



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN E TECNOLOGIA  
PGDESIGN

**APLICAÇÃO DO DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) NO  
DESENVOLVIMENTO DO PROJETO CONCEITUAL DE UM  
DISPOSITIVO FUNCIONAL**

por

Alvaro Roberto Scur

Dissertação para obtenção do título de  
Mestre em Design

Porto Alegre, junho de 2009

**APLICAÇÃO DO DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) NO  
DESENVOLVIMENTO DO PROJETO CONCEITUAL DE UM  
DISPOSITIVO FUNCIONAL**

por

Alvaro Roberto Scur  
Engenheiro Mecânico

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Design, área de Concentração Design & Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do Grau de

Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Flávio José Lorini

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira

Prof. Dra. Tania Luisa Koltermann da Silva

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez

Prof. Dr. Wilson Kindlein Junior  
Coordenador do PGDESIGN

Porto Alegre, 29 de junho de 2009.

“Mesmo que eu possua o Universo,  
nada possuo,  
pois não posso conhecer o desconhecido  
se me aprisionar ao conhecido.  
(autor desconhecido)

Dedico esta dissertação às pessoas que, tanto nos momentos alegres como nos momentos difíceis de minha vida, sempre estiveram presentes, ensinando a arte de viver e motivando-me na hora de enfrentar desafios. Aos meus pais, em homenagem póstuma, aos meus irmãos e à minha filha, Martina Dillenburg Scur, orgulho de minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Flávio José Lorini, pelo incentivo, paciência e competência como educador e pesquisador, atributos que fizeram com que essa dissertação fosse concluída;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Design, área de Concentração Design & Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS – RS), por seus ensinamentos;

Aos Professores - Dr. Ney Francisco Ferreira, Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez e Dra. Tania Luisa Koltermann da Silva por suas valiosas sugestões para a conclusão do meu trabalho;

Ao Prof. Dr. Wilson Kindlein Junior (coordenador – PGDESIGN), por sua motivação e empenho na qualificação do curso;

Aos amigos Renato Fagundes e Fabio Farina pela troca de experiências e competência demonstrada na utilização de softwares 3D;

Ao amigo Eduardo Luis Schneider, pelo apoio, disponibilidade e por ter sido um dos principais incentivadores da idéia;

A Boxflex Componentes para Calçados Ltda pela cedência do dispositivo base (protótipo), que serviu como referência para o desenvolvimento desta pesquisa;

Aos meus amigos e colegas do curso de mestrado, pela amizade, pelo incentivo e aprendizado compartilhado.

## RESUMO

No contexto industrial atual, verifica-se que as organizações empresariais vêm buscando atualização na utilização de métodos e técnicas para o desenvolvimento de produtos. A busca incessante por tal atualização tem se justificado nos últimos anos em função da globalização da economia, na qual as empresas veem-se imersas em um cenário de alta demanda por qualidade, menor preço, menores prazos de lançamento do produto no mercado e menor permissibilidade na ocorrência de erros, fatores estes diretamente responsáveis por seus índices de competitividade. Este trabalho visa aplicar a metodologia denominada *Design for Assembly* (DFA) como ferramenta de auxílio no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional, com o objetivo de comprovar a eficácia de tal teoria em projetos industriais. Tal metodologia é utilizada no desenvolvimento de produtos, tanto em situações de inovação quanto em situações de *re-design*, visando facilitar as atividades dos operadores durante a montagem de um determinado produto. Através da simplificação da estrutura do projeto, eliminando componentes desnecessários, integrando partes e reduzindo o número de sistemas de junção, obteve-se, uma redução no número de peças, na massa e nas dimensões do dispositivo, causando, por consequência, um impacto nos custos de fabricação.

Palavras Chave: *Design for Assembly*, desenvolvimento de produtos, projeto de produto

## **ABSTRACT**

### **DESIGN FOR ASSEMBLY APPLICATION IN THE DEVELOPMENT OF THE CONCEPTUAL PROJECT OF A FUNCTIONAL DEVICE**

In the present industrial context, it is verified that business organizations are seeking for updates in the use of methods and techniques for the development of products. The continual search for updating has been justified lately because of the globalization of the economy, in which context the companies are located that requires a higher demand for quality, low cost, shorter periods for launching a product in the market and few possibilities of errors, factors which are directly responsible for their rates of competitiveness. This project aims to apply the methodology called Design for Assembly (DFA) as a helping tool in developing the conceptual project of a functional device, with the objective of proving the efficiency of this theory in industrial projects. This methodology is used in the development of products, both in situations of innovation as well as of re-designing, aiming at making the operators' duties easier when they assembly a product. Through the simplification of the project's structure by the elimination of unnecessary components, the integration of pieces and the reduction in the number of junction systems, was obtained a reduction in the number of pieces, in the mass and in the device dimensions, thus causing an impact on the production costs.

Key-words: Design for Assembly, product development, product project

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras</b> .....	x
<b>Lista de Tabelas</b> .....	xi
<b>Lista de Siglas, Abreviaturas e Símbolos</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 Contextualização do Tema .....	13
1.2 Delimitação do Tema .....	17
1.3 Problema de Pesquisa.....	17
1.4 Objetivos .....	17
1.4.1 Objetivo Geral .....	17
1.4.2 Objetivos Específicos .....	17
1.5 Justificativa.....	18
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
2.1 Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP) .....	21
2.1.1 A Engenharia Simultânea no processo de desenvolvimento de produtos .....	25
2.1.1.1 Definição de Engenharia Simultânea .....	25
2.1.1.2 Comparação entre a Engenharia Tradicional e Simultânea .....	27
2.1.1.3 O processo de projeto com práticas utilizadas na Engenharia Simultânea .....	29
2.2 Visão genérica das metodologias de projeto .....	37
2.3 A influência das informações de projeto no processo produtivo .....	40
2.4 <i>Design for Manufacture and Assembly</i> (DFMA).....	42
2.4.1 O processo de projeto usando o DFMA .....	47
2.4.2 Vantagens da aplicação do DFMA durante a elaboração do projeto do produto.....	48
2.5 <i>Design for Assembly</i> (DFA) .....	49
2.5.1 O Projeto orientado para montagem manual.....	52
2.5.1.1 Orientações de projeto para manuseio de peças.....	52
2.5.1.2 Orientações de projeto para inserção e fixação de peças na montagem.....	53
2.5.2 Método Boothroyd-Dewhurst e o cálculo do número mínimo de peças.....	54
2.6 Método intuitivo para geração de concepções de produto – MESCRAI .....	55



<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	57
3.1	Introdução.....	57
3.2	Métodos e Procedimentos .....	57
<b>4</b>	<b>UTILIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DFA NO DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO VIRTUAL</b> .....	59
4.1	Introdução.....	59
4.2	Desenvolvimento do projeto conceitual I – primeiro modelo.....	59
4.2.1	Início do desenvolvimento .....	59
4.2.2	Análise e avaliação do dispositivo base (protótipo).....	59
4.2.2.1	Análise das funções do produto .....	61
4.2.2.2	Lista de verificação do produto com avaliação do dispositivo base .....	61
4.2.3	Apresentação do projeto conceitual I – primeiro modelo .....	63
4.3	Desenvolvimento do projeto conceitual II – segundo modelo.....	68
4.3.1	Cálculo do número mínimo de peças pelo método Boothroyd-Dewhurst .....	68
4.3.2	Apresentação do projeto conceitual II – segundo modelo .....	70
4.4	Resultados finais do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II.....	75
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b> .....	77
5.1	Conclusões .....	79
5.2	Sugestões para a sequência da pesquisa.....	79
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	81
	<b>ANEXOS</b> .....	86
	Anexo 1 - Checklist para projeto de peças de plástico de engenharia moldadas por injeção .....	86
	Anexo 2 - Checklist para projeto de peças de plástico de engenharia moldadas por injeção .....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto.....	19
Figura 1.2 - Influências sobre o custo do produto.....	20
Figura 1.3 - Efeito de escala de custos de mudanças do produto nas diversas fases de desenvolvimento.....	20
Figura 2.1 - Típico processo de desenvolvimento de produtos.....	24
Figura 2.2 - Fluxo Típico da Engenharia Sequencial.....	27
Figura 2.3 - Fluxo Típico da Engenharia Simultânea .....	27
Figura 2.4 - Bicos de mangueira para jardim .....	30
Figura 2.5 - Diferentes materiais poliméricos .....	32
Figura 2.6 - Peças com modificação na geometria em função da manufatura.....	35
Figura 2.7 - Ilustração da abordagem “Por cima do muro” .....	44
Figura 2.8 - DFMA encurta o processo de projeto .....	45
Figura 2.9 - Efeitos do DFMA e ES sobre o custo dos produtos da <i>Hewlett Packard</i> .....	46
Figura 2.10 - O processo de DFMA .....	47
Figura 2.11 - Pesquisa sobre a importância das reduções causadas pelo DFMA .....	48
Figura 2.12 - Comparação entre os métodos de montagem .....	51
Figura 4.1 - Dispositivo base (protótipo) .....	60
Figura 4.2 - Perspectiva isométrica do dispositivo funcional – projeto conceitual I.....	64
Figura 4.3 - Perspectiva explodida do dispositivo funcional – projeto conceitual I.....	64
Figura 4.4 - Relação das peças que compõe o dispositivo funcional – projeto conceitual I.....	65
Figura 4.5 - Perspectiva explodida do dispositivo funcional – projeto conceitual II.....	72
Figura 4.6 - Relação das peças que compõe o dispositivo funcional – projeto conceitual II ....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Exemplo de avaliação semi-quantitativa.....	34
Tabela 2.2 - Questões instigadoras do método MESCRAI.....	56
Tabela 4.1 - Lista de verificação com as características principais para avaliação do produto ..	62
Tabela 4.2 - Resumo dos resultados finais do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II.....	76

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

UFRGS:	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
DFMA:	<i>Design for Manufacture and Assembly</i> – Projeto para a manufatura e montagem
DFA:	<i>Design for Assembly</i> – Projeto para a montagem
DFM:	<i>Design for Manufacture</i> – Projeto para manufatura
DFX:	<i>Design for X</i> – Projeto para “X” objetivos
PDP:	Processo de desenvolvimento de Produtos
FEA:	<i>Finite Element Analysis</i> – Análise por elementos finitos
ASME:	<i>American Society of Mechanical Engineers</i> - Sociedade Norte-americana de Engenheiros Mecânicos
ES:	Engenharia Simultânea
CAD:	<i>Computer aided Design</i> - Projeto Assistido por Computador
CAE:	<i>Computer aided Engineering</i> - Engenharia Auxiliada por Computador
CAM:	<i>Computer aided Manufacturing</i> - Manufatura Auxiliada pela Computação
CAPP:	<i>Computer aided Process Planning</i> – Planejamento do Processo Assistido por computador
PDM:	<i>Product data management</i> – Gerenciamento de dados do Produto
QFD:	<i>Quality Function Deployment</i> – Desdobramento da Função Qualidade
FMEA:	<i>Failure mode and effects analysis</i> – Análise de modos e efeitos de falhas
P&D:	Pesquisa e Desenvolvimento
HDPE:	<i>High density Polyethylene</i> – Polietileno de alta densidade
PP:	<i>Polypropilene</i> - Polipropileno
PA 6.6:	<i>Polyamida 6.6</i> – Poliamida 6.6
HP:	<i>Hewlett Packard</i>
NCR:	<i>National Cash Register Company</i> – Companhia Nacional de Caixas Registradoras
CLP:	Controlador Lógico Programável
MESCRAI:	Modificar; Eliminar; Substituir; Combinar; Rearranjar; Adaptar e Inverter
DIN:	<i>Deutsches Institut für Normung</i> – Instituto Alemão de Normatização
JIS:	<i>Japanese Industrial Standards</i> – Normatização da Indústria Japonesa
PERT:	<i>Program Evaluation and Review Technique</i> – Técnica de Avaliação e Revisão de Projetos
CPM:	<i>Critical Path Methodo</i> – Método do Caminho Crítico
mm:	Milímetro

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização do tema

O cidadão, atualmente, é um cidadão global, não importa se analisada a questão sob o âmbito político, econômico, social ou cultural. Este consumidor globalizado está cada vez mais exigente com relação aos produtos que consome, porém as empresas encontram dificuldades em atender a essa nova perspectiva de consumo, cujas decorrências têm alcance econômico, social e político.

Segundo Meneghelli (2005), o cidadão global ou consumidor global é aquele indivíduo que busca produtos globais fornecidos por empresas globalizadas, e estas, procuram atender ao novo perfil do consumidor, prestando atendimento personalizado, tratando-o como se fosse o único cliente.

Segundo Christopher (2002), uma empresa global é mais que uma empresa multinacional, onde os materiais e componentes são adquiridos no mundo inteiro, fabricados no exterior e vendidos em muitos países diferentes. A empresa global procura obter vantagem competitiva pela identificação dos mercados mundiais para seus produtos e pelo desenvolvimento de uma estratégia de fabricação e logística para apoiar sua estratégia de *marketing*. O autor define ainda o produto global, como sendo aquele produto que possui forte tendência de padronização mundial, com possibilidades de pequenas adaptações ou adequações locais. Os produtos globais utilizam canais logísticos globais, onde as empresas, de acordo com a conveniência, se utilizam de terceiros para o gerenciamento da distribuição e mesmo para o acabamento final do produto.

Neste sentido, compreender e posicionar-se diante dos problemas é um instigante desafio e serve também como base para a transformação desse contexto no aprimoramento e desenvolvimento científico-tecnológico. Como uma questão de tomada de consciência de indivíduo como ser social, inserido nesse meio que exige a quebra de paradigmas para a solução dos problemas que surgem no meio produtivo com uma maior visão sistêmica, buscaram-se teorias para a construção de um produto em estrita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais.

A inserção da política de blocos e das estruturas regionais de comércio como o Mercosul, Pacto Andino, Nafta, União Européia, Tigres Asiáticos e outros em que estão imersos a maioria dos países, entre eles o Brasil, mudou o cenário econômico, comercial e social ao redor do mundo e proporcionou para suas empresas e para seus cidadãos o contato necessário com o mundo externo. Ao mesmo tempo em que, numa economia globalizada, surge a oportunidade de expansão dos mercados, também as empresas passam a enfrentar a ameaça da concorrência internacional, com concorrentes altamente qualificados, capitalizados e com grande experiência frente aos mercados mundiais.

Os conflitos entre as concepções de abertura e fechamento comercial são antigos, conforme observado no discurso de Karl Marx, datado de 1848.

Sem dúvida, se o preço de todas as mercadorias cai, e esta é a consequência necessária do livre comércio, eu poderei comprar, com a mesma quantidade de dinheiro, muito mais coisas do que anteriormente. E o dinheiro do trabalhador vale tanto quanto o de qualquer outro. Portanto o livre comércio está bastante vantajoso para o trabalhador. De forma geral em nossos dias, o sistema protecionista é conservador, enquanto o sistema de livre comércio é progressista. (Marx, 1848 *apud* Stortti, 1995, p.7)

Segundo Stortti (1995), desde o final da Segunda Guerra Mundial, há um novo consumo que tem criado categorias novas - empresa nacional, empresa internacional, multinacionais e transnacionais, marketing de massa, marketing de produto, segmentação de mercado, nichos de mercado e, hoje, a era do cliente. As empresas, para aumentar o mercado consumidor, começaram a desenvolver linhas de comunicação não mais restritas a uma cidade ou a um país, mas objetivando atingir o mundo ou, ao menos, o mundo ao seu alcance.

Em decorrência deste consumidor globalizado, surgem as empresas globalizadas que, geram produtos globalizados, a exemplo das grandes cadeias de *fast food*, dos cartões de crédito, dos serviços bancários, das marcas de tênis, das grandes grifes, dos automóveis etc.

O produto global é, portanto, uma constante na vida de qualquer pessoa, quer esteja na América do Sul, na África, na Europa ou na Oceania.

Por sua vez, a tecnologia estabelece processos de produção semelhantes, independentemente do país onde esteja a empresa que industrializa este ou aquele

produto. Com isso houve, inevitavelmente, a incorporação de hábitos de consumo que passaram a ser globais e padronizados.

Segundo Levitt (1990 *apud* Kotler, 1996), ainda por conta da padronização de produto, o mesmo aconselharia uma empresa automobilística a fabricar um carro mundial, uma empresa de xampu a fabricar um xampu mundial, e uma empresa de equipamentos de construção a fabricar um trator mundial. É importante lembrar que alguns produtos globais, dependendo do caso, podem exigir algumas adaptações. A padronização global reduz custos, leva a preços mais baixos e faz com que um número maior de bens seja adquirido por consumidores sensíveis a preço, porém estas suposições são questionáveis. Uma empresa precisa pensar em termos de receita incremental *versus* custo incremental. Em vez de assumir que seu produto original pode ser lançado sem modificação em outro país, a empresa deve avaliar todos os elementos de adaptação possíveis e determinar quais deles acrescentariam maior receita do que custos.

Neste contexto globalizado e altamente competitivo, se considerados o fator humano, máquinas e equipamentos, processos, *layout*, tecnologia e logística, pode-se afirmar que as empresas se tornaram relativamente mais complexas.

Segundo Casarotto *et al.* (1999), a complexidade das empresas modernas provocou um aumento considerável na quantidade e complexidade das decisões administrativas. Princípios tradicionais de administração, desenvolvidos após a revolução industrial, hoje são insuficientes para resolver os problemas de decisão com que os administradores se defrontam. Além disso, se, por um lado, as conquistas tecnológicas podem ser assimiladas por meio de um esforço técnico, por outro lado, as técnicas gerenciais modernas exigem maior nível de adaptação, de forma a se adequarem ao ambiente sócio-econômico em que são aplicadas, o qual, por sua própria natureza, é extremamente dinâmico. Esse ambiente dinâmico no qual a empresa moderna está inserida requer valorização das funções administrativas de planejamento e controle para seu gerenciamento eficaz, reduzindo a incerteza e avaliando riscos.

Oliveira (1986 *apud* Casarotto *et al.* 1999) define planejamento como um processo desenvolvido pela empresa para o alcance de uma situação desejada, de modo mais eficiente e efetivo, com a melhor concentração de esforços e recursos disponíveis,

que pressupõe a necessidade de um processo decisório que ocorrerá antes, durante e depois de sua elaboração e implementação. O planejamento é uma atividade complexa que visa à determinação de estados futuros desejados e à avaliação de ações alternativas para que tais estados sejam alcançados, dentro de um contexto ambiental interdependente e mutável. Verifica-se assim o íntimo relacionamento entre planejamento e controle. Controlar é medir, avaliar e corrigir ações para garantir que os estados futuros planejados sejam efetivamente alcançados.

No que diz respeito à gerência de projetos, seja projeto de produtos ou processos, enfatiza-se também, a relevância do conceito sistêmico para a moderna administração científica. O conceito sistêmico, em termos gerais, faz com que a organização seja considerada como um sistema composto por partes, cada uma com suas próprias metas. Para que as metas globais da organização sejam alcançadas, se faz necessário que seus interlocutores, além de visualizar todo o sistema, compreendam e meçam as inter-relações entre as partes, integrando-as de forma eficiente. Pelo exposto, constata-se que as empresas, preocupadas em lançar produtos novos ou mesmo inovações significativas em produtos já consolidados no mercado, necessitam, para poder sobreviver e competir neste mercado globalizado, modernizar-se, não só em termos técnicos, mas também em termos administrativos.

Cada empresa, dependendo de seu porte, capacidade de flexibilização, tipo ou ramo de atividade, deve eleger a forma e a velocidade com que proverá sua modernização.

Segundo Baxter (2000), recentemente a pressão inovadora cresceu muito e, com o lançamento cada vez maior dos produtos globalizados, aumentou também a pressão competitiva que vem do exterior. O tempo gasto para o lançamento de um novo produto no mercado pode significar o sucesso ou mesmo o insucesso de uma organização.

A empresa pioneira no lançamento de um novo produto tem melhores condições de estabelecer preços que permitam adequado retorno sobre os custos de desenvolvimento, bem como de assegurar maior fatia do mercado.



## **1.2 Delimitação do tema**

Paralelamente aos desafios impostos pela globalização da economia, verifica-se que a competição entre as empresas, em nível mundial, aumentou consideravelmente. Os produtos ou parte deles podem ser fabricados em qualquer lugar do planeta e, por consequência, serem comercializados também em qualquer lugar do planeta. De uma forma geral, hoje, os mesmos são pesquisados, projetados, fabricados e testados para que rapidamente possam ser colocados no mercado consumidor, com um ciclo de vida cada vez menor.

A partir do exposto, a pesquisa delimita-se quanto à necessidade de reestruturação e modernização das empresas visando à utilização da metodologia denominada *Design for Assembly*, na fase do projeto conceitual de desenvolvimento de produto.

