir, a figura 4.9 separa os sistemas a serem analisados na seqüência das análises dos sistemas específicos da porta do forno.

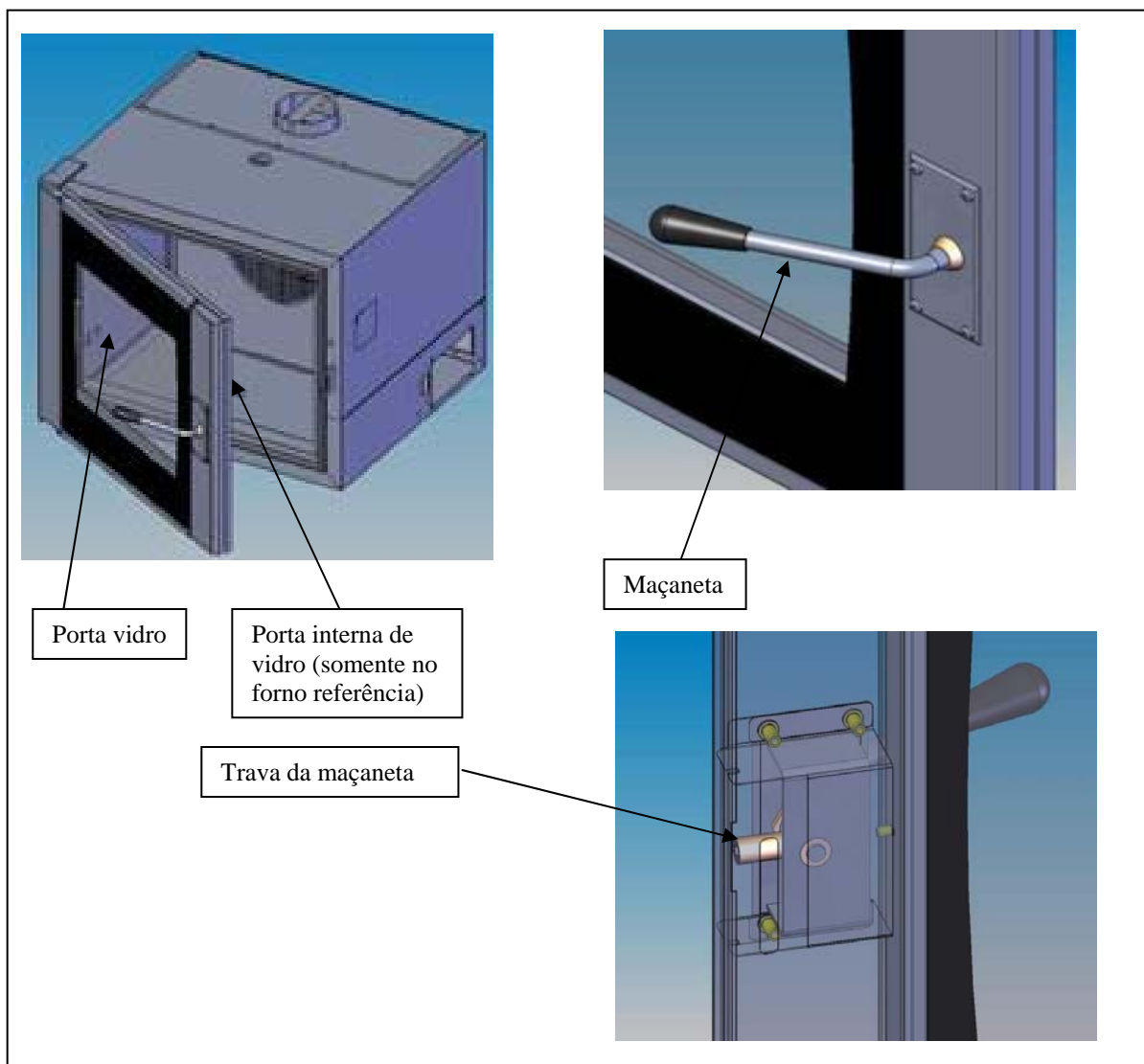


Figura 4.9 – Detalhe dos fornos - visualização dos sistemas da porta

#### 4.2.4.9 Porta de vidro interna

Este é um sistema que não está disponível no modelo do forno nacional em processo de reprojeto (existem outros modelos nacionais que possuem este sistema). Neste caso é necessário identificar se esta característica é considerada pelos consumidores como um diferencial ou se sua aplicação significaria somente um acréscimo de custo sem aumento de benefícios. É importante observar aqui que a opção por aplicar esta característica no forno significaria o aumento de diversos componentes ao conjunto, o que iria diminuir consideravelmente a eficiência de montagem em uma análise de DFMA.

A figura 4.10 mostra a fixação do vidro na porta. Neste caso o forno referência possui um sistema que permite o basculamento independente desta porta e sua desmontagem se realiza

com muita facilidade, mostra também a utilização de ancoragem e pivotamento através de suporte confeccionado em alumínio moldado que possibilita o posicionamento de porta em ângulos pré-definidos.

No forno nacional (na Figura foi mostrado outro forno similar, somente para efeito ilustrativo) utiliza-se um bloco usinado como apoio e pivotamento.



Figura 4.10 – Detalhes da porta interna de vidro

Na figura 4.11 observa-se ainda no vidro da porta interna a utilização de uma chapa de aço inoxidável de acabamento com detalhe repuxado e colado no vidro (aparentemente colado com material diferente de silicone). No forno nacional (outro modelo, somente para ilustração) utiliza-se uma chapa dobrada, encaixada e colada com silicone no vidro.

