

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ESTUDO E ANÁLISE DOS MÉTODOS DE
AVALIAÇÃO DA MONTABILIDADE DE PRODUTOS
INDUSTRIAIS NO PROCESSO DE PROJETO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

ADRIANO GOMES DE SOUSA

FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 1998.

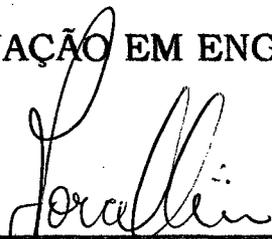
ESTUDO E ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA
MONTABILIDADE DE PRODUTOS INDUSTRIAIS
NO PROCESSO DE PROJETO

ADRIANO GOMES DE SOUSA

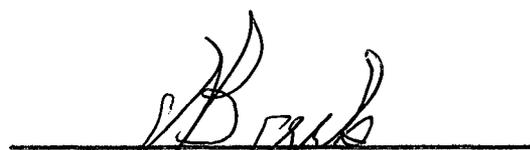
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

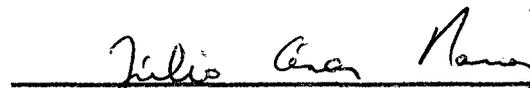
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO PROJETO DE SISTEMAS MECÂNICOS,
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.



Prof. Fernando A. Forcellini, Dr. Eng.
Orientador



Prof. Nelson Back, Ph.D.
Co-orientador



Prof. Júlio César Passos, Dr. Eng.
Coordenador do CPGEM

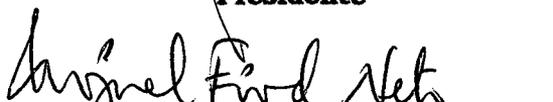
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Abelardo Alves de Queiroz, PhD.
Presidente



Prof. Acires Dias, Dr. Eng.



Prof. Miguel Fiod Neto, Dr. Eng.

Dedicatória

A todos aqueles que fizerem usufruto desta
dissertação, seja direta ou indiretamente.

Agradecimentos

A Deus e a todos os Santos por terem iluminado o meu caminho, jamais permitindo faltar força, fé e coragem para superar as dificuldades encontradas nesta etapa de crescimento pessoal e profissional.

À minha família que, privada da minha presença na convivência diária, manteve a confiança em mim e demonstrou sempre carinho, compreensão e união ao compartilhar os mais diversos momentos de alegria e tristeza.

Aos meus orientadores, que confiaram em minha capacidade e no meu trabalho, incentivando-me diversas vezes com palavras e atitudes sábias e tranquilizadoras.

Às amigas e aos amigos que souberam compreender minhas mudanças de humor e ajudaram-me a aliviar as tensões nos mais diversos momentos, contribuindo com ótimas lembranças deste período da minha vida.

Às pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho científico.

A todos, por fim, muito obrigado.

Sumário

Dedicatória	iii
Agradecimentos.....	iv
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Siglas.....	xiv
Lista de Símbolos	xvi
Resumo.....	xvii
Abstract	xviii
Prefácio.....	xix

Capítulo 1

DFA, o Projeto para Montagem

1.1 - Introdução.....	1
1.2 - O Projeto para Montagem.....	6
1.3 - Princípios do Projeto para Montagem.....	12
1.3.1 - Minimizar o número de partes numa montagem.....	17
1.3.2 - Promover a montagem modular ou projeto básico	19
1.3.3 - Padronização de produtos	20
1.3.4 - Padronização dos componentes.....	21
1.3.5 - Projeto de partes com características auto-fixadoras	21
1.3.6 - Montagem empilhada ou unidirecional	22
1.3.7 - Projetar partes com características de auto-localização.....	24
1.3.8 - Minimização dos níveis de montagem	25
1.3.9 - Facilitar a manipulação de peças	26
1.3.10 - Projeto para estabilidade	28
1.3.11 - Otimizar a seqüência de montagem	28
1.4 - Comentários	29

Capítulo 2

DFA no Processo de Projeto

2.1 - O Processo de Projeto.....	32
2.2 - O DFA no início do Processo de Projeto	36
2.2.1 - Levantamento das necessidades dos clientes e estabelecimento dos requisitos de projeto.....	37
2.2.2 - Estabelecimento da Estrutura Funcional	40
2.2.3 - Geração de Concepções Alternativas	43
2.2.4 - Avaliação e Seleção das Concepções Alternativas Viáveis.....	46
2.3 - Modelos e Técnicas adicionais para o Projeto Conceitual.....	50
2.3.1 - O Modelo da Estrutura Funcional para o Projeto Conceitual.....	51
2.3.2 - Grafos de Ligação (<i>Bond Graphs</i>).....	54
2.3.3 - Diagrama de Interfaces.....	56
2.3.4 - Mapa de Conexões.....	58
2.4 - Comentários	59

Capítulo 3

Métodos de Avaliação da Montabilidade

3.1 - Introdução.....	62
3.2 - Método <i>AEM</i> da <i>Hitachi Co.</i>	64
3.3 - Método Boothroyd-Dewhurst de <i>DFA</i>	68
3.4 - Método de Lucas	73
3.4.1 - Análise Funcional	76
3.4.2 - Análise de Manipulação.....	78
3.4.3 - Análise de Composição	79
3.5 - Projeto Orientado à Montagem do Produto	79
3.6 - Método <i>DAC</i> da <i>Sony</i>	84
3.7 - Método proposto por Kroll-Lenz-Wolberg.....	85
3.8 - Sistema <i>MOSIM</i> da <i>Siemens</i>	86
3.9 - Novo método de <i>DFA</i>	86
3.10 - Planilhas de <i>DFA</i>	87
3.10.1 - Planilha para análise da montagem e balanceamento da linha de montagem.....	87
3.10.2 - Planilha para a montagem automática.....	88
3.10.3 - Planilha proposta por Ullman.....	88
3.11 - Comentários	90

Capítulo 4

Programas Computacionais de *DFA*

4.1 - Introdução.....	92
4.2 - <i>Software LAsER</i> da Universidade de <i>Stanford</i>	93
4.3 - <i>Software DFMA</i> da <i>Boothroyd-Dewhurst Inc</i>	98
4.4 - <i>Software TeamSET</i> da <i>Computer Sciences Ltd</i>	103
4.5 - <i>Software DFA-Tool</i> da <i>Deltatron Ltd</i>	109
4.6 - <i>Software DFA-Access</i> do <i>ITA</i>	113
4.7 - <i>Software</i> de engenharia concorrente <i>CONSENS</i>	116
4.8 - <i>Software TQM</i> do Inst. de Tec. de <i>New Jersey</i>	120
4.9 - Comentários.....	123

Capítulo 5

Estudo de Caso

5.1 - Introdução.....	130
5.2 - Esclarecimento da tarefa.....	131
5.3 - Avaliação do implemento.....	132
5.3.1 - Avaliação das Especificações de Projeto.....	134
5.3.2 - Avaliação da Estrutura de Funções.....	135
5.3.3 - Avaliação do Desenvolvimento de Princípios de Solução.....	137
5.3.4 - Segundo a Planilha de Ullman.....	142
5.3.5 - Segundo a Análise Funcional do método de Lucas.....	144
5.3.6 - Segundo os <i>softwares LAsER</i> e <i>DFMA</i>	145
5.4 - Sugestão de reprojeto com respectiva avaliação.....	150
5.5 - Comentários.....	155

Capítulo 6

Conclusões e Recomendações

6.1 - Introdução.....	159
6.2 - Conclusões.....	160
6.3 - Perspectivas e Novas Tendências no <i>DFA</i>	165
6.3.1 - Panorama atual e perspectivas no Brasil.....	167
6.3.2 - Perspectivas gerais.....	169
6.4 - Comentários finais e Recomendações.....	173

Apêndices

A - Descrição Física do implemento.....	176
B - Páginas do Software <i>LASeR</i> para o Implemento.....	182
C - Relatórios do Software <i>DFMA</i> para o Implemento	187
D - Relatórios do Software <i>DFMA</i> para a Sugestão de Reprojeto.....	220
Glossário.....	226
Referência bibliográfica.....	232

Lista de Figuras

Figura 1.1 - As técnicas de projeto no processo	4
Figura 1.2 - Porcentagem de reduções de componentes registrados em 43 estudos de caso publicados	5
Figura 1.3 - Relacionamento do conhecimento técnico-científico do <i>DFA</i>	7
Figura 1.4 - Seleção de função, forma, material e processo de produção	10
Figura 1.5 - Relac. entre função, forma , material e processo de produção	10
Figura 1.5a -Visão do Processo de projeto	10
Figura 1.5b - Abordagem do <i>DFM</i>	10
Figura 1.5c - Abordagem do <i>DFA</i>	10
Figura 1.6 - O processo de montagem.....	14
Figura 1.7 - Exemplos da redução de peças.....	17
Figura 1.8 - Exemplos da redução de peças.....	18
Figura 1.9 - Exemplo de aplicação dos princípios de componente base e montagem empilhada.....	19
Figura 1.10 - Exemplos do emprego de características auto-fixadoras	22
Figura 1.11 - Exemplo do emprego da montagem unidirecional.....	23
Figura 1.12 - Exemplos do emprego de características de auto-localização	25
Figura 1.13 - Exs. de rep. para evidenciar a simetria ou assimetria das peças	27
Figura 1.14 - Exs. de reprojeção para evitar o emaranhamento das peças.....	27
Figura 2.1 - O Processo de Projeto segundo Ullman	33
Figura 2.2 - Processo de Projeto segundo Pahl&Beitz	35
Figura 2.3 - Estrutura da aplicação de <i>DFMA</i> no Processo de Projeto proposta por Boothroyd.....	37
Figura 2.4 - Matriz <i>QFD</i>	38
Figura 2.5 - O <i>QFD</i> acompanhando a evolução do Processo de Projeto.....	39
Figura 2.6 - Estrutura de funções.....	40
Figura 2.7 - Matriz <i>QFD</i> para determinar a necessidade relativa das funções.....	43
Figura 2.8 - Técnica da Matriz Morfológica	44
Figura 2.9 - Técnicas de avaliação de concepções	47

Figura 2.10 - Ex. de lista de controle sobre a montabilidade do produto	49
Figura 2.11 - Ex. de lista de controle sobre a montabilidade do componente	49
Figura 2.12 - Matriz de Decisão	50
Figura 2.14 - Modelamento proposto por Güi e Mäntylä	52
Figura 2.15 - Montagem de uma caneta esferográfica.....	56
Figura 2.16 - Diagrama de Interfaces para uma caneta esferográfica	57
Figura 2.17 - Gráfico Conceitual para uma válvula de diafragma.....	58
Figura 3.1 - Braçadeira do MD-90 antes e depois do reprojeto.....	63
Figura 3.2 - Exemplo da simbologia do <i>AEM</i>	64
Figura 3.3 - Exemplo do emprego do <i>AEM</i>	65
Figura 3.4 - Procedimento do método <i>AEM da Hitachi</i>	67
Figura 3.5 - Tabela utilizada para classificação, codificação e como base de dados das peças que afetam o tempo de manipulação manual	70
Figura 3.6 - Figura utilizada para determinação dos ângulos de simetria/assimetria α e β para a tabela de manipulação da figura 3.5	71
Figura 3.7 - Tabela utilizada para classificação, codificação e como base de dados das peças que afetam o tempo de composição manual.....	71
Figura 3.8 - Fluxograma do método de Boothroyd-Dewhurst.....	72
Figura 3.9 - Fluxograma do método de Lucas.....	73
Figura 3.10a - Guarnição antes do reprojeto.....	74
Figura 3.10b - Diagrama resultante da análise da guarnição da figura 3.10a.....	75
Figura 3.11 - Guarnição e respectivo diagrama de <i>DFA</i> após o reprojeto	75
Figura 3.12 - Carta de Critério Funcional do método de Lucas.....	77
Figura 3.13 - Exemplo do banco de dados com pontos para a análise de manipulação conforme a orientação da peça.....	78
Figura 3.14 - Extrato de um dos catálogos do método <i>POMP</i>	81
Figura 3.15 - Etapas do Projeto Orientado à Montagem do Produto	81
Figura 3.16 - Ex. de avaliação pelo método de Projeto Orientado à Montagem	82
Figura 3.17 - Fluxograma do método Projeto Orientado à Montagem do Produto....	83
Figura 3.18 - Exemplo de aplicação do método <i>DAC</i>	84
Figura 3.19 - Planilha proposta por Ullman	89
Figura 4.1 - Página de Navegação.....	94
Figura 4.2 - Página de Edição.....	94
Figura 4.3 - Página de Conexões.....	95
Figura 4.4 - Página de Subconexões	95
Figura 4.5a - Primeira página de dados para a avaliação da montabilidade.....	96

Figura 4.5b - Segunda página de dados para a avaliação da montabilidade.....	96
Figura 4.6 - Página de Avaliação da Montabilidade.....	97
Figura 4.7 - Página dos tempos de montagem individuais.....	97
Figura 4.8 - Janela carta de estrutura do produto.....	100
Figura 4.9 - Janela questões de <i>DFA</i>	100
Figura 4.10 - Quadro de questões sobre a dificuldade de inserção.....	101
Figura 4.11 - Quadro de questões sobre a dificuldade de manipulação.....	101
Figura 4.12 - Quadro de questões sobre forma, simetria e dimensões.....	101
Figura 4.13 - Janela da planilha de trabalho.....	101
Figura 4.14 - Sumário de sugestões de reprojeto.....	102
Figura 4.15 - Gráfico dos resultados da análise de <i>DFA</i>	102
Figura 4.16 - Quadro das operações específicas conexão de cabos flexíveis.....	103
Figura 4.17 - Gráfico comparativo dos resultados da análise de <i>DFA</i>	103
Figura 4.18 - Janela de navegação do <i>TeamSET</i>	104
Figura 4.19 - Janela de edição da estrutura do produto.....	104
Figura 4.20 - Matriz do módulo <i>QFD</i> e respectivo histograma de Pareto.....	105
Figura 4.21 - Janela da análise funcional do módulo <i>DFA</i>	106
Figura 4.22 - Janela da análise de manipulação manual do módulo de <i>DFA</i>	106
Figura 4.23 - Janela da análise de composição do módulo de <i>DFA</i>	106
Figura 4.24 - Diagrama de <i>DFA</i> gerado pelo método de Lucas.....	106
Figura 4.25 - Janela da análise de manufaturabilidade do módulo <i>MA</i>	107
Figura 4.26 - Gráficos como os resultados das análises de <i>DFMA</i>	107
Figura 4.27 - Janela do módulo <i>DtC</i>	108
Figura 4.28 - Relatório da análise realizada pelo módulo <i>DtC</i>	108
Figura 4.29 - Janela do módulo <i>FMEA</i>	109
Figura 4.30 - Janela do módulo <i>FMEA</i>	109
Figura 4.31 - Planilha de Produto.....	110
Figura 4.32 - Planilha de Peças e Módulos.....	110
Figura 4.33 - Planilha de Operações.....	111
Figura 4.34 - Planilha de Equipamentos.....	111
Figura 4.35 - Relatório da primeira análise de <i>DFA</i>	112
Figura 4.36 - Relatório da segunda análise de <i>DFA</i>	112
Figura 4.37 - Tabela dos nomes das alternativas de projeto.....	114
Figura 4.38 - Janela de identificação do projeto padrão.....	114
Figura 4.39 - Tabela dos nomes das peças utilizadas (<i>estrutura do produto</i>).....	114

Figura 4.40 - Tabela de definição das necessidades das peças.....	114
Figura 4.41 - Tabela para definição das tarefas de montagem de cada peça.....	115
Figura 4.42 - Tabela das penalidades associadas às tarefas de montagem.....	115
Figura 4.43 - Janela dos resultados da avaliação da montabilidade.....	115
Figura 4.44 - Estrut. dos relacionamentos existentes entre os dados das tabelas..	115
Figura 4.45 - Planilha inicial do software de <i>DFQM</i>	121
Figura 4.46 - Planilha das relações de composição (<i>interfaces</i>).....	121
Figura 4.47a - Planilha das características individuais da peça.....	122
Figura 4.47b - Planilha das características individuais da peça.....	122
Figura 4.48a - Planilha das características de composição para cada peça.....	122
Figura 4.48b - Planilha das características de composição	122
Figura 4.49a - Planilha das características de fixadores.....	122
Figura 4.49b - Planilha das características de fixadores.....	122
Figura 4.50 - Exemplo da procedência dos códigos utilizados.....	123
Figura 4.51 - Ex. de relatório da análise de produto por classe de defeito	123
Figura 4.52 - Matriz <i>DFQM</i> gerada pela análise de produto	123
Figura 5.1 - Diagr. de Interfaces do implemento. para abert. e adub. de sulcos.....	133
Figura 5.2a - Estrutura de funções parciais.....	135
Figura 5.2b - Estrut. de Funções para o implemento de abert. e adub. de sulcos ..	136
Figura 5.3 - Matriz Morfológica do implemento	138
Figura 5.4 - Diagr. de interfaces gerado a partir da Matriz Morf. e Estrut. Func.....	139
Figura 5.5a - Vista lateral esquerda do implemento.....	140
Figura 5.5b - Vista lateral direita do implemento	140
Figura 5.6 - Gráfico Conceitual do implemento de abert. e adub. de sulcos.....	141
Figura 5.7 - Planilha de avaliação da montabilidade do implemento.....	143
Figura 5.8 - Página Principal da aval. da montabilidade do imp. pelo <i>LASeR</i>	148
Figura 5.9 - Gráfico das ocorrências de montagem no imp. gerado pelo <i>DFMA</i>	149
Figura 5.10 - Gráfico dos tempos de montagem do imp. gerado pelo <i>DFMA</i>	149
Figura 5.11a - Estrutura tubular atual.....	151
Figura 5.11b - Pára-lama atual.....	151
Figura 5.12 - Pára-lama reprojetoado para substituir a estrutura.....	152
Figura 5.13 - Gráfico comparativo das ocorrências de montagem entre o projeto atual e reprojeto	152
Figura 5.14 - Gráfico comparativo dos tempos de montagem entre projeto atual e reprojeto	152

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Melhorias decorrentes à aplicação de <i>DFMA</i> nos casos da figura 1.2....	6
Tabela 4.1 - Resumo das principais características encontradas nos programas de <i>DFA</i>	125
Tabela 4.2 - Resumo das características do <i>AEM</i> e <i>DAC</i> adaptadas de [68]	125
Tabela 5.1 - Resultados da análise funcional do imp. pelo método de Lucas.....	144
Tabela 5.2 - Lista dos componentes principais do implemento	146
Tabela 5.3 - Listagem das peças de maior tempo de montagem.....	147
Tabela 5.4 - Quadro comparativo entre o projeto atual e o reprojeto.....	153
Tabela 5.5 - Influência das sugestões de reprojeto no <i>PM_{ullman}</i> do implemento	154