## **1.3 Problema de pesquisa**

Como obter melhorias no processo de desenvolvimento de novos produtos industriais a partir de um processo de projeto conceitualmente fundamentado na metodologia projetual e amparado pelo “*Design for Assembly*”?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo principal propor um projeto conceitual utilizando os conceitos de *Design for Assembly*, no desenvolvimento de um dispositivo especial com a função de transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Investigar a Fundamentação Teórica relativa a *Design for Assembly* e as relações com o Processo de Desenvolvimento de Produtos.

Analisar dispositivos similares existentes no mercado, com o objetivo de subsidiar a proposta do novo produto.

Planejar o modelo conceitual do dispositivo funcional, levando em conta os conceitos do *Design for Assembly*, (DFA), visando à diminuição do número de componentes e facilitando a montagem.

Investigar dispositivos de união e fixação do tipo *Snap-Fit*<sup>1</sup>, no desenvolvimento e simulação da proposta.

## 1.5 Justificativa

O modelo produtivo atual de bens pode ser uma força geradora de erros, potencializada pela não utilização correta das técnicas existentes no campo do desenvolvimento de produtos. Estes erros se tornam visíveis a todos ao analisar-se a peça final, a qual, uma vez fabricada, não permite mais ajustes significativos.

O desenvolvimento das técnicas de Administração da Produção e de Engenharia de Produção permitiu a redução dos custos de fabricação e a redução dos custos associados a tarefas administrativas, mas não atingiu em especial os tempos de desenvolvimento do produto e de elaboração do projeto do produto. Em face da tendência de crescente redução no ciclo de vida dos produtos em decorrência da demanda incessante do mercado por inovações, para manterem-se competitivas, as empresas vêm-se pressionadas a estar na vanguarda em novos lançamentos. Reduzir o prazo para o desenvolvimento dos produtos torna-se tão ou talvez mais importante quanto reduzir os custos dos projetos, tornando importante o emprego de novas técnicas associadas ao processo de inovação com soluções viáveis para a utilização racional da energia, diminuição do lixo tóxico no planeta, diminuindo o custo energético e operacional na

---

<sup>1</sup> *Snap-Fit* é um engastamento ou um mecanismo de junção integral para unir uma parte à outra. Eles são comumente associados com peças de material plástico. O método de união por *Snap-Fit* é diferente do método de união por entrelassamento ou químico. Ele não exige peças adicionais, materiais ou ferramentas para efetivar a função de unir. Fonte: Bonenberger (2005).

fabricação de novos produtos com forte tendência de investimento em produtos com requisitos de sustentabilidade.

Segundo Back *et al.* (2008), hoje em dia, estão superadas as visões econômicas tradicionais que definiam a competitividade como uma questão de preços, custos e taxas de câmbio. A figura 1.1 destaca as primeiras fases do projeto do produto e ainda pode ser útil para uma análise do processo de projeto, sob um ponto de vista atual. O custo do produto fica praticamente comprometido com as tomadas de decisão nas primeiras fases do ciclo de vida, isto é, até concluir o projeto detalhado, e que, como já abordado por outros autores, isto representa 70% ou mais do custo do produto.

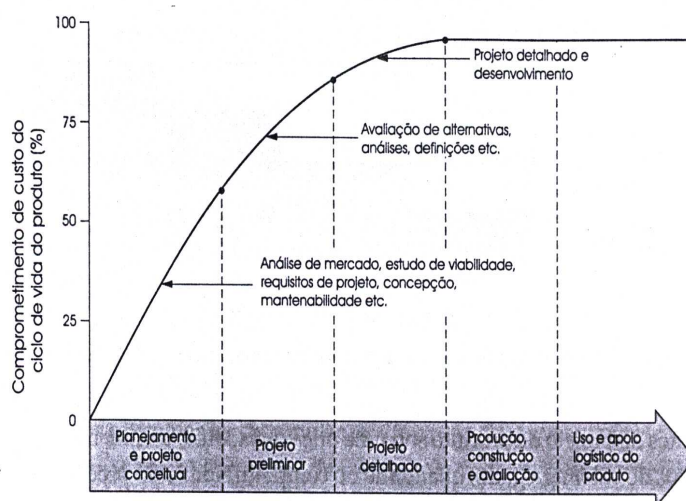


Figura 1.1 - Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto.

Fonte: Downey, (1969) *apud* Back *et al.* (2008)

Outra observação feita pelos autores está representada na figura 1.2, que mostra as influências sobre o custo do produto devido às decisões tomadas referentes ao projeto, ao material, à mão de obra e às instalações. Os autores relatam que o custo do projeto é da ordem de 5%, mas o efeito de decisões tomadas nesta fase afeta 70% do custo total do produto.

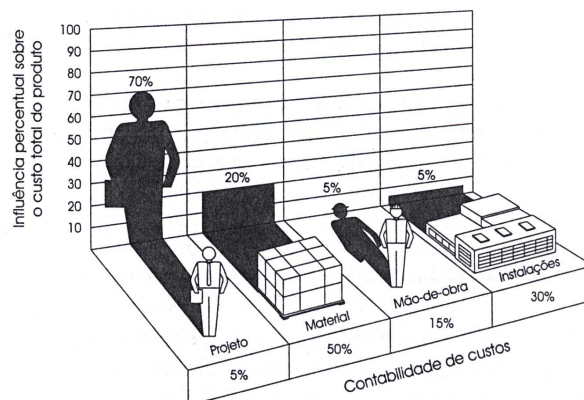


Figura 1.2 - Influências sobre o custo do produto.  
Fonte: Smith e Reinertsen, (1991) *apud* Back *et al.* (2008).

Em outra análise, os autores ilustram na figura 1.3 a importância da atividade de desenvolvimento de produto. Indica que mudanças a serem feitas, se necessárias, custam muito pouco no início do desenvolvimento, mas, à medida que o processo vai avançando nas diferentes fases, esse custo poderá alcançar um fator dez vezes superior em relação à fase anterior.

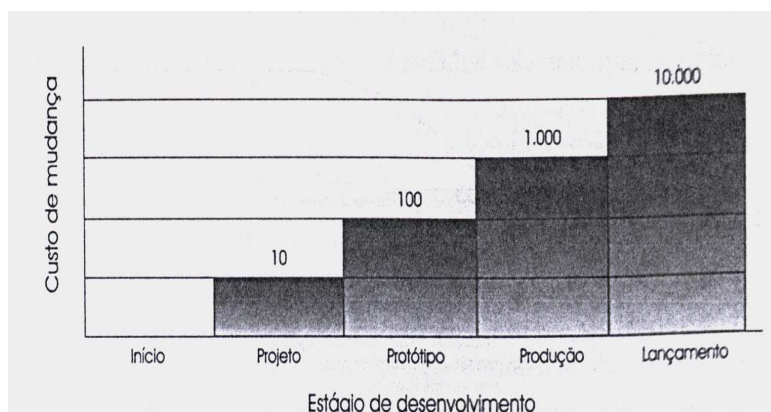


Fig.1.3 - Efeito de escala de custos de mudanças do produto nas diversas fases de desenvolvimento. Fonte: Huthwaite e Schneberger, (1992) *apud* Back *et al.* (2008)

Em face ao exposto, surge a necessidade da utilização de técnicas que propiciem um ganho em termos de tempo de manufatura, tempo de lançamento do produto no mercado, custos produtivos, custo energético em relação aos processos de fabricação e que ao mesmo tempo tenha uma perspectiva de sustentabilidade com relação ao meio ambiente.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

Conforme Pahl & Beitz *et al.* (2005), é difícil apurar a verdadeira origem do projeto metódico. Ventila-se uma hipótese da origem, nos projetos do gênio universal Leonardo da Vinci. Leonardo variava sistematicamente uma solução baseada em critérios próprios.

Ainda segundo os autores, os trabalhos de *Redtenbacher* (1852) e *Releaux* (1854), estão entre as primeiras citações sobre projeto sistemático de produtos. Esses autores propuseram, entre outras colocações, alguns princípios básicos para projeto, que ainda hoje possuem relevância, tais como: projetar sistemas com suficiente resistência e rigidez, baixos desgaste e atrito, mínimo uso de materiais, baixo peso, fácil de montar e máxima racionalização de recursos. Tais princípios configuram-se num conjunto de requisitos de projeto que induz à orientações sobre como o projetista deve proceder diante de problemas que envolvam as variáveis citadas.

Sobre o processo de projeto, Pahl & Beitz *et al.* (2005) mencionam, ainda, o trabalho de *Erkens* (1928) como um dos pioneiros. Sua abordagem destacava que o desenvolvimento do projeto deveria ser realizado etapa por etapa, com constantes testes, avaliações e balanceamentos entre as demandas conflitantes, até a emergência de uma solução final para o problema. A proposição etapa por etapa tem sido à base da maioria das abordagens atuais sobre metodologia de projeto e consiste em orientações gerais sobre como proceder durante o projeto.

De acordo com Back *et al.* (2008), a partir de 1960 outros autores procuraram se ocupar deste tema, investigando, desenvolvendo e formalizando a atividade de projeto e suas relações com as demais áreas do conhecimento, de uma forma mais sistemática. Dentre os autores mais citados encontra-se, Asimov (1962), Cain (1969), Krick (1965), Vidosic (1969) e Woodson (1966).

Na década de 1980, os Estados Unidos e a Inglaterra realizaram estudos para identificar razões da perda de competitividade de seus produtos onde ficou evidenciado que essas perdas estavam associadas a deficiências na qualidade de projeto de seus

produtos. Tal estudo foi realizado pela ASME (1985, 1986) e por Wallace e Hales (1987). Back *et al.* (2008) ainda comentam que após o estudo da ASME (1985), financiado pela *National Science Foundation*, dos Estados Unidos, houve um grande impulso em pesquisas e publicações de resultados, introduzindo novos conceitos, tais como Projeto para o ciclo de vida do produto, Projeto para a manufatura, Projeto para a montagem, Projeto para a qualidade total, Desdobramento da função qualidade, Projeto para a competitividade, Engenharia simultânea, Desenvolvimento integrado de produto, Sistemas especialistas em projeto etc. Dentre várias bibliografias citadas pelos autores, estes conceitos encontram-se muito bem representados nas obras de Clausing (1994), Kusiak (1993) e Ullman (1992).

Atualmente, os desenvolvimentos sobre metodologia de projeto têm diversas orientações, muitas das quais dirigidas ao desenvolvimento de ferramentas computacionais às fases iniciais do processo de projeto, visando melhor suportar as atividades dos projetistas.

Dentro do contexto do processo de desenvolvimento de produtos, é importante citar, também, a abordagem descrita por Mundim (2002), na qual se descreve o conceito de desenvolvimento de produtos como processo de negócio. Segundo a autora, o desenvolvimento de produtos é um dos processos mais complexos e que se relaciona com praticamente todas as demais funções de uma empresa. Para desenvolver produtos, são necessárias informações e habilidades de membros de todas as áreas funcionais, caracterizando-se como uma atividade, em princípio, multidisciplinar. Além disso, trata-se de uma atividade com uma característica *ad hoc*, em que cada projeto de desenvolvimento pode apresentar características específicas e um histórico particular.

Portanto, para permitir uma análise e estudo do desenvolvimento de produtos, é fundamental caracterizá-lo em termos de um processo de negócio, no qual se visualizam as empresas com base em atividades encadeadas e ordenadas cronologicamente, com fluxos de entradas e saídas, visando a um objetivo final específico. Partindo dessa abordagem, podem-se esclarecer as ligações críticas entre este processo e o mercado, conectando-o às necessidades dos clientes e podem-se considerar as interações entre as habilidades e informações dos diversos setores funcionais de uma empresa necessárias

para o desenvolvimento de um produto (Clark e Fujimoto, 1991; Rozenfeld, 1997; Salerno, 1999 *apud* Mundim, 2002).

Entre as diversas conceituações e aplicações da abordagem de processos de negócio, Garvin (1998 *apud* Mundim, 2002) descreve uma taxonomia para a classificação e definição de processos, na qual os processos organizacionais são classificados em Processos de Trabalho, Processos Comportamentais e Processos de Mudança. Já os processos gerenciais são classificados em Processos de Direcionamento, Processos de Negociação e Processos de Monitoramento e Controle.

Conforme vários autores citados por Mundim (2002), entre eles Harrington (1991), Davenport (1994), Gonçalves (1994), Hammer e Champy (1994) e Rozenfeld (1996), o PDP é classificado como um Processo de Trabalho, originando-se das definições de processos de negócio propostas pelos movimentos da Reengenharia e da Qualidade Total, que focam a necessidade de reprojeter os processos para melhorar qualidade, cortar custos e reduzir o tempo para o mercado.

A estrutura de processo é uma visão dinâmica da forma como a organização produz valor. Essa visão facilita a medição dos resultados e a realização de projetos de melhoria. Os processos bem definidos podem ter várias de suas dimensões medidas, como, por exemplo, o tempo e o custo de execução. As entradas e saídas do processo também podem ser avaliadas quanto à utilidade ou à qualidade. Além disso, a atribuição do processo a um "dono" claramente definido, responsável por sua execução, também contribui para melhorar a compreensão do ponto de vista dos clientes do processo.

Segundo Crabb (1998 *apud* Mundim, 2002), o PDP pode ser representado como um conjunto de atividades realizadas por diversas unidades funcionais de uma organização, desde o surgimento das novas idéias e a identificação dos requisitos de mercado, até o lançamento do produto. Este processo é apresentado na fig. 2.1.

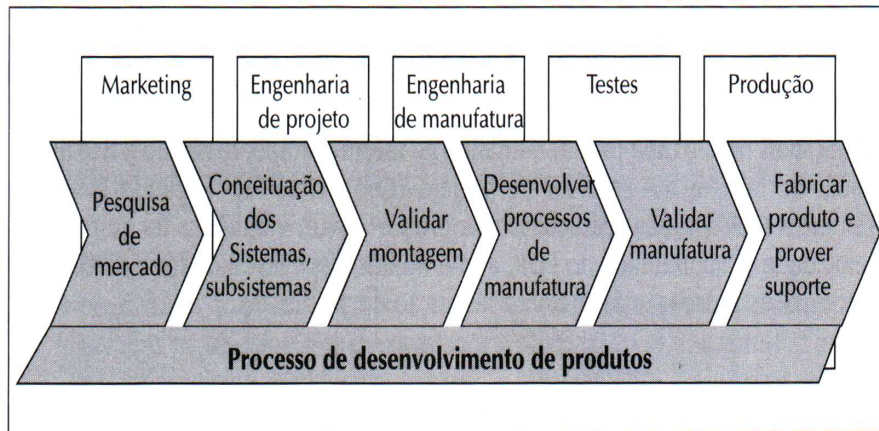


Figura 2.1 - Típico processo de desenvolvimento de produtos  
 Fonte: Crabb, (1998) *apud* Mundim, (2002)

Pesquisas realizadas recentemente indicam que a existência de um processo bem definido é um dos principais fatores de sucesso no desenvolvimento de produtos (Kamath e Liker, 1994; Cooper e Kleinshmidt, 1995; Griffin, 1997 *apud* Mundim 2002). A autora comenta, entretanto, que alguns pontos devem ser considerados na implementação da abordagem de processos de negócio, e cita como exemplo um estudo realizado por Ulrich (2000 *apud* Mundim 2002), com fabricantes de produtos eletrônicos norte-americanos, o qual mostrou que departamentos de processo completo tinham um tempo de ciclo mais rápido que os departamentos funcionais apenas quando seus gerentes usavam um ou mais métodos para cultivar a responsabilidade coletiva, tais como: estruturar cargos de maneira que as responsabilidades se sobreponham; basear as recompensas no desempenho da unidade; mudar o layout da área de trabalho, de modo que os funcionários vejam-se trabalhando, e desenvolver procedimentos para que funcionários que realizem diferentes funções possam ser capazes de colaborar uns com os outros. O emprego da abordagem de processos de negócio no desenvolvimento de produtos é frequentemente associado à introdução parcial ou completa da teoria de Engenharia Simultânea.



## **2.1.1 A Engenharia Simultânea no processo de desenvolvimento de produtos**

### **2.1.1.1 Definição de Engenharia Simultânea**

No sentido de reduzir o tempo de desenvolvimento de produtos e racionalizar procedimentos, uma das soluções adotadas, no início dos anos 80, foi o aumento do grau de paralelismo das atividades de desenvolvimento. Atividades que eram realizadas somente após o término e aprovação das atividades anteriores são antecipadas de forma que seu início não dependa dos demorados ciclos de aprovação.

Na revisão da literatura, analisando a obra de Prasad (1996) verifica-se que o mesmo cita o conceito de Engenharia Simultânea sob a ótica de vários autores especificados a seguir.

Segundo Winner *et al.* (1988), a Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e os processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Essa abordagem procura fazer com que as pessoas envolvidas no desenvolvimento considerem, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, prazos e requisitos dos clientes. A partir dessa definição surgiram muitas outras. O conceito de Engenharia Simultânea tornou-se mais abrangente, podendo incluir a cooperação e o consenso entre os envolvidos no desenvolvimento, o emprego de recursos computacionais, como *Computer aided Design (CAD)*, *Computer aided Engineering (CAE)*, *Computer aided Manufacturing (CAM)*, *Computer aided Process Planning (CAPP)*, *Product data management (PDM)* e a utilização de outras metodologias, como *Design for X (DFX)*, *Quality Function Deployment (QFD)*, entre outras.

De acordo com Ashley (1992), Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado de produtos que enfatiza o atendimento das expectativas dos clientes. Inclui valores de trabalho em equipe, tais como cooperação, confiança e compartilhamento, de forma que as decisões sejam tomadas, no início do processo, em grandes intervalos de trabalho paralelo, incluindo todas as perspectivas do ciclo de vida, sincronizadas com pequenas modificações para produzir consenso.

Conforme Ellis (1992), Engenharia Simultânea é um ambiente de desenvolvimento, no qual a tecnologia de projeto auxiliado por computador é utilizada para melhorar a qualidade do produto, não somente durante o desenvolvimento, mas em todo ciclo de vida.

De acordo com Hartley (1992), Engenharia Simultânea é uma metodologia de desenvolvimento de produtos, na qual vários requisitos (*X-abilities*) são consideradas parte do processo de desenvolvimento de produtos (manufatura, serviço, qualidade, entre outros). Esses requisitos não servem somente para se atingir as funcionalidades básicas do produto, mas para definir um produto que atenda todas as necessidades dos clientes.

De acordo com Mundim (2002), outro enfoque bastante atual é a definição de Engenharia Simultânea orientada a processos de negócio, na qual, através dos conceitos de modelagem de processos de negócio, pode-se definir Engenharia Simultânea como sendo a metodologia utilizada no processo de desenvolvimento (ou alteração) de novos produtos, visando aumento de qualidade do produto com foco no cliente, diminuição do ciclo de desenvolvimento e custos.

Esta teoria toma como base a sinergia entre seus agentes, que devem trabalhar em equipes multifuncionais, formadas por pessoas de diversas áreas da empresa. Esta equipe deve crescer e diminuir ao longo de sua existência, mantendo sempre um mesmo núcleo de pessoas que acompanham o desenvolvimento. Durante algumas atividades, devem fazer parte desta equipe clientes e fornecedores quando se trabalhar no conceito de cadeia de suprimentos, conforme a posição da empresa dentro desta cadeia. Todo o trabalho de equipe deve ser suportado por recursos, métodos e técnicas integradas, tais como *Quality Function Deployment (QFD)*, *Failure mode and effects analysis (FMEA)*, melhoria contínua etc., bem como, deve-se sempre enfatizar que o foco do trabalho deve concentrar-se nas necessidades do cliente.

É importante ressaltar que todos os elementos da empresa envolvidos nessa definição de Engenharia Simultânea (atividades, informação, organização e recursos) devem ser considerados no modelo do processo de desenvolvimento de produtos.

### 2.1.1.2 Comparação entre a Engenharia Tradicional e Simultânea

A Engenharia Simultânea surge, no contexto do setor de desenvolvimento de produtos, em contraposição à abordagem tradicional da Engenharia Tradicional, na qual o projeto do produto segue uma trajetória seqüencial através das diferentes áreas funcionais da empresa.

Nas figuras 2.2 e 2.3, procura-se tornar mais clara a diferença entre as duas abordagens.