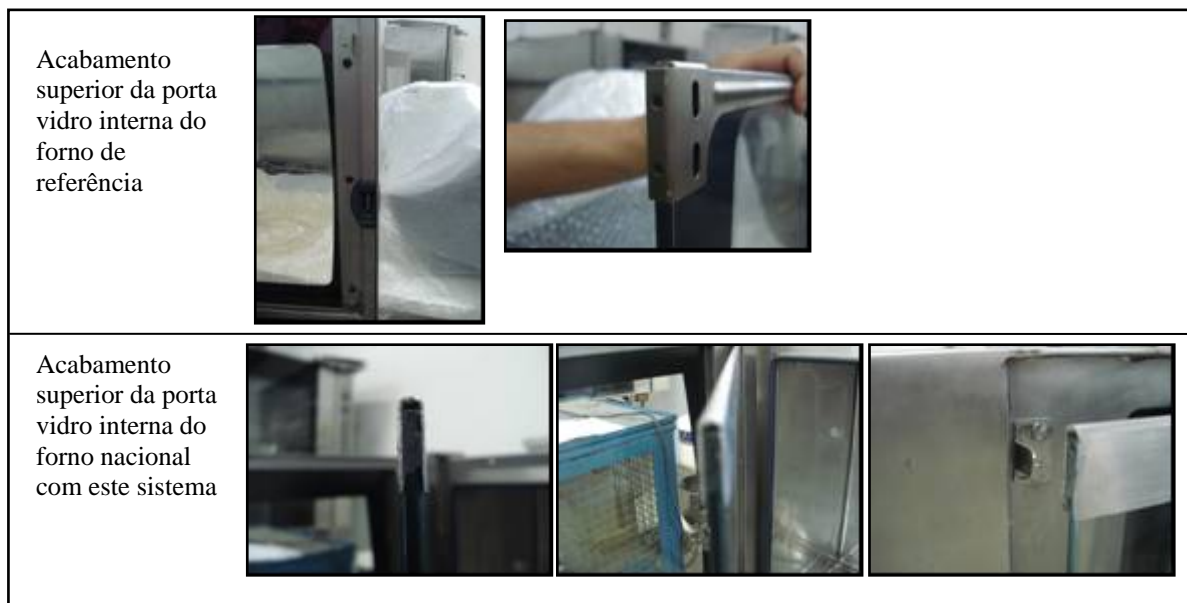


Figura 4.11 – Detalhes do acabamento superior da porta interna de vidro

#### 4.2.4.10 Ancoragem da porta externa

A diferença encontrada neste sistema está relacionada aos materiais empregados nos mesmos. No forno referência buscou-se mais a produtividade e redução de custos com a utilização de um apoio superior em alumínio estampado (corte e dobra); no caso do forno nacional utiliza-se uma peça confeccionada em chapa reforçada por dobra e pino soldado (vide figura 4.12).

A mesma solução foi aplicada sobre o apoio inferior que no forno referência é confeccionada em alumínio moldado, fixo à lateral interna da caixa, e contém um sistema de posicionamento da porta aberta; no forno nacional o suporte é confeccionado em chapa reforçada por dobra e pino soldado.

Este sistema é interessante de ser analisado pelo fato de se ter duas opções com visões diferenciadas e com vantagens e desvantagens. A do forno referência, que trás uma redução de custo do componente e permite uma desmontagem facilitada, e a do forno nacional, que tem a vantagem de ter a redução do número de componentes, mas não permite uma desmontagem fácil. Existem desta forma, pontos aplicáveis neste sistema no processo de Engenharia Reversa; no entanto, não serão realizadas análises dos mesmos neste trabalho, ficando como sugestão para trabalhos futuros. Sugere-se também a aplicação específica das metodologias de Análise do Valor e QFD.



Figura 4.12 – Detalhes da fixação superior e inferior da porta externa

#### 4.2.4.11 Maçaneta da porta

Pode-se identificar uma grande diferença entre estes sistemas, a começar pelos materiais utilizados. O forno de referência utiliza um material não metálico que dá ao produto uma vantagem ergonômica muito mais eficiente tanto com relação à condição de pega e manuseio como com relação à segurança, por não transmitir o calor do ambiente interno (vide figura 4.13).

Podem-se destacar dentro deste sistema algumas características específicas que ajudam a identificar seus componentes e suas interligações, como suas funções e valores positivos e negativos dentro da função geral do conjunto, tais como o sentido de abertura e a posição neutra da maçaneta conforme segue:



**a) Sentido de abertura:** o sistema da maçaneta do forno referência permite que a abertura da porta seja executada com movimentos para ambos os lados (para direita ou para esquerda); no caso do forno nacional o movimento de abertura da maçaneta da porta somente pode ser executado em um sentido (para cima).

Analisando a utilização deste tipo de forno, principalmente na indústria de panificação, pela observação de profissionais da área e através da participação do setor de aplicações do produto da empresa em análise, percebe-se que o sentido de abertura do forno nacional é funcional e prático quando se necessita abrir a porta com as duas mãos ocupadas com bandejas com pães. Sugere-se, então, a permanência do sentido de abertura, para o tipo de produto em análise devido ao usuário a que é destinado. Observa-se aqui um potencial ganho de nova característica obter a abertura nos dois sentidos (para cima e para baixo).



Figura 4.13 – Detalhes da maçaneta dos dois fornos

**b) Posição neutra da alavanca:** nota-se uma diferença entre os conceitos utilizados nos produtos para a posição neutra da alavanca, que é o ângulo em que a alavanca pára ao ser

solta. No caso do forno de referência, a alavanca pode ser solta em qualquer posição que irá automaticamente procurar a posição neutra (vide figura 4.13). Este sistema no forno referência possui um sistema interno com mola helicoidal que faz com que a alavanca busque a posição central ao ser solta.

No forno de referência, ao se fechar a porta com o trinco fora da posição neutra o travamento da porta é realizado sem problemas; no caso do forno nacional, se esta operação for realizada desta forma, o trinco de trava se choca com o batente gerando danos no conjunto ou podendo diminuir sua vida útil.

#### 4.2.4.12 Trava da Maçaneta

Observa-se um grande diferencial entre os sistemas aplicados nos sistemas relacionados com a maçaneta e seus subsistemas internos. Este é o sistema que foi escolhido como o foco deste trabalho e será detalhado em um nível mais profundo pelos seguintes motivos:

- Se tratar de um sistema de média complexidade, de tal forma que possa ser abordado em toda sua extensão no curto período de tempo que é disponível, tanto para o pesquisador, para poder acompanhar todo processo, como para a empresa em análise, de tal forma a não atrapalhar seus processos e cronogramas internos;
- É um sistema crítico por ser o ponto inicial de qualquer comparação entre os produtos, pois é o primeiro ponto de análise (função inicial que é abrir a porta);
- Neste sistema há componentes terceirizados, que permite uma abrangência maior para o trabalho;
- Os componentes deste sistema são montados internamente, permitindo desta forma realizar uma análise mais completa sobre todo o ciclo do desenvolvimento.

A seguir o sistema foi separado para uma melhor análise.

**a) Travamento do trinco da maçaneta:** o sistema de trava no forno referência é composto de um mecanismo interno que utiliza um eixo metálico combinado com uma mola e um rolete também metálico com boa resistência ao desgaste que fazem o travamento apenas com o deslocamento de fechamento da porta. É possível que a combinação entre eixo e mola possa



ter sido realizada na sua origem em uma análise de DFMA, pela escolha de um material adequado resistente a flexões que pudessem realizar as duas funções.

O sistema além de ser mais vantajoso com relação ao travamento da porta, é de baixa complexidade de funcionamento e permite manter a característica inicial de permitir a abertura da porta com as mãos ocupadas. Uma outra vantagem é que a sua baixa complexidade permite uma montagem mais simples, além de utilizar um número menor de componentes no conjunto e, principalmente, redução dos componentes com a necessidade de serem posicionados para soldagens e fixações.