Lista de Siglas

- AEM = Assembly Evaluation Method* = método de avaliação da montagem
- ASCET = Assembly Cost Estimation Tool* = ferramenta de estimativa de custos de montagem
- BDI = Boothroyd Dewhurst Inc.*
- CAD = Computer Aided Design* = projeto/desenho auxiliado por computador
- CAE = Computer Aided Engineering* = engenharia auxiliada por computador
- CAM = Computer Aided Manufacturing* = manufatura auxiliada por computador
- CAPP = Computer Aided Process Planning* = planejamento do processo auxiliado por computador
- Con-Con = Concept Convergence* = convergência da concepção
- CONSENS = Concurrent Simultaneous Engineering Systems*
- CSC = Computer Sciences Ltd.*
- DAC = Design for Assembly Cost* = projeto para custo de montagem
- DE = Design Efficiency* = eficiência de projeto
- DFA = Design for Assembly* = projeto para montagem
- DFD = Design for Disassembly* = projeto para desmontagem
- DFE = Design for Environment* = projeto para o meio-ambiente
- DFM = Design for Manufacture* = projeto para manufatura
- DFMA = Design for Manufacture and Assembly* = proj. para manufatura e montagem
- DFQ = Design for Quality* = projeto para qualidade
- DFR = Design for Recycling* = projeto para reciclagem
- DFS = Design for Service* = projeto para serviço (*manutenção*)
- DFX = Design for Excellence* = projeto para excelência
- DoPF = Design of Production Facilities* = projeto das instalações de produção
- DtC = Design to Cost* = projeto para custos
- EPM = Engineering Process Management* = administração do processo de engenharia

ERGOMAS = Ergonomic Design and Optimisation of Manufacturing and Assembly Systems = projeto e otimização ergonômica dos sistemas de manufatura e montagem

FCCS = Flexible Cost Calculation System = sistema flexível de cálculo de custos

FMEA = Failure Mode Effect Analysis = análise dos efeitos do modo de falha

GT = Group Technology = tecnologia de grupo

ICAD = Intelligent CAD-System = sistema inteligente de CAD

IPA = Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung

ITA = Instituto Tecnológico de Aeronáutica

JIT = Just in Time

MA = Manufacturing Analysis = análise de manufaturabilidade

MDS = Management Decision Support System = sistema de suporte a decisões administrativas

MOP = Measure of Performance = métrica de desempenho

MTM = Methods Time Measurement = método de medição de tempo e movimentos

NeDIP = Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos

PCB = Printed Circuit Board = placa de circuito impresso

PCRR = Parts Count Reduction Rating = taxa de redução de peças

PM_{Ullman} = Potencial de Melhoria de Ullman

POMP = Projeto Orientado à Montagem do Produto

QFD = Quality Function Deployment = desdobramento da função qualidade

QM = Quality Manufacturability = qualidade de manufaturabilidade

RPN = Ranked Priority Number = valores de classificação

SPC = Statistical Process Control = controle estatístico de processos

TMU = Time Measurement Unit = unidade de medição de tempo

UFSC = Universidade Federal de Santa Catarina

Lista de Símbolos

A = peça essencial

AM = gastos de montagem

B = peça não essencial

E = nota de montagem do produto (AEM); eficiência de montagem

FM = conteúdo funcional

K = razão dos custos de montagem

KM = valor característico da montagem

N = número de tarefas de montagem (AEM); número total de componentes

n_A = número total de peças essenciais

N_{tmin} = número teórico mínimo de peças

P = nota de montagem da peça

pdr = projeto padrão (*índice*)

P_{ic} = ponto individual de composição

P_{im} = ponto individual de manipulação

t_a = tempo básico de montagem

t_{ma} = tempo de montagem manual

TX_{comp} = taxa de composição

TX_{man} = taxa de manipulação

Resumo

Nesta dissertação apresentam-se os resultados obtidos através do estudo sistemático e análise crítica dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais em que visou-se a adequação dos mesmos e a obtenção de recomendações para o uso mais apropriado durante todas as fases do processo de projeto, fundamentalmente, na fase conceitual.

Parte-se do pressuposto que a metodologia é subutilizada devido à pouca familiarização dos projetistas com as operações de produção somada à descrença sobre a real necessidade e contribuição das metodologias de projeto na criação de um produto de qualidade.

Inicialmente, define-se e apresenta-se o Projeto para Montagem (*DFA = Design for Assembly*), abordando a sua utilidade e limitações sobre o que pode fazer como filosofia, processo e ferramenta de projeto. Enfoca-se como o *DFA* se relaciona no processo de projeto, indicando como a metodologia de *DFA* pode ser aproveitada junto às técnicas usuais de projeto como o Desdobramento da Função Qualidade (*QFD*), a Função Síntese e a Matriz Morfológica.

Em seguida descrevem-se sucintamente os principais métodos já desenvolvidos, e os métodos de *DFA* disponíveis em ambiente computacional, discursando sobre a funcionalidade e contribuição de cada um; aproveitando-se também de um estudo de caso realizado sobre um implemento agrícola.

Por fim, há uma discussão sobre o panorama atual, as perspectivas e novas tendências da metodologia de *DFA*, auxiliando os comentários finais e recomendações de novos trabalhos. Conclui-se que a forma pela qual o problema foi tratado torna as informações contidas neste documento úteis a todos os interessados na tarefa de planejamento e desenvolvimento de produtos tendo em vista que o mesmo raciocínio pode ser estendido às outras metodologias *DFX* (*Design for Excellence*).

Abstract

In this dissertation it is shown the results obtained through a systematic study and critical analysis of the assemblability evaluation methods of industrial products in which was aimed the methods adequacy and the obtainment of recommendations for their best use during all the design process phases, fundamentally, in the conceptual phase.

It is presupposed that the methodology is underused due to the designers' little familiarization with the production operations, added to their disbelief over the real need and contribution of the design methodologies in the creation of a quality product.

Initially, it is defined and presented the *Design for Assembly (DFA)* involving its usefulness and limitations on what it can do as a design philosophy, process and tool. It is focused how the *DFA* links up with the design process, indicating how the *DFA* methodology can be used together with the common design techniques as the *Quality Function Deployment (QFD)*, the *Function Decomposition* and the *Morphologic Matrix*.

Then, the main *DFA* methods already developed and the ones available in computer environment are described concisely, discoursing upon the functionality and contribution of each one; also taking advantage of a case study over a agricultural implement.

Finally, there is a discussion about the actual panorama, the perspectives and new tendencies of the *DFA* methodology aiding the final comments and recommendations for new works. It is concluded that the form by which the problem was treated makes the information contained in this document useful for all those interested in the planning and development of products being aware that the same reasoning can be extended to the other methodologies *DFX (Design for Excellence)*.

Prefácio

Novos produtos sempre foram fontes de fascinação e excitação na sociedade humana. Uma sociedade em constante evolução, composta atualmente de pessoas cada vez mais conscientes das características boas e ruins de um produto ou serviço. Como resultado, os consumidores selecionam o produto e ou serviço que mais preenche a opinião deles de ser o melhor valor de compra. Infelizmente, a avaliação do produto/serviço pelos clientes é, no entanto, muitas vezes falha por ser incompleta, ter forte conteúdo emocional e ser passível de influência pela propaganda. Mesmo assim, dentro do mercado sofisticado, percebeu-se que a avaliação dos consumidores abrangia uma faixa ampla de fatores tais como qualidade, resistência, integridade, estética, assistência pós-venda, facilidade de operação, desempenho, segurança e *status*. Aproximadamente todos estes fatores podem ser relacionados ao projeto de produto, significando que o bom projeto importa e precisa de efetiva administração [47].

Na busca incessante da eficiência operacional e melhor produtividade, o primeiro passo, dado pelas organizações, foi melhorar o sistema produtivo. Mas com a evolução técnica, hoje quase todas as empresas possuem programas de garantia de qualidade da conformidade do produto. No entanto, sobressaem-se aquelas empresas que garantem, sempre, produtos diferenciados e com qualidade. Isto só é possível pela criatividade da equipe responsável pelo projeto somada ao emprego da qualidade de projeto.

Assim, os anos 90, do século XX, estão sendo dominados pela atenção ao processo de projeto. Afinal, a qualidade não pode ser inserida num produto a não ser que tenha sido projetada nele. Um resultado foi a descoberta da dependência dos custos de montagem, fabricação, garantia de qualidade e até de despesas gerais de almoxarifado, à quantidade de peças do produto. Elevou-se então, o mérito dos princípios de uma das metodologias de projeto mais importantes; o

Projeto para Montagem (*DFA = Design for Assembly*), cujo objetivo é simplificar a estrutura do produto a fim de reduzir custos.

Mas, apesar do potencial comprovado do *DFA* somado ao Projeto para Manufatura (*DFM = Design for Manufacture*), a metodologia continua sendo uma ferramenta subutilizada. Parte disto deve-se à pouca familiarização dos projetistas, preocupados excessivamente em atender as funções do produto, com as operações de produção somada à descrença sobre a real necessidade e contribuição das metodologias de projeto na criação de um produto de qualidade. Principalmente no que tange o emprego destas no Projeto Conceitual.

Em função destes aspectos citados, este trabalho realiza, na Universidade Federal de Santa Catarina, um estudo sistemático dos métodos de avaliação da montabilidade visando a adequação dos mesmos e a obtenção de recomendações para o uso mais apropriado durante todas as fases de projeto, fundamentalmente, na fase conceitual. Analisam-se os métodos também para elucidar o que o *DFA* pode fazer como uma filosofia de projeto, mostrando os princípios básicos para uma fácil montagem, o processo e a aplicação dos métodos de avaliação como uma ferramenta desta metodologia. Com esta investigação pretende-se classificar os métodos quanto à sua funcionalidade e contribuição, e propor diretrizes capazes de auxiliar a equipe de projeto em como aproveitá-los da melhor maneira. Assim, o documento servirá, também, de divulgação da metodologia de projeto para montagem.

Este trabalho encontra-se dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo define o que é o *DFA*, a sua utilidade, o que pode fazer como filosofia, processo e ferramenta. Enfocam-se quais são seus princípios básicos e comentam-se suas vantagens e limitações, sem, no entanto, apresentar alguns conceitos sobre montagem. Estes podem ser encontrados na dissertação "*Estudo Sistematizado das Técnicas de Projeto para Montagem*", referência [57], ou na referência [6] sobre a qual a dissertação citada foi fundamentada.

No segundo capítulo apresenta-se como o *DFA* se relaciona no processo de projeto, indicando como, quando e onde o *DFA* pode e deve ser aplicado no Projeto Conceitual, e que técnicas e modelos são utilizados ou necessários. O ponto chave desta parte é a preocupação em como a metodologia de *DFA* pode ser aproveitada junto às técnicas usuais de projeto como *QFD (Quality Function Deployment)*,

Função Síntese e Matriz Morfológica; tendo em vista que o mesmo raciocínio pode ser estendido à outras metodologias *DFX (Design for Excellence)*.

O terceiro capítulo possui uma descrição sucinta dos principais métodos de avaliação da montabilidade, que são as verdadeiras ferramentas do *DFA*, ao mesmo tempo que se realiza pequenas comparações entre eles em ordem de classificá-los em função da funcionalidade e contribuição. Na descrição de cada método procura-se mostrar os pontos chaves observados, o fluxograma e o procedimento passo a passo de cada um, explorando ao máximo as escassas informações contidas na literatura disponível. Há também, informações sobre algumas planilhas com características próprias para a análise de *DFA* equivalentes aos métodos desenvolvidos.

Inicialmente, o quarto capítulo, que apresenta alguns programas computacionais de *DFA* existentes, era parte integrante do capítulo anterior, o terceiro, por serem partes que tratam do mesmo tema: ferramentas de avaliação da montabilidade. Contudo, alguns aspectos tornaram-se relevantes a favor de uma melhor distinção entre as duas seções com o intuito de melhorar a leitura e compreensão do texto pelo leitor. Estes seriam o fato dos *softwares* serem versões computacionais dos métodos já desenvolvidos (*descritos no cap. 3*); as fontes de informações serem, em sua maioria, prospectos, manuais e observações sobre versões "*demo*" (*de demonstração*) ao invés de artigos e livros, e os objetivos serem diferentes. Sobre os métodos busca-se mostrar a teoria e os conceitos envolvidos neles, e sobre os *softwares* objetiva-se mostrar os atrativos existentes.

A parte final, contendo os capítulos quinto e sexto, é a parte constituída de estudos de casos e seus resultados, que além de exemplificarem a utilização dos métodos de *DFA*, servem também, de base de dados para a análise crítica da metodologia de *DFA*. Inicialmente, é apresentado o estudo, do ponto de vista da montagem, sobre o implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto desenvolvido no próprio Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (*ex-Laboratório de Projeto*) da UFSC. Em seguida, há o estudo sobre uma sugestão de reprojeto para parte do implemento. No capítulo final, o sexto, apresentam-se as recomendações e considerações finais resultantes de todo o estudo realizado, além de uma discursão sobre o panorama atual, as perspectivas e novas tendências da

metodologia de projeto para montagem não só no âmbito nacional quanto também, no mundial.

Em tempo, é necessário esclarecer que nesta dissertação refere-se a “*manufaturar*” como a manufatura ou fabricação das peças individuais componentes de um produto ou montagem, e a “*montar*” como a adição ou união de peças a fim de formarem um produto completo, valendo lembrar que se estará estudando o ato de montar e não o processo.

Capítulo 1

DFA, o Projeto para Montagem

1.1 - Introdução

A sociedade do fim do século XX apresenta uma cultura, cujas diversas realizações e aspirações podem ser expressas na forma de objetos, muitos manufaturados pela indústria. Adicionalmente, desde a Revolução Industrial as empresas têm tido três objetivos básicos permanentes: a lucratividade, a expansão e a sobrevivência. A fim de alcançar estes objetivos, a única forma disponível para a companhia é a venda de seus produtos e ou serviços, num mercado atendendo às necessidades e expectativas do mesmo da melhor maneira possível, dentro do contexto sócio-econômico característico de cada época.

O leitor deve estar se perguntando o porquê de se estudar o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos, se a humanidade tem projetado, ao longo de séculos, milhões de objetos que funcionam muito bem. A resposta, simplesmente, é que novos produtos sempre foram fontes de fascinação e excitação e, apesar deles ainda evocarem fascinação, no ambiente competitivo dos anos 90 do século XX, seu papel vai muito além da curiosidade e entusiasmo. Há uma necessidade constante de manufaturados novos, de custo efetivo e de alta qualidade — com características específicas que vão além da qualidade tradicional do produto. Essa sofisticação, das necessidades dos consumidores atuais, é consequência da diversificação dos produtos ofertados, somada à facilidade de aquisição de informações, provocadas pela internacionalização dos mercados nacionais e do aprimoramento dos meios de comunicação, além de outras características como a evolução da ciência e da tecnologia.

A competitividade acirrada tem levado as empresas a reverem suas formas de organização. Muitas companhias⁽¹⁾ estão lançando-se em projetos de racionalização de estruturas cujo propósito é buscar o grau máximo de eficiência operacional. As empresas têm enfatizado a importância da fixação de volumes de produção compatíveis com a demanda, da manutenção da qualidade e da redução de custos — faixa única de flexibilidade gerencial, já que a companhia não consegue vender por mais nem comprar por menos. Resta, então apenas, minimizar os custos, otimizando o processo produtivo com base em critérios bem definidos, fixados a partir de abordagens gerenciais específicas, integrando marketing, projeto e produção. Elevou-se, também, a importância da rápida mobilização com produtos bem diferenciados e o aproveitamento total das matérias-primas e dos recursos naturais. Cada vez mais, torna-se evidente que efetivos projeto e desenvolvimento de manufaturados têm um impacto singular e significativo em custos, qualidade, satisfação do consumidor e competitividade.

Foi dentro deste contexto que companhias como a *Douglas Commercial Aircraft Co.* descobriram que os custos de montagem, fabricação, garantia da qualidade, e até despesas gerais — inventários, monitoramento, compras, etc. — dependem, em muito, da quantidade de peças dos produtos por elas fabricados [11]. Assim, começou-se a difusão de diversos princípios de projeto, como por exemplo, o Projeto para Manufatura e Montagem (*DFMA*⁽²⁾ = *Design for Manufacture and Assembly*) — originado na Europa nos anos 70 — cujo objetivo era simplificar o produto a fim de reduzir custos.

Outra questão que surge agora é por que estudar uma metodologia específica como o Projeto para Montagem (*DFA* = *Design for Assembly*), se a tendência atual gira em torno dos princípios de projetos para desmontagem e reciclagem (*DFD/R* = *Design for Disassembly/Recycling*)?

Acontece que a crescente conscientização da importância das metodologias de desenvolvimento de produtos fez surgir inúmeras técnicas de projeto que normalmente enfatizam um determinado aspecto em particular. Por exemplo: projeto para competitividade, manutenibilidade, confiabilidade, qualidade, etc.. No

⁽¹⁾ Refere-se mais às empresas sujeitas ao cenário de economia globalizada, que são em sua maioria absoluta multinacionais de médio a grande porte. As nacionais brasileiras, infelizmente, ainda estão se iniciando neste processo de conscientização.

⁽²⁾ A sigla *DFMA* é marca registrada da Boothroyd & Dewhurst Inc.

entanto, apesar de concordar com a importância de cada técnica, Boothroyd [15] as define como *projeto para tudo*, ou *DFX (Design for Everything)*⁽³⁾, e afirma que outros fatores, tais como qualidade, confiabilidade, etc., também se aprimorarão quando considerações apropriadas forem dadas à manufatura e à montagem do produto, e que a experiência tem mostrado que um produto fácil de montar é usualmente mais fácil de desmontar e de remontar.

O Projeto para Serviço, *DFS (Design for Service)*, possui a vantagem de se estimar os custos envolvidos na manutenção, o que é de grande valia na definição do período e os gastos da garantia. Sendo também os princípios de *DFD/DFR*, que consideram os custos e o impacto ambiental no fim-de-vida do produto, complementares aos do *DFA*; assim como outras técnicas empregadas na engenharia simultânea com o objetivo de realizar um projeto de qualidade, tais como: *QFD (Quality Function Deployment)*, *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)*, metodologia Taguchi, etc. Isto pode ser percebido observando-se a figura 1.1, que mostra a aplicação das várias técnicas nas fases do processo de projeto. Por hora, pode-se afirmar que a filosofia do projeto para desmontagem é muito semelhante a do projeto para manufatura e montagem, acrescidos da consciência ecológica. Inclusive, alguns princípios se repetem como por exemplo[15]:

- padronização,
- eliminação de fixadores separados,
- diminuição ou eliminação do emprego de materiais diferentes,
- garantia de acesso fácil aos componentes (*operadores e ferramentas*),
- minimização no número de peças,
- uso de componente-base,
- evitar direções múltiplas e movimentos complexos de montagem e desmontagem.

⁽³⁾ Dependendo da literatura, a sigla *DFX* pode se referir a *Design for Anything, Everything* ou *Excellence*, sem perda no significado. No entanto, a Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, ABCM, convencionou denominar *DFX* como sigla do Projeto para Excelência, proveniente de *Desing for Excellence*.

O produto final, no que tange suas formas e funções, é praticamente o mesmo, o que diferencia são as considerações sobre a infra-estrutura para o fim de vida do produto (*pós-venda e retirada*), tais como:

- rede de assistência técnica,
- rede de coleta e processamento de sucata ou material reciclável,
- forma de distribuição do produto (*transporte, montagem posterior, etc.*).

Adicionalmente, o *DFA* é uma das poucas metodologias que apresentam potencial para fornecer uma avaliação quantitativa útil à equipe de projeto nos diversos momentos de tomada de decisão e, praticamente a única que avalia a estrutura do produto de modo a simplificá-la.