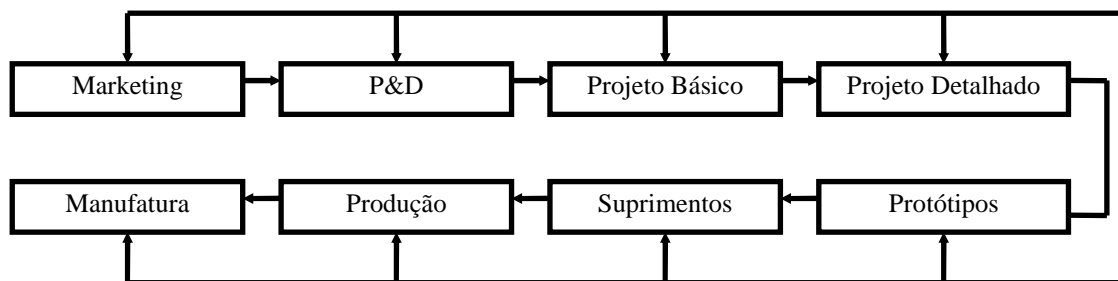


Figura 2.2 - Fluxo Típico da Engenharia Sequencial  
Fonte: Kruglianskas (1995)

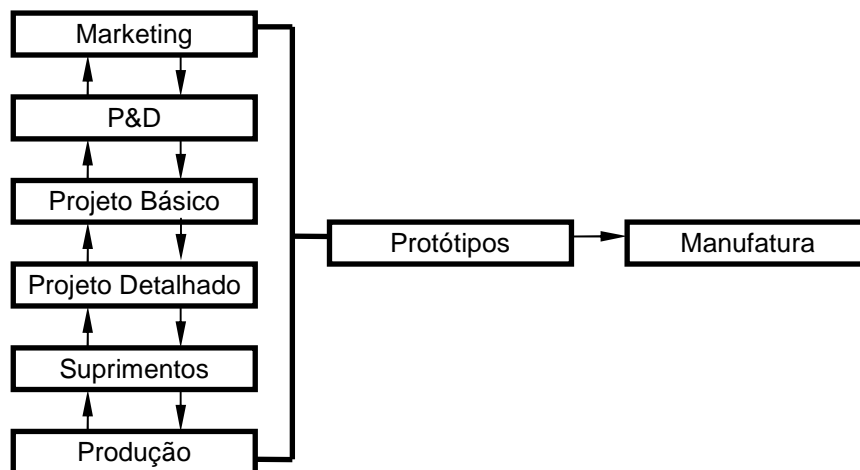


Figura 2.3 - Fluxo Típico da Engenharia Simultânea  
Fonte: Kruglianskas (1995)

Segundo Kruglianskas (1995), na Engenharia Seqüencial, cada segmento da empresa, após executar a parte que lhe cabe do projeto, transfere a documentação acabada para o setor seguinte e fica na defensiva. Cada unidade organizacional que recebe o material do setor precedente encontrará, invariavelmente, falhas, segundo a perspectiva de sua especialidade, e retornará a documentação ao setor originário para as alterações. Esta dinâmica gera conflitos, produz atrasos, pode aumentar custos e nem sempre melhora a qualidade dos resultados. Na Engenharia Simultânea, o projeto é desenvolvido em equipe, de forma paralela, ou seja, em todas as etapas do desenvolvimento, os agentes envolvidos no projeto interagem simultaneamente, fazendo a tempo as modificações ou alterações necessárias e evitando, com isto, o retrabalho futuro. É essencialmente uma estratégia estabelecida pela empresa como consequência da busca de competitividade. O fundamental, portanto, para a utilização da mesma, é o estabelecimento de adequada estruturação da organização, a capacitação e o comprometimento dos recursos humanos, a formulação de políticas e o envolvimento intensivo da Alta Administração.

Kruglianskas (1995), comenta ainda que uma resposta para a crescente preocupação das empresas com a administração de prazos nos ciclos dos projetos pode estar baseada na crescente demanda mercadológica por produtos inovadores que venham a atender as necessidades de usuários cada dia mais exigentes. Não se pode negar que, ao longo dos ciclos industriais, as novas descobertas tecnológicas mudaram e continuam mudando o comportamento humano, alterando fortemente a estrutura escalar das necessidades de cada indivíduo. Neste contexto, os Designers, Engenheiros, Projetistas e todos os profissionais que trabalham na área de desenvolvimento de produtos, devem estar atentos não só ao que irão produzir, mas principalmente para quem vão produzir, ou seja, que valores deverão ser agregados ao produto novo, para atender e satisfazer as expectativas do usuário.

Com o objetivo de complementar a fundamentação teórica da pesquisa relativa ao processo de desenvolvimento de produtos, e melhor compreender as relações conceituais pertinentes ao problema de pesquisa, busca-se subsídios teóricos e metodológicos no processo de projeto para artigos de materiais plásticos utilizando-se de práticas de engenharia apresentados a seguir.

### 2.1.1.3 O processo de projeto com práticas utilizadas na Engenharia Simultânea

Segundo Malloy (1994), uma vez que o processo de projeto de artigos plásticos é melhor realizado usando-se práticas de engenharia simultânea, há uma série de passos (alguns ocorrendo paralelamente) que estão relacionados com projeto, fabricação e montagem. Desta forma, o autor considera que o projeto de artigos plásticos é formado pelas seguintes etapas básicas:

- a) definição dos requisitos de uso final;
- b) criação do esboço conceitual preliminar;
- c) seleção inicial dos materiais;
- d) projeto do produto em concordância com as propriedades dos materiais;
- e) seleção final dos materiais;
- f) modificação do projeto para manufatura;
- g) prototipagem;
- h) fabricação das ferramentas de moldagem e produção;

Cada um destes itens será explicado a seguir tendo como referência Malloy (1994).

#### **a) Definição dos requisitos de uso final**

Conforme Malloy (1994), o processo de desenvolvimento de um produto começa com uma completa definição das especificações do produto e de seus requisitos de uso. Por ser o primeiro passo do processo, talvez, este seja o mais importante, porque *designers* e engenheiros desenvolverão, daí em diante, um produto baseado nessas especificações. Se as especificações forem incompletas ou incorretas, o produto não será apropriado para a aplicação prevista. As especificações do produto são a base daquilo que os projetistas irão construir. É importante que os requisitos de uso do produto sejam descritos em termos quantitativos e não qualitativos.

Neste sentido, o autor comenta que, para não dar margem a interpretações errôneas, é melhor dizer que o produto deve ser capaz de resistir a uma queda de um metro de altura sobre concreto a menos vinte graus centígrados ou que sua transparência

deva permanecer maior do que 88% por um período mínimo de 5 anos, do que simplesmente indicar que o produto deva ser resistente ao choque e transparente à luz do dia.

### **b) Criação do esboço conceitual preliminar**

Malloy (1994), menciona em sua análise que uma vez que os requisitos de uso final para o produto tenham sido especificados, a equipe de desenvolvimento de produto trabalhará com desenhistas industriais para desenvolver esboços iniciais do produto, na forma de modelos tridimensionais renderizados ao invés de desenhos produzidos em sistemas CAD. Nesta etapa do projeto é melhor especificar quais funções e dimensões são fixas e quais são variáveis. Funções fixas são aquelas para as quais não deve haver flexibilidade do ponto de vista do projeto, como por exemplo, dimensões normalizadas. Funções variáveis são aquelas que não foram especificadas no estágio inicial do projeto. Como exemplo, pode-se considerar os bicos de mangueiras de jardim mostrados na figura 2.4.

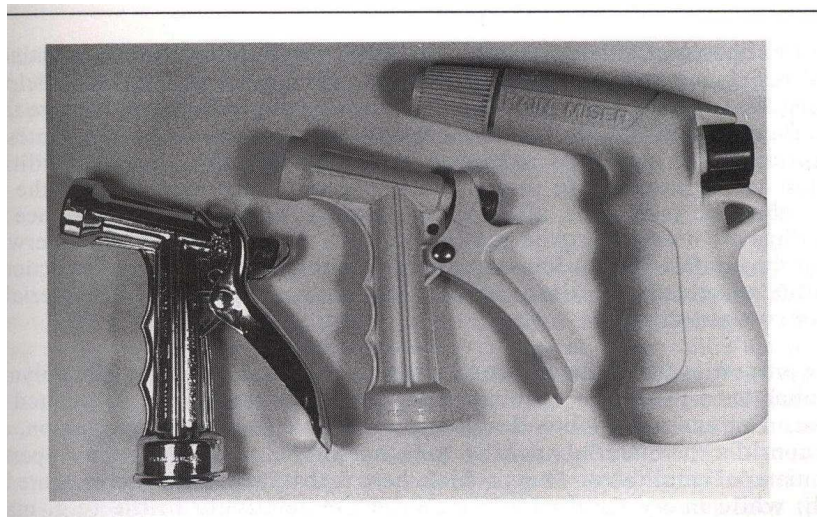


Figura 2.4 - Bicos de mangueira para jardim  
Fonte: adaptado de Malloy (1994)

Conforme se pode verificar na figura 2.4, materiais plásticos são muito usados para substituir outros tipos de materiais em determinadas aplicações. O produto plástico

ao centro é muito similar em formato com o produto metálico (esquerdo), enquanto o bico de plástico à direita foi desenvolvido com pouca influência do projeto original de metal.

Se as mesmas especificações de produto fossem passadas a dez projetistas e lhes fosse pedido que desenvolvessem, cada um, um bico para mangueira de jardinagem, é bem provável que dez diferentes projetos fossem desenvolvidos. Por exemplo, as dimensões internas das regiões rosqueadas para entrada de água devem ser iguais porque são regidas por norma. Porém, outros aspectos, como o formato geral do produto e o método usado para valvular o fluxo de saída da água, podem variar de projeto para projeto, de acordo com a criatividade do projetista. Um dos bicos plásticos mostrados na figura 2.4 é muito similar em aparência com o bico metálico (produzido por fundição). É muito provável que o projetista da peça plástica tenha sido fortemente influenciado pelo projeto existente em metal. Por outro lado, o outro produto plástico mostrando na figura 2.4 cumpre as mesmas funções dos outros dois, mas o faz por métodos diferentes e possui uma aparência totalmente diferente. De fato, em situações como esta, de substituição de metal por plástico, é melhor trabalhar-se apenas com as especificações do produto do que com a peça metálica existente. Após ver e avaliar a funcionalidade da peça metálica, o projetista terá dificuldade em evitar a tendência de simplesmente copiar o projeto existente. Ao pensar no projeto existente, o projetista deixa de usar toda a sua criatividade, deixando, provavelmente, de produzir inovações que trariam melhorias em termos de qualidade e redução do custo do componente. Além disso, a possibilidade de se infringir patentes registradas é maior quando se opta por estudar os produtos concorrentes e não pela realização de um processo de projeto conceitual.

### c) Seleção inicial dos materiais

Segundo Malloy (1994), uma vez que os requisitos de uso final para o produto tenham sido especificados, os projetistas podem começar a procurar por materiais plásticos adequados à aplicação pretendida. A seleção de materiais costuma ser feita pela comparação das propriedades de cada material com um “perfil de propriedades” derivado dos requisitos de uso final do produto. Devido à existência de milhares de tipos e *grades*<sup>1</sup> de materiais plásticos disponíveis comercialmente, é muito possível que um projetista encontre ao menos um material capaz de atender todos os requisitos do produto. Geralmente é melhor selecionar um grupo de materiais potencialmente

---

<sup>1</sup> *grades* - palavra de origem inglesa que traduzida para o idioma português significa classes ou categorias. Neste caso, classe ou categoria específica para algumas formulações de plásticos (Malloy 1994).

adequados (algo em torno de 3 a 6 formulações ou *grades* específicos) durante o processo inicial de seleção de materiais.

#### **d) Projeto do produto em concordância com as propriedades dos materiais**

Malloy (1994), relata que nesse ponto do projeto é oportuno ter-se em mente mais de um material, para que se tenham opções para o produto. Porém, uma vez que existam diferenças nas propriedades de cada tipo de material, existirão também diferenças na geometria dos produtos relacionados a cada um. Imagine um projetista que está considerando inicialmente Polietileno de alta densidade (*HDPE*), polipropileno (*PP*) e poliamida 6/6 (*PA 6.6*) ou nylon 6.6 como os materiais apropriados para uma aplicação envolvendo carregamentos estáticos e exposição a solventes orgânicos. O projetista sabe que cada um destes três materiais tem seus próprios méritos, mas é impossível fazer-se uma escolha final (baseada em aspectos econômicos) até que cada peça seja projetada, porque o consumo de material e o tempo de ciclo de produção serão diferentes em cada caso. A poliamida 6/6 é um material mais caro por unidade de massa ou volume, mas as reduções da espessura da parede e do tempo de ciclo de produção podem superar essa desvantagem.

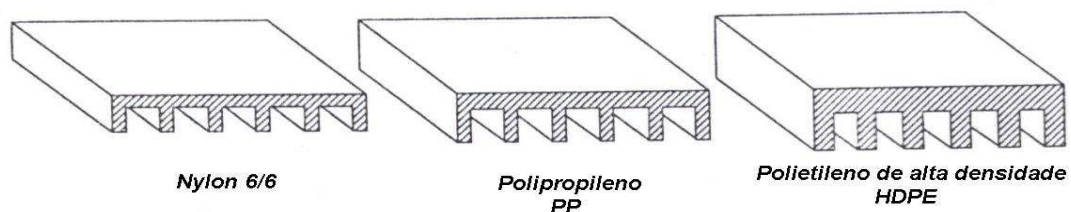


Figura 2.5 - Diferentes materiais poliméricos  
Fonte: adaptado de Malloy (1994)

Uma vez que vários materiais tenham sido selecionados, as peças podem ser projetadas de acordo com as propriedades de cada um, ou seja, a espessura da parede será influenciada pelas propriedades de fluxo e rigidez do material.



A geometria das peças mostradas na figura 2.5 (Malloy – 1994) tem valores de rigidez equivalentes, porque os momentos de inércia foram ajustados para compensar os diferentes módulos de elasticidade de cada material. Na prática, muitas outras características associadas ao desempenho durante a montagem ou o uso do produto poderão variar de acordo com as propriedades específicas de cada material.

### e) Seleção final dos materiais

De acordo com Malloy (1994), nesse estágio do processo de projeto, o projetista deve ater-se a um dos materiais pré-selecionados, deixando os demais candidatos como possíveis substitutos, caso algum problema não visualizado previamente venha a surgir durante as etapas finais do processo. É pouco provável que algum dos materiais pré-selecionados seja perfeitamente adequado para a aplicação requerida, pois cada material tem suas vantagens e desvantagens. O projetista deve preferir um dos materiais candidatos baseado na sua experiência anterior. Se, por um lado, é uma vantagem trabalhar-se com materiais mais conhecidos, por outro lado, materiais com os quais não se está tão bem familiarizado podem ser bem mais adequados para a aplicação desejada. Além disso, decisões tomadas com base apenas nos custos do material e da produção não levam em conta possíveis vantagens no desempenho do produto ou no seu processamento. Neste ponto é melhor considerar as características globais de cada material em termos de custo de produção, processabilidade e desempenho durante o uso. Avaliando de forma semi-quantitativa cada uma destas características, os projetistas podem fazer uma escolha essencialmente imparcial entre os diversos materiais pré-selecionados. Para as propriedades ou características consideradas mais importantes pode ser conferida uma pontuação mais alta na avaliação do projetista. A tabela 2.1 exemplifica uma avaliação semi-quantitativa de propriedades e características dos materiais usados no exemplo do item anterior.

Tabela 2.1 - Exemplo de avaliação semi-quantitativa  
Fonte: adaptado de Malloy (1994)

Propriedades ou	Classificação
-----------------	---------------

Características	HDPE	PP	Nylon 6/6
Total	9	8	6
Processabilidade			
Resistência à fluência	2	4	7
Resistência Química	10	9	10
Custo de produção por peça**	7	9	8
Performance em elevadas temperaturas	3	5	9
Classificação média	6.3	7.1	8

\* 10 = maior classificação (melhor)

0 = menor classificação (pior)

\*\* Considera o consumo de ambos os materiais (baseado no volume de peças) e o tempo de ciclo de manufatura.

No exemplo de avaliação semi-quantitativa apresentado, o projetista atribui numa escala de 0 a 10 valores a cada propriedade ou característica desejada em função da sua importância para o produto.

#### **f) Modificação do projeto para manufatura**

Quanto a modificação do projeto para a manufatura e montagem, Malloy (1994) comenta que uma vez que o material e o projeto inicial foram definidos, o produto deve ser alterado com vistas à produção (projeto orientado à produção). Informações e opiniões dos engenheiros responsáveis pelo processamento e fabricação do molde são extremamente valiosas. A geometria da peça que vem sendo até aqui modificada tem que ser moldável. Os projetistas devem considerar o impacto que essas várias fases do processo de moldagem por injeção podem ter sobre o projeto da peça. Cada estágio da moldagem por injeção – preenchimento, pressurização, recalque, resfriamento e extração - tem seus requisitos especiais.

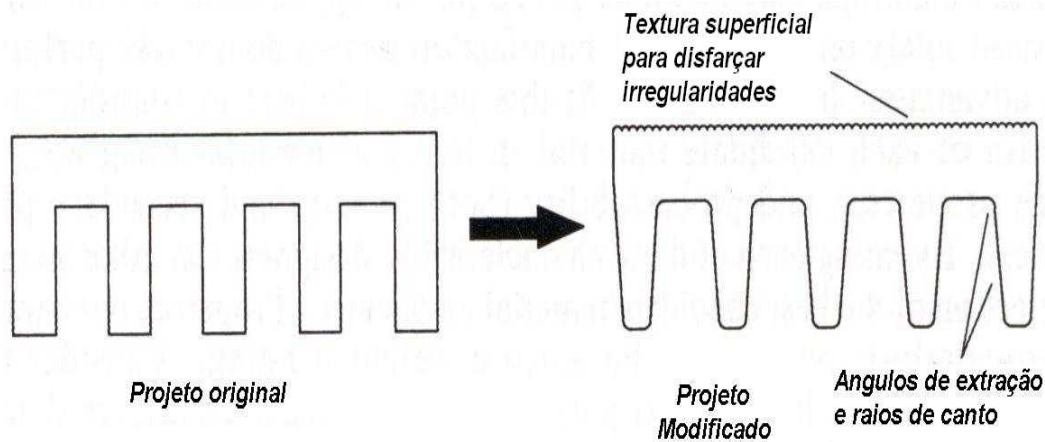


Figura 2.6 - Peças com modificação na geometria em função da manufatura  
 Fonte: adaptado de Malloy (1994)

O projeto da peça deve ser modificado em função das operações e características de processamento (contração, ângulos de extração, *flow leaders*<sup>2</sup>). O efeito dessas mudanças do produto em uso deve ser avaliado. Considerando a peça mostrada na figura 2.6 verifica-se que a mesma foi projetada com nervuras para suportar solicitações durante o uso. Na prática, a peça deve ser modificada com raios de arredondamento para auxiliar o fluxo e reduzir concentração de tensões, ângulos de extração para facilitar a extração, e texturização da superfície para melhorar a aparência visual de marcas de rechupe na parede oposta às nervuras. Essas são algumas das muitas possibilidades de modificação de projeto que podem ser necessárias do ponto de vista da produção. O efeito dessas modificações no desempenho do produto deve ser analisado antes de serem feitas, uma vez que modificações como de adição de ângulos de extração e nervuras podem ter significativa influência na deflexão e tensão máximas permitidas que ocorrem durante o uso da peça.

De acordo com o autor, é comum os fornecedores de material plástico fornecerem ferramentas de auxílio, na forma de *checklist*, que podem ser úteis durante os estágios de planejamento, bem como na avaliação final do projeto. O objetivo dessas ferramentas é o de garantir que todos os aspectos de produção e montagem sejam

<sup>2</sup> *flow leaders* – são definidos como facilitadores de fluxo. Estes facilitadores de fluxo podem ser obtidos, muitas vezes, com uma mudança geométrica ou física da peça projetada. (Malloy 1994).

considerados. Algumas dessas ferramentas de auxílio estão apresentadas no anexo 1 (figura 1) e anexo 2 (figura 2) desta pesquisa.

### **g) Prototipagem**

Nesta etapa, o autor comenta que o projeto final do produto, modificado para orientar-se à produção, é geralmente prototipado para que se possa verificar as dificuldades de produção e as possibilidades de desempenho do produto. A construção de protótipos é necessária quando todo o trabalho de projeto relativo ao processamento e ao desempenho do produto feito até então é teórico e precisa ser verificado.

Isto é de particular importância para peças plásticas injetadas porque existem diversos problemas relacionados ao processamento, ao desempenho e à produção de modo geral que são de difícil previsão, como o exemplo de linhas de solda, empenamento, rechupes, etc. De forma a se obter resultados realísticos é necessário moldar as peças protótipos usando o próprio material do qual o produto final será feito.