Um outro diferencial bastante interessante no forno de referência é que o conceito do mecanismo utilizado no trinco de trava não gera danos com o fechamento da porta com a alavanca em qualquer posição angular (mesmo que fora da posição neutra).

A figura 4.14 mostra os detalhes construtivos do trinco da fechadura do forno de referência e uma comparação com o forno nacional. O forno referência utiliza uma trava em forma de olhal (eixo metálico combinado) retangular com rolete para facilitação do engate. O trinco é concebido através da utilização de um pino com a extremidade cônica para servir de convite para a passagem do rolete e um recorte em forma de anzol para servir de trava. Este pino é separado em duas peças fixadas por parafuso para permitir o ajuste de seu posicionamento e, com isto, garantir um perfeito fechamento da porta.

O trinco utilizado no forno nacional se baseia na ação de uma peça confeccionada em chapa grossa de aço com rasgo usinado. Ela é posicionada e soldada de tal forma que fique no trajeto da tramela da fechadura, o que gera o limite de ser acionada somente para um dos lados. O suporte do trinco é confeccionado com chapas de aço dobradas de forma a suportarem o conjunto e servirem de anteparo para definir ângulo máximo de abertura.

**b) Ângulo de movimentação:** o conceito da trava utilizada no forno de referência gera uma liberação para abertura da porta com um menor ângulo de giro da alavanca da maçaneta, permitindo um menor esforço e tempo para esta operação, o que pode ser considerado como um grande diferencial visto que afeta diretamente a operação do usuário final.



Figura 4.14 – Detalhes da trava da maçaneta dos dois fornos

**c) Força de giro da alavanca:** o forno de referência utiliza o rolete mencionado anteriormente que fica em contato com o trinco fazendo com que a força de atrito entre os componentes seja reduzida e, conseqüentemente, a força necessária durante o acionamento da alavanca.

Observa-se também uma necessidade de força maior no forno nacional, principalmente gerado pela soma das forças necessárias para vencer o atrito entre os componentes internos do

mecanismo de trava, e a força gerada pela necessidade de amassamento da vedação da porta é maior no forno nacional (pelo fato da guarnição ser mais maleável). Neste aspecto, no entanto, existe um ponto de equilíbrio entre os dois produtos uma vez que o sistema do forno nacional possui um degrau em ângulo formando uma cunha no batente do trinco que faz com que o conjunto puxe suavemente a porta contra as vedações; no forno referência a vedação é garantida através do impacto de fechamento.

#### **4.2.4.13 Resumo das características**

A identificação de diferenciais entre as características dos modelos em análise apontou para os detalhes mostrados no quadro 4.1.

Observa-se que existem características positivas em relação ao forno referência e que também existem características positivas no forno nacional. Além do sistema analisado com maior profundidade, observa-se que alguns outros podem ser utilizados em futuros trabalhos tanto acadêmicos como gerados pela própria empresa.

#### **4.2.5 Medir, testar e informações sobre os componentes**

Como o verificado no detalhamento do modelo (capítulo 3), o objetivo desta fase é a identificação de oportunidades técnicas e o tratamento dos problemas levantados nas análises realizadas. Busca-se, enfim, identificar idéias conceituais e pré-projetos sobre possíveis soluções para problemas e diferenciais identificados na fase anterior e dar o direcionamento para a fase seguinte sobre os seus detalhamentos.

Para esta fase foi realizada uma análise sobre as características técnicas dos sistemas, como detalhes dimensionais, seqüência de processo de montagem e fabricação e de materiais utilizados de alguns dos componentes ligados aos sistemas da porta do forno que fizeram parte das documentações técnicas utilizadas para a definição de propostas.

As informações resultantes desta fase geraram um grupo de informações técnicas como análises de custos e questões logísticas, que poderá ficar mantida para futuras pesquisas para novos projetos. No estudo de caso presente, as análises de custos foram realizadas somente a nível macro, porém, como pode ser verificado nas respostas do questionário, considera-se um ganho direto importante com a aplicação sistemática do modelo.

O Quadro 4.1 mostra um resumo dos sistemas e suas análises.

Quadro 4.1 – Resumo das características dos dois fornos e suas análises

Item	Característica	Forno de referência	Forno atual
01	Visualização geral	Linhas modernas com detalhes decorativos. Pode significar uma aparência de fragilidade.	Linhas mais industriais o que mostra ser vantajoso para o tipo de cliente planejado.
02	Motor elétrico (posicionamento)	Posicionado internamente no corpo o que gera uma necessidade de um componente mais resistente.	Parte traseira do corpo, dificultando manutenções.
03	Esguicho de água	Interno ao corpo.	Posicionado lateralmente ao corpo, diminuindo a possibilidade de acúmulo de sujeira.
04	Painel elétrico	IHM mais simplificada que permite múltiplas funções além de textos, como receitas, por exemplo.	Painel com diversos botões tipo membrana, melhores com relação à limpeza.
05	Sistema de exaustão	Similares	Similares
06	Isolamento do ambiente interno	Utiliza guarnições moldadas com perfil otimizado para uma melhor vedação	Utiliza uma guarnição montada de construção simples. Potencial ponto para redução de custos.
07	Circulação de ar aquecido	Por uma ventoinha com ação radial e axial e posicionada lateralmente com tubos conformados para passagem de ar.	Por ventoinha radial (não balanceada) posicionada na traseira. A diferença básica esta no posicionamento dos tubos de passagem do ar e na forma de construção destes componentes.
08	Sistema de iluminação do ambiente interno	Lâmpada localizada na parede lateral do corpo, protegida por uma lente plástica. Sensor magnético localizado na porta.	Localizada na porta atrás do vidro. Sensor elétrico através do contato físico de um pino na porta.
09	Porta de vidro interna	Sistema complexo com diversos componentes e grande funcionalidade. Pode ser utilizado como referência para os outros modelos de fornos da empresa.	Não utilizado no modelo nacional em análise. Em um modelo similar utiliza um bloco como ancoragem.
10	Ancoragem da porta externa	Superior em chapa de alumínio dobrada e parafuso e na inferior suporte em alumínio moldado.	Superior e inferior em chapa de aço inoxidável com pino soldado.
11	Maçaneta da porta	Confeccionada em material não metálico com abertura em dois sentidos (horizontais)	Material metálico e maçaneta em fenólica. Abertura somente para cima.
12	Trava da maçaneta	Sistema não complexo baseado em um eixo e rolete que se deslizam sobre um pino com superfície cônica até o posicionamento de trava.	Sistema rústico que gera o travamento da porta pela movimentação do pino em um canal em forma de cunha.