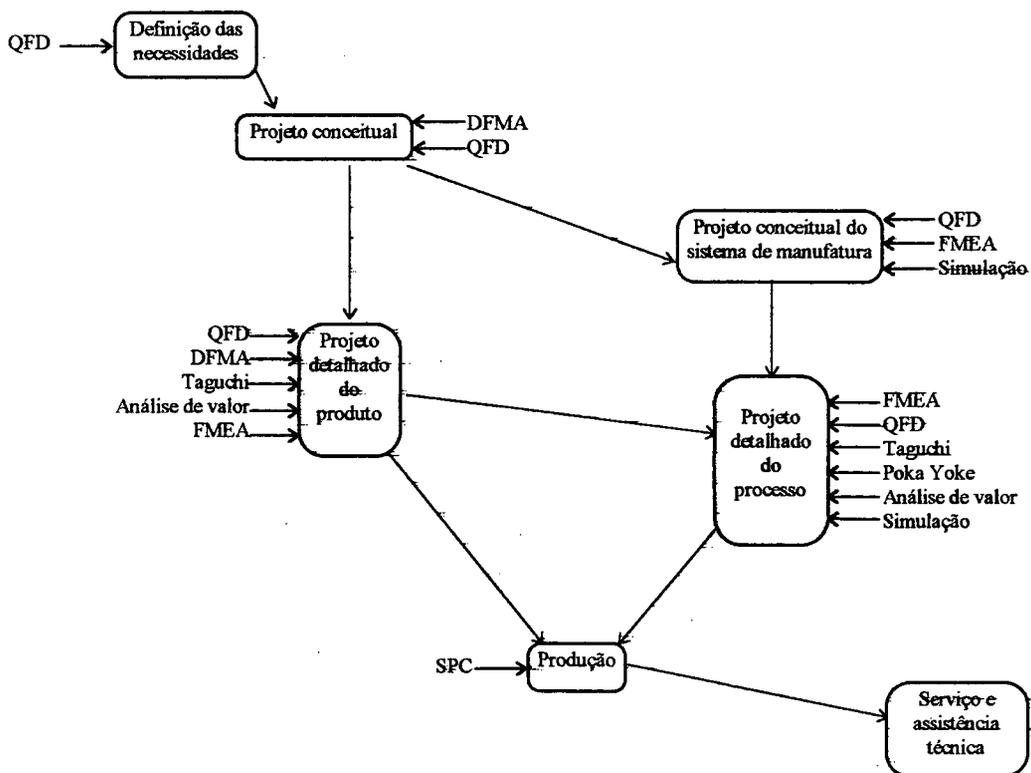


Figura 1.1 - As técnicas de projeto no processo [25].

Mas, apesar dos bons resultados obtidos, conforme mostrado na figura 1.2 e na tabela 1.1, o *DFMA* — que objetiva incrementar a eficiência do projeto — continua sendo uma ferramenta subutilizada [14]. Isto se deve ao fato dos projetistas conhecerem pouco sobre montagem e sobre operações de manipulação, somado à implantação inadequada das equipes de trabalho conforme a filosofia da engenharia simultânea, mantendo a deficiência na comunicação interdepartamental. O objetivo da chamada engenharia simultânea é abordar o projeto do produto de

uma forma integrada e completa; onde todas as áreas, como fornecedores, fabricação, vendas, assistência técnica, etc., também participem contribuindo com sugestões ao longo do processo. Outros fatores importantes que impedem uma maior proliferação do *DFA*, citados por Boothroyd [14] e Bullinger [22], são:

- uma preocupação excessiva em atender as funções requeridas para o produto, cuja consequência é subestimar a importância do processo produtivo, relegando o seu projeto ao segundo plano;
- a descrença da importância da montagem em todo o processo produtivo;
- a falta de entendimento dos problemas de montagem;
- a atitude de que pequenas inadequações relativas à montagem podem ser facilmente compensadas na fabricação;
- a natureza humana em resistir a novas idéias e ferramentas não familiares.

Nas páginas seguintes procurar-se-á, então, apresentar ao leitor os principais fundamentos da metodologia do Projeto para Montagem, *DFA*, de forma clara e objetiva.

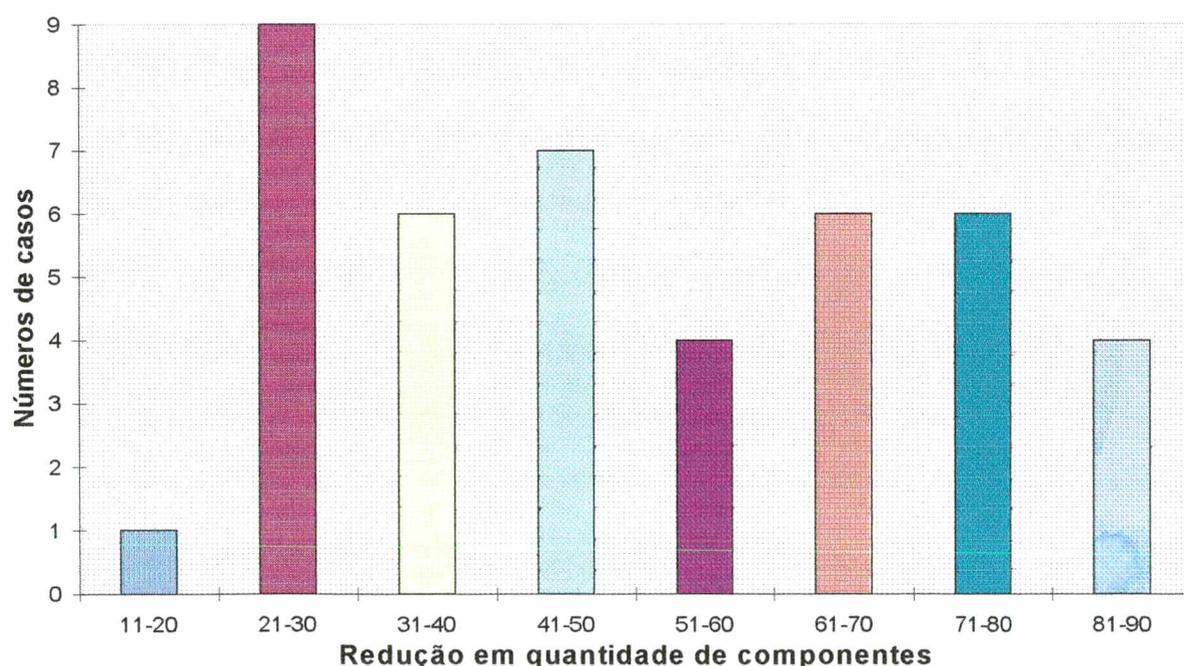


Figura 1.2 - Porcentagem de redução de componentes registrados em 43 estudos-de-caso publicados [14].

Tabela 1.1 - Melhorias decorrentes da aplicação de DFMA nos casos da figura 1.2 [14].

CATEGORIA	NÚMERO DE CASOS	REDUÇÃO MÉDIA (%)
Fixadores separados	12	72,4
Operações de montagem	10	49,5
Tempo de montagem	31	61,2
Custo de montagem	18	41,1
Custo de material	2	48,5
Custo do produto	12	37,0
Tempo de desenvolvimento do produto (<i>time to market</i>)	4	47,5
Tempo do ciclo de manufatura	6	57,3
Trabalho em progresso	1	31,0
Passos do processo de manufatura	1	55,0
Número de fornecedores	2	47,0
Ajustes	2	94,0
Defeitos de montagem	3	68,0
Chamadas de manutenção	2	56,5
Taxa de falha	2	65,0
Ferramentas de montagem/instalação	4	71,0

1.2 - O Projeto para Montagem

A arte de projetar requer um esforço intelectual que une o conhecimento científico e o elemento tecnológico à habilidade criadora do projetista. Parte desse conhecimento, as sistemáticas de processo e os princípios de projeto auxiliam a organizar o fluxo de idéias e agilizam o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos.

O Projeto para Montagem (*DFA = Design for Assembly*) compõe o conhecimento técnico-científico baseado na experiência adquirida numa das etapas mais influentes da produção — a montagem — como uma filosofia, um processo e uma ferramenta [12]. Segundo Poli et al. [60], e Andreasen [5], a montagem era responsável por 25 a 50% do custo e por 40 a 60% do tempo total de produção da maioria dos manufaturados da década de 80, e neste fim de século tais índices pouco se modificaram. Deve-se ressaltar que ambos pesquisaram produtos

disponíveis na década de 80 no mercado de países desenvolvidos. Extrapolando-se para os países em desenvolvimento, especialmente o Brasil, pode-se sugerir que tais índices são válidos para os atuais produtos brasileiros.

Para melhor compreender como o *DFA* contribui para o saber da arte de projetar, é interessante observar que a filosofia, o processo e as ferramentas de *DFA* coexistem, como mostrado na figura 1.3, de forma que interagem entre si todo o conhecimento que constitui a própria metodologia de projeto para montagem.

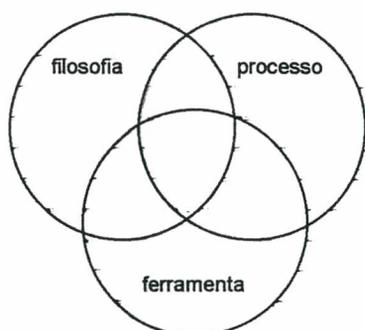


Figura 1.3 – Relacionamento do conhecimento técnico-científico do *DFA*.

A **filosofia** do projeto para montagem consiste em examinar o projeto já na etapa conceitual com o objetivo de diminuir os custos do produto e amenizar a transição do desenvolvimento do produto até a montagem final, seguida de um melhoramento contínuo e produção ininterrupta de um produto de qualidade. A aplicação de *DFA* exige que os projetistas vejam o projeto como um todo, e não só os componentes individualmente, e procurem uma solução que se preste a uma montagem eficiente melhorando, também, a manutenibilidade, a confiabilidade e a qualidade do produto final [12].

O **processo** consiste em criticar, a todo momento, os métodos e as soluções adotadas tentando simplificar ou eliminar a montagem enquanto mantém o projeto flexível ao analisar e questionar a estrutura do produto, o relacionamento entre as peças, o número de peças, os métodos de segurança e o processo de montagem. Promove assim, como questionamentos principais, a necessidade de haver componentes físicos separados unifuncionais contra um menor número de peças multifuncionais e a facilidade de manipulação envolvida. Ou seja, guia a exploração de novas formas de efetuar as tarefas de manufatura ao preparar a equipe de projeto a desafiar as soluções usuais e fazer sugestões a novas abordagens. Isto

significa dizer que o *DFA* evolui da aplicação de um método específico para uma mudança na atitude, sendo um processo de aprendizagem e interativo ao mesmo tempo [12].

Como ferramenta, consiste em obter informações sobre as várias alternativas de projeto ponderando-se características tais como o número total de peças, a dificuldade de manipulação e inserção, e o tempo de montagem. As ferramentas de *DFA* fornecem uma excelente base para comparação entre alternativas de projeto e, ainda, aprendizagem sobre benefícios de montagens específicas que auxiliam o projetista a entender peças ou concepções específicas no produto que requerem melhorias, por discriminar o efeito de cada parte na montagem total [12].

Assim, o conhecimento proporcionado pelo *DFA* pode ser usado para síntese da qualidade embutida no produto com o emprego de seus princípios ao avaliar qualitativamente o quão simplificado é a estrutura e o relacionamento entre os componentes. A metodologia pode ser empregada para avaliar os efeitos da aplicação do *DFA* em determinada montagem; como também, na análise de produtos. Examinando-se cada peça individualmente e a sua relação com as demais a fim de se conhecer o produto detalhadamente, desvenda-se os pontos fortes e fracos deste. Tais empregos apresentam-se úteis na comparação de produtos concorrentes (*benchmarking*); ação de grande serventia na fase de planejamento e desenvolvimento.

O *DFA* surgiu na Europa, primeiramente dentro do conceito de projeto para manufatura e montagem (*DFMA = Design for Manufacture and Assembly*) perante a necessidade de reprojeter produtos para a automatização da montagem quando a automação da produção era a questão central das empresas em busca da competitividade, e a dificuldade de se transmitir o ponto de vista do chão-de-fábrica para os demais membros da equipe de projeto [6] [11]. Sua importância cresceu e tornou-se uma metodologia complementar ao Projeto para Manufatura (*DFM = Design for Manufacture*). Entretanto, a divisão em *DFM* e *DFA* da metodologia de *DFMA*, que visa a melhoria da produtividade do produto, é um tanto quanto arbitrária existindo algumas diferenças básicas que ajudam a compreender melhor o mérito da metodologia de projeto para montagem.

No geral, o *DFA* enfoca [11]:

- a consolidação das peças,
- a montagem vertical com o auxílio da gravidade,
- o uso de características de orientação e inserção nas peças,
- a revisão do projeto conceitual através do consenso da equipe de projeto (*promove a engenharia simultânea*).

Já o *DFM* [11]:

- compara o uso de diferentes combinações de materiais e processos de fabricação selecionados para as partes de uma montagem,
- determina o impacto no custo com o uso destes materiais e processos.

Ou seja, enquanto o *DFM* avalia cada peça em separado e tende a recomendar peças de formas simples em substituição a uma peça de forma geométrica complexa, buscando o mais eficiente uso da geometria do componente, mas acarretando num aumento do número de peças; o *DFA* avalia todo o produto, não só as peças individualmente, e tende a simplificar a estrutura do produto enquanto mantém o projeto flexível, procurando o mais eficiente uso da função do componente.

A incumbência de se eliminar componentes não essenciais, principalmente os fixadores separados (*parafusos, rebites, molas, etc.*), leva a equipe de projeto a desafiar os limites impostos pelos materiais e processos disponíveis (*tecnologia*) e a inovar nas soluções. Tanto que, uma das decisões chaves no aumento da producibilidade é a seleção de materiais e processos de manufatura (*seleção M/P*). De acordo com as figuras 1.4 e 1.5a, transcritas de Lenau [48], a seleção *M/P* pode ser realizada por seis caminhos diferentes, relativos aos diferentes arranjos das seqüências em selecionar forma, material e método de produção capitaneados pela função. Isto significa que em alguns casos um processo de manufatura deve ser encontrado para uma geometria pré-determinada enquanto em outros casos, a questão é quais formas geométricas um processo específico (*uma tecnologia*) torna possível e, conseqüentemente, as funções atendidas por estas geometrias [48].

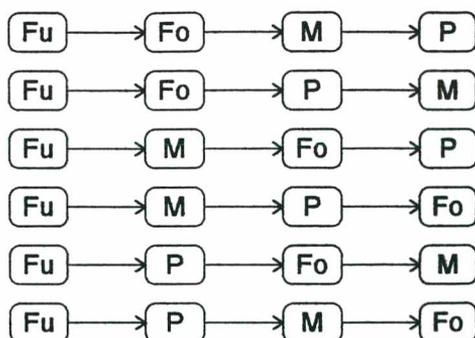


Figura 1.4 - Seleção de função (Fu), forma (Fo), material (M) e processo de produção (P) [48].

Partindo-se do pressuposto de que conceitos seguem funções e produtos seguem conceitos, ao observar as figuras 1.5a, b e c, não se torna difícil compreender como o *DFM* e o *DFA* são complementares entre si para alcançar a otimização da produtividade do produto. O *DFM* abrange as seleções de forma, material e processo de fabricação, mas necessita da informação funcional. Já o *DFA* abrange as relações da função com a forma, o material e o processo de montagem, mas necessita do inter-relacionamento da forma, material e processo produtivo. A idéia do *DFA* é fugir do “projeto de peça-funcional” e ir em direção ao “projeto de sistema-funcional”, o qual melhora a eficiência do sistema tanto em termos da produção quanto do desempenho do produto [11].

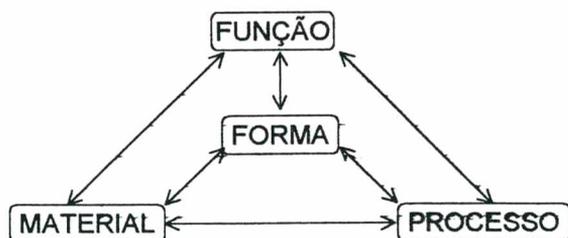


Figura 1.5a - Visão do Processo de Projeto.

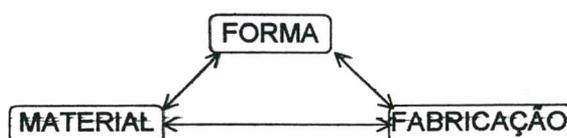


Figura 1.5b - Abordagem do DFM.

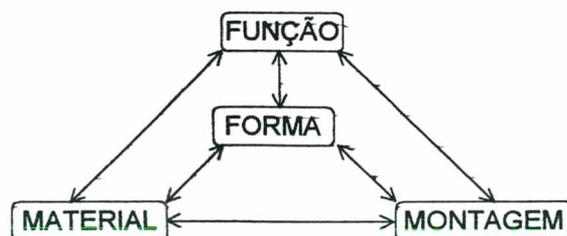


Figura 1.5c - Abordagem do DFA.

Figura 1.5 - Relacionamento entre forma, função, material e processo de produção.

Naturalmente, há algumas perdas e ganhos na redução de componentes, pois, com menor número de peças na montagem, as peças remanescentes tornar-se-ão mais complexas e caras conforme suas funcionalidades aumentem. Neste momento, o *DFM* contribui com a informação de viabilidade econômica das alternativas de projeto encontradas através da aplicação do *DFA*.

Deste modo, de acordo com Trucks [66], um efetivo *DFA* direciona o projeto para uma melhor habilidade das peças se unirem de maneira mais eficiente, menor quantidade de peças e maior qualidade. Outras conseqüências já comprovadas em estudos de caso como os da figura 1.2 e tabela 1.1 (págs. 5 e 6) são [22] e [24]:

- simplificação dos processos de montagem;
- redução das operações de manipulação;
- possibilidade de maior padronização e modularização dos produtos;
- menor número de passos e ajustes (*set-ups*) de processamento;
- menor quantidade de pontos/superfícies de encaixe;
- redução de problemas de tolerância (*stack-up*).

Adicionalmente, conforme Boothroyd [18] e Allen [1], projetos simplificados resultantes do uso das técnicas do *DFA* muitas vezes levam a uma redução no custo das peças, significativamente maior que no custo de montagem. O projeto de fixações para a montagem também se torna mais simples. Outras vantagens, mais difíceis de quantificar, incluem reduções em trabalho indireto, depreciação de equipamentos, inventários e manutenção de registros; além de aperfeiçoamentos no fluxo de materiais, da produção e na capacidade de espaço [60]. Percebe-se que todos os aspectos citados envolvem custos ao produto.

Diversas metodologias de projeto utilizam os dados de custos como parâmetros de otimização do produto. Infelizmente, estimativas confiáveis de custo, as quais podem afetar as decisões de projeto, raramente são disponíveis até que o detalhamento dos componentes tenha sido efetuado e os planos de processamento preparados. Esta é uma razão pela qual os métodos de avaliação têm sido usados iterativamente por todas as etapas para se efetuar reduções nos custos de manufatura. Tanto que, Boothroyd [16] afirma que, para serem mais efetivas, as técnicas de *DFA* e *DFM* devem ser empregadas para obter informações sobre a dificuldade de manufaturar e montar em cada fase do processo de projeto,

particularmente na fase conceitual. E quando as limitações relacionadas com materiais e processos tiverem sido expostas, a medida mais útil de manufaturabilidade será o custo de manufatura e de montagem.

Segundo Trucks [66] e Boothroyd [15], o processo de *DFA* deve constituir-se de dois passos:

- 1º. A síntese: desenvolver uma lista de princípios e propostas de simplificação de projeto, as quais guiarão os responsáveis pelo desenvolvimento do produto.
- 2º. A análise: utilizar um sistema formal de *DFA*⁽⁴⁾, um software *DFA*, ou um índice de produtividade⁽⁵⁾. Todos usados para avaliar o produto e apontar as operações de montagem de intensiva mão-de-obra, e assim, quantificar todas as alternativas.