### **h) Fabricação das ferramentas de moldagem e produção**

Malloy (1994), finaliza suas considerações comentando que após avaliar e modificar, se necessário, os moldes e produtos protótipos, as ferramentas para produção ou pré-produção já podem ser construídas. Para poupar tempo, é muito comum começar a fabricação de componentes e sistemas básicos do molde (como placas para fixação na máquina-injetora, placas extratoras, canais de refrigeração e placas porta-cavidades) paralelamente às fases anteriores ao projeto final. Com a ferramenta construída e ajustada, a peça pode começar a ser produzida em larga escala.

Na primeira etapa desta pesquisa, o processo de desenvolvimento de produto é apresentado como um processo de negócio, o qual exige planejamento e controle, segundo uma abordagem de visão sistêmica, promovida pelo conceito de Engenharia simultânea, bem como, de estratégias metodológicas desta teoria no PDP.

No próximo item apresenta-se uma visão mais genérica das metodologias de projeto, onde o processo de desenvolvimento de produto se organiza segundo etapas

relacionadas ao ciclo de vida do produto, desde o planejamento da linha de produtos, desenvolvimento das estratégias de projeto, geração e avaliação das idéias ou conceitos, desenvolvimento, teste e avaliação, ao processo de manufatura e comercialização.

## 2.2 Visão genérica das metodologias de projeto

Os modelos e metodologias sobre o processo de desenvolvimento de produto, já comentados, conduzem o projetista ou a equipe de projeto, de uma forma direta ou indireta, a um processo de tomada de decisões, onde o mesmo, utilizando-se de recursos apropriados, realiza um conjunto de atividades e finalmente apresenta o resultado. O resultado apresentado pode ser um produto, um conceito, um evento ou a combinação desses três elementos. Na realidade, as metodologias, geralmente apresentadas como procedimentos na forma de fluxogramas das atividades de projeto, mostram ao projetista o que este deve fazer, desde a identificação do problema até a documentação final do produto.

De acordo com Mundim (2002), o PDP é composto por uma grande quantidade de atividades que envolvem desde a identificação de novas idéias e de necessidades de mercado até o lançamento do novo produto. Para facilitar a compreensão do processo, tais atividades são agrupadas em etapas coesas, delimitadas por marcos de projeto ou *stage gates*<sup>3</sup>.

A divisão do processo em etapas é uma simplificação didática, já que, na prática, etapas podem ocorrer em paralelo e existem interações entre diferentes etapas. O paralelismo de atividades é um dos fundamentos da Engenharia Simultânea. Por se tratar de uma simplificação, a definição das etapas do PDP é puramente arbitrária e depende da adequação ao tipo de processo ou do autor considerado.

Segundo Clark e Fujimoto (1991; Wheelwright e Clark, 1992 *apud* Mundim, 2002), de maneira geral, o PDP pode ser dividido em cinco etapas:

---

<sup>3</sup> *Stage Gates* são definidos como pontos do desenvolvimento de produtos nos quais são realizadas revisões de qualidade do produto e do processo de desenvolvimento. Em cada *gate*, o produto e o processo são avaliados em relação a parâmetros preestabelecidos (Cooper, 1994 *apud* Mundim, 2002, p 26).

a) conceito: nesta fase, as informações sobre necessidades e utilização dos produtos pelos clientes, informações sobre competidores, tecnologia, riscos, oportunidades tecnológicas, padrões e regras do ambiente são transformadas na definição do produto, tais como segmento de mercado-alvo e a inserção neste segmento; metas de preço e características de funcionalidade; características tecnológicas do produto; alocação de recursos para o desenvolvimento do mesmo, podendo ou não incluir alguns detalhes técnicos mais específicos. É a fase inicial do desenvolvimento e, assim como as fases seguintes deste processo, permanecerá em contínua revisão;

b) planejamento do produto: é a fase em que o conceito do produto é primeiramente desmembrado em termos das especificações do projeto, resultando no estilo, *layout*, especificações maiores e escolhas técnicas. Nesta fase, pode ser iniciada a construção de modelos físicos, tais como protótipos para a avaliação de estilo e *layout*;

c) engenharia do produto e testes: engloba a transformação das informações geradas na fase anterior em desenhos e normas, ou seja, a transformação das informações geradas no conceito e planejamento do produto em um projeto específico e detalhado do produto, com dimensões e características reais, envolvendo a criação de protótipos e testes;

d) engenharia do processo: esta fase compreende a transformação das informações sobre o projeto do produto em informações relativas ao projeto do processo, incluindo a materialização dos fatores de produção como máquinas e ferramental;

e) produção piloto: compreende a fase de produção para teste em que se inicia a produção do produto simulando as condições normais de operação da fábrica, de forma que produza os primeiros exemplares do produto para teste e realize os ajustes finais no processo de fabricação.

De acordo com Griffin (1997 *apud* Mundim, 2002), o desempenho das empresas com alto grau de inovação em produtos está relacionado com a estruturação de seu PDP. Nesse caso, o processo foi estruturado em nove etapas: planejamento da linha de produtos; desenvolvimento da estratégia de projeto; geração da idéia/conceito; avaliação

das idéias; análise do negócio; desenvolvimento; teste e validação; desenvolvimento da manufatura e comercialização.

O desenvolvimento de produtos pode ser organizado de várias formas, sendo que a opção pela forma mais adequada para cada caso também é decorrente do tipo do PDP e tem influência direta no desempenho e no resultado do desenvolvimento.

O tipo de processo de desenvolvimento exerce influência em três dimensões da organização do desenvolvimento de produtos identificadas por Clark e Fujimoto (1991 *apud* Mundim, 2002): o grau de especialização, a integração interna e a integração externa. O grau de especialização refere-se aos conhecimentos específicos necessários para projetar funcionalmente os elementos de um produto. A integração interna diz respeito à coordenação da equipe de desenvolvimento, e a integração externa relaciona-se com o atendimento das necessidades dos consumidores. Conforme o grau dessas variáveis, formam-se combinações que refletem a organização do desenvolvimento de produtos das empresas (Clark e Fujimoto, 1991; Clausing, 1994 *apud* Mundim, 2002).

O êxito no processo de desenvolvimento do produto, e conseqüentemente no aumento da competitividade da empresa, depende de forma substancial dos profissionais que atuam na equipe de trabalho.

Uma vez também que o PDP engloba diversas áreas funcionais de uma empresa, muitos dos profissionais envolvidos nesse processo possuem apenas visões parciais de suas específicas áreas. Tais pessoas possuem dois tipos de cultura: especialistas (como os engenheiros) ou possuem habilidades gerenciais. No primeiro caso, os especialistas possuem ampla experiência em uma área técnica, mas mantêm pouco contato com os aspectos organizacionais e do negócio, por exemplo. Por outro lado, gerentes que possuem um conhecimento integrado do negócio, contudo, têm pouca idéia dos aspectos tecnológicos do produto. (Rozenfeld *et al.* 1998 *apud* Mundim, 2002, p. 28).

Considerando que a tarefa multidisciplinar do PDP requer profundos conhecimentos técnicos e relacionamento interpessoal, seu profissional ideal é, então, o raro indivíduo que é capaz de trabalhar entre as barreiras funcionais da empresa para identificar e escolher as apropriadas tecnologias que proverão a melhor solução para um problema específico (Acar e Parkin, 1996 *apud* Mundim, 2002).

No próximo item apresenta-se a influência das informações de projeto no processo produtivo, demonstrando a importância que o fluxo de informações e a tomada de decisão exercem sobre o PDP, além das exigências profissionais relativas à equipe de desenvolvimento relacionadas a integração interna.

### **2.3 A influência das informações de projeto no processo produtivo**

Segundo Coelho (1998), o conhecimento elaborado em forma de regras, princípios, diretrizes e estratégias deve ser transferido para a prática de projetos. Para isso, podem ser usados recursos como livros, manuais, catálogos, banco de dados e sistemas de informação. A aplicabilidade prática desses recursos depende de muitos fatores, mas, sobretudo, de sua sistematização.

Como no processo de projeto há necessidade de tomar muitas decisões, o projetista necessita de um apoio para tomá-las. Para isto, fazem-se necessários meios, nos quais o conhecimento não só é armazenado ou gravado, mas também é resultante de informações provenientes do diálogo com profissionais ligados ao processo produtivo. Cabe aqui ressaltar que a escolha destes profissionais para auxiliar nas informações de projeto, depende fortemente do tipo e das especificidades do projeto, e o projetista deve, com critérios pré-estabelecidos e bem definidos, saber utilizar-se deste procedimento a fim de atingir os objetivos propostos.

No processo de desenvolvimento de projeto de produtos, é comum surgirem problemas provenientes da existência de diversos caminhos para se alcançar o objetivo final. O objetivo em si pode ser definido, mas não há apenas um único caminho para se atingir este objetivo. A escolha do caminho adequado é frequentemente difícil, porque não há informações suficientes. Às vezes, é necessário seguir caminhos paralelos durante algum tempo. Também, há possibilidade de que novos caminhos se apresentem à medida que o projeto se desenvolve.

Segundo Vasconcelos (1980 *apud* Coelho, 1998), na atividade genérica de projetar, também aparecem incertezas e multiplicidade de caminhos, que impõem o recurso à criatividade e à inventividade. A natureza de todas essas atividades impede ou torna muito difícil a utilização de técnicas tradicionais, como redes PERT/CPM para



planejamento e acompanhamento do projeto. De fato, na utilização de tais técnicas deve-se subdividir o programa global em atividades, ou tarefas, colocando-as numa sequência lógica de dependência. O tempo de execução de cada atividade é avaliado e depois as atividades e os relacionamentos entre elas são representados num diagrama, a partir do qual se deduz o tempo total para a realização do programa global, as datas de início e fim das atividades, as etapas críticas etc.. Esta técnica tem utilização prática frequente na área industrial.

Segundo Coelho (1998), uma análise cuidadosa conduz as condições que devem ser satisfeitas para que tal técnica tenha bom êxito. Essas condições são: definição completa de todas as atividades, conhecimento do volume de trabalho que se deve dedicar a cada atividade, existência de estimativas válidas do tempo que cada atividade leva para ser executada, possibilidade de as atividades serem ordenadas em uma sequência lógica e perspectiva de que o término de cada atividade represente um passo à frente para a execução do programa global. Acontece, porém, que dificilmente algumas das condições citadas são satisfeitas integralmente. O objetivo final pode ser claramente definido, mas uma grande parcela das atividades é mal definida, e nem se sabe de antemão se todas as tarefas são realizáveis. Muitas tarefas são influenciadas por tantas variáveis que é difícil estimar os tempos de realização. A presença de caminhos alternativos torna difícil a apresentação gráfica das atividades, de forma útil para a análise. O término com êxito, de certas atividades, não significa um passo definido à frente na execução do programa geral.

De acordo com estas considerações, pode-se constatar que é importante e necessário levar em conta as características peculiares no desenvolvimento de projetos, considerando sua influência direta no processo produtivo, reduzindo as despesas no projeto.

Custos de materiais podem ser reduzidos através de um esforço agressivo nas negociações com fornecedores, custos de mão-de-obra podem ser reduzidos através de melhorias em termos de produtividade, custos por unidades podem ser reduzidos através de melhorias feitas nos processos produtivos.

Os benefícios de um projeto competitivo são tão maiores quanto mais cedo se prevêm suas dificuldades. Quanto mais cedo forem definidos os aspectos do produto,

material, processo, etc., mais econômico, mais rápido e com menos erros define-se o produto final. Quanto mais informações sobre cada componente, sistema ou produto, maior a chance de detectar erros na fase inicial. Baseando-se nisso, pode-se dizer que a busca pela informação certa é fundamental para assegurar o sucesso de um projeto.

A importância das informações sobre experiências vivenciadas pelos grupos de engenharia simultânea é fundamental, principalmente quando forem armazenadas de forma a que possam ser consultadas facilmente em futuros projetos, evitando assim problemas de qualidade, custos, atrasos etc.

O sucesso de um projeto depende também da metodologia utilizada pelos *Designers* de produto, engenheiros e técnicos, bem como do uso de ferramentas auxiliares, tais como: Engenharia Simultânea (ES), *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA), *Design for Manufacture* (DFM), *Design for Assembly* (DFA), *Quality Function Deployment* (QFD), *Computer Aided Design* (CAD), etc.

#### **2.4 Design for Manufacture and Assembly (DFMA)**

De acordo com Boothroyd *et al.* (2002), *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) é a combinação de *Design for Manufacture* (DFM) e *Design for Assembly* (DFA). Tanto o DFM como o DFA possuem basicamente o mesmo objetivo, ou seja, aumentar a eficiência dos processos de produção do produto no que diz respeito à manufatura e à montagem. Os autores, de forma frequente, abordam o termo DFMA, utilizando-se da expressão “Projeto Orientado para a Manufatura e Montagem”.

A utilização do DFMA abrange três atividades principais.

- a) Como base para estudos de Engenharia Simultânea, a fim de guiar os grupos de projetos, simplificando a estrutura do produto, reduzir os custos de manufatura e montagem e quantificar as melhorias.
- b) Como uma ferramenta de apoio para estudar os produtos dos concorrentes e quantificar as dificuldades de manufatura e montagem.
- c) Como uma ferramenta de base de custo, com o objetivo de negociar contratos com fornecedores.

O DFM, também conhecido como “Projeto orientado à manufatura”, visa garantir que as partes individuais dos produtos, as quais serão agrupadas e montadas, formando o produto final, sejam fáceis de serem manufaturados. O DFM objetiva eliminar características indesejáveis e desnecessárias que possam dificultar sua manufatura. Um exemplo disso é o desperdício de tempo e recursos na fabricação de produtos com acabamentos e tolerâncias dimensionais melhores que o necessário.

O DFA, também conhecido como “Projeto voltado à montagem”, visa garantir que a montagem do produto seja realizada de forma fácil e rápida. Esta metodologia será abordada e melhor detalhada nos tópicos descritos a seguir.

Ainda segundo os autores, a atitude dos *designers* na atividade de projetar estava muito distante das atividades fabris. Em resumo, os *designers* utilizavam procedimentos de projeto que contrapunham o trabalho em equipe. Desta forma de agir, surge a expressão “nós projetamos, você faz”. Trabalhava-se com o paradigma de que a função do projetista era a de conceber e projetar o produto a seu modo, sem interferências externas, para então, posteriormente, entregá-lo ao engenheiro, o qual teria a árdua tarefa de encontrar soluções viáveis a fim de produzi-lo, ou seja, os especialistas na área de processos de fabricação tinham muitas vezes que adaptar seus processos produtivos e alterar seu *lay-out* fabril para viabilizar a produção do produto, uma vez que não estiveram envolvidos no processo do projeto. Isto ficou conhecido na literatura por abordagem “por cima do muro” (fig. 2.7), no qual o projetista fica em um lado do muro e atira seus projetos para os engenheiros de manufatura, que ficam do outro lado do muro.



Figura 2.7 - Ilustração da Abordagem “Por cima do muro”  
 Fonte: adaptado de Boothroyd *et al.* (2002)

O fato negativo, gerado pela utilização de tais atitudes, é a de que muitas vezes a complexidade do produto, resultante das características definidas durante a fase de projeto, tornavam a produção do mesmo muito difícil e até mesmo impossível. Neste sentido, a solução era reprojeter o produto, o que acarretava em atraso no tempo do lançamento do mesmo no mercado e todos os custos associados ao retrabalho.

Uma forma de contornar o problema, apontada pelos autores, é a de aumentar o nível de comunicação e consultoria entre os projetistas e os engenheiros de fabricação, na fase inicial de projeto. Esta efetiva interação entre tais profissionais, leva à formação de equipes, chamadas de equipes de engenharia simultânea. Neste sentido, o projetista não necessita se especializar em processos, pois os especialistas em produção e processos, que conhecem as dificuldades e limitações, auxiliam no desenvolvimento do produto, avaliando e sugerindo melhorias. Tais equipes têm a atribuição de estudar e analisar as propostas de projeto sob o ponto de vista da manufatura e da montagem, ou seja, analisar as propostas de projeto utilizando-se dos conhecimentos gerados pelo DFMA. Os autores afirmam também em sua obra que a capacidade de estimar, tanto os custos de montagem como os de manufatura de peças nas fases iniciais do projeto do produto, são a essência do DFMA. Numerosos programas de investigação ao longo das

últimas duas décadas sobre o tema DFMA foram realizados com o objetivo principal de desenvolver modelos econômicos de processos de manufatura baseados nas informações do projeto de produtos.

Através do gráfico qualitativo da figura 2.8, ilustra-se que, apesar do tempo extra gasto no início do processo de projeto (20%), a aplicação do modelo de manufatura e montagem (DFMA) reduz os custos do produto e encurta o tempo de colocação do mesmo no mercado em 40%.

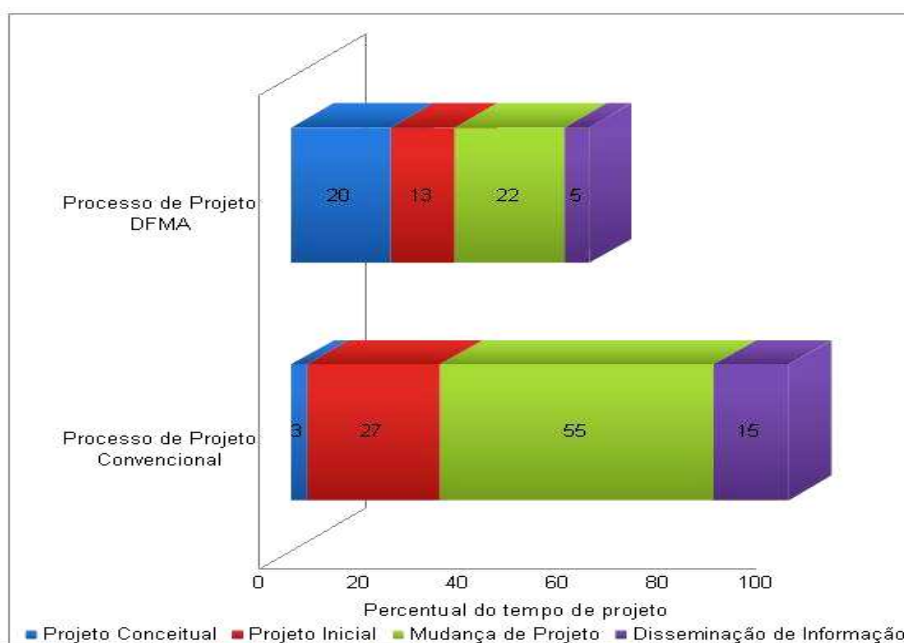


Figura 2.8 - DFMA encurta o processo de projeto.

Fonte: Adaptado de Boothroyd *et al.* (2002)

Alguns casos práticos de sucesso adotando-se DFMA são citados por Boothroyd *et al.* (2002), como exemplo a empresa *Ingersoll-Rand Company*, a qual relatou que o uso do DFMA software de Boothroyd Dewhurst, Inc., cortou o tempo no desenvolvimento dos produtos de dois anos para um e que o trabalho simultâneo de uma equipe de engenheiros reduziu o número de peças para montagem de um compressor radiador portátil e de um resfriador de óleo de 80 para 29 peças; diminuiu o número de elementos de fixação de 38 para 20 elementos; reduziu o número de operações de montagem de 159 para 40 operações e reduziu o tempo de montagem de 18,5 para 6.5 minutos.

Outra empresa citada pelos autores, com experiência positiva na utilização do DFMA é a *Hewlett Packard Loveland*, a qual iniciou suas experiências em meados dos anos 80 com o reprojeto dos produtos existentes e continuou com a aplicação em novos produtos. Durante esses estudos, que revelaram os esforços bem-sucedidos, o desenvolvimento de produtos envolveu de um a três engenheiros de produção interagindo frequentemente com os membros do setor de pesquisa e desenvolvimento. Em 1992, a *HP Loveland* incorporou o DFMA a um processo formal de abordagem denominado Engenharia Simultânea. Os efeitos do DFMA e ES, bem como a progressiva melhoria na fabricação do produto e nos custos de montagem da *Hewlett Packard*, são mostrados na fig. 2.9.