Durante esta fase foram também analisadas as condições de *layout* da fábrica e verificou-se que seria aplicável o levantamento de propostas relativas à disposição dos equipamentos e seqüências de movimentações internas. Contudo, não justificaria nenhuma alteração no momento uma vez que a empresa está em fase de mudança para um novo prédio. Ficou sugerido, então, que o momento é bastante propício para se definir um fluxo otimizado de materiais e processos, sobretudo para a implantação de um novo produto. Não foi possível, no entanto, planejar nenhum tipo de adaptação fabril ao novo produto, porque este está ainda em fase de desenvolvimento.

#### **4.2.6 Documentar e informações sobre a produtividade**

Com as propostas estabelecidas, foram então detalhados os conceitos e transformados em documentos, normas e especificações técnicas para serem utilizados para a construção interna e externa de componentes e para compra de itens padronizados.

Para as análises de produtividade do produto resultante foi realizado um mapeamento dos processos utilizados pela empresa, sendo os principais:

- Soldagem;
- Corte (por guilhotina e à laser);
- Dobra e repuxo de chapas.

Observou-se no processo produtivo uma constante necessidade de posicionamentos e ajustes nos equipamentos utilizados para corte e dobra de chapas, neste sentido o que se sugere é a aplicação de sistemas de posicionamento de chapas como é utilizado nas empresas automobilísticas. O sistema utilizado por estas companhias prevê que já no desenho de produto sejam incluídos detalhes (como furos e rasgos previamente alinhados) que facilitam a localização e posicionamento para as operações seguintes.

A seguir citam-se ainda os outros processos utilizados nos componentes a serem estudados futuramente pela própria empresa analisada ou para ser exigido dos seus fornecedores de serviços de usinagem tais como:

- Torneamento;
- Fresamento;
- Furação.

Para estes processos sugerem-se a utilização de técnicas de DFM que é responsável pela otimização de processos relativos especificamente à usinagem como tolerâncias, acabamentos e definição de melhores materiais.

E, por fim, para os processos específicos de montagem e união, que são:

- Colagem com silicone;
- União por soldagem;
- União por rebitagem;
- Parafusamento.

Foi identificado que o sistema de trava do trinco da porta possui mais de 15 componentes. Foi analisada a diminuição através da unificação de componentes, como o rolete e eixo e a redução de ajustes, deixando para que esta operação seja realizada somente no momento da fabricação. Como resultado desta avaliação, foi sugerido um novo sistema de trava da porta baseado no sistema encontrado no forno referência, porém foi realizada uma avaliação sobre o número de componentes, através das avaliações de DFMA.

Sobre todos estes aspectos, sugere-se a criação de um departamento separado com as funções específicas de definições dos métodos e processos, que poderá auxiliar nas definições das melhores alternativas de metodologias, equipamentos e suas disposições, com possivelmente outras abrangências como logística e manutenção.

#### **4.2.7 Prototipar**

A empresa analisada normalmente constrói protótipos nos seus desenvolvimentos, sobretudo para as peças construídas em chapas, desta forma as propostas levantadas certamente serão analisadas e, de acordo com o posicionamento de seus diretores durante as entrevistas, um protótipo poderá ser construído sem muitos problemas e com investimento não muito elevado. Até o momento da defesa deste trabalho, não foi possível a finalização de um protótipo do sistema sugerido.

Como resultado prático do trabalho, a figura 4.15 apresenta a proposta de um novo sistema de travamento da porta utilizando o conceito básico do forno de referência, porém com as revisões do processo de DFMA realizada pela equipe de desenvolvimento.

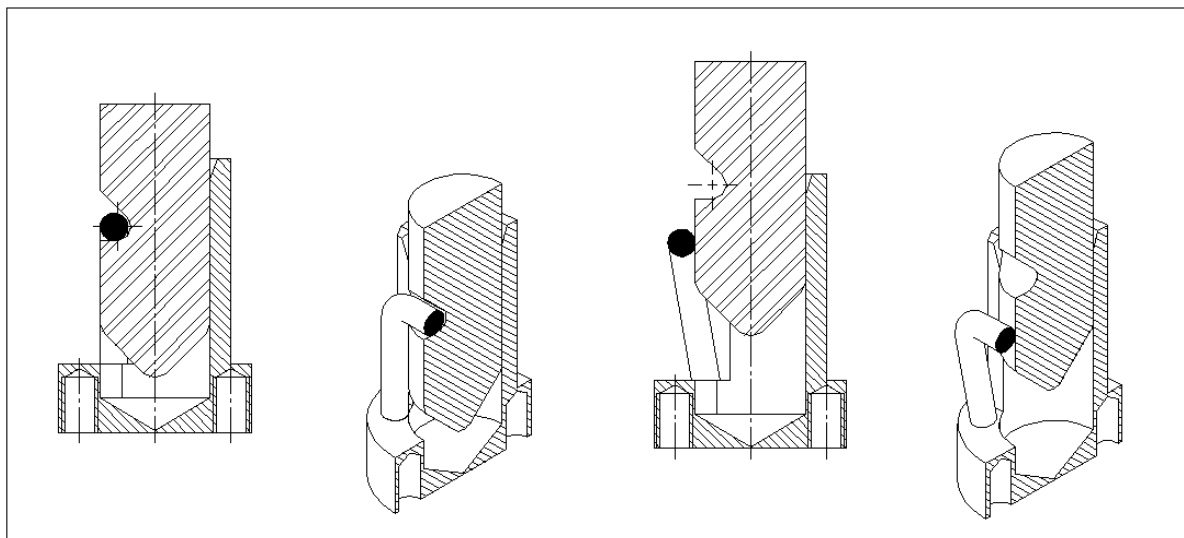


Figura 4.15 – Detalhe da proposta de conceito para o travamento do trinco

Foi também realizado um protótipo (vide figura 4.16) pelo processo de modelagem por deposição de material fundido (*Fused Deposition Modeling - FDM*). O material empregado na construção do protótipo foi o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). A máquina utilizada foi uma Dimension SST 768, produzida pela Stratasys que permitiu uma melhor visualização do resultado principal. Este protótipo será utilizado pela empresa objeto do estudo, que irá aplicar o conceito em modelos futuros.



Figura 4.16 – Proposta de conceito em resina pelo processo de FDM

#### 4.2.8 Analisar e rever os resultados

A última fase foi executada de forma conjunta com as três fases anteriores, influenciando o início e término de cada uma delas. A sua conclusão não pôde ser realizada por completo porque as fases anteriores não foram completamente seguidas à risca.