1.3 - Princípios do Projeto para Montagem

Sabe-se que um produto industrial é normalmente constituído de vários componentes que são unidos numa seqüência exata, pela qual são conferidos, pintados (às vezes) e ou ajustados antes que a montagem final seja completada. Esta tarefa de construção do produto, a partir dos componentes prontos ou semi-prontos, é o que se define como montagem.

Obviamente, a melhor maneira de reduzir os custos de montagem é, primeiro, reduzir o número de peças a serem montadas; segundo, reduzir o custo do material, e, finalmente, assegurar que as peças remanescentes sejam fáceis de montar e de produzir [14].

Segundo Bralla [21], uma montagem deve ser usada somente quando resultados e custos desejáveis (*inclusive investimento de ferramenta*) puderem ser melhor alcançados com um agrupamento de peças do que com uma peça individual mais complexa. Considerações de projeto relativas à montagem total devem

⁽⁴⁾ Entenda-se como sistema formal de *DFA* qualquer método de avaliação da montabilidade.

⁽⁵⁾ Este índice pode ser qualquer um que avalie a eficiência do processo de montagem, como produtos/hora, ou n.º de componentes essenciais/não essenciais, ou custo de montagem/produto, etc..

ênfatizar primeiro a simplificação do produto e projeto, as restrições humanas e mecânicas, e a sequência de montagem. Desenvolver princípios de simplificação da montagem requer, então, no mínimo, uma compreensão conceitual do processo de montagem e dos tipos de montagem⁽⁶⁾.

No processo de montagem, peças, componentes, etc., combinam-se para formar o produto final. Este processo (*ver a figura 1.6*) pode ser dividido em três funções básicas: manipulação, composição e conferência; além de envolver algumas tarefas especiais como empacotamento, ajustagem, tratamento de superfície, etc.. A manipulação pode, ainda, ser subdividida em uma série de operações tais como armazenamento, transporte e posicionamento. Define-se as funções básicas como [6]:

- *manipulação*: é a função de posicionar dois ou mais objetos numa determinada posição relativa; engloba a captação, orientação e transporte dos objetos. Ou seja, é o processo de seleção e preparação dos componentes para a composição ou conferência, e transporte para os sistemas seguintes de produção, montagem ou embalagem.
- *composição*: é a função de assegurar esta posição relativa contra efeitos externos. Seu objetivo é criar uma conexão permanente entre os componentes. Este processo pode ser alcançado através de forma, força ou material.
- *conferência*: é a função de certificar se as etapas acima estão sendo executadas conforme especificado. Ou seja, são os processos pelos quais a presença e posição dos componentes são conferidas em adição à qualidade do produto acabado. Caso ocorra a necessidade de operações adicionais de manipulação e composição como consequência da conferência, pode-se chamá-las de *ajuste* ou *ajustagem*.

⁽⁶⁾ Evita-se um maior detalhamento destes conceitos por compreender que os mesmos estão facilmente disponíveis nas referências [6] e [57].

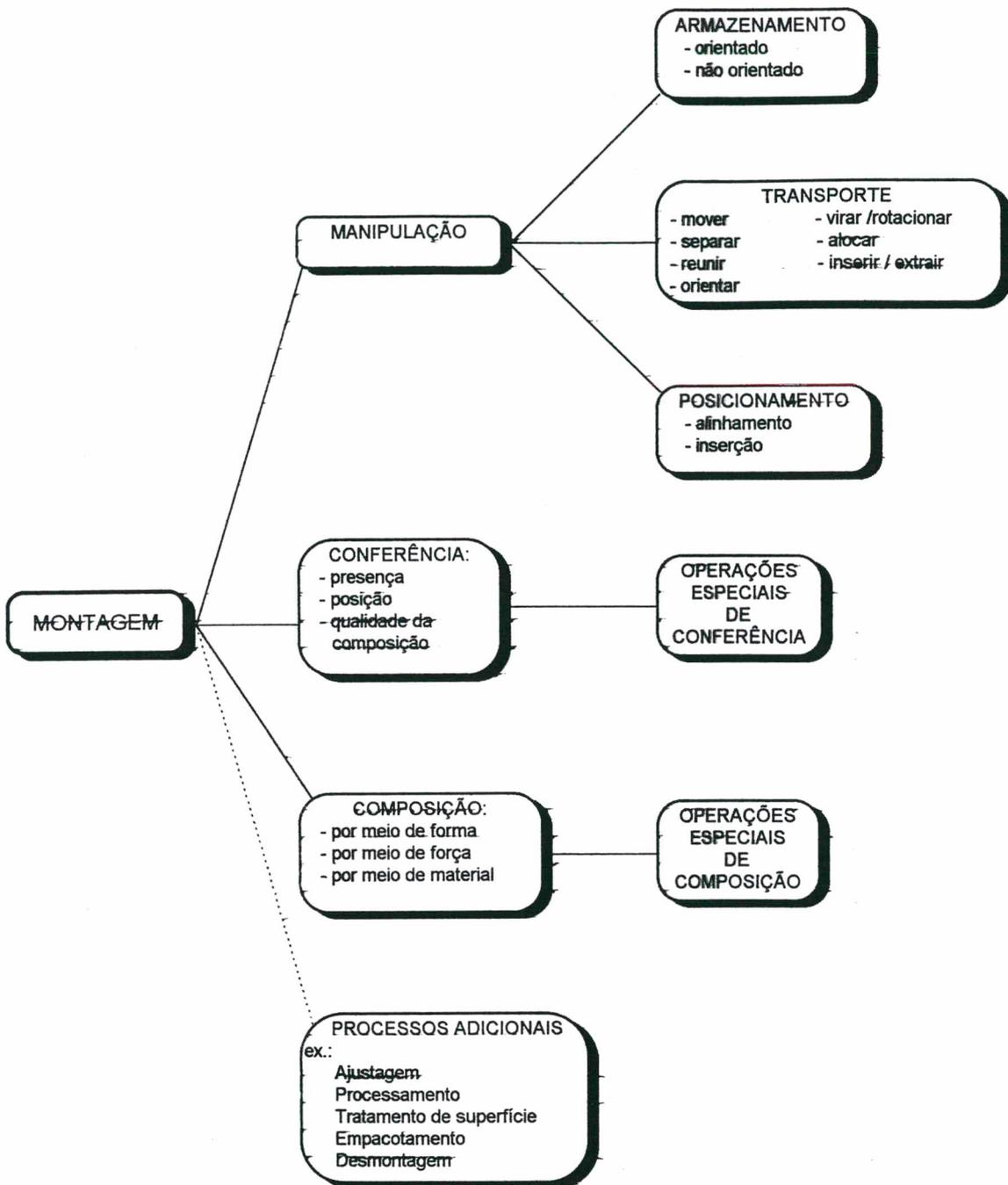


Figura 1.6 - O processo de montagem [6].

A fim de atender às funções de montagem, um sistema integrado é composto por operadores e equipamentos auxiliares. Os diferentes tipos de montagem, referentes ao grau e tipo de mecanização do sistema empregado, são [6]:

- *montagem manual*: executada por um operário que dispõe de equipamentos auxiliares simples e principalmente passivos, tais como mesas, fixadores e ferramentas manuais.

- *montagem automática*: composta de um sistema de equipamentos que segue um programa lógico pré-definido, com tomadas de decisão baseadas neste programa.
- *montagem mecanizada*: realizada por um sistema de montagem híbrido, onde algumas operações são realizadas manualmente. Pode-se falar em sistemas semi-automáticos para o caso de equipamentos programáveis manualmente.
- *montagem flexível*: quando o sistema de montagem permite variações de determinadas características do produto através da modificação ou adaptação de algumas operações.

Observa-se que o processo de montagem é, então, definido pelos componentes do produto, o tipo de montagem e o grau de integração requerido com outros processos (*processamento, testes, ajustes, pintura, empacotamento, distribuição, etc.*), que podem ou não ocorrer entre os estágios da montagem. Devido a essa integração, estes processos adicionais (*figura 1.6*) podem ser considerados como processos de composição, mas não como operações de montagem [6]. Deste modo, o *DFA* deve considerar todo o sistema de montagem, inclusive sua integração com os demais processos.

No projeto para montagem, outros aspectos são também considerados, tais como: projeto para a flexibilidade, racionalização funcional, processos de alimentação, aperto e inserção, e suas relações estruturais [38]. A equipe de projeto realiza decisões envolvendo:

- a estrutura do produto,
- o número de peças,
- a geometria dos componentes,
- os métodos de união,
- as tolerâncias de montagem,
- composição de superfícies e
- materiais.

A interdependência destes parâmetros também influi na determinação do tipo de montagem e, conseqüentemente, no processo de montagem. As possibilidades de suprir um componente são restritas pela sua geometria. A geometria e as

tolerâncias limitam o nível de automação possível dentro das limitações do custo-meta. A estrutura e projeto das linhas de montagem são enormemente influenciadas pela estrutura do produto. As instalações e as ferramentas necessárias são determinadas pelo tipo de montagem e pela forma das peças [22].

Os princípios de *DFA* estão relacionados à minimização do custo da montagem dentro das restrições impostas pela necessidade de atender encaixe, forma e função da montagem. Estas restrições podem ser, por exemplo, humanas, mecânicas ou referentes à sequência de montagem e desmontagem. A melhor maneira de alcançar essa minimização é, segundo vários autores [14] [21] [39] [68]:

- a) minimizar o número de componentes;
- b) desenvolver um componente básico, que sirva de base para a montagem, ou projeto modular;
- c) permitir a montagem unidirecional, sendo melhor a por empilhamento vertical;
- d) direcionar a aplicação de peças multifuncionais;
- e) eliminar ajustes de montagem sempre que possível;
- f) providenciar características de auto-localização para auxiliar a operação de montagem;
- g) padronizar fixações, componentes e materiais sempre que possível;
- h) minimizar os níveis de montagem (*n.º de submontagens dentro de outra submontagem*);
- i) minimizar e facilitar a manipulação das peças, evitando orientação e ou reorientações;
- j) diminuir o peso das peças e criar peças estáveis;
- k) fazer peças simétricas, ou então, destacar a assimetria das peças, evitando problemas de emaranhamento, agrupamento e orientação;
- l) otimizar a sequência de montagem.

O projetista deve ainda entender a interface entre os movimentos humanos e a forma estética (*design*) do equipamento. Deve lembrar também que regras e diretrizes podem ser fornecidas, mas o verdadeiro saber do seu uso vem da aplicação destas na prática. Discorre-se em seguida sobre os princípios citados, comumente encontrados na literatura.

1.3.1 - Minimizar o número de peças numa montagem

Como já foi dito, uma grande vantagem do *DFA* é a obtenção da redução da quantidade de componentes, pois num efeito de propagação de onda, ele reduz a interação de vendas, simplifica o processo de montagem, reduz inventários, despesas gerais, e simplifica o leiaute da fábrica. Além do mais, todas as peças separadas na montagem possuem superfícies de união (ou de conexão, como definido por Andreasen [6]). O acabamento destas pode ser caro podendo ser eliminado, senão minimizado, pela combinação de peças sempre que possível. O uso de peças multifuncionais representa a combinação de peças e/ou funções numa única peça e, geralmente, podem substituir submontagens por completo e conseqüentemente, eliminar várias operações de montagem. Duas perguntas devem sempre estar em mente:

- 1) É este componente realmente necessário?
- 2) Podem estes componentes serem combinados?

Metalurgia do pó, moldagem por injeção de plásticos e pós, chapas metálicas, fundição, e forjamento são exemplos de processos que podem ajudar a alcançar reduções de peças ou peças multifuncionais (ver exemplos nas figuras 1.7 e 1.8) [66].

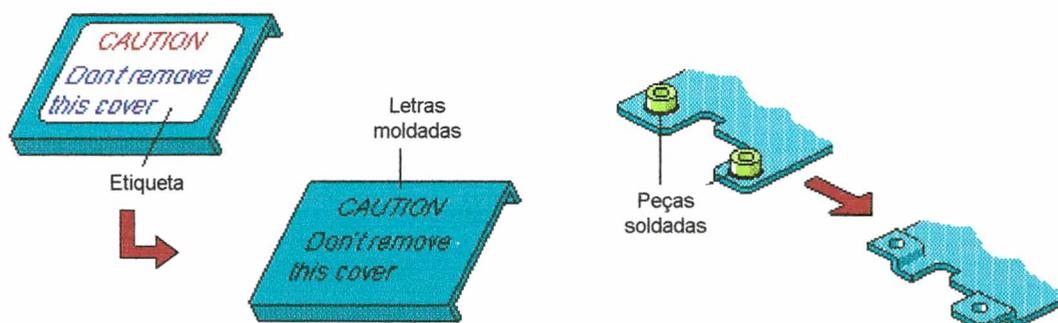


Figura 1.7 – Exemplos da redução de peças.

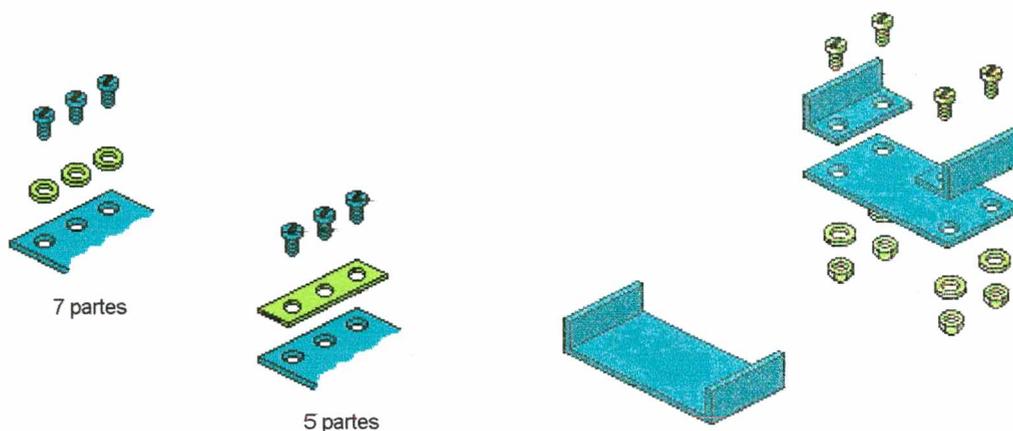


Figura 1.8 - Exemplos da redução de peças.

No projeto ideal o produto deve ser composto por uma peça só, eliminando assim a etapa de montagem. Entretanto, há cinco razões principais porque os componentes devem permanecer separados:

- a) peças que devem ter movimento relativo entre si;
- b) funções e propriedades diferentes que requerem materiais diferentes;
- c) por motivo de manutenção e ou reposição de componentes;
- d) para permitir montagem ou acesso a outras peças;
- e) por restrições de processo de manufatura.

Uma forma de avaliar a quantidade total de peças é estimar o número mínimo possível realmente necessário a atender as funções do produto. Os índices de avaliação dos métodos de *DFA* foram desenvolvidos justamente para este propósito. Pelo critério mais clássico, proposto por Boothroyd [14], a peça é essencial ao conjunto se houver alguma resposta positiva às seguintes questões:

- O componente deve possuir movimento relativo ao conjunto?
- O material do componente deve ser diferente do material do conjunto?
- O componente deve ser separado para permitir a desmontagem e remontagem do conjunto?

1.3.2 - Promover a montagem modular ou com componente-base

Este princípio encoraja o uso de uma base simples/única sobre a qual todos os outros componentes serão montados. Sem esta base, ou módulo básico, a montagem pode consistir em trabalho sobre muitas submontagens, cada uma com suas necessidades de manipulação e composição e a montagem final requerendo extensivo reposicionamento e rearranjo/instalação [68]. Um bom exemplo deste elemento-base é a placa-mãe de um microcomputador.

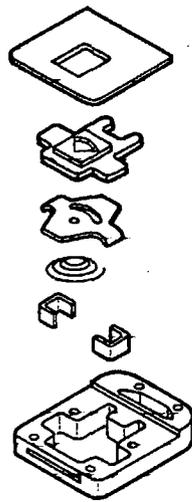


Figura 1.9 - Exemplo de aplicação dos princípios de componente base e montagem empilhada [68].

Para se alcançar uma montagem adequada, sugere-se o uso de uma base sólida sobre a qual será realizada a composição do produto, como mostrado na figura 1.9 acima. A base, sendo o componente principal, deve ser adaptada/preparada com superfícies guias ou características de aninhamento que fazem as montagens dos outros componentes e submontagens fáceis de se localizar. Esta base geralmente possui, também, características de fixação, tais como *snaps*, que manterão as peças unidas assim que colocadas/encaixadas no lugar apropriado.

Considera-se então como montagem modular a que emprega a conexão de módulos ao elemento-base. Módulos são componentes, geralmente padronizados, com características funcionais ou de fabricação, projetados de tal maneira que possam ser aproveitados na construção de diversos produtos, ou variantes destes;

podendo ser ainda, partes estruturadas de um produto, independentes, que se constituem unidades funcionais por si só [57]. São exemplos de módulos independentes os redutores de velocidade e os motores elétricos. A montagem modular é mais benéfica ainda se for usada numa família de produtos o que implica padronização na produção.

É sempre vantajoso na montagem mecânica⁽⁷⁾ haver uma base sobre a qual ela pode ser construída. Este componente base deve ter também, características que o façam adequado para localização confiável no gabarito de trabalho. Um gabarito de trabalho é uma unidade ou montagem separada, independente, com uma série definida de entradas e saídas para monitorar o desempenho do processo. Por exemplo, assegurar sua estabilidade tendo o seu centro de gravidade contido em superfícies planas e horizontais [21]. Ao se projetar montagens que contenham estas propriedades pode-se reduzir o tempo total de montagem, simplificar inventários, ordens de serviço e testes de qualidade.

1.3.3 - Padronização de produtos

Deve-se evitar variações desnecessárias na função ou no estilo do produto. Tais mudanças complicam a montagem, elevam a necessidade de treinamento da mão-de-obra e aumentam as tarefas de manufatura. Portanto, encarecem o produto, além de dificultarem a otimização do processo fabril.

Se as variações são inevitáveis, então, sempre que possível, deve-se incorporar características para todas as variantes do produto numa submontagem comum. Deste modo, os inconvenientes associados a reprogramação da produção podem ser minimizados pela introdução da variação de produtos no fim do processo de montagem, como ocorre na aplicação da montagem modular.

⁽⁷⁾ Compreende-se como sendo toda montagem que envolva o domínio da Mecânica (*Física*).

1.3.4 - Padronização dos componentes

A padronização, materiais e componentes (*sejam elétricos, eletrônicos ou mecânicos*) beneficia a redução de custos do componente e, principalmente, a redução da necessidade de ferramentas especiais.

Deve-se padronizar o uso de componentes sempre que possível, especialmente fixadores (*parafusos, presilhas, porcas, etc.*). Por mais que se tente, fixadores discretos muitas vezes permanecem no projeto. Se for o caso, estes devem ser padronizados e restritos em ordem de preferência de tipos e tamanhos; definidos claramente e disponíveis aos engenheiros projetistas e desenhistas. Por exemplo, minimizar o número de parafusos usados, de tipos de cabeças, formas de corpo, diâmetros e comprimentos diferentes. Ou então, um tipo simples de fecho usado por todo o produto para eliminar qualquer variedade em ferramentas e torques necessários para montar o produto. Por fim, deve-se sempre examinar todas as peças para determinar a “essencialidade” da mesma a fim de atender à função requerida para o todo.