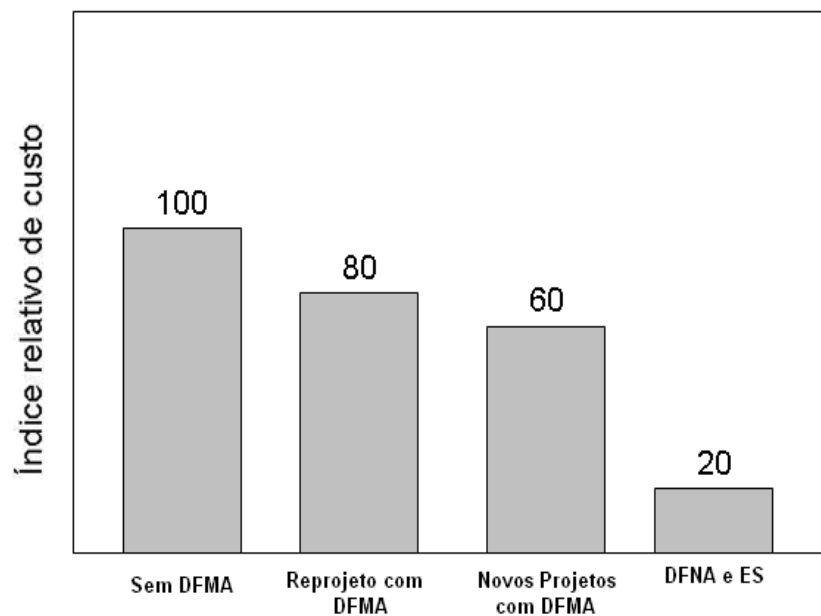


Figura 2.9 - Efeitos do DFMA e ES sobre o custo dos produtos da *Hewlett Packard*  
Fonte: adaptado de Boothroyd *et al.* (2002)

#### 2.4.1 O processo de projeto usando o DFMA

Segundo Boothroyd *et al.*(2002), quando se trabalha no processo de projeto usando o DFMA, a análise e aplicação do mesmo, deve ocorrer posteriormente a definição do primeiro conceito do produto. Posteriormente à execução do DFA, elaboram-se sugestões visando a simplificação da estrutura do produto, de forma tal que a cada avaliação feita, as características do produto vão sendo melhoradas e aperfeiçoadas. A seguir, faz-se uma avaliação prévia dos possíveis materiais e processos que podem ser utilizados, bem como a primeira estimativa de custos. Seguindo esses passos, atinge-se um conceito ótimo, ou conceito ideal de projeto. Após esta etapa, faz-se uma completa análise dos materiais e processos que podem ser utilizados no projeto, para então obter-se o desenho detalhado das partes em questão. No momento que o projetista tem o desenho detalhado das partes, o mesmo pode passar para a fase de construção do protótipo e, finalmente, com o protótipo aprovado, pode-se iniciar a produção do produto. A figura 2.10 a seguir ilustra com clareza tais procedimentos.

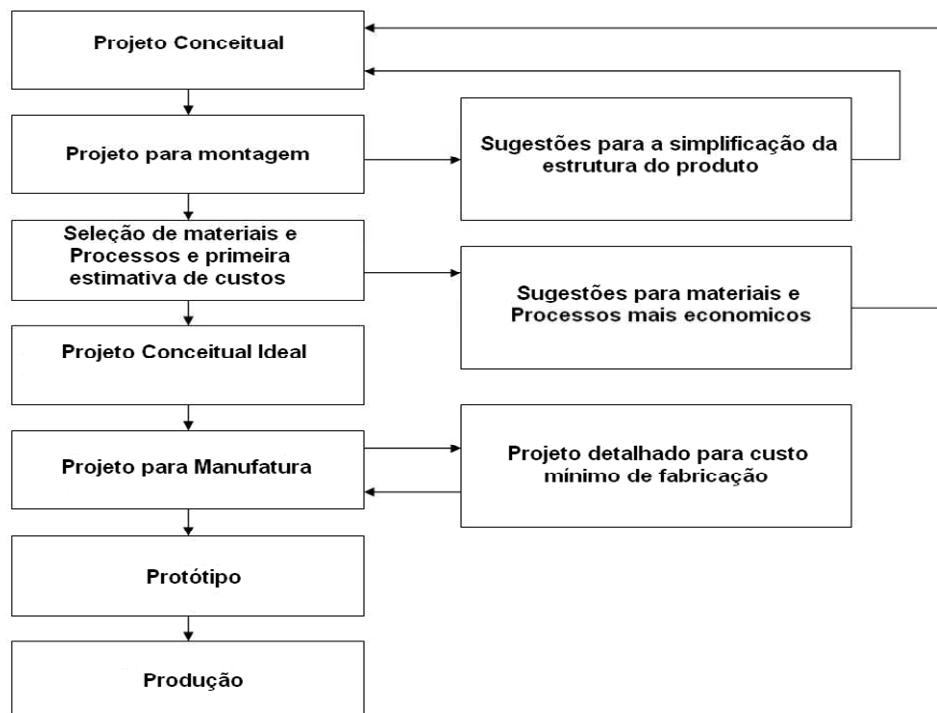


Figura 2.10 - O processo de DFMA.  
Fonte: adaptado de Boothroyd *et al.* (2002)

## 2.4.2 Vantagens da aplicação do DFMA durante a elaboração do projeto do produto

Segundo Boothroyd *et al.*(2002), o DFMA prevê um procedimento sistemático para analisar uma proposta de concepção do ponto de vista de montagem e fabricação e apresenta uma série de vantagens. Este procedimento resulta em produtos mais simples e confiáveis e conseqüentemente com menores custos para fabricar e montar. Além disso, qualquer redução no número de peças em uma montagem produz um efeito exponencial sobre a redução dos custos, pois isto significa menos desenhos e especificações, menor inventário, menos mão-de-obra etc. Todos esses fatores têm um efeito importante sobre as despesas gerais que, em muitos casos, constituem a maior porção do custo total do produto. Vale ressaltar que em projeto de produto, muitas vezes, o fator custo não é necessariamente o fator mais importante a ser considerado pelas empresas..

A figura 2.11 mostra uma pesquisa realizada sobre a importância das reduções causadas pelo DFMA.

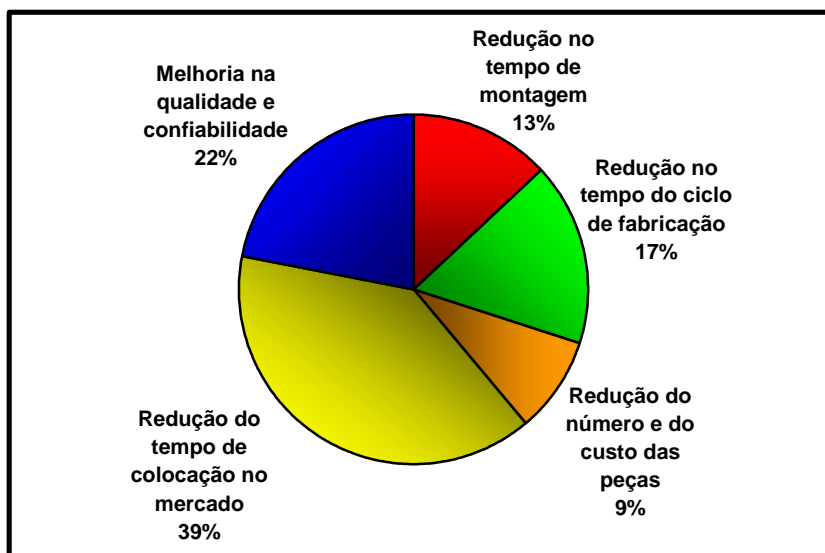


Figura 2.11 - Pesquisa sobre a importância das reduções causadas pelo DFMA.  
Fonte: adaptado de Boothroyd *et al.* (2002)



O exemplo na figura 2.11 mostra que neste caso de *redesign* a redução do tempo de colocação no mercado (39%) e a melhoria da qualidade (22%) foram os pontos mais importantes levados em consideração pela empresa.

As ferramentas do DFMA também incentivam o diálogo entre os projetistas e os engenheiros de fabricação e quaisquer outros indivíduos que desempenhem um papel na determinação do custo final do produto durante as fases iniciais do projeto. Isto significa que o trabalho de equipe é incentivado, aumentando consequentemente as economias nos custos do setor da produção.

## **2.5 Design for Assembly (DFA)**

Segundo Salustri e Chan (2005), o objetivo do projeto para montagem (DFA) é simplificar o produto para que o custo de montagem seja reduzido. Entretanto, como consequência da aplicação do DFA, normalmente tem-se melhor qualidade e confiabilidade, e uma redução do inventário na produção de peças e equipamentos.

O DFA reconhece a necessidade de analisar todas as partes do projeto e de todo o produto para qualquer problema de montagem no início do processo de criação.

Salustri e Chan (2005, p.1) definem DFA como sendo “um processo para aprimorar o projeto do produto, para obter uma montagem fácil e de baixo custo, focando-se na funcionalidade e na facilidade de montagem simultaneamente.”

A prática do DFA, como uma característica distinta de projeto, possui um desenvolvimento recente, mas muitas empresas têm utilizado o DFA já há algum tempo. Por exemplo, a *General Electric* publicou, nos anos de 1960, um manual interno de produtividade e manufatura como um conjunto de orientações e dados para auxiliar os projetistas em suas tarefas de projeto. Na análise deste manual, verifica-se que essas orientações se encaixam muito nos princípios do DFA. Por volta de 1970, começaram a aparecer alguns artigos e livros sobre o tema, sendo que a mais importante entre essas publicações foi a de Geoffrey Boothroyd, o qual promoveu o uso do DFA na indústria.

De acordo com Salustri e Chan (2005), considerando-se as atividades de montagem industrial associadas ao grau de automação, estas podem ser analisadas em três grandes grupos.

a) *Montagem manual*: as peças são transferidas para as bancadas, onde os trabalhadores montam manualmente o produto ou os componentes do produto. Neste caso, geralmente são usadas ferramentas manuais para auxiliar os montadores. Embora este seja o mais flexível e adaptável dos métodos de montagem, geralmente causa algumas preocupações quanto à segurança dos trabalhadores, bem como ao atendimento às leis sociais.

b) *Montagem com elevada automação*: máquinas automáticas de construção customizada produzem produtos específicos em grandes volumes. Este tipo de maquinário requer normalmente um grande capital de investimento. À medida que o volume de produção aumenta, a fração do investimento de capital comparado ao total do custo de manufatura diminui. Neste tipo de montagem são utilizados magazines indexados e alimentadores automáticos, o que torna este método um sistema rígido de produção.

c) *Montagem com automação robótica*: é incorporado o uso de sistemas de produção robótica. Este sistema prevê a utilização de apenas um robô ou de várias estações de robôs (sistemas multi-estação), com todas as atividades simultaneamente controladas e coordenadas por um controlador lógico programável (CLP) ou por um computador. Este método de montagem é extremamente flexível e dado a sua flexibilidade em poder montar vários produtos diferentes, os investimentos iniciais são normalmente compensados.

A figura 2.12 ilustra uma comparação entre os diferentes métodos de montagem, em função do volume de produção anual e do custo de montagem por produto. O custo não linear para uma produção robótica reflete o custo não linear dos robôs.

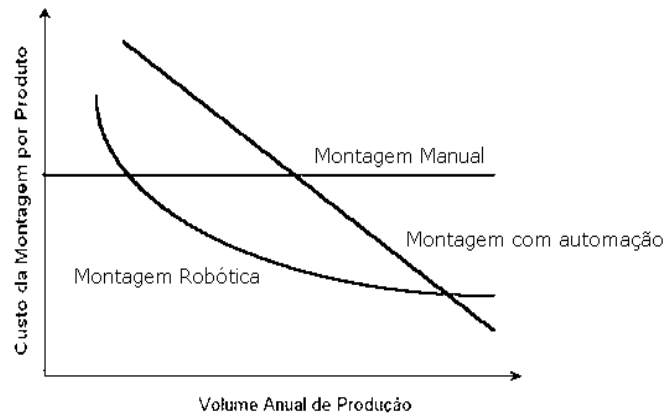


Figura 2.12 - Comparação entre os métodos de montagem.  
 Fonte: adaptado de Salustri e Chan (2005)

Segundo Costa *et al.*(2005), o DFA parte da premissa de que o produto ideal tem apenas uma peça. Dessa forma, tem-se que o número de peças é o maior fator de influência quando se leva em consideração a eficiência da linha de montagem.

De acordo com Boothroyd *et al.*(2002), uma ferramenta de projeto DFA deve ser eficaz para analisar a facilidade de montagem dos projetos de produtos ou subconjuntos e deve fornecer resultados rápidos, ser simples, ser fácil de usar, assegurar coerência e integralidade na avaliação da montagem do produto, eliminar avaliações subjetivas da montagem do projeto, permitir a livre associação de idéias e fácil comparação dos planos alternativos, assegurar que as soluções sejam avaliadas logicamente, identificar áreas problemáticas da montagem e sugerir abordagens alternativas para simplificar a estrutura do produto, reduzindo assim os custos de fabricação e montagem.

Os autores citam ainda que ao se aplicar uma ferramenta DFA, na fase conceitual do projeto, onde as alterações são simples e baratas, verifica-se uma melhoria considerável na comunicação entre o setor de manufatura e o setor de projeto e, como consequência, as idéias geradas e o raciocínio lógico fazem com que o número de erros na tomada de decisões seja diminuído.

### **2.5.1 O Projeto orientado para montagem manual**

Considerando-se resultados adquiridos pela experiência na aplicação do DFA, algumas orientações gerais de projeto devem ser seguidas com o objetivo de consolidar conhecimentos de fabricação e apresentá-los ao projetista em forma de regras simples a serem seguidas quando este desenvolve um projeto. Neste sentido, o processo de montagem manual pode ser dividido em duas áreas distintas. Uma refere-se ao manuseio (aquisição, orientação e movimentação de peças) e a outra, à inserção e fixação (encaixe de uma peça em outra peça ou em grupo de peças).

#### **2.5.1.1 Orientações de projeto para manuseio de peças**

Boothroyd *et al.*(2002), comentam que em linhas gerais, com o fim de facilitar o manuseio de peças um projetista deve tentar seguir as seguintes recomendações:

- a) projetar peças que têm simetria em toda sua extensão e também simetria rotacional sobre o eixo de inserção. Se isto não puder ser alcançado, tentar projetar peças que tenham o máximo possível de simetria;
- b) projetar peças que sejam claramente assimétricas quando for impossível projetá-las com simetria. Esta orientação tem o objetivo de tornar fácil para o montador identificar a não simetria;
- c) fornecer elementos que impeçam o emperramento de peças que tendem a formar pilhas quando armazenadas em grande quantidade;
- d) evitar elementos que permitam emaranhamento de peças quando armazenadas em grandes quantidades;
- e) evitar peças que, quando juntas, se unam sem necessidade ou que sejam escorregadias, flexíveis, muito pequenas ou muito grandes, ou que sejam perigosas para quem está manuseando (peças pontiagudas ou que lasquem com facilidade etc.).

### 2.5.1.2 Orientações de projeto para inserção e fixação de peças na montagem

De acordo com Boothroyd *et al.*(2002), levando-se em consideração as condições específicas de montagem e a facilidade na inserção de peças, um projetista deve tentar observar os seguintes aspectos:

- a) projetar de modo que haja pouca ou nenhuma resistência à inserção das peças, e, para atender a este quesito, o projetista deve prever chanfros para orientar o encaixe das peças, bem como um ajuste dimensional correto para evitar folgas ou interferência fora do padrão;
- b) padronizar peças, processos e métodos em todos os modelos e em toda linha de produtos, o que resulta normalmente em um menor custo final para o produto;
- c) usar montagem do tipo pirâmide – providenciar para a montagem seguinte um eixo de referência. Em geral, é melhor montar a partir de cima;
- d) evitar, sempre que possível, a necessidade de segurar peças para manter a sua orientação durante a manipulação do subconjunto ou durante a colocação de outra peça. Se for necessário segurar a peça, então tentar projetar de forma que a parte seja fixada o mais breve possível após sua inserção;
- e) projetar de forma que uma peça seja guiada antes de ser liberada para o posicionamento final. Quaisquer elementos que possam servir de guias (furos, rasgos etc.) trarão segurança na montagem;
- f) escolher corretamente os processos de fixação adequados para a montagem, observando as questões de ordem física e econômica, em acordo com os requisitos de projeto. Para montagem manual, os métodos de fixação mais usados são: por encaixe, por flexão plástica, por rebitemento e por parafusos. Em ordem crescente, o método de fixação por encaixe aparece como o mais barato e, na sequência, o método de fixação por parafuso, o mais caro.
- g) evitar a necessidade de redirecionamento de montagem.

Os autores comentam ainda que a observação de tais orientações de projeto se constituem em um conjunto de regras que, quando vistas como um todo, fornecem, aos projetistas, informações adequadas a serem utilizadas para desenvolver um projeto que

será mais fácil de montar do que um projeto obtido sem tais fundamentos. São úteis e ajudam os projetistas na otimização e desenvolvimento de seus projetos, porém tais orientações não fornecem meios pelos quais se possa avaliar quantitativamente um projeto quanto à facilidade de montagem, bem como também não existe uma classificação relativa de todas as orientações que possam ser utilizadas pelo projetista para indicar quais orientações resultam em maiores melhorias de manipulação, inserção e fixação. Quando o projetista objetiva quantificar a dificuldade de montagem, recomenda-se a utilização do software DFA desenvolvido por Boothroyd e Dewhurst, afim de otimizar o cálculo do índice DFA ou eficiência de montagem.

Neste sentido, cabe ressaltar que, esta pesquisa, limita-se na aplicação do método Boothroyd-Dewhurst e o cálculo do número mínimo de peças, explanado no item 2.5.2 a seguir.

### **2.5.2 Método Boothroyd-Dewhurst e o cálculo do número mínimo de peças**

O valor para o número mínimo teórico de peças representa uma situação ideal em que partes separadas são combinadas em uma única parte; para tanto, verifica-se de forma isolada a necessidade real de cada componente envolvido na montagem do produto. Tal verificação conduz o projetista a uma avaliação da interatividade da parte com o meio no qual a mesma está inserida.

Segundo Boothroyd *et al.*(2002), o método Boothroyd-Dewhurst prevê a utilização de três perguntas relacionadas a interface, a funcionalidade e a manutenibilidade para avaliar a necessidade ou não da parte no conjunto – critério mínimo de peças.

- a) A parte, componente ou peça em análise durante o modo de operação normal, possui movimentos relativos a outras partes recém-montadas, ou seja, em relação a sua interface?
  
- b) A parte, componente ou peça em análise, em relação a sua interface, necessita ser de um material diferente ou deve ser isolada, para exercer sua função/funcionalidade?

c) A parte, componente ou peça em análise, necessita ser desmontada ou retirada para o reparo de alguma outra?

A primeira pergunta analisa a necessidade de movimento relativo. Por hipótese, peças integralizadas não possuirão deslocamentos, torções ou giros individuais. Se existir necessidade de movimento específico, então essa peça deve ser mantida individual no conjunto ao qual se agrega.

A segunda pergunta verifica a necessidade de características especiais para o material componente como diferencial característico da peça, ou seja, exprime se há ou não a opção por integrar a peça no mesmo material e se essa condição permitirá para o conjunto a mesma performance face aos requisitos de operação que uma peça diferenciada do conjunto teria.

A terceira pergunta se concentra no acesso para reparo. Qualquer produto, ao longo de sua vida útil, deve permitir, facilitar e garantir o acesso a outros elementos do conjunto, no caso de necessidade de manutenção. Após a análise das perguntas, pondera-se que caso a resposta às três perguntas seja “não”, pode-se considerar que este item é um forte candidato a sua eliminação ou integração ao seu entorno.

Convém ressaltar que a utilização destes critérios não leva em consideração outras exigências de projeto, como normas e padrões específicos que possam orientar o projetista sobre a necessidade ou não de uma parte com relação ao seu entorno.

Após a aplicação correta destas questões, o projetista deverá criar meios que conduzam a soluções alternativas, visando a simplificação do produto e melhorias nos custos de fabricação e montagem.

## **2.6 Método intuitivo para geração de concepções de produto - MESCRAI**

De acordo com Raudsepp (1983 *apud* Back *et. al.*, 2008), o método intuitivo para geração de concepções de produto, desenvolvido por Alex Osborn, utiliza uma série de palavras-chave para ativar ou estimular idéias que melhoram produtos ou processos. Baxter (2000) denomina o método de MESCRAI originado das iniciais das palavras-chave seguintes: Modificar; Eliminar; Substituir; Combinar; Rearranjar;

Adaptar e Inverter. As questões instigadoras do método MESCRAI, são apresentadas na tabela 2.2, a seguir.