Com o objetivo de verificar se a influência deste trabalho seria somente a nível superficial de apenas alguns dos sistemas ou mais abrangente, a ponto de ser aplicado a todo o processo de desenvolvimento de produtos, foi realizada uma reunião para detalhamentos do projeto. Inicialmente foi exposto a forma de condução do trabalho, o modelo proposto e as conclusões iniciais. Neste ponto todos concordaram com a eficácia dos procedimentos. Após esta explanação foi realizada uma entrevista individual com todos os membros chaves do processo de desenvolvimento de produtos onde foi possível identificar os seguintes pontos:

1. Todos concordaram que a Engenharia de Produto, independente de ser um departamento separado da produção, deve ter um relacionamento direto com a fábrica e suas dificuldades; concordam também que o desenvolvimento de produtos realizado em conjunto traz resultados positivos, inclusive com a antecipação de possíveis problemas de qualidade e dificuldades de processo;
2. Todos mencionaram, durante as respostas, que o trabalho em conjunto permite uma redução do número de alterações no projeto e que pode gerar indiretamente um desenvolvimento dos limites da capacidade de processamento da fábrica;
3. Ocorreu uma distinção de algumas respostas em relação à formação da equipe. Todos mencionaram a multifuncionalidade, porém aqueles voltados mais para as áreas técnicas enfocam mais este lado (multifuncionalidade) e as áreas mais comerciais consideram participações mais abrangentes, inclusive do próprio cliente;
4. Com relação ao estabelecimento de indicadores para a medição do desempenho do processo de desenvolvimento de produtos todos concordam com sua necessidade, porém nem todos conhecem os indicadores existentes na empresa, inclusive divergem sobre a forma de medição (prazo, custos e inovação);
5. Todos consideram a Engenharia Reversa como uma forma estruturada de melhoria de produtos, que inclusive faz gerar um processo automático de renovação da tecnologia e reduções de custos, e não simplesmente um processo de cópia do produto líder;
6. Todos consideram que o modelo proposto com uma estruturação dos trabalhos é aplicável às Pequenas e Médias Empresas e que o mesmo pode contribuir para reduções nos prazos



para desenvolvimento de novos produtos da ordem de 20% podendo chegar até algo da ordem de 50%, dependendo dos sistemas envolvidos (a porcentagem mencionada foi uma estimativa dada pelos entrevistados, com base na sua experiência).

Baseado nas análises realizadas até o momento e nas entrevistas realizadas, foram levantadas algumas propostas para o processo geral de desenvolvimento de produtos para a empresa analisada:

- Padronização entre os componentes e sistemas internos utilizados nos diversos modelos produzidos atualmente;
- Ampliação dos equipamentos disponíveis na fábrica para possibilitar o processamento e disponibilização de componentes de forma controlada por um planejamento que possa permitir um nível seguro (não alto) de estoque interno, objetivando a flexibilidade que o mercado exige;
- Uma revisão no *layout* fabril, levando em consideração os assuntos estudados com objetivo de melhorar o fluxo dos materiais durante o processo de fabricação e montagem;
- Utilização de sistema de localização e medição de componentes de chaparia através de furos para pré-localização para se obter um melhor controle dimensional dos componentes em fase de fabricação.

Conforme o exposto no tópico 4.2.4.13 existem ainda outros pontos do equipamento atual em produção que podem ser considerados como ponto de referência para aplicação das metodologias envolvidas no modelo. Estes pontos podem ser analisados pela empresa ou mesmo por trabalhos científicos futuros.

Algumas sugestões foram comentadas em uma das reuniões de apresentação do trabalho onde foi possível a realização de uma discussão sobre os produtos e processos da empresa.

## Capítulo 5 - Conclusão

O presente capítulo apresenta as conclusões finais da pesquisa, relacionadas com o estudo da adequação do modelo proposto na unidade de investigação.

### 5.1 Objetivo principal da pesquisa

Com relação ao objetivo principal da pesquisa de avaliar a adequação de um modelo que faz a integração do projeto para manufatura e montagem no processo de desenvolvimento de produtos, em uma abordagem de engenharia reversa, identificando a potencialidade de aplicação às restrições inerentes ao contexto econômico das pequenas e médias empresas (PME), foi observado que a aplicação destas metodologias é completamente aplicável no contexto deste tipo de empresas, devido aos seguintes fatores:

- Existência de limitações financeiras nas PME's que dificultam a aplicação de metodologias tradicionais mais caras para o desenvolvimento de produtos;
- Prazo para lançamento de um produto novo esperado pelos clientes normalmente não permite um lançamento de produto com prazos muito longos;
- Desenvolvimento de produtos com base no produto líder do mercado gera uma constante renovação nos conceitos aplicados na classe de produtos e oportunidades de renovação constante na empresa dita como pioneira e líder;
- A presente pesquisa sugere que os conceitos estudados também podem ser utilizados por empresas maiores de qualquer tamanho, uma vez que, notadamente, a condição de líder não deve ser considerada como uma conquista vitalícia.

Diante destas observações pode-se dizer então que os objetivos principais foram atingidos sob o aspecto acadêmico em que um modelo foi adaptado a partir de outros modelos consagrados propostos por autores dos temas estudados e as metodologias foram analisadas e aplicadas em um projeto real.

Sob o aspecto prático para as PME's e, sobretudo para a empresa do estudo de caso, os objetivos gerais foram atingidos observando as análises do item 5.2.

## 5.2 Objetivos gerais

Uma das primeiras observações encontradas é que as metodologias DFMA e ER são conhecidas em sua essência e nos seus conceitos básicos. Contudo, apesar dos elementos envolvidos no estudo de caso afirmarem que as conhecem e fazem uso delas normalmente em suas atividades, o que se observa é que na realidade existe, de forma geral, uma tentativa de aplicação incompleta dessas metodologias. Neste sentido, uma visão externa do processo ajudou a identificar esta situação e um novo direcionamento está sendo dado pela direção da empresa neste processo.

Os benefícios trazidos pelas metodologias envolvidas no modelo foram citados no capítulo 2 de forma generalizada, sendo possível identificar, pela concordância dos entrevistados, a eficácia e os ganhos reais que a aplicação das metodologias proporciona, sobretudo quando aplicadas em conjunto como o trabalho propõe.

Através das entrevistas para a identificação de ganhos potenciais indiretos, observados pelos próprios usuários, foi possível identificar que a estruturação do processo de desenvolvimento de produtos obtida com o apoio do modelo proposto pode proporcionar como resultado o desenvolvimento de um produto de sucesso, não somente do ponto de vista técnico, mas também pela redução dos problemas normalmente observados nestes processos.

Nessas entrevistas com os especialistas da empresa identificou-se também que é possível a obtenção de reduções no prazo de conclusão de um novo projeto, da ordem de 20%, e que outros ganhos nos investimentos e no tempo de operacionalização do projeto e com reprocessamentos, também podem ser vislumbrados, apesar de não poderem ser mensurados no momento.