De um modo, o uso de peças padronizadas vai contra a tentativa de minimizar a quantidade de peças. As vantagens e desvantagens de cada abordagem devem ser avaliadas. Às vezes, usar uma peça padrão disponível através de uma família de produtos é melhor que introduzir soluções mais complexas para cada produto em particular na família. A economia em escala será um fator favorável. Há relatos que a padronização limita a liberdade criativa da equipe de projeto. Como tudo na engenharia, o bom-senso deve prevalecer. Padrões e normas são para serem seguidas e também questionadas.

1.3.5 - Projeto de peças com características auto-fixadoras

O uso de fixação por encaixe elimina a necessidade de fixadores separados (*parafusos, por ex.*), que por não contribuírem para nenhum objetivo final, não agregam valor ao produto. Entretanto, normas de segurança podem impedir o uso de tal prática.

Projetar características de encaixe, por exemplo, requer mais que um esforço. Entregar a um time de projeto as ferramentas de simulação corretas, transforma a verificação do projeto mais fácil, e elas podem começar a gerar um banco de dados de encaixes (*snaps*), igual ao que se tem num catálogo de outros fixadores. Na seleção do tipo de fixação a ser usada, é importante considerar também a desmontagem. Na desmontagem, encaixes tipo *snaps* são fáceis de desmontar, já parafusos e porcas mais difíceis, e adesivos e soldas dificílimos [12]. Alguns caminhos para usar a auto-fixação são:

- projetar encaixes em peças plásticas;
- criar características do tipo *tab-in-slot* em chapas metálicas de modo a utilizar o menor número de fixadores;
- se um parafuso é necessário para aterramento elétrico por exemplo, preferir um do tipo envolvente (*captive*).

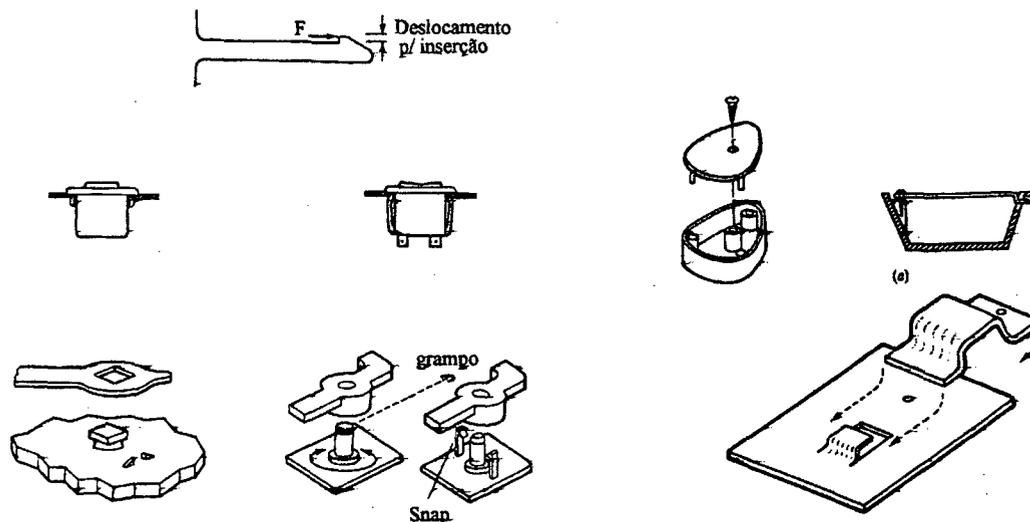


Figura 1.10 - Exemplos do emprego de características auto-fixadoras [68].

1.3.6 - Montagem empilhada ou unidirecional

Sempre que possível, deve-se projetar o produto para um mínimo de direções de inserção. Isto reduz a necessidade de reorientar um produto durante a

montagem. A reorientação da peça de trabalho, ou do operário, é requerida sempre que há múltiplas superfícies de processamento numa montagem. A montagem empilhada e unidirecional, preferencialmente vertical de cima para baixo, como exemplificado na figura 1.9 (pág. 19), facilita o trabalho de montagem.

A equipe de projeto deve conscientizar-se da importância da geometria das peças na montagem. Quando as peças precisam ser rotacionadas, parcialmente montadas, ou sustentadas em determinada posição durante a operação de montagem, isto tudo é perda de tempo.

Adicionalmente, projetar peças que possam ser orientadas rapidamente, abusando das vantagens de fazer peças totalmente simétricas. Se a simetria total não for possível, então, projetar para uma assimetria óbvia a fim de evitar confusões. Marcas de alinhamento, de modo a ter-se um alto grau de contraste visual, são uma boa prática.

A montagem do projeto ideal deve ser similar a um bolo de camadas, com cada componente ou submontagem fixa no topo do outro, cuja montagem deve ser a prova de falhas através de peças que não se encaixarão quando orientadas incorretamente.

A figura 1.11 abaixo, apresenta um exemplo da redução de movimentos pelo emprego de *snaps* em toda a base para facilitar a montagem unidirecional.

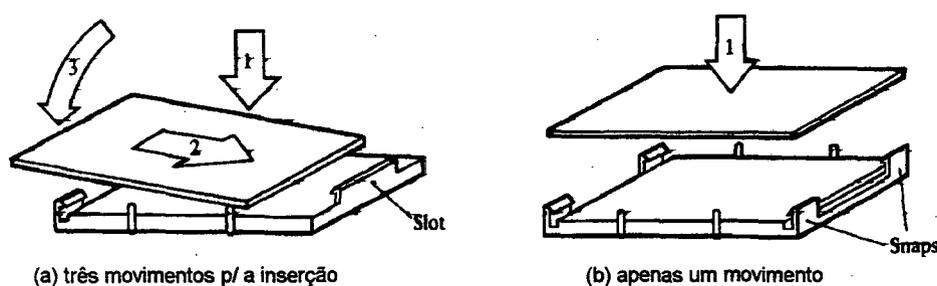


Figura 1.11 - Exemplo do emprego da montagem unidirecional [68].

1.3.7 - Projetar peças com características de auto-localização

Quando uma pessoa é Instruída a inserir um eixo num mancal, ela tem a habilidade de visualizar e tatear a fim de posicionar o eixo no mancal corretamente. Já uma máquina simples com a mesma missão, falha na habilidade de ajustar a localização das peças, pois não dispõe de visão nem de tato, necessitando assim, de ter as peças precisamente localizadas e orientadas. Da mesma forma que operações mecanizadas, operações de montagem necessitam de localizações precisas e superfícies adequadas para o encaixe. O conhecimento destas condições conduzem o projetista a criar compensações no projeto que eliminem grandes forças e pequenas tolerâncias [66].

Características de auto-localização em peças possibilitam tanto a montagem quanto permitem que as peças subsequentes sejam colocadas numa posição precisa, sem ajustes. Isto reduz o treinamento de operários, simplifica o processo de montagem e assegura que o desempenho do produto não será prejudicado. Ou seja, influencia positivamente a qualidade da montagem como também o tempo de montagem.

Além de providenciar chanfros e outras características de localização, alargar folgas/tolerâncias, onde for possível, facilita a inserção (ver exemplos na figura 1.12). Às vezes, características de localização como chanfros, "dimples" e "tab-in-slot", podem ser utilizados sem nenhum custo adicional ao custo total do componente [14].

Com o projeto de um produto, de forma que montagens de peças ou módulos subsequentes sejam localizadas nas peças previamente montadas, ou construindo unidirecionalmente, possibilita-se a montagem automática, reduzem-se as reorientações da peça de trabalho, e melhora qualidade, porque torna-se mais difícil que se salte (*esqueça*) operações. Promove ainda, montagens semi-permanentes, simplifica a orientação e ajuda prevenir a necessidade de ajustes pós-montagem. Quando do uso de módulos, principalmente os montados por empilhamento, é aconselhável que submontagens sejam facilmente localizadas para a compatibilidade com as operações do cliente se requerido.

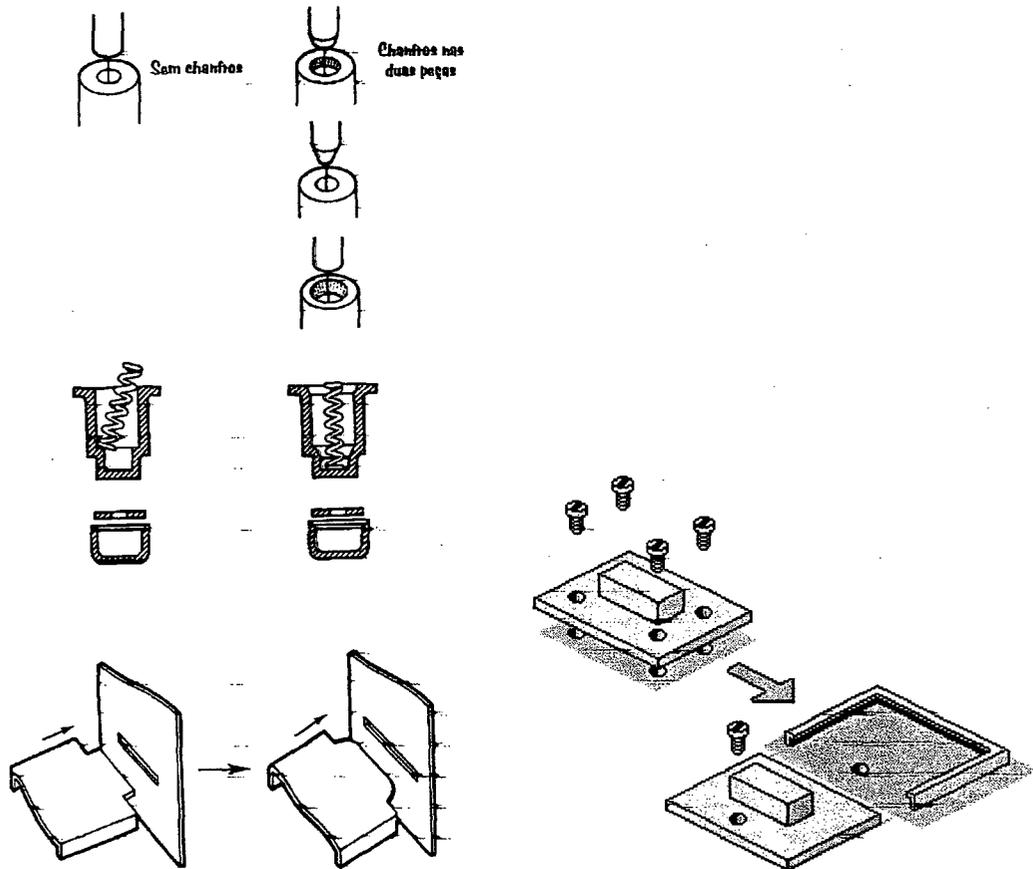


Figura 1.12 - Exemplos do emprego de características de auto-localização [68].

1.3.8 - Minimização dos níveis de montagem

Os componentes devem ser agrupados em submontagens, onde for possível. Isto melhora a flexibilidade na programação e/ou no planejamento do processo da montagem. Conseqüentemente, seqüências de montagens podem ser planejadas ou eliminadas para minimizar a perda de tempo na mudança de ferramental. Componentes que são localizados numa submontagem devem ser fixados antes da submontagem ser completada.

Reduzindo os níveis de montagem, ou o número de submontagens e suboperações em um processo, simplifica-se especificações e documentação, facilita-se o processo de montagem, e o leiaute da fábrica. A montagem de módulos ou peças sem ajustes, reduz a montagem final e os procedimentos de testes, reduz ainda a manipulação, ferramentas e instalações, e melhora a qualidade. Para evitar

ajustes, uma análise estatística da tolerância do produto é necessária, sendo então, as tolerâncias apertadas somente onde for necessário. Neste caso, deve-se considerar a distribuição de tolerâncias no produto, e as probabilidades que as peças de tolerâncias finais dos limites de manufatura irão aparecer juntas numa simples montagem.

1.3.9 - Facilitar a manipulação de peças

Projetar peças fáceis de se pegarem, possibilita a rápida manipulação, e portanto, reduz-se os tempos de montagem. Os principais fatores que afetam a manipulação são:

- i) *geometria*: pode ser simplificada pelo emprego de formas regulares;
- ii) *rigidez*: evitar materiais macios/moles ou frágeis;
- iii) *peso*: evitar componentes pesados.

A minimização do peso do produto ajuda a reduzir os tempos de manipulação e inserção do componente. A massa de uma peça não deve ser maior que a necessária para atender a função, resistência ou rigidez requerida para ela. Deve-se assegurar que cada peça possa suportar as forças presentes na usinagem, montagem e em serviço.

Outras características que afetam a manipulação de peças, e que podem ser modificadas para melhorar a montagem do produto são:

- peças simétricas para reduzir a orientação das mesmas (*fig. 1.13*);
- se a simetria não for possível, projetar características obviamente assimétricas (*fig. 1.13*);
- não utilizar peças que se aninham ou se emaranham (*fig. 1.14*);
- considerar o empacotamento individual das peças e a presença do operador;
- usar furos ovais para evitar ajustes;
- usar as propriedades elásticas do plástico com uma vantagem;
- facilitar o acesso ao componente, maximizando o espaço disponível;
- evitar peças que necessitem serem manipuladas por duas mãos ou mais de um operário.

Como já foi dito, a equipe de projeto deve sempre questionar sobre a forma como cada componente pode ser “alimentado”. Isto nada mais é do que pensar na infra-estrutura da produção. Um simples pensamento que pode auxiliar em muito a simplificação do produto e do processo produtivo.

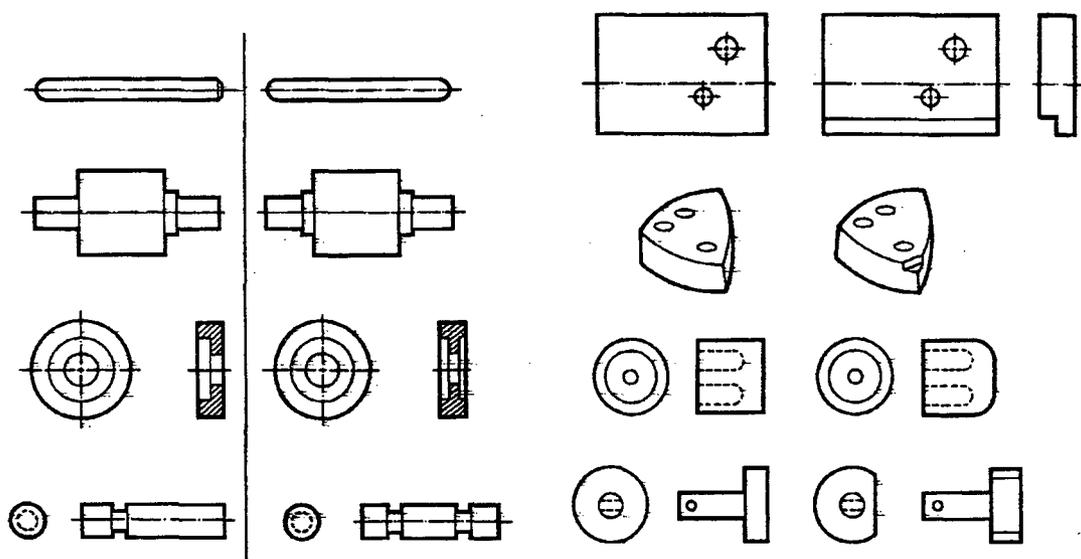


Figura 1.13 - Exemplos de reprojeto para evidenciar a simetria ou assimetria das peças [68].

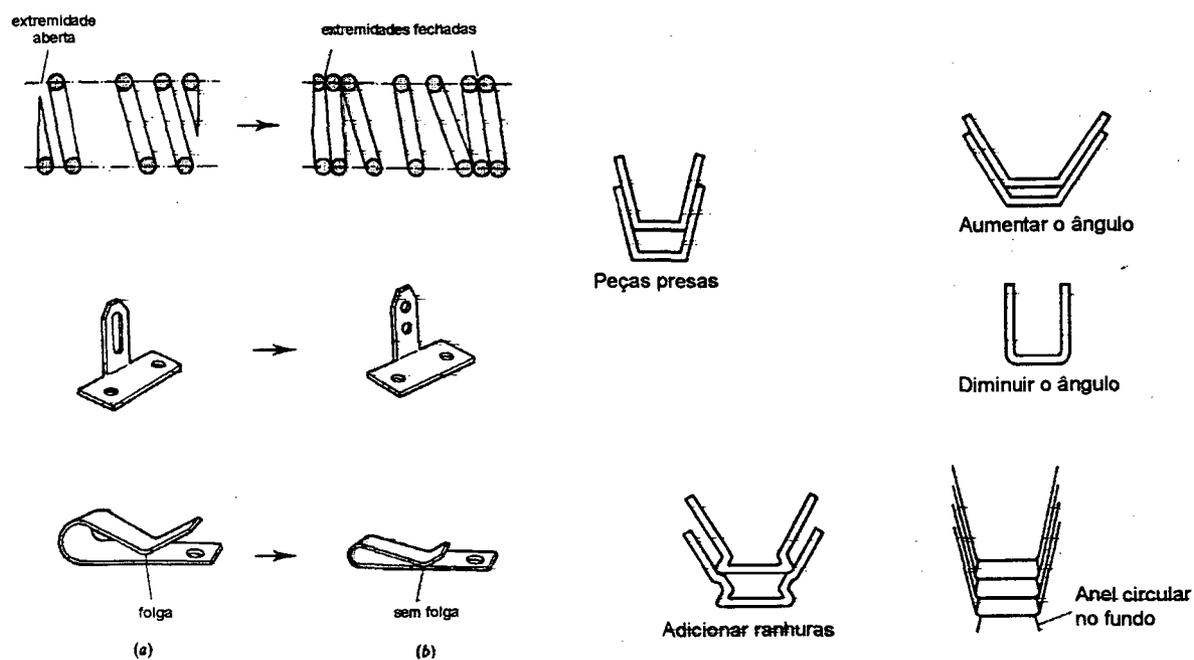


Figura 1.14 - Exemplos de reprojeto para evitar o emaranhamento das peças [68].

1.3.10 - Projeto para estabilidade

É importante projetar peças para que tenham estabilidade durante a montagem. Isto assegura que não seja perdido tempo em equilibrar submontagens que podem cair ou rolar. Providenciar características que permitam as peças de repousarem firmemente na correta orientação para montagem. É importante também, buscar o uso de superfícies que já sejam necessárias para a função do componente. Ou seja, as peças devem ser ou auto-fixantes ou permanecerem estáveis em uma posição.

1.3.11 - Otimizar a seqüência de montagem

A seqüência de montagem pode ser determinada pela lógica, mas a correta compreensão das interfaces de cada peça facilita, não só encontrar a melhor seqüência como também melhora a percepção de componentes com potencial de serem unidos. Por isso, uma técnica bastante útil é o uso do *Diagrama de Interfaces* (seção 2.3.3).

No âmbito computacional, há também a possibilidade de determinar a seqüência de montagem através da determinação da seqüência de desmontagem. Neste caso duas suposições são feitas [27]:

1. Desmontagem é um processo no qual cada peça pode ser retirada da estrutura de montagem uma por uma, sem prejudicar a estrutura da submontagem.
2. A seqüência de montagem é o reverso da seqüência de desmontagem.