Tabela 2.2 - Questões instigadoras do método MESCRAI  
Fonte: Back *et. al.*, (2008)

<b>Palavras-chave</b>	<b>Questões instigadoras</b>
Modificar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Há uma nova tendência?</li> <li>• Pode-se modificar significado, cor, movimento, som, odor, forma?</li> <li>• Pode-se adicionar tempo?</li> <li>• Maior frequência, maior resistência, maior altura, maior valor?</li> <li>• Pode-se duplicar, multiplicar ou exagerar?</li> </ul>
Eliminar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode-se subtrair, condensar, diminuir, encurtar, reduzir peso, omitir, dividir?</li> </ul>
Substituir	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quem ou o que se pode substituir?</li> <li>• Existem outros ingredientes apropriados, materiais, processos, aproximações?</li> </ul>
Combinar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode-se usar uma mistura, uma liga, uma montagem?</li> <li>• Pode-se combinar unidades e idéias?</li> </ul>
Rearranjar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode-se intercambiar componentes?</li> <li>• Pode-se usar outra configuração, leiaute ou sequência?</li> <li>• Pode-se modificar o modo ou esquema?</li> </ul>
Adaptar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O que mais é igual a isto?</li> <li>• Que outra ideia isto sugere?</li> <li>• O passado oferece qualquer paralelo?</li> <li>• O que se pode copiar ou imitar?</li> </ul>
Inverter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode-se trocar o positivo e o negativo?</li> <li>• Pode-se trocar a frente e atrás, de cima e de baixo?</li> </ul>

O método intuitivo descrito é muito útil para estimular idéias na geração inicial de soluções na fase do projeto conceitual e também em fases posteriores do desenvolvimento do produto, e pode ser utilizado como auxílio no PDP junto com os métodos estruturados ou sistemáticos.



## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Introdução**

Essa pesquisa possui dimensão exploratória porque se desenvolve a partir de um problema de pesquisa na procura de padrões ou idéias visando encontrar uma solução para o problema. Verifica-se também que a mesma se move do geral para o específico.

Como resultado desse trabalho, pretende-se resolver determinados problemas e contribuir para a qualificação do conhecimento no âmbito do desenvolvimento de produto. Neste sentido, pretende-se conceber o projeto conceitual de um produto, denominado “Dispositivo Funcional”.

Essa pesquisa tem caráter de pesquisa tecnológica. Utiliza conhecimentos e tecnologias existentes, com o objetivo de demonstrar como uma teoria se aplica ao desenvolvimento de um produto, fazendo com que ele melhore na sua qualidade total. Além destes objetos, existe também o conhecimento gerado pela avaliação dos resultados obtidos a luz do referencial teórico que fundamenta a pesquisa.

Pode-se classificá-la também como complexa porque exige, além do produto final, uma série de estudos oriundos das dificuldades e limitações ocasionadas pelas experiências anteriores na vida profissional. Por outro lado, vale destacar que é uma pesquisa com características qualitativas.

Para efeito desse trabalho descreve-se nos métodos e procedimentos, do próximo item, a estratégia utilizada para sua execução.

### **3.2 Métodos e Procedimentos**

Este trabalho foi desenvolvido tomando-se como base a pesquisa aplicada exploratória do tipo tecnológica. Para obter o produto final (conceito de projeto de um dispositivo Funcional) foi necessário buscar conhecimentos multidisciplinares. Primeiramente fez-se reuniões técnicas discursivas, com debates relativos a temas específicos, com profissionais das áreas de eletrônica, mecânica, eletrotécnica e design.

As reuniões foram agendadas pelo pesquisador e se efetivaram individualmente, com duração aproximada de 2 horas com um profissional de cada área. Com cada um destes profissionais, o pesquisador discutiu e analisou os seguintes temas: A viabilidade do projeto em termos de processos de manufatura, elementos de montagem, ciclo de vida e utilização de materiais ecologicamente corretos. Para a complementação de informações, a comunicação também se sucedeu por mídia eletrônica.

Como resultado destas interações com estes profissionais, levantou-se alternativas de funcionalidade e possibilidade do produto gerar energia, indicadores que foram observados na proposição do protótipo.

Utilizou-se na pesquisa, a metodologia de projeto para o desenvolvimento do produto, considerando que inicialmente as fontes dos dados tiveram origem na bibliografia, nas referências de mercado e no posicionamento dos profissionais da equipe multidisciplinar.

Os procedimentos utilizados para viabilizar a pesquisa são: pesquisa bibliográfica, levantamento de dispositivos similares existentes no mercado (mecânico, pneumático, hidráulico, elétrico e eletrônico), reuniões com a equipe multidisciplinar, planejamento do modelo conceitual com auxílio do software denominado *Solidworks*, aplicação da metodologia DFA (Método Boothroyd-Dewhurst e o cálculo do número mínimo de peças), simulação virtual com o modelo através do software *Solidworks*, análise dos resultados, apresentação de conclusões e sugestões. Durante o processo de pesquisa, visando um auxílio na busca de soluções alternativas para a inovação do produto e geração do projeto conceitual I, utilizou-se o método intuitivo para geração de concepções de produto denominado como método da instigação de questões, abordado na obra de Nelson Back *et al.* (2008) e na obra de Mike Baxter (2000), com a denominação de MESCRAI.

A pesquisa foi conduzida pessoalmente pelo pesquisador no período de dois anos. Os resultados são apresentados através do próprio modelo do produto gerado, na forma de textos figuras e tabelas, relacionando-os, na análise, com o referencial bibliográfico, com o posicionamento do pesquisador e da equipe multidisciplinar.

## **4 UTILIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DFA NO DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO VIRTUAL**

### **4.1 Introdução**

Este capítulo visa demonstrar a utilização da metodologia DFA no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional. As etapas de concepção são demonstradas inicialmente pela avaliação de um dispositivo base (protótipo), cedido pela empresa Boxflex Componentes para Calçados Ltda, seguido pelo desenvolvimento de um primeiro conceito (projeto conceitual I) e finalmente pelo desenvolvimento do segundo conceito (projeto conceitual II).

Os resultados finais são obtidos com referência ao número de peças utilizadas no dispositivo base (protótipo), no projeto conceitual I, concebido através da utilização do método intuitivo MESCRAI, e no projeto conceitual II, através da aplicação da metodologia DFA.

### **4.2 Desenvolvimento do projeto conceitual I – primeiro modelo**

#### **4.2.1 Início do desenvolvimento**

O desenvolvimento do projeto conceitual I baseou-se na revisão da literatura e na análise e avaliação de um dispositivo base (protótipo), citado no item 4.1, o qual serviu como referência para o desenvolvimento desta pesquisa. Esperava-se, em um primeiro momento, através deste trabalho, desenvolver um modelo conceitual de um dispositivo, que pudesse, em uma forma economicamente viável e com boa estrutura funcional, substituir o dispositivo existente (dispositivo base).

#### **4.2.2 Análise e avaliação do dispositivo base (protótipo)**

O dispositivo base (protótipo), utilizado como ponto de partida para o desenvolvimento desta pesquisa, é um protótipo construído com praticamente 100% das

peças reaproveitadas de outros equipamentos. Tal dispositivo foi fabricado e montado com o objetivo de transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador e testar a possibilidade de gerar energia, porém tanto para o projeto, bem como para a fabricação, não se utilizou metodologia científica, apenas buscou-se reunir componentes para facilitar a transmissão de movimento. A figura 4.1 mostra tal dispositivo em sua concepção atual (protótipo).

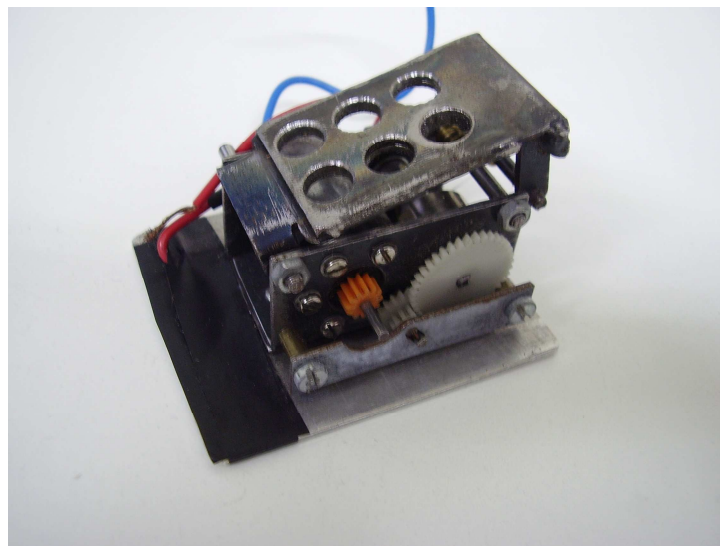


Figura 4.1 - Dispositivo base (protótipo)

#### **Lista das peças que compõem o dispositivo base**

- 1 Base (01 peça)
- 2 Acionador mecânico (01 peça)
- 3 Microgerador (01 peça)
- 4 Apoios Laterais (03 peças)
- 5 Braços Frontais (02 peças)
- 6 Eixos de rotação (05 peças)
- 7 Buchas separadoras (02 peças)
- 8 Engrenagens de dentes retos (04 peças)
- 9 Mola espiral (01 peça)
- 10 Polias guia (06 peças)
- 11 Arruelas (08 peças)
- 12 Porcas (02 peças)
- 13 Parafusos (11 peças)

Somando-se todas as peças que compõem o conjunto do dispositivo base, tem-se como resultado um número de 47 peças, que juntas totalizam 160 gramas de massa.

A análise e a avaliação do dispositivo base realizaram-se com referência na literatura pesquisada e em dois momentos: em um primeiro momento buscou-se informações sobre as funções do produto; e em um segundo momento aplicou-se uma lista de verificação elencando as características principais do produto.

#### **4.2.2.1 Análise das funções do produto**

Baxter (2000), considera como função o objetivo de uma ação e não a própria ação. Em geral ela não se relaciona com os meios (componentes físicos) com que é realizada, mas apenas com o seu objetivo. A função geralmente é definida por um verbo (atuando sobre algo) e um substantivo (objeto sobre o qual atua). As funções de um produto podem ser classificadas, quanto à hierarquia, em: Principal, Básicas e Secundárias. Para o produto em questão tem-se:

- a) *função principal*: Transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador;
- b) *função básica*: imprimir rotação no eixo do Microgerador (dínamo);
- c) *funções secundárias*:

- imprimir rotação na engrenagem movida 2 solidária ao eixo do Microgerador;
- imprimir rotação na engrenagem motora 2;
- imprimir rotação na engrenagem movida 1;
- imprimir rotação na engrenagem motora 1;
- imprimir movimento alternado de translação ascendente e descendente no acionador mecânico.

#### **4.2.2.2 Lista de verificação do produto com avaliação do dispositivo base**

Segundo Pahl & Beitz *et al.* (2005), é fundamental para avaliação na etapa de concepção que as características tecnológicas e econômicas sejam incorporadas o mais cedo possível. Por isso é necessário considerar simultaneamente critérios tecnológicos, econômicos e os que se referem à segurança. Neste sentido optou-se por utilizar como auxílio à análise, um modelo de lista de verificação sobre o protótipo original (dispositivo base). A avaliação realizada é ilustrada na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Lista de verificação com as características principais para avaliação do produto.  
 Fonte: Adaptado de Pahl & Beitz *et al.* (2005)

Característica Principal	Avaliação do Dispositivo Base	
	Situação Existente	Situação Desejada
<b>Função Principal</b>	Transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador	Transformar movimento alternativo em movimento rotacional no eixo de um Microgerador
<b>Princípio de Trabalho</b>	Mecânico – Transforma movimento alternativo em rotativo para o acionamento de um Microgerador	Mecânico – Transformação de movimento alternativo em rotativo para o acionamento de um Microgerador
<b>Forma do corpo</b>	Forma Cartesiana, dimensional excedente e configuração complexa	Forma orgânica, dimensões reduzidas e simplificação de sua configuração
<b>Desenho</b>	Sem desenho	Renderização do produto
<b>Segurança</b>	Não apresenta riscos ou efeitos nocivos ao usuário ou a sociedade	Não apresentar riscos ou efeitos nocivos ao usuário ou a sociedade
<b>Ergonomia</b>	Elevada massa e elevado esforço para produzir movimento	Diminuição da massa e do esforço necessário para produzir movimento
<b>Produção</b>	Elevado número de componentes e processos de produção caros para a configuração atual. Difícil montagem pela complexidade estrutural	Diminuição de componentes, utilização de processos de produção mais baratos e simplificação da estrutura para facilitar a montagem
<b>Controle</b>	Dificulta o controle de qualidade pela complexidade estrutural	Simplificação da estrutura para facilitar o controle de qualidade do produto
<b>Montagem</b>	Complexidade de montagem acarretados pelo grande número de peças e a utilização de mola espiral e elementos de fixação por parafusos.	Diminuição do número de componentes, eliminação e substituição de componentes de união e de transmissão de movimento, facilitando a montagem do conjunto.
<b>Transporte</b>	Difícil empilhamento, difícil transporte, perda volumétrica na embalagem devido as dimensões da base.	Diminuição das medidas externas para facilitar empilhamento e obter ganho de volume no transporte do produto
<b>Utilização</b>	Elevado nível de ruído. Converte movimento alternativo da alavanca de acionamento em rotativo do eixo do Microgerador apenas na posição ascendente	Diminuição do nível de ruído. Conversão do movimento alternativo da alavanca de acionamento em rotativo do eixo do Microgerador nas posições ascendente e descendente
<b>Manutenção</b>	<b>Preventiva:</b> Difícil acesso aos componentes com necessidade de manutenção <b>Corretiva:</b> Difícil acesso aos componentes. Necessidade de desmonte de grande número de peças para a substituição da maioria dos componentes	<b>Preventiva:</b> Facilitação do acesso aos componentes com necessidade de manutenção <b>Corretiva:</b> Simplificação da estrutura para facilitar acesso e desmontagem de peças sem interferir em outras peças já montadas
<b>Reciclagem</b>	Com exceção das engrenagens confeccionadas de polímero, o restante dos materiais é de fácil reciclagem	Utilização de materiais com possibilidade de reciclagem, causando o menor impacto ambiental possível
<b>Custos</b>	Elevado custo de produção e montagem devido ao elevado número de componentes.	Diminuição do número de componentes para baixar custo de produção e montagem

Uma característica negativa marcante constatada na avaliação do dispositivo base quanto a sua utilização é a de que, através do mesmo, só consegue-se produzir movimento rotativo no eixo do Microgerador no momento em que o acionador mecânico está efetuando o movimento vertical ascendente. O movimento vertical descendente, neste caso, somente é utilizado para armazenar energia mecânica através da mola espiral.

#### **4.2.3 Apresentação do projeto conceitual I – primeiro modelo**

Dando sequência à pesquisa, e em acordo com o estabelecido no capítulo 3, para o desenvolvimento do projeto conceitual I utilizou-se o método intuitivo para geração de concepções de produto denominado como método da instigação de questões, abordado na obra de Nelson Back *et al.*(2008) e na obra de Mike Baxter (2000), com a denominação de MESCRAI. Esta sigla que tem origem nas iniciais das palavras-chave: Modificar; Eliminar; Substituir; Combinar; Rearranjar; Adaptar e Inverter, conforme apresentado no item 2.6.

Na utilização deste método, procurou-se relacionar as características críticas levantadas na análise do dispositivo base, mostradas na tabela 4.1, tentando-se solucionar ou melhorar itens de projeto tais como massa elevada, elevado esforço para produzir movimento, dimensional excedente, elevado número de componentes, difícil montagem, estrutura funcional complexa, elevado nível de ruído, difícil manutenção e elevado custo de produção e montagem.

Para justificar o desenvolvimento do novo conceito, elegeu-se a solução para o problema de projeto do dispositivo base em produzir movimento rotativo no eixo do Microgerador, somente através do movimento de retorno (movimento ascendente) da alavanca de acionamento como sendo prioritária e indispensável. Caso este item possa ser solucionado já no desenvolvimento do primeiro modelo, tem-se um aproveitamento do ciclo completo do movimento mecânico. Os itens relacionados à diminuição do número de componentes, redução das medidas externas e redução da massa total do produto também foram elencados como importantes para esta fase do desenvolvimento da proposta.

As figuras 4.2, 4.3 e 4.4 ilustram de forma mais clara o resultado obtido no desenvolvimento do primeiro conceito.

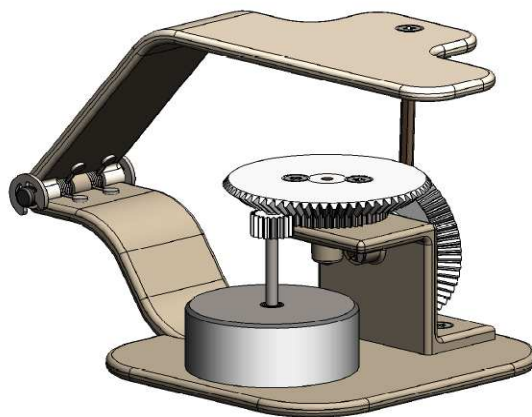


Figura 4.2 - Perspectiva isométrica do dispositivo funcional – projeto conceitual I

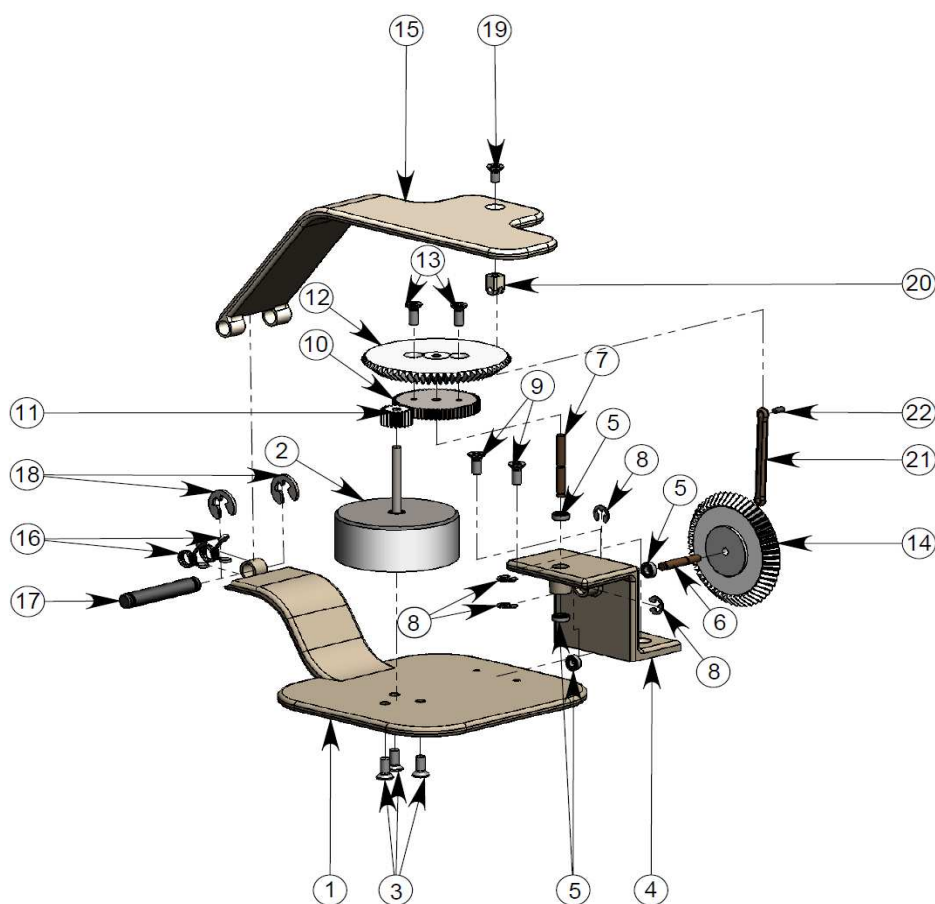

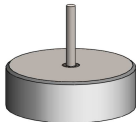
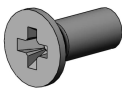
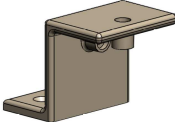




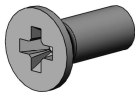
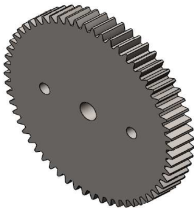



Figura 4.3 - Perspectiva explodida do dispositivo funcional – projeto conceitual I.