Observou-se que o modelo proposto favorece o acompanhamento das atividades de desenvolvimento de um novo produto e que pode também ser aplicado no reprojeto de produtos (nesse caso, o próprio produto atual em produção pode ser considerado como um produto de referência), sobretudo na reavaliação dos recursos disponíveis para processamento e nos sistemas utilizados no produto.

Silva e Fiod (1999) mencionam que a maior dificuldade na aplicação de técnicas de DFMA está na observação de até onde a direção da empresa permite a aplicação das mesmas e que muitas vezes este limite é inferior ao necessário para o sucesso do processo. Observa-se que a empresa em estudo possui um plano estratégico e busca melhor posição no mercado, além de

garantir a posição que já possui. Observa-se na empresa um grande envolvimento da diretoria, fator crucial para o sucesso da implantação das metodologias.

Com relação especificamente ao modelo proposto, por se tratar de uma adaptação, não se buscou uma validação completa, mas sim sua adequação ao contexto das PME's. Neste sentido, algumas dificuldades foram encontradas, sobretudo por se tratar de uma quebra de paradigmas, onde seria necessária uma completa alteração no processo de desenvolvimento de produtos. Já existia na empresa um roteiro de desenvolvimento de produtos e não seria seguro sua completa revisão, e ainda mais realizada por uma pessoa externa. Foi sugerida então uma análise crítica a ser realizada pelos membros internos com o objetivo de gerar esta revisão com base nas dificuldades e realidades internas da empresa.

Todas as fases do modelo foram seguidas, porém nas fases finais, onde um protótipo funcional deveria ser construído e testado para ser desenvolvido e implantado, não foi possível dar continuidade devido, principalmente, a necessidade de investimentos e tempo para testes com o risco de ter um produto final não aceito. Porém, como pôde ser visto, o sistema conceito proposto (protótipo não funcional) foi prototipado em resina e foi encaminhado à empresa para auxiliar em futuras análises e detalhamentos. Essa pesquisa ainda gerou um pedido de patente para o sistema conceito proposto.

### **5.3 Sugestões para trabalhos futuros**

Em função dos resultados positivos obtidos neste trabalho com relação ao produto analisado, para a obtenção de um melhor entendimento sobre os temas, sugere-se a avaliação de suas aplicações em outros sistemas através da execução das ações abaixo, que ficam como sugestões para a empresa objeto de estudo:

- Implantação de um sistema de especificação e documentação de métodos, processos e *layout* envolvidos no processo produtivo, porque são através destes que as implantações de melhorias poderão se basear;
- Alteração do sistema de desenvolvimento de produtos, fazendo-o de forma interdepartamental e não somente direcionada e realizada pela Engenharia de Produto;
- Análise dos pontos de melhorias apontados no capítulo 4 deste trabalho;
- Avaliação e desenvolvimento de melhorias nos processos de montagem com a aplicação de adesivos fluídos como silicone e outros;

- Utilização de detalhes referenciais para processos nas documentações técnicas do produto como o verificado por montadoras de automóveis com o objetivo de facilitar o posicionamento das chapas nas diversas operações do processo.

Sugere-se também, da mesma forma, com o objetivo de criar um maior entendimento sobre os assuntos abordados, novos trabalhos científicos tais como:

- Análise de outros pontos de melhorias apontados no capítulo 4 deste trabalho, tais como o sistema de ventilação de ar quente, iluminação, limpeza externa, comandos eletrônicos e outros, a partir da aplicação do modelo proposto;
- Análise da montabilidade em outros produtos com características diferentes daquele aqui estudado;
- Análise das vantagens e desvantagens da inclusão de captura de superfícies através de sistemas informatizados;
- Influência do *layout* no processo produtivo com base no desenvolvimento de produtos.

## Capítulo 6 - Referências

- 3M website. **A NOTE-able Achievement**. Disponível em: <[http://www.3m.com/us/office/postit/pastpresent/history\\_ws.html](http://www.3m.com/us/office/postit/pastpresent/history_ws.html)> Acesso em: 12 dez. 2006.
- AGOSTINHO, O. L. **Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões**, São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 312 p.
- AKAO, Y.; MAZUR, G. H. **The leading edge in QFD: past, present and future**. International Journal of Quality & Reliability Management. Vol. 20, No.1, p.20-35, 2003.
- ANQUETIL, N. **Engenharia Reversa**. Disponível em: <<http://www.mestradoinfo.ucb.br/prof/anquetil/disciplinas.html>> Acesso em: 04 nov. 2006.
- APPLETON, E.; GARSIDE, J.A. **A team-based design for assembly methodology**. Assembly Automation, Vol.20, No.2, p.162-169, 2000.
- BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1983.
- BARIANI, P. F.; BERTI, G. A.; LUCCHETTA, G.. **A combined DFMA and TRIZ approach to the simplification of product structure**. Engineering Manufacture, Vol. 218, Part B, p.1023-1027, 2004.
- BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2ª edição. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 263p, 1998.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.. Boothroyd and Dewhurst Website. Disponível em: <<http://www.dfma.com>>. Acesso em 12 dez. 2005.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, P. **Product Design for Manufacture and Assembly**, 1 ed., [S.l.:s.n.], 1989.
- BOOTHROYD, G., DEWHURST, P., KNIGHT, P., **Product Design for Manufacture and Assembly, second edition, revised and expanded**, 2 ed., Loan Marinescu, Ohio, 670p, 2002.
- BRAGA, T. V. **Engenharia Reversa e Reengenharia**. Material da disciplina de Engenharia de Software. Disponível em <<http://www.inf.ufpr.br/silvia/ES/reengenharia/reengenharia.pdf>> Acesso em 14 ago. 2006.
- BRALLA, J. G. **Design for manufacturability Handbook**, 2 ed. McGraw-Hill, Boston, 1999, (International Edition - Rev.de: Handbook of product design for manufacturing-1986).