A seqüência da montagem tem grande influência na desmontagem e na manutenibilidade do produto, como também no leiaute tanto da fábrica quanto da linha de montagem. Segundo Ullman [68], uma seqüência eficiente é aquela que:

- possui o menor número de passos,
- evita o risco de danificar as peças,
- evita posições instáveis ou inseguras para o produto, operários ou equipamentos durante a montagem.

1.4 - Comentários

Atualmente, a rápida mobilização através de um ágil planejamento e desenvolvimento de produtos por todo o seu "ciclo de vida" é o fator que mais tem definido a competitividade industrial de uma empresa. Como visto neste capítulo, o *DFA* presta-se a esta tarefa eficientemente com sua filosofia de examinar o projeto pelo processo de criticar os métodos e as soluções adotadas através de informações obtidas pela ferramenta de ponderar as características de montagem do produto.

Em suma, o *DFA* procura racionalizar a estrutura do produto, buscando o grau máximo de qualidade. Esta racionalização permite inclusive uma melhor racionalização operacional das empresas, aumentando também a produtividade, já que provoca a utilização das capacidades dos processos individuais de fabricação até o seu máximo em ordem de manter a estrutura do produto o mais simples possível. Outras vantagens e contribuições do *DFA* são:

- ⇒ simplificação do produto pela redução de peças individuais;
- ⇒ possibilidade de fazer estimativas do custo de montagem e, posteriormente, estimar o custo dos componentes;
- ⇒ providencia um procedimento sistemático para analisar um projeto proposto pelo ponto de vista da montagem;
- ⇒ estimula a engenharia simultânea;
- ⇒ redução maior nos custos de manufatura, tanto para pequenos volumes de produção quanto para altos volumes;
- ⇒ redução dos custos gerais (*overhead costs*);
- ⇒ estabelece uma base de dados de tempos de montagem e fatores de custos;
- ⇒ redução dos problemas associados à variação dimensional e funções das submontagens ou componentes em máquinas complexas.

Mas apesar do sucesso, vantagens e contribuições, o *DFA* apresenta algumas desvantagens e limitações:

- ⇒ depende da informação de viabilidade econômica do *DFM* para melhorar de fato a producibilidade do produto em questão;

- ⇒ o enfoque é no sistema produtivo e os ganhos obtidos no período pós-produção são conseqüências da racionalização da estrutura do produto, necessitando das informações de outras técnicas *DFX* para fechar o “*ciclo de vida*” do produto;
- ⇒ não provoca diretamente discussões sobre a manutenibilidade nem reciclagem.

Contudo, nada impede que princípios diversos aos do *DFMA* sejam utilizados para criar um produto ótimo ou superar suas limitações. Algumas considerações e orientações para uma otimização do produto são extremamente abrangentes e incluem [12] e [66]:

- o projeto de componentes;
- a estruturação do produto;
- a avaliação da capacidade de produção atual, recursos técnicos e meios de produção disponíveis ou possíveis de serem adquiridos pela empresa ou fornecidos por terceiros, sob a forma de prestação de serviços;
- a necessidade de total integração entre diversos setores da fábrica envolvidos no desenvolvimento e produção do produto desde a mais preliminar das etapas de projeto;
- a influência do planejamento dos processos de produção (*fabricação e montagem*);
- o projeto compatível com os métodos de montagem que se tem controle para que se alcance os custos e a qualidade almejados;
- operações simples e padronizadas (*a mesma ferramenta servindo para várias etapas*);
- os fatores ergonômicos e o *design* a fim de criar um produto mais elegante;
- a desmontagem sem impossibilitar ou inviabilizar a remontagem;
- a melhor montagem como a operação inversa da melhor desmontagem;
- forma de distribuição, retirada e/ou reciclagem;
- a embalagem compatível com o transporte e a distribuição;
- o impacto ambiental provocado pelo produto.

Continuando, a equipe de projeto necessita de uma ferramenta de projeto para analisar eficientemente a facilidade da montagem de produtos ou

submontagens que projetam; o que seria o segundo passo do processo de *DFA* como visto na seção 1.2. Essa ferramenta deve [14]:

- providenciar resultados rápidos;
- ser simples e fácil de se usar;
- assegurar consistência e plenitude nas suas avaliações de montabilidade do produto;
- eliminar julgamentos subjetivos da análise do projeto;
- permitir livre associação de idéias;
- habilitar fácil comparação entre projetos alternativos;
- assegurar que as soluções são avaliadas logicamente;
- identificar áreas problemáticas de montagem;
- sugerir abordagens alternativas para a melhoria da manufatura e montagem do produto.

Nos capítulos 2 e 3, aborda-se o uso desta ferramenta e os métodos de avaliação até agora conhecidos.

DFA no Processo de Projeto

2.1 - O Processo de Projeto

Sabe-se que, ao projetar ou reprojeter produtos industriais, vários aspectos devem ser considerados, tais como função, uso, aparência, qualidade, fabricação, custos, mercado consumidor, meio ambiente, etc.. Por isso, projetar e desenvolver novos produtos é um processo complexo, multidisciplinar e de alto risco que tem de ser tratado sistematicamente a fim de manter o fluxo de idéias organizado para agilizar o processo de planejamento e desenvolvimento [61].

Segundo Ullman [68], o processo de projeto é um mapa do caminho para ir da necessidade por um objeto específico para o produto final. Afirma ainda que, o processo deve ser baseado no conceito do ciclo de vida do produto e constituído de seis fases conforme esquematizado na figura 2.1; destas, as três primeiras se referem diretamente ao projeto do produto:

- *desenvolvimento/planejamento de especificações*: é a fase pré-conceitual, pois há a necessidade de compreender completamente o problema antes de desenvolver conceitos de solução.
- *projeto conceitual*: é a fase em que se desenvolve a idéia bruta de como o produto funcionará e aparentar-se-á.
- *projeto do produto*: é a fase na qual se começa com um conceito e se termina com um projeto detalhado de um produto “pronto para a manufatura”. Considera-se primordial nesta fase o desenvolvimento simultâneo do produto, do processo de manufatura e montagem, do sistema de assistência técnica, e do sistema de manutenção da fabricação.

- produção
- uso ou serviço
- descarte ou renovação do produto

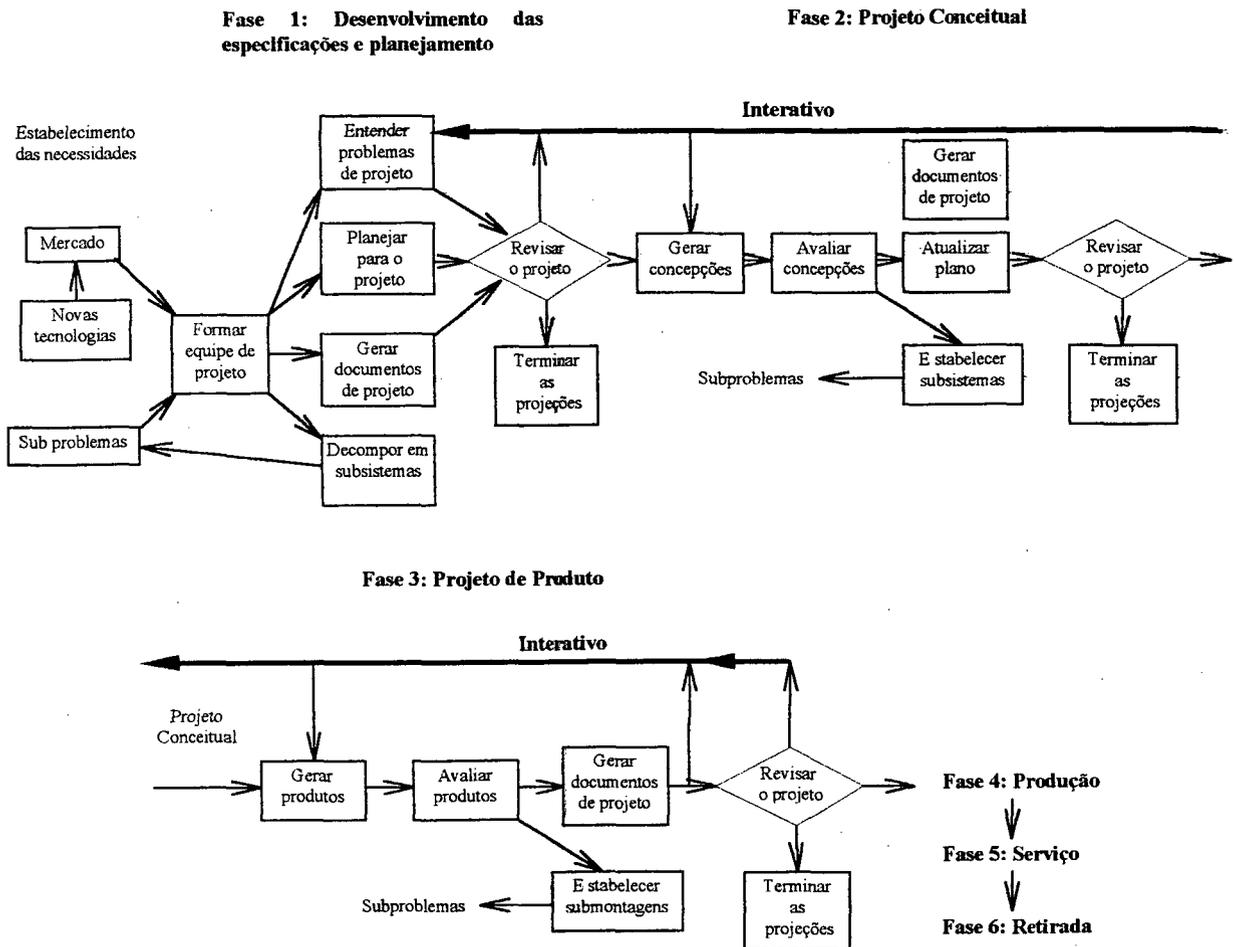


Figura 2.1 - O Processo de Projeto segundo Ullman

Complementarmente, a fase de projeto de produto de Ullman (3ª fase) pode ser subdividida em duas: projeto preliminar e projeto detalhado. Desta forma, e de acordo com o proposto por Pahl & Beitz [58], as principais fases que constituem o processo de projeto se tornam (veja a fig. 2.2):

- *esclarecimento da tarefa*: é a etapa onde o reconhecimento da necessidade e definição do problema é tratado, envolvendo uma coleta de informações sobre os requisitos e restrições de projeto a serem traduzidos em forma física na solução. Assim, gera-se uma série de especificações do problema a ser utilizada nas fases seguintes.

- *projeto conceitual*: é a etapa na qual, pela identificação dos problemas essenciais através da abstração, pelo estabelecimento da estrutura de funções e pela busca de princípios de solução apropriados e suas combinações, o caminho básico da solução é exposto através da elaboração de uma concepção de solução.
- *projeto preliminar*: nesta etapa, o projetista, partindo da concepção, determina o leiaute e formas, e desenvolve um produto refinando-o de acordo com as considerações técnicas e econômicas.
- *projeto detalhado*: é a etapa na qual o arranjo, forma, dimensões e propriedades superficiais das peças individuais são finalmente definidas, os materiais especificados, as viabilidade técnica e econômica conferidas e todos desenhos e outros documentos de produção elaborados.

Prosseguindo, ao analisar as duas primeiras etapas das metodologias de processo de projeto apresentadas nas figuras 2.1 e 2.2, identificam-se quatro etapas importantíssimas ao planejamento e desenvolvimento de produtos, as quais são:

1. levantamento das necessidades dos clientes e estabelecimento dos requisitos de projeto;
2. decomposição ou estruturação funcional;
3. seleção de concepções alternativas com princípios de solução gerados a partir das funções, e
4. avaliação e escolha das concepções alternativas viáveis.

A importância do *DFA*, ou de qualquer metodologia *DFX*, nestas quatro etapas iniciais, principalmente no projeto conceitual, deve-se ao fato de que as decisões tomadas nestas etapas têm o maior efeito nos custos de um produto pelo menor investimento. Adicionalmente, estas decisões são responsáveis pela determinação de aspectos relacionados à funcionalidade, geometria e propriedades do produto; isto é, define-se o desempenho e a competitividade do produto por todo o seu ciclo de vida. Principalmente no aspecto de qualidade, a qual não pode ser construída num produto a não ser que seja projetada nele; e no da atratividade econômica, já que o produto deve mostrar-se economicamente viável para todos os envolvidos, desde o fornecedor de matéria-prima até o recuperador. Ratifica-se que

um objetivo do *DFA* é amenizar a transição do desenvolvimento do produto até a montagem, seguida de melhoramento contínuo e produção ininterrupta de um produto de qualidade [64] e [68].

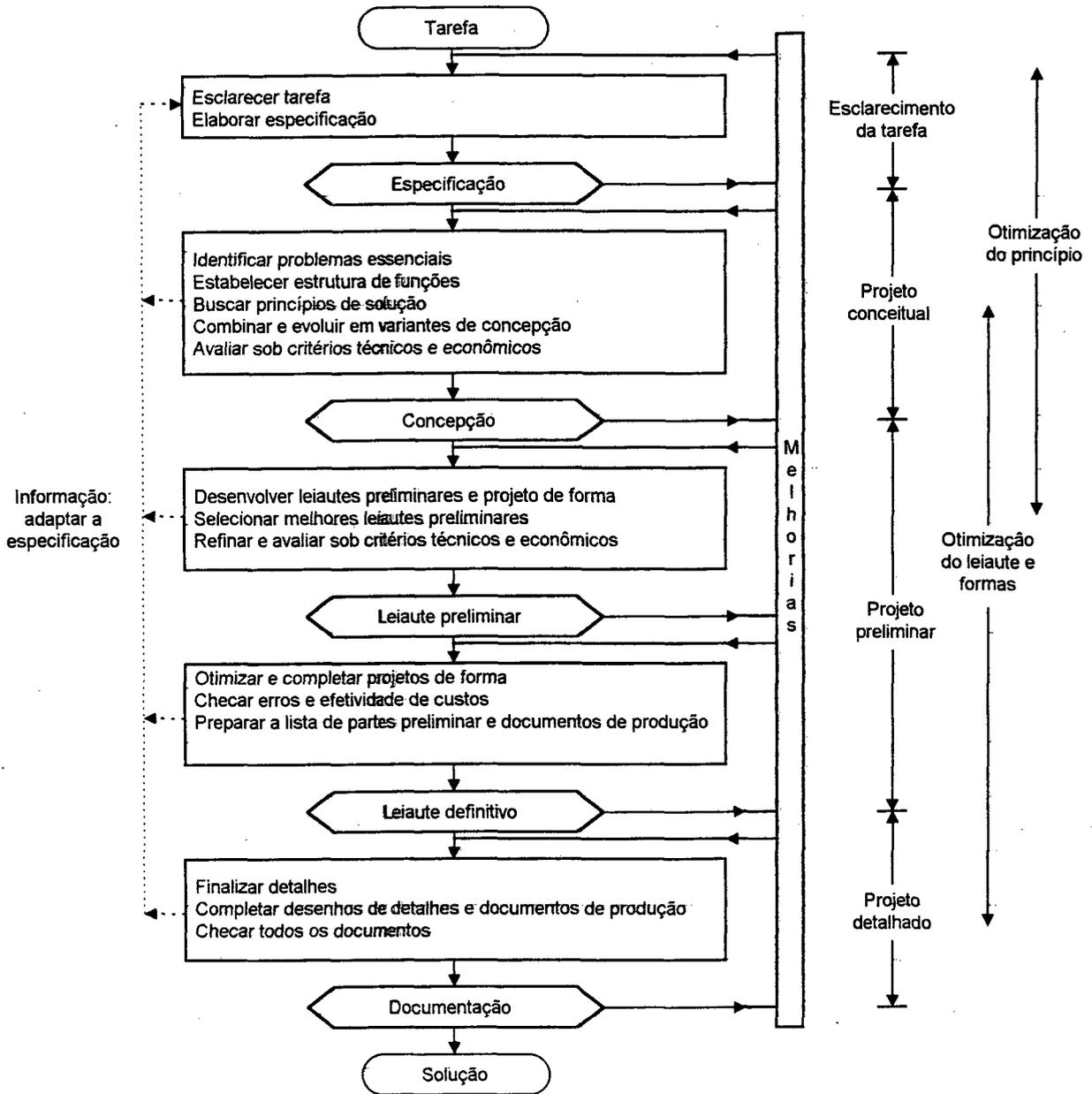


Figura 2.2 - processo de projeto segundo Pahl & Beitz [58].

2.2 - O DFA no início do Processo de Projeto

É intuitivo a conclusão de que a concepção composta pelo menor número de peças pertença a um produto com projeto mais simples e, conseqüentemente, de menor custo total, pois peças inexistentes não são fontes de preocupações. Preocupações estas, por exemplo, com manutenção, assistência técnica, inventários, refugos, controle de processos, etc. As contribuições do *DFA* são melhor percebidas em problemas grandes demais para serem solucionados como um sistema único e simples, pois cada subsistema de montagem é considerado como um problema de projeto em si, tirando-se proveito dos princípios de aplicação de módulos ou projeto modular. Mas isto não o descaracteriza para o projeto de produtos simples e de baixa demanda. São justamente nestes casos, que as metodologias de projeto são mais negligenciadas, o que resulta sempre num produto de qualidade inferior ao almejado.

Os princípios do *DFA*, como também os de qualquer metodologia de ciclo de vida, ajudam a integrar os avanços tecnológicos no projeto de produtos competitivos. Estes mesmos princípios podem ser usados como parâmetros para avaliar produtos, processos e serviços, tanto na pesquisa de mercado (*benchmarking*), quanto na escolha de alternativas de solução. Entretanto, os métodos de avaliação da montabilidade desenvolvidos são mais empregados durante o projeto preliminar, ao término do projeto conceitual como pode ser observado na figura 2.3. Isto quando são logo empregados; tradicionalmente, o projeto só é avaliado e conferido cuidadosamente ao fim do projeto detalhado, quando somente as falhas mais graves são economicamente viáveis de serem corrigidas. Assim sendo, para se tirar melhor proveito das técnicas do *DFA*, enfatiza-se aqui o seu uso já na fase de projeto conceitual; isto é, como e onde o *DFA* deve ser empregado tendo em vista um ambiente de engenharia simultânea.

Este início do processo de projeto caracteriza-se por trabalhar com conceitos e por requerer um alto grau de abstração. Por não ser uma tarefa simples, fica claro que quanto maior for a compreensão dos conceitos envolvidos, por parte da equipe de projeto, maior será a eficácia do esforço empregado. Catálogos de exemplos,

com princípios e diretrizes, e listas de controle (*check-lists*) são as ferramentas de maior aplicação e eficiência nesta fase conceitual.