Peça	Nome	Imagem	Quant.	Especificação	Material
01	Base		01	66x46x17x2mm	Liga de Alumínio
02	Microgerador		01	Ø24x22mm	Aço
03	Parafuso de fixação do Microgerador		03	JIS 1111 Cross recessed countersunk head screw - M1.6 x 4	Aço
04	Suporte de engrenagens		01	22x20x19x2mm	Liga de Alumínio
05	Rolamento		04	JIS B 1512-1 - 171.5	Aço
06	Eixo 01		01	Ø1,5 x12,5mm	Aço
07	Eixo 02		01	Ø1,5x19mm	Aço
08	Anel elástico de fixação dos eixos 01 e 02		04	Truarc X5133-6 - S0.062	Aço
09	Parafuso do suporte de engrenagens		02	JIS 1111 Cross recessed countersunk head screw - M1.6 x 4	Aço
10	Engrenagem cilíndrica de dente reto 02		01	JIS - 0.25M 60T 20PA 2FW	Polímero
11	Engrenagem cilíndrica de dente reto 01		01	JIS - 0.25M 20T 20PA 3FW	Polímero

12	Engrenagem cônica 02		01	JIS - 0.4M 65GT 20PA 3FW	Polímero
13	Parafuso de fixação das engrenagens 10 e12		02	JIS 1111 Cross recessed countersunk head screw - M1.6 x 4	Aço
14	Engrenagem cônica 01		01	JIS - 0.4M 55PT 20PA 3FW	Polímero
15	Acionador Mecânico		01	72x25x30x2mm	Liga de Alumínio
16	Mola de torção		02	Ø3.6mm	Aço
17	Pino do Acionador Mecânico		01	Ø2,5x35mm	Aço
18	Anel elástico de fixação do Pino do Acionador Mecânico		02	DIN 6799 - 2.3	Aço
19	Parafuso de fixação do Braço		01	JIS 1111 Cross recessed countersunk head screw - M1.6 x 3	Aço
20	Conexão Braço		01	2,5x2,5x3mm	Aço
21	Braço		01	20x2,5x1mm	Aço


22	Pino do Braço		01	Ø1x2,5mm	Aço
----	---------------	---	----	----------	-----

Figura 4.4: Relação das peças que compõe o dispositivo funcional – projeto conceitual I.

Em uma primeira avaliação, com a utilização da metodologia MESCRAI, verifica-se que o primeiro modelo do dispositivo (projeto conceitual I) contempla em grande parte os itens críticos de projeto destacados na análise do dispositivo base existente. Dentre os itens trabalhados e as melhorias apresentadas pode-se mencionar:

- a) o número de peças do conjunto diminuiu de 47 para 34, o que corresponde a uma redução de 27,65% (13 peças);
- b) a massa total do conjunto diminuiu de 160 gramas para 57,11 gramas, o que corresponde a uma redução de peso de 64.36% (102.89 gramas);
- c) não houve ganho significativo neste primeiro momento quanto a parte dimensional externa;
- d) o objetivo do projeto de que o movimento alternativo da alavanca de acionamento (ora descendente ora ascendente) produza movimento contínuo e unidirecional no eixo do Microgerador, foi contemplado utilizando-se um braço articulado com movimento excêntrico, unindo o acionador mecânico à engrenagem motora (engrenagem cônica 1);
- e) a estrutura funcional ficou mais simples, melhorando o sistema para manutenção e eventual troca de peças em campo, bem como para montagem e desmontagem do conjunto;
- f) no projeto conceitual I manteve-se o sistema de transmissão por engrenagens, porém com a substituição das engrenagens de dentes retos (dispositivo base) por engrenagens cônicas (projeto conceitual I) devido à transmissão de movimento a 90°.

### 4.3 Desenvolvimento do projeto conceitual II – segundo modelo

Para o desenvolvimento do projeto conceitual II – segundo modelo, o objetivo foi de aplicar a metodologia DFA, usando-se como base os resultados obtidos pelo

desenvolvimento do projeto conceitual I – primeiro modelo, concebido pela aplicação da metodologia MESCRAI. Necessitava-se ainda comprovar o uso da metodologia DFA e demonstrar também as melhorias significativas obtidas para o produto final. Considerando tais necessidades, buscou-se analisar nesta etapa o projeto conceitual I sob a ótica da montagem, e, para tanto, mostrou-se importante a preocupação com a necessidade ou não do uso de ferramentas, na dificuldade em montar peças de pequenas dimensões, na possibilidade de utilizar os diversos tipos de elementos de união, bem como na possibilidade de unir e integrar peças.

Segundo Beall (1997), é possível consolidar diversas peças e componentes (plásticos ou não) em uma única peça injetada, muito mais complexa, porém vantajosa considerando-se o número de montagens que essa pode eliminar. Ponderando-se que é possível (mesmo que não seja tão trivial e barato) injetar em plástico praticamente qualquer peça, mesmo com geometria extremamente detalhada e complexa, vê-se vantagem em primeira análise de substituir conjuntos por peças únicas, contribuindo na redução do número de peças.

Neste sentido, realizou-se uma crítica do projeto conceitual I (primeiro modelo) quanto à facilidade para a montagem segundo a metodologia de Boothroyd-Dewhurst.

#### **4.3.1 Cálculo do número mínimo de peças pelo método Boothroyd-Dewhurst**

Conforme já abordado no capítulo 2, item 2.5.2, segundo Boothroyd *et al.*(2002), o método utilizado por Boothroyd-Dewhurst, prevê a utilização de três perguntas para avaliar a necessidade ou não da peça no conjunto – critério mínimo de peças.

- a) A peça, ou componente em análise durante o modo de operação normal, possui movimentos relativos a outras partes recém-montadas, ou seja, em relação a sua interface?
  
- b) A peça, ou componente em análise, em relação a sua interface, necessita ser de um material diferente ou deve ser isolada, para exercer sua função/funcionalidade?

c) A peça, ou componente em análise, necessita ser desmontada ou retirada para o reparo de alguma outra?

Procedendo-se a análise do primeiro modelo (projeto conceitual I) frente às três perguntas do método exposto no item 2.5.2, iniciou-se pelo questionamento quanto aos movimentos relativos que as peças teriam umas em relação às outras e cada uma com seu entorno. Dessa análise, pode-se verificar que:

- a) as peças de número 01, 05, 06, 07, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 21 e 22 apresentavam movimentos relativos à outras partes já montadas;
- b) para que o conjunto possa exercer plenamente sua função, não é necessário que todas as peças citadas apresentem obrigatoriamente movimento relativo a outras peças já montadas. É o caso das peças de número 05, 06 e 07, bem como das peças 15 e 20.

Como conclusão prévia, considerou-se que as peças de número 01,10, 11,12,14,15,16,17,21 e 22 deveriam ser inicialmente mantidas individuais, e com possibilidade de utilização no desenvolvimento do projeto conceitual II, a não ser que uma mudança tecnológica pudesse beneficiar o projeto, efetuando-se a troca do sistema de transmissão de movimento por engrenagens pelo sistema de transmissão de movimento por atrito permitindo assim a integração, substituição ou adição de outros elementos.

Para responder a segunda pergunta, fez-se uma análise dos possíveis materiais que poderiam ser utilizados no projeto e chegou-se à conclusão de que para algumas peças havia exigência de utilização de diferentes materiais, ou seja, materiais com características específicas, e para outras não. A peça de número 16 é um bom exemplo de peça para utilização de um material diferenciado, pois a mesma deverá resistir à solicitação de torção. O conjunto de peças de números 17, 21 e 22 poderiam ser do mesmo material, desde que fossem respeitados os critérios de atrito. As peças de número 01, 04, 06, 07, 10, 11, 12, 14, 15 e 20 poderiam ser do mesmo material, desde que fossem respeitados os critérios mínimos de resistência mecânica. A peça de número 21 pode fazer parte do grupo de peças referidas anteriormente com o mesmo material, porém certamente necessitará de uma alteração em seu dimensionamento.

Por fim, para responder à terceira pergunta, analisou-se a possibilidade ou necessidade de acesso ao conjunto para fins de reparo e chegou-se à conclusão de que para efetuar qualquer tipo de manutenção nas peças de número 05, outras peças deveriam ser removidas. Seguindo o mesmo raciocínio, para realizar qualquer reparo nas peças de número 10 e 11, seria necessário desmontar a peça de número 12.

As peças de número 03, 08, 09, 13, 18 e 19 possuem a função de junção ou fixação, portanto, são fortes candidatas à exclusão ou substituição.

A peça de número 2 pode ser considerada como sendo um subconjunto, pois devido ao tamanho reduzido e pela dificuldade em fabricá-la, a mesma é comprada pronta de um fornecedor e por este motivo é necessário mantê-la no projeto final.

Como pode se verificar, em nenhuma das três perguntas aplicadas para cada parte individual obteve-se “não” para todas as peças do conjunto. Esse fato gerou uma avaliação que permitiu trabalhar com as possibilidades de exclusão, substituição e integração de peças.

Ponderando-se as respostas individuais relativas a análise do primeiro modelo (projeto conceitual I) frente às três perguntas do método, considerando-se exclusão, substituição e integração de peças, e as reais necessidades para que o projeto conceitual do dispositivo funcional (projeto conceitual II – segundo modelo) exerça sua função, chegou-se à conclusão de que seria necessário um número mínimo de peças igual a 14, conforme apresentado no ítem 4.3.2 a seguir.

#### **4.3.2 Apresentação do projeto conceitual II – segundo modelo**

Como pode se verificar através da figura 4.5, houveram alterações significativas na configuração geométrica do projeto conceitual I para o projeto conceitual II, sendo oportuno apresentar os principais itens responsáveis por tal mudança:

a) a opção pela troca do sistema de transmissão de movimento por engrenagens (peças de número 10, 11, 12, e 14 - projeto conceitual I) pelo sistema de transmissão de movimento por atrito (peças de número 3, 4, 5, 6 e 7 - projeto conceitual II) trouxe benefícios tanto com relação à manufatura, quanto à montagem. O processo de

confeção da matriz e conseqüentemente o processo de injeção de plásticos, é menos complexo para polias do que para engrenagens;

b) o número de peças a manufaturar, utilizadas no sistema de transmissão de movimento por atrito (peças de número 3,4,5 - projeto conceitual II) é menor do que o número de peças usadas no sistema de transmissão de movimento por engrenagens (peças de número 10,11,12, e 14 - projeto conceitual I), o que facilita também a montagem. As peças de número 6 e 7, anel da roda de atrito e correia principal serão adquiridas de um fornecedor, só necessitando serem montadas;

c) alterou-se a geometria do acoplamento da base (peça 01) e do acionador mecânico (peça 15) do projeto conceitual I, permitindo assim a exclusão dos dois anéis elásticos (peça 8), responsáveis pela limitação do movimento axial do pino do acionador mecânico e de uma mola de torção (peça 16), responsável pelo efeito memória para viabilizar o movimento alternado do acionador mecânico. A limitação do movimento axial do pino do acionador mecânico no projeto conceitual II poderá ser viabilizada utilizando-se ajuste por interferência;

d) a integralização das peças de número 01,04,06 e 07 (projeto conceitual I) em uma peça única de número 01 (projeto conceitual II), permitiu que o acoplamento da polia 2 (peça 04 - projeto conceitual II) e da polia de atrito (peça 05 - projeto conceitual II) fosse viabilizada através da utilização de *Snap-Fit*, facilitando consideravelmente a montagem. Para fins de segurança e bloqueio do movimento axial das polias citadas, utilizaram-se arruelas de aço padronizadas (peças de número 08 e 09 – projeto conceitual II);

e) a fixação da polia 3 (peça de número 03 do projeto conceitual II) no eixo do Microgerador (peça de número 02 do projeto conceitual II) se dará por interferência e utilização de adesivo bloqueador de movimento, do tipo trava-eixo;

f) a integralização das peças de número 15 e 20 (projeto conceitual I) em uma peça única de número 10 (projeto conceitual II) permitiu a exclusão do parafuso de fixação de número 19 do projeto conceitual I, diminuindo conseqüentemente o tempo de montagem.

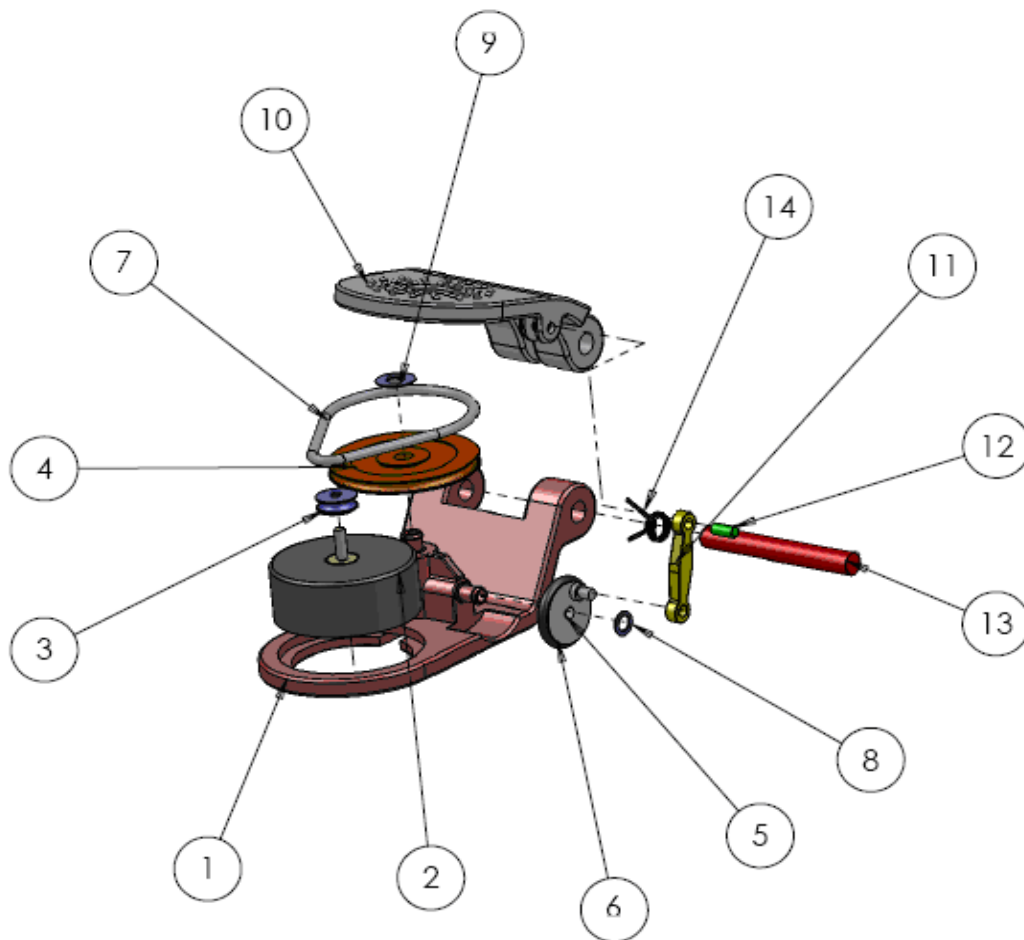
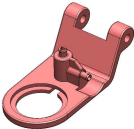
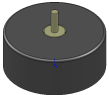
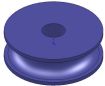
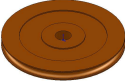





Figura 4.5 - Perspectiva explodida do dispositivo funcional – projeto conceitual II.



Peça	Nome	Imagem	Quant.	Especificação	Material
01	Base		01	28x19,5x56,5mm	Polímero
02	Microgerador		01	Ø22x15,5mm	Aço
03	Polia 3		01	Ø6,25x2mm	Polímero
04	Polia 2		01	Ø22,5x2mm	Polímero
05	Polia de Atrito		01	Ø10x2mm	Polímero
06	Anel da Roda de Atrito		01	Ø11,5xØ1,5mm	Polímero
07	Correia Principal		01	Ø10x2mm	Polímero



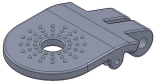


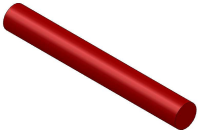

08	Arruela 01		01	2.5X4X0.1mm	Aço
09	Arruela 02		01	2.5X6X0.1mm	Aço
10	Acionador Mecânico		01	28x47x15mm	Polímero
11	Braço		01	17,5x3,5x2mm	Polímero
12	Pino do Braço		01	Ø1,8x4mm	Aço
13	Pino do Acionador Mecânico		01	Ø3.5x28mm	Aço
14	Mola de torção		01	Ø3,6x1,75mm	Aço

Figura 4.6- - Relação das peças que compõem o dispositivo funcional – projeto conceitual II.

#### **4.4 Resultados finais do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II**

No item 4.2, apresentou-se o desenvolvimento do projeto conceitual I – primeiro modelo, utilizando-se para tal o método intuitivo para geração de concepções de produto denominado como método da instigação de questões MESCRAI e tendo-se como referência um dispositivo base (protótipo). Já no item 4.3, apresentou-se o desenvolvimento do projeto conceitual II – segundo modelo, utilizando-se da metodologia DFA e tendo-se como referência o projeto conceitual I – primeiro modelo.

Com o intuito de facilitar a análise dos dados, demonstrar a sistematização no processo de pesquisa e de forma clara e explícita demonstrar a relação entre as variáveis envolvidas, optou-se por apresentar o resumo dos resultados finais do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II através da tabela 4.2.

As variáveis utilizadas na apuração dos resultados foram definidas baseando-se na literatura consultada, nos objetivos propostos e em grandezas que poderiam ser demonstradas pelo autor desta pesquisa. Os valores numéricos apresentados na tabela possuem, por conveniência, arredondamento na segunda casa decimal.

Como pode-se verificar na tabela 4.2, no que tange a quantidade de peças do conjunto, constata-se uma redução considerável partindo-se do dispositivo base (protótipo) com 47 peças, e posteriormente na evolução do desenvolvimento do projeto conceitual I com 34 peças e do projeto conceitual II com 14 peças.

Quanto à massa total do conjunto, também podemos verificar que houve uma redução considerável, visto que partiu-se do dispositivo base (protótipo) pesando 160 gramas, evoluindo para o projeto conceitual I pesando 57,01 gramas e por fim o modelo conceitual II pesando apenas 18,30 gramas.

No que diz respeito às dimensões máximas do conjunto, de acordo com a tabela 4.2, obteve-se uma pequena redução da largura, acompanhada de um pequeno aumento no comprimento e na altura do conjunto ( projeto conceitual I). Já para o projeto conceitual II, com a utilização do DFA, observa-se uma forte redução nas dimensões, tanto no comprimento, quanto na largura e na altura.

Tabela 4.2 - Resumo dos resultados finais do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II

Variáveis	Dispositivo base (Protótipo)	projeto conceitual I com utilização do MESCRAI	projeto conceitual II com utilização do DFA
Quantidade de peças	(47) (100%)	(34) (redução de 27,66%)	(14) (redução de 70,21%)
Massa total (gramas)	(160) (100%)	(57.01) (redução de 64,37%)	(18.30) (redução de 88,56%)
Dimensões: (mm)	<u>(65x55x40)</u>	<u>(72,19x46x43.35)</u>	<u>(56.54x28x22.47)</u>
Comprimento (C)	(C=65) (100%)	(C=72,19) aumento-11,06%	(C=56,54)redução -13,02%
Largura (L)	(L=55) (100%)	(L=46) redução-16,36%	(L=28) redução -49,09%
Altura (H)	(H=40) (100%)	(H=43,35) aumento-8,38%	(H=22,47) redução-43,83%

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1 Conclusões

Este capítulo apresenta as conclusões da pesquisa realizada, bem como uma análise e verificação do atendimento dos objetivos geral e específicos propostos, no início deste estudo. Após esta verificação, são apresentadas algumas constatações acerca do processo de desenvolvimento do projeto conceitual I e II, com o intuito de demonstrar a relação entre as variáveis envolvidas e, por fim são elaboradas algumas sugestões para a sequência da pesquisa.

A pesquisa realizada tratou da aplicação da metodologia *design for assembly* (DFA), como ferramenta de auxílio no desenvolvimento de produto. Neste caso, o projeto de um dispositivo funcional teve seu desenvolvimento a partir da geração de alternativas concebidas para atender uma estrutura funcional. E a aplicação da metodologia DFA na fase de projeto conceitual contribuiu para selecionar a alternativa que melhor atende a estrutura funcional, com vantagens significativas em termos de números de peças necessárias e dispositivos utilizados, o que corrobora para a eficácia do processo de projeto, com redução de custo no desenvolvimento do produto. O emprego da metodologia DFA em projetos de produtos industriais contribui para simplificar a estrutura funcional, bem como para minimizar o uso de partes através da eliminação de peças desnecessárias e da integração e redução de sistemas de junção. Como consequência da aplicação desta metodologia, temos melhor qualidade e confiabilidade, no processo de desenvolvimento de produto, com redução do custo e espaço de armazenagem e dos custos de fabricação causada pela redução no volume de material. Além disso, o menor tempo de desenvolvimento do produto é possibilitado com menor emprego de peças e mão de obra necessária, tanto para produção como para montagem dos componentes. Neste sentido, é importante ressaltar que, reduzindo o número de tipos de peças no produto, há uma diminuição do número de fornecedores, do custo para inspeção (controle de qualidade), do custo de pedido e da possibilidade da utilização de peças defeituosas ou em não conformidade com as especificações.