- CAMPOS, V. F. **TQC - Controle da Qualidade Total (no Estilo Japonês)**, 7ª edição, Editora Bloch. Rio de Janeiro, 217p, 1992.
- CARVALHO, M. A.; BACK, N.. **Rumo a um Modelo para a Solução Criativa de Problemas nas Etapas Iniciais do Desenvolvimento de Produtos.** Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, São Carlos, SP, agosto-2000.
- CATAPAN, M. F.; FORCELLINI, F. A.; FERREIRA, C.V. **Recomendações do projeto preliminar em componentes de plástico injetados para a definição da forma de utilizando o DFMA.** V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - Curitiba, 2004
- CHIABERT, P.; LOMBARDI, F.; ORLANDO, M. **Benefits of geometric dimensioning and tolerancing.** Journal of Materials Processing Technology. Vol.78, p.29–35, 1998.
- CHIUSOLI, R. F. Z.; TOLEDO, José Carlos de **Engenharia Simultânea: Estudo De Casos Na Indústria Brasileira De Autopeças.** Anais do II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, São Carlos, SP, agosto-2000.
- COMA, O.; MASCLE, C.; VÉRON, P. **Geometric and form feature recognition tools applied to a design.** A Computer-Aided Design, Vol. 35, p.1193–1210, 2003
- COSTA, J. E.; SILVA, M. R. **Reprojeto de um produto fundamentado no design for assembly.** Trabalho de Diploma, Universidade Federal de Itajubá, 2004.
- DAABUB, A. M. ; ABDALLA, H. S. **A Computer-based Intelligent System for Design for Assembly.** Computers & Industrial Engineering Vol.37, p111-115, 1999.
- DALGLEISH, G. F. ; JARED, G. E. M. ; SWIFT, K. G., **Design for assembly: influencing the design process,** Journal of Engineering Design, Vol. 11, No.1, p17–29, 2000
- DIAS, A. B. **Engenharia Reversa: uma porta ainda aberta.** Produto & Produção, Porto Alegre. Vol. 2, n. 1, p1-7, fev. 1998.
- DORF R. C., KUSIAK A. **Handbook of Design, Manufacturing and Automation,** New York, John Wiley & Sons, Inc, 1994. 1042 p.
- DUFOUR, C. A. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégias de melhoria constante.** 1996.116p. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, Setembro 1996.

EISENHARDT, K. M. **Building theories from case study research**. The Academy of Management Review, Vol. 14, No. 4, Oct. 1989, p. 532-550.

Exame (revista), edição 885, São Paulo, Fevereiro de 2007, edição especial.

Exame (revista), edição 703, São Paulo, dezembro de 1999, p. 111.

FABRICIUS, F. **A seven step procedure for Design for Manufacture**. World Class Design to Manufacture , Vol. 1, No. 2, p.23–30, 1994.

FEDERICI, L. **Reverse Engineering: An overview of the options**. Disponível em <<http://www.scansite.com/reverse.html>> , acesso em outubro/2006.

FERNEDA, A. B. **Integração metrologia, CAD e CAM: uma contribuição ao estudo de Engenharia Reversa**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Eng. Mecânica, USP, São Carlos, 1999.

FERREIRA, J.M.; ALVES, N. M. F.; MATHEUS, A. J. S. e CUSTÓDIO, P. M. C. **Desenvolvimento integrado de produtos e ferramentas por metodologias de Engenharia Inversa e técnicas de prototipagem rápida**. III Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto Florianópolis, Setembro de 2001.

FERROLI, P. C. M.; FERROLI, R. H.; FIOD, M. N.; LIBRELOTTO, L. I. **O QFD Auxiliando o Projeto de Novos Produtos nas Organizações em Aprendizagem**. Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2004.

FISHER, R. B. **Applying knowledge to reverse engineering problems**. A Computer-Aided Design, Vol. 36, p.501–510, 2003.

FREIXO, O. M. **Incorporação da gestão dos custos do ciclo de vida ao processo de desenvolvimento do produto da EMBRAER**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GURGEL, F. A. **Administração do produto**. 2ª edição. Editora Atlas, São Paulo, 537p, 2001.

HARMSSEN, H. GRUNERT, K. G. e BOVE, K. **Company competencies as a network: the role of product development**. Journal of Product Innovation Management. Elsevier Science Inc. Vol. 17 pp. 197-2007, 2000.



HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. **Design is a team effort but how do marketing and engineering talk to each other? House of quality**, Harvard Business Review, may-jun, p63-73, 1988.

Horta, L. C.; Rozenfeld, H. (1999) – **Design For Manufacturing and Assembly**, <[http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/dfma\\_v2.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/dfma_v2.html)>. Acesso em 10 out. 2006.

HSIAO, S. W.; CHUANG, J. C. **A reverse engineering based approach for product form design**. Design Studies. Vol. 24, No. 2, p.155–171, 2003

HUANG, G.Q.; MAK, K.L. **A survey report on design for manufacture in the UK furniture manufacturing industry**. Integrated Manufacturing Systems, Vol. 9, No. 6, p383-387, 1998.

HUANG, G.Q.; MAK, K.L. **Design for manufacture and assembly on the Internet**. Computers in Industry. Vol. 38, p17-30, 1999.

INGLE, K. A. **Reverse Engineering**. McGraw-Hill, New York, 1994, 240p.

JI, P.; LAU, K. H. **Design for manufacturing: a dimensioning aspect**. Journal of Materials Processing Technology Vol. 91, p.121–127, 1999

KIM, G. J. **Case-based design for assembly**, Computer-Aided Design. Vol. 29. No 7, p.497-506, 1997.

LIMA, C. B. **Engenharia Reversa e prototipagem rápida - Estudos de casos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Eng. Mecânica, UNESP, Campinas, 2003.

LOWE, A.; RIDGWAY, K. ; ATKINSON, H. **QFD in new production technology evaluation**. Interntional Journal of Production Economics , Vol. 67, p103-112, 2000.

McEVILY, A.J. **Reverse engineering gone wrong: A case study**. Engineering Failure Analysis Vol. 12, p.834–838, 2005.

MURY, L. G. M. **Adaptação de produtos para mercados diferenciados a partir da engenharia reversa**. III Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto Florianópolis, Setembro de 2001.

MURY, L. G. M. **Uma metodologia para adaptação e melhoria de produtos a partir da Engenharia Reversa**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Eng. Produção, UFRGS, Porto alegre, 2000.

- NKASU, M. M. ;LEUNG, K. H. **Computer-Integrated manufacturing assembly system design**. Integrated Manufacturing Systems. Vol. 6, No. 6, p4-14, 1995.
- NOGUEIRA, T. B. R. ; LEPIKSON, H. A. **Um método de engenharia reversa para projeto de produto mecatrônico aplicado à pequena e média empresa** Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENECEP), 2006.
- O'DRISCOLL, M. **Design for manufacture**. Journal of Materials Processing Technology. Vol.122, p318–321, 2002.
- OGLIARI, A. **Sistematização da Concepção de Produtos Auxiliado por Computador com Aplicações no Domínio de Componentes de Plástico Injetado**. Tese de Doutorado, Florianópolis. SC. PPGEM. UFSC, 1999.
- OTTO, K.; WOOD, K. **Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology**, Research in Engineering Design, v10, n. 4, p.226-243, 1998.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6 ed, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 432p. 2005.
- PARKER, M. **Breathing easier with dfma**. World Class Design to Manufacture. Vol. 2, No. 6, p.17-20, 1995.
- PEREIRA, M. W.; MANKE, A. L. **MDPA – Uma metodologia de desenvolvimento de produtos aplicado à Engenharia Simultânea**. III Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Florianópolis, Setembro de 2001
- PERES, D. R.; ÁLVARO, A.; FONTANETTE, V; GARCIA, V.C.; PRADO, A.F.P. **Padrões de Processo para a Engenharia Reversa baseado em Transformações**. The Third Latin American Conference on Pattern Languages of Programming - SugarLoafPloP 2003, Porto de Galinhas, Novembro de 2003
- PORTER, M. E. **What is strategy?** Harvard Business Review. November-december, 1996.
- ROZENFELD, H et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. Ed. Saraiva, São Paulo, 2006. 542 p.
- SHAHIN, Arash. **Integration of FMEA and the Kano model An exploratory examination**. International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 21, No. 7, p.731-746, 2004.