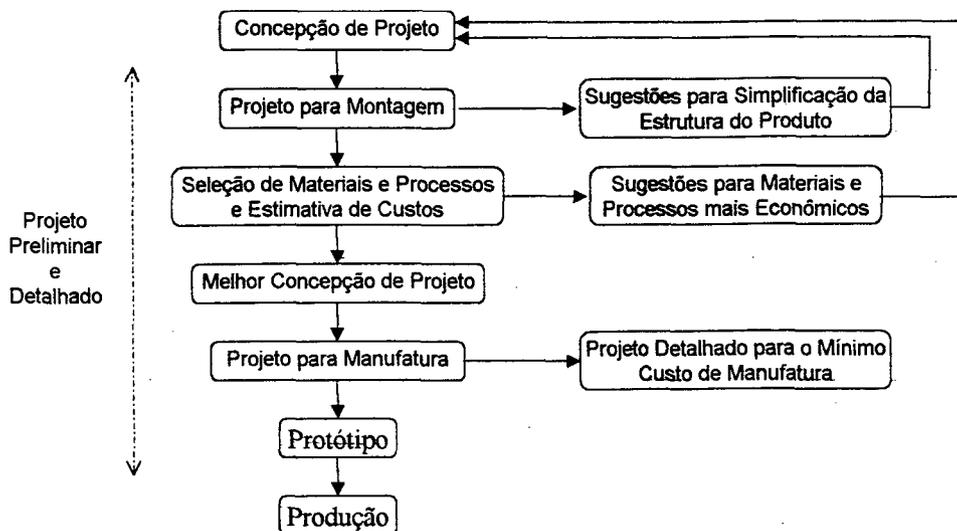


Figura 2.3 - Estrutura da aplicação de *DFMA* no Processo de Projeto proposta por Boothroyd [14].

2.2.1 - Levantamento das necessidades dos clientes e estabelecimento dos requisitos de projeto

Nesta etapa, almeja-se definir melhor a estratégia a ser seguida pela equipe de projeto para alcançar os objetivos pré-definidos pela empresa. Não só iniciar a determinação de quais critérios serão importantes para avaliação, mas também como os mesmos deverão ser expressos ao longo do processo.

Através da pesquisa de mercado são levantadas as necessidades dos consumidores, usuários e da empresa quanto aos aspectos técnicos de pesquisa, projeto, fabricação, operação, manutenção, descarte, etc. Neste momento, aplica-se toda a metodologia do *DFA* para avaliar o produto competidor (*caso exista algum*) e obter informações importantes (*benchmarking*); como por exemplo, os custos de produção dos concorrentes.

Prosseguindo, relacionam-se as necessidades identificadas anteriormente com os requisitos de projeto. A técnica mais usualmente empregada é o desdobramento da função qualidade, ou *QFD* (*Quality Function Deployment*), cuja primeira matriz é mostrada na figura 2.4. Trata-se de um conjunto de matrizes e

procedimentos destinados a auxiliar a equipe de projeto a projetar, construir e colocar no mercado produtos que realmente atendam às necessidades, expectativas e exigências do consumidor.

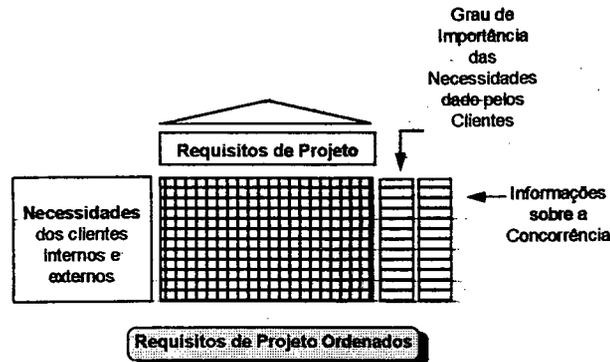


Figura 2.4 – Primeira matriz QFD

Essencialmente, o *QFD* está relacionado com as seguintes tarefas:

- i) levantar, interpretar e classificar as necessidades e exigências do cliente;
- ii) aplicar pesos aos requisitos expressos pelo consumidor, proporcionais à importância por ele atribuída;
- iii) especificar tecnicamente características funcionais, operacionais e construtivas correspondentes aos requisitos;
- iv) julgar as correlações dos requisitos dos clientes com os de projeto;
- v) projetar as soluções e aperfeiçoamentos do produto (*reprojeto ou concorrente*) capazes de atender às especificações técnicas;
- vi) analisar as soluções e estabelecer valores numéricos para os parâmetros do produto de modo a atender de forma otimizada aos requisitos estabelecidos.

Os princípios básicos da “*Casa da Qualidade*”, como é conhecida a primeira matriz *QFD*, referem-se a qualquer esforço em estabelecer relações claras entre funções de manufatura (*requisitos de projeto*) e satisfação do consumidor que não são fáceis de visualizar. Deve-se lembrar que a satisfação do cliente não encontra-se somente nas funções técnicas, mas também nos aspectos (*funções*) psicológicos, sociais, econômicos e culturais que o produto deve atender. O *QFD* é o primeiro passo para alcançar este desejável produto. O *DFA* pode então, e deve, ser utilizado tendo os seus princípios (*descritos no capítulo 1*) convertidos para a forma de requisitos de cliente interno, adicionados aos dos consumidores externos.

Numa equipe de projeto multidisciplinar, nos moldes da engenharia simultânea, pode-se eventualmente transformar os “*como*” (*requisitos*) de uma matriz QFD anterior em “*o que*” (*necessidades*) de uma outra; mais diretamente relacionada com o projeto detalhado conforme mostrado na figura 2.5.

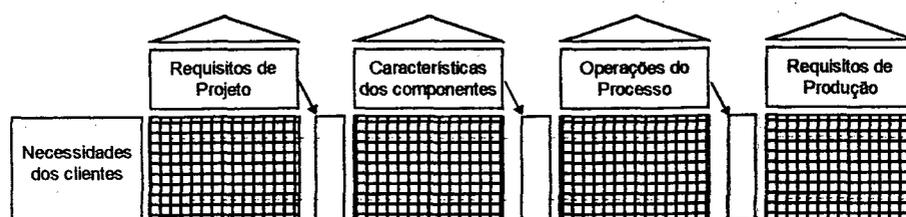


Figura 2.5 - O QFD acompanhando a evolução do Processo de Projeto [37].

Alguns exemplos da aplicação da metodologia de projeto para montagem nas diversas *Casas da Qualidade* seriam os seguintes relacionamentos de “*o que*” versus “*como*”:

- ◇ mínimo número de componentes **vs.** índice de DFA ou percentual de peças essenciais no produto final;
- ◇ montagem unidirecional **vs.** n.º de reorientações;
- ◇ peças multifuncionais **vs.** n.º de funções por componente;
- ◇ fácil manipulação **vs.** tempo de montagem e/ou n.º de operações por peça;
- ◇ poucos níveis de montagem **vs.** quantidade de submontagens;
- ◇ fácil aquisição das peças **vs.** dimensões dos componentes e distância entre local de aquisição e local de montagem;
- ◇ padronização de componentes e materiais **vs.** custo de montagem e fabricação e/ou n.º de peças e materiais diferentes; etc..

Nota-se que o objetivo do QFD é traduzir em dados de projeto mensuráveis as necessidades e exigências dos clientes internos (produção, p. ex.) e externos (consumidores, usuários, etc.), estabelecendo assim, as restrições de manufatura e comerciais para o produto, além de permitir um melhor entendimento do problema de projeto. Entretanto, sua técnica é limitada pela valorização qualitativa, ao invés da quantitativa, dos relacionamentos entre necessidades e requisitos.

2.2.2 - Estabelecimento da Estrutura Funcional

Nesta etapa procura-se estabelecer a estrutura funcional do sistema a ser desenvolvido na forma de um conjunto de blocos diagramas, expresso em termos do relacionamento de fluxo de energia, material e sinal (*informação*). O objetivo é a criação de um modelo bastante generalizado e abstrato do sistema em questão, que servirá para o desenvolvimento de tantas soluções alternativas quanto possível. Sua vantagem é decompor o problema forçando o entendimento detalhado das funções requeridas para o produto já no começo do projeto, pois a estrutura funcional relaciona-se intimamente com a estrutura do produto, já que somente depois de definida a função (*reveja as figuras 1.3 e 1.4*) define-se a forma, o material e o processo de produção do produto.

Para isto, o problema fundamentado, será estruturalmente descrito, independentemente da solução, conforme mostra a figura 2.6.

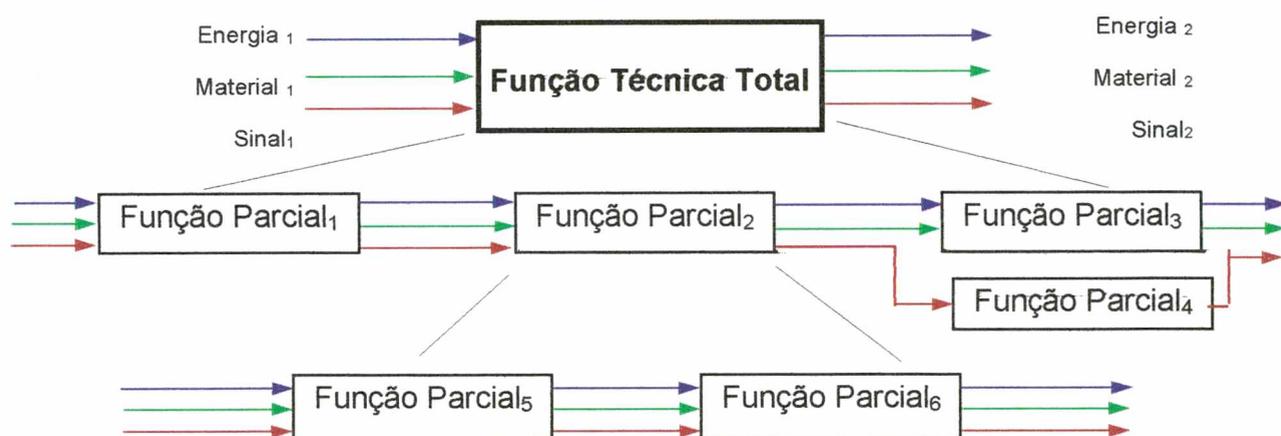


Figura 2.6 - Estrutura de funções.

Como um sistema técnico⁽¹⁾ pode ser dividido em sub-sistemas e em elementos básicos, uma função total pode ser dividida, separada ou quebrada em subfunções de mais baixa complexidade. A combinação de subfunções individuais resulta em uma estrutura de funções, que executa a mesma função de uma função total. Dependendo do sistema, a estrutura de funções obtida pode ser, mais ou menos complexa. Por complexidade da estrutura entende-se o grau de

⁽¹⁾ Sistema técnico pode ser ou o produto ou o processo de produção, ou ambos.

relacionamento entre entradas e saídas, o tipo de função necessária à execução do problema, o número relativo de interfaces e componentes envolvidos [58].

Definindo-se função como o comportamento humano ou de uma máquina que é necessário a cumprir as exigências do projeto, associa-se todas funções em três fluxos: material, energia e sinal.

As funções associadas com o fluxo de energia podem ser classificadas tanto pelo tipo de energia (*mecânica, elétrica, térmica e fluidica*) quanto pela sua ação no sistema (*transformação, armazenamento, condução, dissipação, fornecimento, etc.*) [68].

Já as funções associadas ao fluxo de material⁽²⁾ podem ser divididas em três tipos [68]:

- a) Fluxo *contínuo*: processos de conservação de material quando o material é manipulado para mudar sua posição ou forma. Alguns termos mais usados são: levantar, segurar, suportar, mover, rotacionar, transladar, etc..
- b) Fluxo *divergente*: quando dividi-se o material em dois ou mais corpos. Os termos são desmontar, desconectar ou separar.
- c) Fluxo *convergente*: quando junta-se materiais. Os termos são unir, conectar ou montar.

As funções associadas ao fluxo de sinal (*informação*) podem ser nas formas de sinais mecânicos, elétricos ou programas computacionais, e geralmente representam a interface do produto com o operador humano ou sistema de controle automatizado [68].

Um dos métodos mais utilizados para determinar a estrutura funcional é o *Método da Função Síntese*, composto pelos seguintes passos:

- i. formulação da função total do sistema técnico a ser desenvolvido.
- ii. decomposição da função total em subfunções conhecidas considerando o relacionamento lógico entre as funções, e entre as entradas e saídas de energia, material e sinal. O resultado é uma estrutura de funções parciais ou subfunções equivalente a função total.
- iii. desenvolvimento de estruturas alternativas.
- iv. escolha da estrutura mais apropriada.

⁽²⁾ Quando do produto, trata-se das suas funções. Quando do processo de montagem, trata-se do material a ser montado.

Nesta etapa, o *DFA* pode ser aplicado através do questionamento da decomposição das funções principais e pelos índices que medem a eficiência da montabilidade do produto diretamente sobre a estrutura funcional avaliada, ou também pelo emprego de seus princípios no *QFD* classificando as funções pela necessidade. O emprego direto compreende os seguintes passos:

- i) Identificação das funções essenciais e das não-essenciais, procurando eliminar as últimas. As funções essenciais seriam as diretamente relacionadas à função principal e às necessidades dos clientes externos.
- ii) Identificação das funções e/ou subfunções que poderão ter interfaces em comum. Estas seriam prováveis candidatas a comporem um componente multifuncional.
- iii) O percentual de funções essenciais sobre o total indica o grau da eficiência do projeto nesta etapa de forma similar ao *potencial de melhoria* proposto por Ullman [68], a ser descrito no quarto capítulo.

Nota-se um altíssimo grau de abstração neste procedimento, cuja análise baseada nos princípios de *DFA* limita-se às funções associadas ao fluxo de material. Além disso, existe o fato de que a maior limitação da *Função Síntese* é a dificuldade de expressar que a função é realizada tanto pelas transformações em si quanto pelas causas das transformações de material, energia e sinal. Ou seja, sabe-se que funcionalidade é muito mais do que a transformação de energia, material e sinal, mas os métodos conhecidos para a geração da estrutura funcional tratam cada função como uma simples transformação de variável que pode ser tratada independentemente [67].

Apesar da limitação acima, os métodos atuais, com enfoque no fluxo de energia, material e sinal, são excelentes em modelar sistemas técnicos cujas principais funções são dinâmicas e produtos de comportamento bem definido como trens de engrenagens, sistemas eletrônicos, sistemas de controle e vários sistemas de processamento [67]. Tanto que, desde 1978, é possível a classificação de todos os processos de manufatura baseados no fluxo de energia, material e sinal (*Modelo Morfológico de Altling*) e o uso de modelos de seleção de processos onde a maioria dos fatores de decisão são identificados pelo critério funcional [48]. Isto comprova a

possibilidade, a partir desta etapa, do desenvolvimento do processo produtivo em paralelo ao desenvolvimento do produto como foi mostrado na figura 1.1 (pág. 4).

Para auxiliar as tomadas de decisão pelo critério funcional e contornar as limitações acima, recomenda-se o emprego de uma matriz relacionando as necessidades dos clientes internos (*DFMA embutido*) e externos com a estrutura funcional em questão na forma de requisitos para obter as necessidades relativas das funções, conforme a figura 2.7.

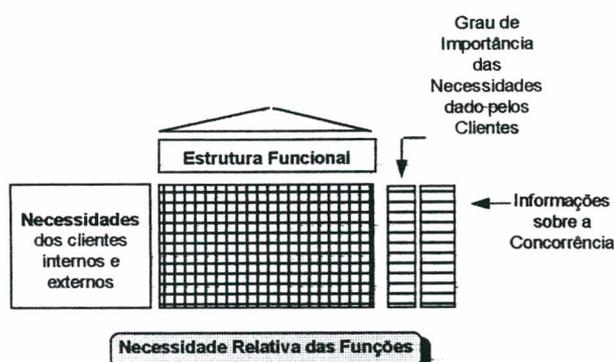


Figura 2.7 - Matriz QFD para determinar a necessidade relativa das funções.

2.2.3 - Geração de Concepções Alternativas

Nesta etapa aplica-se normalmente a técnica conhecida por *Matriz*, ou *Carta Morfológica*, que utiliza a estrutura funcional para fomentar idéias, sendo uma etapa extremamente criativa.

O primeiro passo é gerar o maior número possível de princípios de solução para cada uma das funções parciais ou subfunções que compõem a estrutura funcional desenvolvida anteriormente. Estes princípios de solução, são também denominados princípios funcionais por serem uma representação de um dispositivo, componente, ou parte de um sistema qualquer capaz de executar uma determinada função. É viável que se mantenha os princípios os mais abstratos possíveis e todos num mesmo nível de abstração, pois facilita a posterior avaliação e seleção das concepções alternativas.

Em seguida, os princípios de solução desenvolvidos anteriormente serão combinados entre si, com o objetivo de gerar concepções que executem a função

técnica total. É importante que os princípios de solução possuam compatibilidade física e geométrica, conectividade de energia, material e sinal entre as partes que compõem as alternativas, além de, serem economicamente viáveis e cumprirem as especificações e requisitos de projeto. Neste momento, esboços rascunhados tornam-se extremamente úteis.

Na técnica da *Matriz Morfológica*, os parâmetros escolhidos e os respectivos princípios de solução são colocados em linhas, como visto na figura 2.8. Usualmente, os parâmetros utilizados são as subfunções da estrutura funcional do produto. A combinação sistemática dos princípios funcionais, um de cada linha, leva à determinação das concepções alternativas.

parâmetros	Princípios de Solução							
parâmetro ₁	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	...				
parâmetro ₂	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	S ₂₄	...	S _{2j}		
parâmetro ₃	S ₃₁	S ₃₂	S ₃₃	S ₃₄	...	S _{3j}	...	S _{3n}
...	
parâmetro _m	S _{m1}	S _{m2}	S _{m3}	S _{m4}	...	S _{mj}	...	S _{mn}

Figura 2.8 - Técnica da Matriz Morfológica

Na geração conceitual, simultaneamente ao preenchimento da *Matriz Morfológica*, seguem-se os seguintes passos, utilizando catálogos e listas de controle sintonizados com a metodologia de *DFA*:

1. identificar os componentes viáveis já disponíveis e os que deverão ser projetados,
2. selecionar os possíveis materiais e técnicas de produção;
3. observar as restrições espaciais;
4. identificar os componentes separados (*individuais*);
5. desenvolver o diagrama de interfaces,
 - 5a. desenvolvendo e refinando as interfaces,
 - 5b. conectando as interfaces funcionais.

A intenção dos passos anteriores é desenvolver uma estrutura do produto com o objetivo principal de mapear as interfaces e gerar idéias preliminares sobre a configuração do produto como um todo.

Ullman [67], aponta que as maiores limitações da Matriz Morfológica, tendo como parâmetros somente a estrutura funcional, seriam [67]:

- * as mesmas dificuldades relacionadas à *Função Síntese*;
- * a dificuldade em representar de modo geral informações espaciais e de forma geométrica como geometria e qualidade superficial;
- * falta de interdependência entre a evolução da forma e função, desenvolvendo a forma depois de definida a função, e não em paralelo;
- * cada passo operacional dos princípios de solução existentes tem diferentes relacionamentos entre si;
- * no progresso do projeto, novos objetos têm de ser introduzidos na solução ou os princípios de solução existentes decompostos devido ao seu refinamento.

Outras limitações que podem ser apontadas são:

- * dificuldade de estabelecer princípios de solução de mesmo nível de abstração;
- * dificuldade de analisar as interfaces, o “como” conectar, cuja despreocupação tem levado a empregos de fixadores separados desnecessários que comprometem todo o projeto do produto;
- * dificuldade de avaliar quais serão os componentes críticos para a montagem ou fabricação;
- * desconsiderar os processos da produção, tendo de ser feito separadamente a posteriori;
- * a ordenação dos componentes definidos só pelos atributos físicos.

Para contornar tais limitações e dificuldades, sugere-se o uso de várias *Matrizes Morfológicas*, como por exemplo:

1. Com alto grau de abstração tendo como parâmetro a estrutura funcional.
2. Com baixo grau de abstração para definir melhor a forma geométrica dos princípios de solução.
3. Uma especialmente montada para produzir princípios de solução para as interfaces remanescentes.