A pesquisa mostra também conceituações e aplicações do processo de desenvolvimento de produtos segundo uma abordagem de processos de negócio, as quais esclarecem as ligações críticas entre o PDP e o mercado, conectando-o às necessidades dos clientes e às diversas interações informacionais que ocorrem neste processo. O PDP, como um processo de trabalho, originou-se a partir dos processos de negócio propostos pelos movimentos da reengenharia e da qualidade total, sendo frequentemente associado à introdução, parcial ou total, da teoria da engenharia simultânea (ES), sendo esta uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado e paralelo de projeto de produto e os processos relacionados (manufatura e suporte), que considera todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, visando aumento da qualidade do produto com foco no cliente, diminuição do ciclo de desenvolvimento e custos.

No trabalho, aplicou-se o método intuitivo para geração de concepções de produto, denominado como método da instigação de questões MESCRAI, que demonstrou ser muito útil para estimular idéias na geração inicial de soluções. Na fase do projeto conceitual, obtiveram-se soluções alternativas, modificando, eliminando, substituindo, combinando, rearranjando, adaptando ou mesmo invertendo peças do dispositivo base (protótipo), o qual serviu de referência para o desenvolvimento do projeto conceitual I – primeiro modelo.

Verificou-se também que é possível se obterem melhorias no processo de desenvolvimento de produtos com uma filosofia de projeto orientado para a montagem, metodologia consagrada como *Design for Assembly*, e que esta metodologia deveria ser considerada em todos os estágios do processo de projeto, especialmente nos estágios anteriores ou logo na fase conceitual.

As constatações, que comprovam o alcance dos objetivos da pesquisa, estão diretamente relacionados à diminuição do número de peças do dispositivo base (protótipo) comparado ao desenvolvimento do projeto conceitual I (primeiro modelo) e ao desenvolvimento do projeto conceitual II (segundo modelo), mantendo-se seu objetivo funcional.

Outras constatações relacionam a importante redução do peso na evolução do desenvolvimento do projeto conceitual I (primeiro modelo) ao desenvolvimento do

projeto conceitual II (segundo modelo), bem como das medidas de largura, comprimento e altura de tais dispositivos.

Pode-se constatar, então, que, através da aplicação da metodologia DFA sobre o projeto conceitual I (primeiro modelo), obtiveram-se propostas de soluções técnicas que simplificaram o produto em sua concepção final (projeto conceitual II - segundo modelo), e, por consequência, melhoraram as condições para montagem. Cabe lembrar também que outras soluções podem ser avaliadas, eliminando-se a restrição quanto à forma do Microgerador (peça 02 do projeto conceitual II), aumentando assim a gama de opções na escolha de materiais para o conceito gerado.

Avaliando-se o conteúdo apresentado, pode-se constatar que o estudo foi conduzido, considerando-se a praxe acadêmica – item comprovado pela presença de uma revisão da literatura sobre o conhecimento em Projeto Orientado para a Montagem.

Concluindo, houve real intenção de pesquisa científica, e o desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional, tendo como referência a fundamentação teórica e a metodologia denominada “*Design for Assembly*”, contribuiu significativamente no aprimoramento profissional do pesquisador, estabelecendo perspectivas de oportunidade para continuidade de estudos em nível de pós-graduação.

## **5.2 Sugestões para a sequência da pesquisa**

Ao concluir o processo de desenvolvimento que culminou na obtenção do Projeto Conceitual II (segundo modelo), e visando à melhoria contínua, considera-se importante sugerir como continuação do projeto de pesquisa alguns itens de maior relevância.

a) A continuação do processo de análise com a utilização da metodologia DFA no desenvolvimento do dispositivo funcional, no que diz respeito ao índice DFA ou eficiência de montagem, bem como a utilização da metodologia DFM, com o fim de estabelecer parâmetros para a manufatura.

- b) A expansão do processo de análise incorporando outras ferramentas como: QFD - *Quality Function Deployment* – Desdobramento da Função Qualidade, FMEA - *Failure mode and effects analysis* – Análise de modos e efeitos de falhas e FEA - *Finite Element Analysis* – Análise por elementos finitos.
- c) A pesquisa de opções de materiais com a utilização de softwares avançados visando aumentar as alternativas de escolha e diminuir o impacto ambiental.
- d) A construção de um protótipo funcional para viabilizar testes e aprimorar seu funcionamento, forma e função, gerando possibilidades para a descoberta de novas aplicações para o dispositivo desenvolvido.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Alexandre Teixeira. **O uso do método DFA (Design for Assembly) em Projeto de Produtos objetivando a melhoria ergonômica na Montagem.** São Carlos 2007. Dissertação (mestrado). PPGEP/UFScar.

ANDREASEN, M.; Myrup, kähler, S. and LUND, T. **Design for Assembly.** Bedford UK.: IFS Ltd 1988.

BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Acires e SILVA, Jonny Carlos da. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem.** Barueri, São Paulo: Manole, 2008.

BARROS, Aidil Jesus da Silveira e LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de Metodologia Científica.** São Paulo: Makron Books. 2000

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto - Guia prático para o desenvolvimento de novos produtos.** São Paulo: Edgar Blücher, 2 ed. 2000.

BEALL, Glenn. **The Dangers of Part Consolidation.** Disponível em: <[http://www.plasticstoday.com/imm/articles/dangers-part\\_consolidation](http://www.plasticstoday.com/imm/articles/dangers-part_consolidation)>. Acesso em: 25 abr 2009.

BONENBERGUER, Paul R. *The first Snap-Fit handbook: **Creating and Managing Attachments for Plastic Parts.*** Rochester, Michigan, USA: Hanser Gardner Publications, Inc. 2005.

BOOTHROYD, Geoffrey and DEWHURST, Peter. **Product Design for Assembly.** Rhode Island, USA: Boothroyd Dewhurst, inc. 1989.

BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter and KNIGHT, Winston. **Product Design for Manufacture and Assembly.** New York USA: Taylor & Francis Group, 2 ed. 2002.

BORSATO, Milton; SILVA, Mariana Pucci; ERDMANN, Rolf Hermann; BARDAL, Rafael Machado. **Uma plataforma de suporte ao desenvolvimento rápido de produtos tecnológicos através da Engenharia Simultânea.** 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

BURDEK, Bernhard E. **História, Teoria e Prática do Design de Produtos.** Tradução Freddy Van Camp. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CASAROTTO FILHO, Nelson; FÁVERO, José Severino e ESCOSTEGUY CASTRO, João Ernesto. **Gerência de Projetos/Engenharia Simultânea**. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e Gerenciamento da cadeia de Suprimentos – Estratégias para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

COELHO, Edgar. **Sistema de Informações para o Auxílio no Desenvolvimento de Novos Produtos**. Florianópolis, 1998. Dissertação (mestrado). PPGEP/UFSC.

COSTA, José Eduardo; SILVA, Marcos Rodrigo; SILVA, Carlos Eduardo Sanches. **Reprojeto de um Produto Fundamentado no Design for Assembly**. V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 10 a 12 de agosto de 2005, Curitiba/PR.

DARÉ, Giovanni; FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; OGLIARI, André; BACK, Nelson; BEAL, Valter; RIBEIRO, Jr., Armando Sá; AHRENS, Carlos Henrique. – **Aplicação da Engenharia Simultânea ao Processo de Desenvolvimento de componentes Plásticos Moldados por Injeção: Um estudo de Caso**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

FILHO, Eduardo Romeiro; DE LIMA, Rose Mary Rosa. – **“A Reciclagem de Materiais e suas Aplicações no Desenvolvimento de novos Produtos: Um estudo de caso”**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

FILHO, João Gomes. **Ergonomia do Objeto**. São Paulo: Escrituras, 2004.

FOGLIATTO, Flávio S.; MURY, Luiz Gilberto Monciaro. – **Adaptação de Produtos para mercados diferenciados a partir da Engenharia Reversa**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

FORCELLINI, Fernando A.; FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; OGLIARI, André. – **Sisoi – Software dá apoio à definição de especificações de projeto de componentes injetados**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

FÜRSTENAU, Eugênio. **Novo dicionário de termos técnicos inglês-português**. São Paulo: Globo, 1999.

GASTROW, Hans. **Der Spritzgießwerkzeugbau**. München, Carl Hanser Verlag München Wien, 1990. 250p.

GAYNOR, G.H. **Optimizing investments in technology: the role of managing cycle time.** Managing Tecnology Today, May 1992.

GERWIN, Donald. **Integrating Manufacturing into the Strategic Phases of New Product Development.** California Management Review – Summer 1993, vol. 35, nº 4. Published by Haas School of Business. University of California. Berkelly

GESAMTVERBAND KUNSTSTOFFVERARBEITENDE INDUSTRIE E.V.(GKV) und ZEITSCHRIFT KUNSTSTOFFE. **Kunststoff - Recycling**, München, Carl Hanser Verlag, 1991. 196p.

HARTLEY, John R. **Engenharia Simultânea um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção.** São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia para Pesquisa e Desenvolvimento** - Aplicada a novas tecnologias, produtos e processos. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil editora Ltda. 2004.

KELLEY, Tom. **A Arte da Inovação: lições de criatividade da IDEO, a maior empresa americana de design.** São Paulo: Futura, 2002.

KOCHAN, Ana. **Simultaneous engineering puts the team to work.** Multinational Business, n. 1, 1991.

KOSCIUK, Enio; RIBEIRO, José Luis Duarte; DANILEVICZ, Ângela de Moura Ferreira. – **Um método de Desdobramento da Qualidade em serviços voltado à melhoria contínua.** 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

KOTLER, Philip. **Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle.** Tradução Ailton Bomfim Brandão - São Paulo: Atlas, 1996.

KOVALCHUK, João Pedro Buiarskey. **Aplicação do DFA no desenvolvimento de componentes da linha branca – Um estudo de caso.** Curitiba 2006. Dissertação (mestrado). PPGEP/PUC-PR.

KUGLIANSKAS, Isak. **Engenharia Simultânea e técnicas Associadas em empresas tecnologicamente dinâmicas.** Revista de Administração, São Paulo v. 30, n 2, p. 25-38, abril/junho 1995.

KUGLIANSKAS, Isak. **Engenharia Simultânea: Organização e Implantação em empresas Brasileiras**. Revista de Administração, São Paulo v. 28, n 4, p. 104-110, outubro/dezembro 1993.

LÖBACH, Bernd. **Design industrial**. Trad. Freddy Van Camp. São Paulo: Edgar Blücher, 2001.

LUBBEN, Richard T. **Just-in-Time**. Tradução Flávio Deny Steffen; revisão Técnica Flarry G. Fockink - São Paulo: McGraw-Hill, 1989. 302p.

MALLOY, Robert A. **Plastic part design for injection molding: an introduction**. New York: Hanser, 1994.

MASSARANI, Marcelo. **A Qualidade da Comunicação no Desenvolvimento de Produtos**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

MAXIMIANO, Antônio Cesar Amaru. **Administração de Projetos – Como Transformar Idéias em Resultados**. São Paulo: Atlas, 2002.

MENEGHELLI, Leocádio. **O Ambiente das Organizações na era da Globalização**. Disponível em: <<http://www.icpg.com.br>> Acesso em 21 abr 2009.

MUNDIM, Ana Paula Freitas. **Desenvolvimento de Produtos e Educação Corporativa**. São Paulo: Editora Atlas S. A. 2002.

NAVEIRO, Ricardo Manfredi; AZEREDO, Maurício Bagueira de Vasconcellos; ROZO, Luiz Alberto Lourenço. – **Projeto de Peças Plásticas para Produtos Descartáveis de uso Médico-Hospitalar**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

OGLIARI, André. **Sistematização da Concepção de Produtos Auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de Plástico Injetados**. Florianópolis, 1999. 349 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC.

ONO, Maristela Mitsuko, **Fatores da Globalização e da diversidade cultural no desenvolvimento de Produtos**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

PAHL, G.; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg e GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PANERO, Julius; ZALNIK, Martin. **Dimensionamento Humano para Espaços Interiores**. São Paulo: Gustavo Gili GG, 2003.

PRASAD, Biren. **Concurrent Engineering Fundamentals – Integrated Product and Process Organization**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.

PEREIRA, Milton wetzel; MANKE, Adilson Luiz. **MDPA – Uma metodologia de desenvolvimento de produtos aplicado à Engenharia Simultânea**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

PORTER, Michael E. **Vantagem Competitiva**. Tradução de Elizabeth Maria de Pinto Braga, revisão técnica de Jorge A. Garcia Gomez - Rio de Janeiro. Campus, 1992, 512p.

RADHARAMANAN, R. **Concurrent Engineering and Design for Manufacture. Keynote Speech**, XIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis, 1993.

ROSENBERG, N. F. M. and EEKELS J. **Product Design: Fundamentals and Methods**. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltda., 1995.

SALUSTRI, Filippo A. e CHAN, V. **Design for Assembly**. Disponível em: <<http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>>. Acesso em 26 mar 2009.

STORTTI, Maurênio. **Globalização: Mitos e Verdades**. Porto Alegre: SENAC/DR/RS, 1995.

TAMBINI, Michael. **O Design do século**. Editora Ática: São Paulo, SP 2002.

THE HENRY FORD ON-LINE MUSEUM, **The life of Henry Ford**. Disponível em: <<http://www.thehenryford.org>>. Acesso em 21 fev 2009.

TILLEY, Alvin. **As Medidas do Homem e da Mulher: fatores humanos em design**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

VITRUVIUS Site. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br>>. Acesso em: 21 fev 2009.

WARNECKE, Hans Jürgen und VOLKHOLZ, Volker. **Moderne Spritzgießfertigung Automatisierung und Arbeitsgestaltung**. München, Carl Hanser Verlag, 1990. 337p.

## ANEXOS

## ANEXO 1

## Part Design Checklist

for injection molded engineering thermoplastics

---

### Material Selection Requirements

<input type="checkbox"/> LOADS	___ Magnitude	___ Duration	___ Impact	___ Fatigue	___ Wear
<input type="checkbox"/> ENVIRONMENT	___ Temperature	___ Chemicals	___ Humidity	___ Cleaning agents	
	___ Lubricants	___ U.V. light			
<input type="checkbox"/> SPECIAL	___ Transparency	___ Paintability	___ Warpage/Shrinkage		
	___ Plateability	___ Flammability	___ Cost	___ Agency test	

---

### Part Details Review

<input type="checkbox"/> RADII	___ Sharp corners	___ Ribs	___ Bosses	___ Lettering
<input type="checkbox"/> WALL THICKNESS				
• Material	___ Strength	___ Electrical	___ Flammability	
• Flow	___ Flow length	___ Too thin	___ Thin to thick	
	___ Picture framing	___ Orientation		
• Uniformity	___ Thick areas	___ Thin areas	___ Abrupt changes	
<input type="checkbox"/> RIBS	___ Radii	___ Draft	___ Height	___ Spacing
	___ Base thickness			
<input type="checkbox"/> BOSSES	___ Radii	___ Draft	___ Inside diameter/outside diameter	
	___ Base thickness	___ Length/diameter		
<input type="checkbox"/> WELD LINES	___ Proximity to load	___ Strength vs. load	___ Visual area	
<input type="checkbox"/> DRAFT	___ Draw polish	___ Texture depth	___ ½ degree (minimum)	
<input type="checkbox"/> TOLERANCE	___ Part geometry	___ Material		
	___ Tool design (across parting line, slides)			

---

### Assembly Considerations

<input type="checkbox"/> PRESS FIT	___ Tolerances	___ Long-term retention	___ Hoop stress
<input type="checkbox"/> SNAP FIT	___ Allowable strain	___ Assembly force	
	___ Tapered beam	___ Multiple assembly	
<input type="checkbox"/> SCREWS	___ Thread-cutting vs. forming	___ Avoid countersinks	
<input type="checkbox"/> MOLDED THREAD	___ Avoid feather-edges, sharp corners and pipe threads		
<input type="checkbox"/> ULTRASONICS	___ Energy director	___ Shear joint interference	
	___ Wall thickness	___ Hermetic seal	
<input type="checkbox"/> ADHESIVE & SOLVENT BONDS	___ Shear vs. butt joint	___ Compatibility	
	___ Trapped vapors		
<input type="checkbox"/> GENERAL	___ Interfit tolerances	___ Stack tolerances	___ Thermal expansion
	___ Care with rivets and molded-in inserts	___ Component compatibility	

---

### Mold Concerns

<input type="checkbox"/> WARPAGE	___ Cooling (corners)	___ Ejector placement	
<input type="checkbox"/> GATES	___ Type	___ Size	___ Location
<input type="checkbox"/> RUNNERS	___ Size and shape	___ Sprue size	___ Balanced flow
	___ Cold slug well	___ Sharp corners	
<input type="checkbox"/> GENERAL	___ Draft	___ Part ejection	___ Avoid thin/long cores

Figura 1 - Checklist para projeto de peças de plástico de engenharia moldadas por injeção.

Fonte: Malloy (1994)

## ANEXO 2

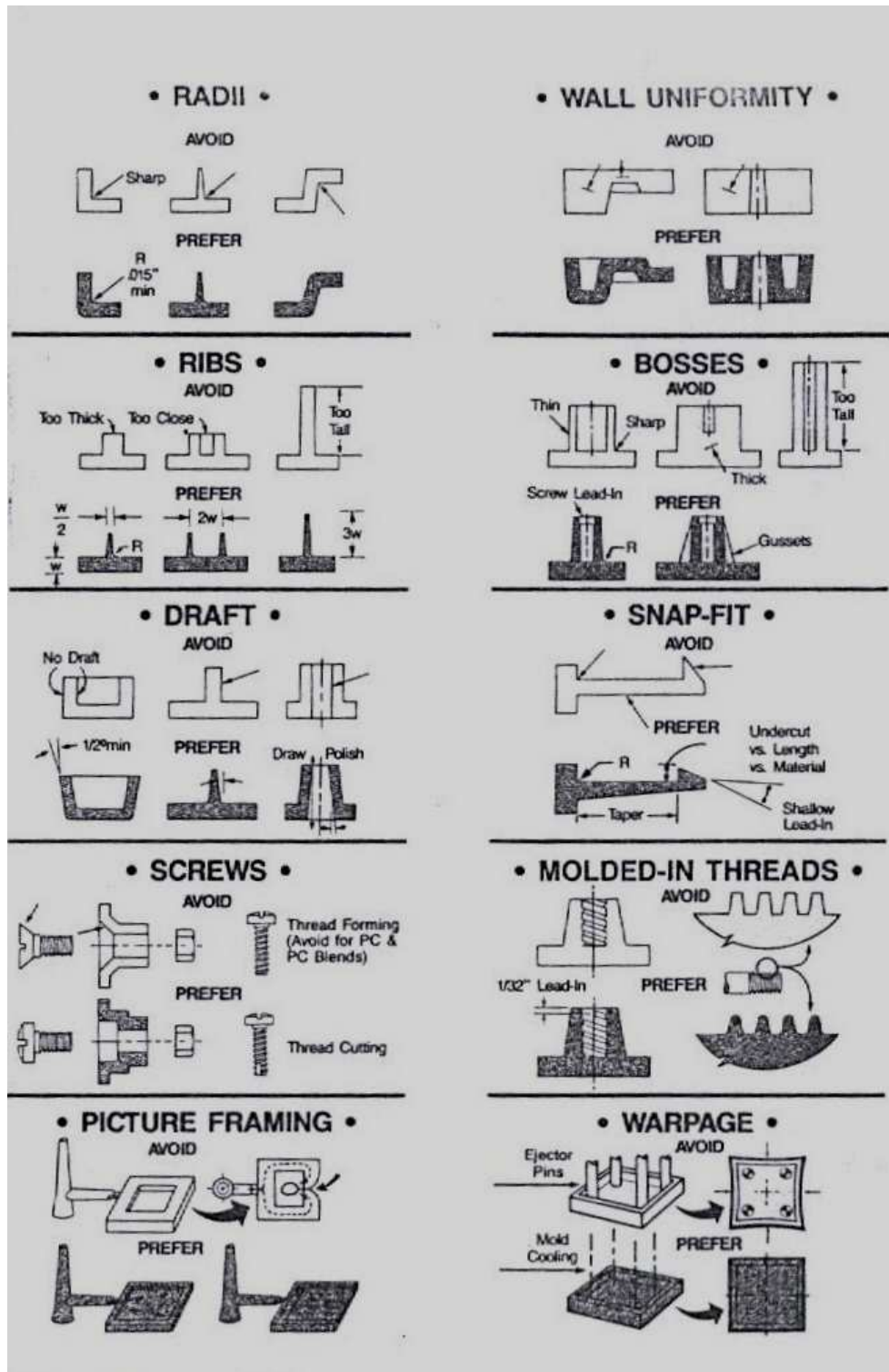


Figura 2 - Checklist para projeto de peças de plástico de engenharia moldadas por injeção.  
Fonte: Malloy (1994)