- SILVA, C. E. S.; FIOD, M. N. **Planejamento da Engenharia Simultânea**. Anais do II SIMPOI. São Paulo: FGV, p. 385-392, 1999
- SILVA, C. E. S.; ULBRICHT, V. R.; FIOD, M. N. **A importância da criatividade no contexto emergente do desenvolvimento de produtos**. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP-1998).
- SILVA, C.E.S.; FERNANDES, C. E; ARTHUR, R.; DINIZ, S.; ALMEIDA, B.F. **O Potencial da engenharia reversa como meio de obtenção de tecnologia de produto e processos em pequenas e médias empresas**. XII SIMPEP. Bauru, SP, 2005
- SILVA, C. E. S. **Método para avaliação do desempenho do processo de desenvolvimento de produtos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- SOKOVIC, M. KOPAC, J. **RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development**. Journal of Materials Processing Technology Vol. xx, p.1–6, 2005
- SOUZA, J. F.; SILVA, C. E. S.; MELLO, C. H. P. **Desenvolvimento de produtos aplicando técnicas de Projeto para Montabilidade (DFMA) em uma abordagem de Engenharia Reversa (ER)**. XIII SIMPEP. Bauru, SP, 2006.
- SUGAI, M. **A Avaliação do Impacto do MTM (Methods-Time Measurement) em uma empresa Metal-Mecânica**. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003, 100p. Dissertação (Mestrado).
- VALENTOVICĚ, Ernest. **Geometric and static conditions of assembly**. Assembly Automation. Vol. 20, No. 3, p.233-236, 2000.
- VENTURI, J. J. **Arquimedes: “EUREKA, EUREKA”**. Disponível em <[www.geometriaanalitica.com.br](http://www.geometriaanalitica.com.br)>; acesso em 20 out. 2006.
- VOSS, C; TSIKRIKTSIS, N; FROHLICH, M. **Case research in operations management**. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, No. 2, 2002, p. 195-219.
- WEBER, Austin. **Robotic screwdriving**. ProQuest Science Journals, Vol.48, No.11, p.38-47, 2005.
- YIN, R. **Estudo de caso. Planejamento e métodos**. 2ª edição, Bookman, Porto Alegre/RS, 2001.

YOUSSEF, M. A. **Design for manufacturability and time-to-market Part 1: Theoretical Foundations.** International Journal of Operations & Production Management, Vol.14, No.12, p.6-21, 1994.

YOUSSEF, M. A. **Design for manufacturability and time-to-market Part 2: some empirical findings.** International Journal of Operations & Production Management, Vol.15, No.1, p.6-23, 1995.

## **Anexos**

# ANEXO A

Proposta de formulário para análise de ER

## FOLHA DE PRE-AVALIAÇÃO PARA RECOMENDAÇÃO

Num.  
Data

dados componente

COD.

COMPLEMENTO

Descrição

Compon.  elétrico  eletrônico  mecânico

Outro

dados técnicos disponíveis

Desenho detalhado

Revisão

Restrições

Manuais técnicos especificações técnicas

Resumo do conteúdo de informações disponíveis

Fatores econômicos

Custo unitário:

Meta de custo unitário

Custo anual

Custo ciclo de vida(CCV)

Economia no CCV

Custo projetado com RE

Fatores logísticos

Consumo anual

Remaneceste para Ass. Técnica

Ativo disponível

Consumo no Ciclo de vida

População total de peças

Taxa de reposição

Retorno de Investimento(ROI) projetado

ROI =  $\frac{CCV - \text{Custo RE}}{\text{Custo RE}}$

Determinação do tipo de projeto

Comparação de produto  Dados para Reforço  Dados para desenvolvimento

Fatores Críticos para o projeto

Complexidade técnica (1-simples 5-complexo)

Nível de elaboração (1-pobre 5-excelente)

Demais recomendações

Proceder para o estágio 1

sim

não

Número de amostras necessárias

Operacionais

Não operacionais

Outros

Prioridades do projeto e assinaturas:

## **ANEXO B**

### Roteiro de entrevista

- 1- Você acredita que a Engenharia de produto, responsável normalmente pela criação de desenvolvimento de novos produtos, deva ter um relacionamento direto com a produção? Ou a produção deve ter capacidade suficiente para conseguir determinar as operações necessárias para a manufatura e montagem.
- 2- Você considera que o desenvolvimento de um novo produto realizado de forma conjunta entre a Engenharia de Produto e a Engenharia de Processo possa gerar menos ocorrências de falhas no início de produção e necessidades de alterações no projeto?
- 3- Você acredita que a forma de desenvolvimento proposto conforme citado acima pode reduzir as necessidades de alterações no produto geradas pelas dificuldades de sua manufaturabilidade?
- 4- Você acredita que a Produção pode atingir novos limites de processamento de materiais, em quantidade e qualidade, com o afinamento deste relacionamento?
- 5- Como deve ser formada a equipe de desenvolvimento de um novo produto com relação às características dos seus componentes? Mais tecnicamente especializada no produto, no processo, na logística interna da empresa ou multifuncional?
- 6- Você acredita que é necessário o estabelecimento de indicadores e metas para o final de cada fase de desenvolvimento de produtos? Você conhece a rotina de desenvolvimento da empresa?
- 7- Quais são as características mais importantes para se medir e controlar no processo de desenvolvimento de produtos nestes pontos de checagem, custos, prazos, grau de inovação?
- 8- Você considera a Engenharia Reversa na realidade uma forma de simples cópia de um produto referência?
- 9- O modelo proposto considera a utilização de metodologias para a pesquisa das características do produto referência, inclusive com a utilização de equipamentos específicos, você acredita que ele somente pode ser aplicado a grandes empresas?
- 10- Você acredita que o modelo proposto pode contribuir na redução do tempo de desenvolvimento de produtos?