2.2.4 - Avaliação e Seleção das Concepções Alternativas Viáveis

Nesta etapa é preciso selecionar, entre as diversas concepções desenvolvidas, as que apresentam maior potencial para serem desenvolvidas na etapa de projeto preliminar. Infelizmente, as informações disponíveis normalmente ainda não são suficientes para que se realize uma avaliação adequada de viabilidade técnica e econômica das alternativas de projeto, com o objetivo de determinar uma concepção final que possa ser enviada à etapa de projeto preliminar [58]. A avaliação, portanto, baseia-se em comparações e tomadas de decisão realizadas sobre o potencial desenvolvimento de cada concepção em relação às demais. Essa comparação pode ser absoluta, quando cada concepção é comparada a uma série de requisitos, ou relativa, quando todas são comparadas entre si.

Pela alternativa de solução e o volume estimado de produção tem-se a seleção do melhor tipo de montagem (*manual, automática, etc.*). Com o auxílio da metodologia de *DFA* pode-se detalhar mais as informações da concepção em questão.

Num procedimento iterativo, o objetivo é otimizar o produto e a produção para se adequarem corretamente entre si. Problemas de montagem devem ser identificados e reanalisados separadamente. É o momento de se verificar se o “*componente-problema*”, não podendo ser eliminado, pode ser transformado em um “*módulo*” de montagem mais eficiente.

Os mesmos índices de montabilidade utilizados anteriormente, na matriz morfológica, são usados junto à *Matriz de decisão* na escolha das melhores concepções alternativas, sendo os métodos de avaliação da montabilidade, aplicados em sua totalidade, com as planilhas e bancos de dados, na avaliação dos projetos preliminar e detalhado; quando a forma geométrica do produto, dados de material e método fabril encontram-se no seu estado mais detalhado possível.

Seguindo o processo tradicional, Ullman [68], apresenta 4 (*quatro*) técnicas extremamente úteis nesta fase, como pode ser visto na figura 2.9, e que serão descritas em seguida. Deve-se lembrar que quanto maior o grau de informações sobre manufatura, material e produto, mais completa será cada avaliação de

montabilidade. Sendo o poder de contribuição destas técnicas diretamente proporcional à estruturação do processo de projeto, em especial o de avaliação, e a apresentação clara e sucinta dos dados envolvidos.

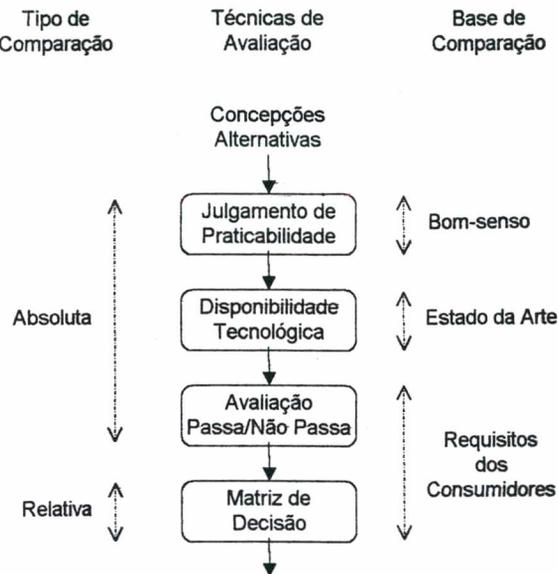


Figura 2.9 - Técnicas de avaliação de concepções [68].

2.2.4.1 - Julgamento de Praticabilidade

É o julgamento subjetivo, baseado na experiência e no bom senso da equipe de projeto. Uma avaliação realizada a experiências anteriores armazenadas como conhecimento ou cultura de projeto. Se a concepção apresenta-se impraticável, sugere-se considerá-la através de diferentes pontos de vista antes de rejeitá-la. Afinal, pode ser que a concepção apenas seja diferente do modo com que se é normalmente feito.

Deve-se lembrar que a tendência natural ao conservadorismo, pode bloquear a melhoria do produto. Padrões devem ser tanto seguidos quanto questionados, e quando não houver conhecimento ou saber suficiente para a avaliação, este deve ser desenvolvido. Catálogos com exemplos de princípios e diretrizes, e listas de controle, tempos e custos estimados, são informações úteis neste momento.

2.2.4.2. Disponibilidade Tecnológica

Idealizada para determinar a disponibilidade das tecnologias que poderão vir a ser utilizadas na concepção. Realiza-se uma verificação de novas tecnologias no produto, um sinal percebido como positivo pelo consumidor. Deve-se atentar para o fato de a tecnologia estar pronta/madura o suficiente para ser aplicada. Um julgamento errado pode resultar num produto de baixa qualidade ou em custos acima do estimado. Identificando-se quais são os avanços tecnológicos integrados ao produto devido aos princípios de projeto, e os conferindo notas ou valores que indiquem o grau de avanço, maturidade, etc., pode-se avaliar as diversas alternativas e classificá-las em ordem da tecnologia como valor agregado.

Algumas perguntas que podem ser feitas a fim de avaliar a maturidade da tecnologia em questão seriam [68]:

1. Pode a tecnologia ser manufaturada pelos processos conhecidos?
2. Estão identificados os parâmetros críticos que controlam a função?
3. São conhecidos os limites de segurança operacionais dos parâmetros?
4. Os modos de falha foram identificados?
5. Existe um equipamento que demonstre respostas positivas às 4 perguntas anteriores?
6. É a tecnologia controlável por todo o ciclo-de-vida do produto?
7. Qual são os custos de produção?

2.2.4.3 - Avaliação baseada no Passa/Não Passa

Cada concepção deve ser comparada aos requisitos do consumidor (*interno e externo*) de uma maneira absoluta. Sobre cada requisito formula-se uma pergunta a qual deve ser respondida por *sim*, *talvez* (*passa*) ou *não* (*não passa*). Quando uma concepção tiver poucas respostas negativas, é válido rever sua composição e modificá-la antes de eliminá-la completamente. Esta revisão pode ser feita através de catálogos, listas de controle e análise funcional do produto pela metodologia de projeto para montagem.

As figuras 2.10 e 2.11 apresentam exemplos de listas de controle com princípios básicos de *DFA* sobre a estruturação do produto e do componente, que

podem auxiliar a equipe de projeto tanto na fase conceitual quanto na fase preliminar [68].

Questões sobre a montagem da estrutura do produto			
		Objetivo	
Pode o número de peças diferentes no produto ser reduzido?	S	N	
Pode as funções das peças serem combinadas entre si utilizando-se uma nova produção?	S	N	
A construção está dividida em submontagens (máximo de 15 peças)?		S	N
Existem mais de uma direção de montagem na submontagem?	S	N	
Existem peças soltas nas submontagens?	S	N	
Todos os movimentos de montagem são trajetórias retilíneas?		S	N
Existem peças fixadoras em separado?	S	N	
• Quantas são?		S	N
• São todas iguais entre si?		S	N
• Pode a quantidade ser reduzida?	S	N	
• Pode as conexões serem modificadas para serem sem fixadores separados?	S	N	
Pode o número de conexões ser reduzido?	S	N	
O produto deve ser testado depois da montagem?	S	N	
Pode-se identificar claramente um possível erro de montagem, por ex., desalinhamento?		S	N
Todas peças são fixas uma nas outras de forma que as tolerâncias de produção não se somem?		S	N

Figura 2.10 – Exemplo de lista de controle sobre a montabilidade do produto [68].

Questões sobre a estrutura do componente			
		Objetivo	
É possível levar a peça para o local de montagem já na orientação correta?		S	N
É possível montar a peça sem orientação?		S	N
É possível carregar a peça com um carregador (alimentador) automático?		S	N
A peça foi projetada para não emaranhar-se com as demais?		S	N
A peça foi projetada para ser empilhada?		S	N
As peças são sujas, pegajosas ou escorregadias?	S	N	
Pode a simetria do produto ser melhorada?	S	N	
Existem detalhes geométricos na peça que possam facilitar a orientação correta?		S	N
A peça é não simétrica?	S	N	
A não simetria é facilmente detectada?		S	N
A peça é estável quando está na orientação de montagem desejada?		S	N
Pode ser a peça conduzida automaticamente?		S	N
A peça estando em uma linha de alimentação pressurizada emaranhar-se-á com as demais?	S	N	
Se a peça manufaturada tende a ter trincas extras, estas resultarão em algum efeito negativo?	S	N	
A peça possui características para auxiliar a orientação e a união?		S	N
Força deve ser aplicada no processo de união?	S	N	
O produto tem uma orientação estável após a união?		S	N
As tolerâncias da peça, a fragilidade do material ou tratamento superficial afetam a manipulação?	S	N	
As funções incluídas na peça têm uma realização visível (são percebidas facilmente)?		S	N
Se a montagem automática é possível, as peças podem ser manipuladas pela mesma máquina?		S	N

Figura 2.11 – Exemplo de lista de controle sobre a montabilidade do componente [68].

2.2.4.4 - Matriz de Decisão

O método da *Matriz de Decisão* ou de *Pugh* consiste em pontuar cada concepção numa comparação relativa às demais na habilidade de atender os requisitos do consumidor. A melhor nota vai para aquela que melhor atender ao requisito questionado. A apresentação das notas de forma matricial, como na figura 2.12, auxilia na visualização da melhor alternativa. Deste modo, para selecionar a melhor concepção para a produção, basta montar uma matriz relacionando os princípios de projeto para montagem e manufatura. Podendo-se fazer uso, inclusive, dos tempos e custos estimados e índices de montabilidade.

Critérios de Comparação	p e s o s	Itens a serem Comparados
		Notas
		Pontos Totais

Figura 2.12 - Matriz de Decisão [68].

Há quatro etapas:

1. definir o critério de avaliação,
2. selecionar os itens a serem comparados,
3. atribuir notas,
4. somar a nota final.

Sua maior contribuição consiste em revelar os pontos fracos e fortes das concepções alternativas, relacionados aos requisitos questionados.

2.3 - Modelos e Técnicas adicionais para o Projeto Conceitual

Sabe-se que parte dos métodos de avaliação da montabilidade requer o desenvolvimento de um projeto preliminar, definindo em parte a geometria, para serem aplicados em sua total eficácia. Entretanto, inúmeras informações vitais de projeto são não-geométricas, sendo os estágios do processo que acontecem antes do detalhamento da geometria, igualmente importantes. O projeto de montagem,

em especial, requer vários níveis de abstração, indo da informação funcional até a geometria detalhada [51].

Adicionalmente, função e comportamento durante o projeto são desenvolvidos através da especificação e identificação de mudanças nos atributos das peças e nas relações entre estas [67]. Em contrapartida, os conceitos de atributos físicos (*features*), sozinhos, não são atrativos para o projeto conceitual. Um modelo de montagem não pode ser um modelo quase completo, que ordena componentes definidos totalmente pelos atributos físicos. O modelo deve também incorporar o conhecimento funcional e as intenções do grupo de projeto desenvolvidas durante o planejamento e desenvolvimento do produto [51].

O uso desses modelos de funcionalidade permite ao projetista representar aspectos de um projeto num nível mais abstrato do que correntemente disponível com modelos geométricos. A identificação das partes do projeto primariamente por suas funções e não por suas formas, reduzem a probabilidade de um projeto conter uma falha conceitual ou alguma discordância entre suas partes ou componentes [36].

Os métodos de representação baseados nos fluxos de energia, material e sinal mantêm informações funcionais, mas como visto anteriormente, são limitados no acompanhamento evolutivo do projeto do produto até o fim do projeto detalhado. Inclusive na interação com o projeto do processo produtivo.

A seguir apresentam-se um modelo de estruturação para o projeto conceitual e outras três técnicas de representação do produto, cujo objetivo é auxiliar o intercâmbio de informações entre a funcionalidade do produto e os requisitos de manufatura e montagem já no projeto conceitual.

2.3.1 - O Modelo de Estrutura Funcional para o Projeto Conceitual

Inicialmente, o princípio de solução é um objeto abstrato representado por palavras ou esboços produzidos pelos métodos citados. Já no fim do processo de projeto, esse mostra-se composto de vários componentes, organizados em submontagens e representados detalhadamente e com desenhos de montagem e

de sua geometria. Para acompanhar esta evolução do produto em todo o projeto, Gui e Mäntylä [51] propõem uma estrutura de modelamento global do produto, visto na figura 2.13, que constitui-se de três áreas, ou modelos:

- O modelo funcional que estuda as funções requeridas do projeto, e determina como as funções totais podem ser alcançadas como um agregado de subfunções de níveis mais baixos.
- O modelo de dispositivo que estuda a estrutura dos dispositivos (*princípios de solução e componentes*) que podem implementar a função requerida.
- Os modelos de processo que estuda o desempenho técnico, o comportamento, e a adequação à produção da estrutura do produto.

Considerando o produto como um conjunto de componentes unidos de alguma maneira a fim de desempenhar uma função específica, a ênfase é no modelo de dispositivo, cuja estrutura proposta contém dois pontos de vista da estrutura do produto: a visão orientada à função e a orientada ao módulo. A visão funcional providencia uma decomposição estrutural numa forma correspondentemente próxima do modelo funcional. Já a visão modular é correspondente à estrutura física expressada em termos de submontagens, peças e atributos físicos [51].

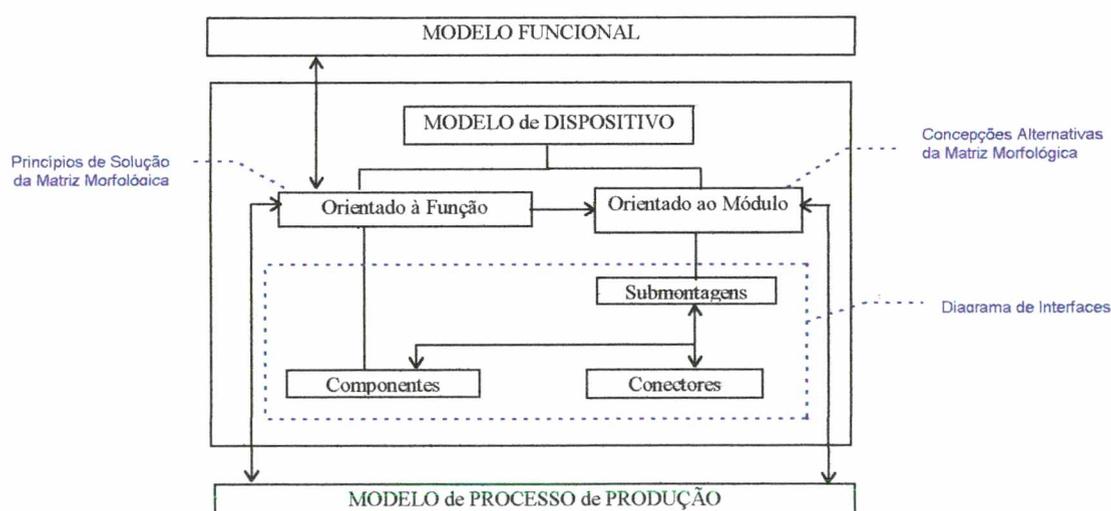


Figura 2.13 - Modelamento proposto por Mäntylä [51].

Compreendendo a figura 2.13 [51], a partir do modelo funcional — a estrutura gerada pela técnica da *Função Síntese*, uma visão orientada à função do modelo de dispositivo é criada pela subdivisão recursiva em portadores de efeito, que

providenciam a conexão com o modelo funcional. Os portadores de efeito, que correspondem aos princípios de solução da Matriz Morfológica, são classificados em *componentes*, relacionados ao desempenho das funções desejadas, e *conectores*, que fornecem restrições aos componentes decorrentes do processo de conexão. No nível de maior detalhamento, componentes e conectores correspondem-se com as peças físicas e suas várias conexões mecânicas, as quais também compõem a visão orientada ao módulo, ou seja, são equivalentes às concepções alternativas da Matriz Morfológica arranjados num *Mapa de Conexões* (seção 2.3.4). Assim cada divisão da estrutura formada pelos portadores de efeito providencia uma visão funcional local, e a estrutura completa, uma visão orientada à função global consistindo de vários níveis, isto é, uma agregação das visões funcionais fragmentadas convenientemente. As visões funcionais podem, em alguns momentos, tanto compartilhar componentes e conectores, como também, distribuir-se entre vários módulos⁽³⁾ [51].

Por esta abordagem do modelo de dispositivo, à parte das funções, qualquer outra informação útil, com descrições de comportamento e formas geométricas a diferentes graus de detalhe, podem ser associadas em formas de componentes e conectores. Assim, com estas informações, eles podem ser investigados, simulados, e sintetizados, tanto independentemente como em combinação [51]. Para a avaliação da produtividade, converte-se o modelo orientado à função para o modelo orientado ao módulo, expressando-o em termos de relações espaciais de submontagens com o auxílio da técnica de *Diagrama de Interfaces* (seção 2.3.3). Uma submontagem consiste de pelo menos dois componentes, e de um número suficiente de conectores para os unir, sendo, portanto, correspondente às soluções alternativas parciais geradas da *Matriz Morfológica*. É interessante lembrar que, os conectores correspondem-se com atributos de encaixe que são similares às "*superfícies de conexão*" de Andreasen [6], e constituem-se uma classe de união para as duas visões do modelo de dispositivo. O resultado é um agregado de submontagens que consiste de componentes desconexos e atributos de encaixe, que fornece uma visão da produtividade (*montabilidade principalmente*) dos dispositivos e, conseqüentemente, do produto já no projeto conceitual.

⁽³⁾ Entende-se aqui como sendo módulo qualquer objeto concreto (por ex. redutor, eixo, mancal) que corresponda a funções específicas.

A visão orientada à função interage com os modelos de processos físicos de produção por conceitos de força ou energia (*para análise do processo dinâmico*), enquanto a visão orientada ao módulo interage através de atributos e peças físicas (*para análise do processo produtivo*). Para facilitar o trabalho, Gui e Mäntylä [51] usufruem da técnica dos grafos de ligação (*bond graphs*) que podem ser usados para analisar qualitativamente a transmissão de força ou o fluxo de energia. A intenção deste raciocínio qualitativo sobre o comportamento dinâmico de uma estrutura conceitual é examinar seus conceitos, encontrar todos os procedimentos possíveis, e então selecionar os parâmetros corretos para realizar somente os procedimentos desejáveis [51].

A abordagem sobre o processo de produção tem como fundamento as propriedades do material da peça de trabalho e a natureza dos processos de fabricação correspondentes. Esta abordagem baseia-se na premissa de que cada tipo de operação de fabricação tem atributos relacionados às características gerais dos processos requeridos e não é dependente de máquinas, ferramentas ou tecnologia empregadas.

Desta forma, componentes na submontagem, quando definida como uma unidade independente, e sua consistência espacial não precisam ser totalmente fixados até que a geometria completa dos componentes e suas relações restritivas sejam definidas. Portanto, esta abordagem facilita a transferência de informações tanto para o modelamento comportamental como para a avaliação de produtividade (*inclui-se a montabilidade*) [36] e [51].

2.3.2 - Grafos de Ligação (Bond Graphs)

Há duas tarefas básicas envolvidas no projeto conceitual. Inicialmente, a estrutura funcional do sistema técnico (*produto*) é estabelecida; depois, um conceito de *design* que irá unir/organizar a estrutura é sintetizado, selecionando portadores de efeito, ou componentes, correspondentes às funções individuais na estrutura funcional e combinando-os entre si.

Os *Grafos de Ligação*, integrados à Teoria de Sistemas Técnicos de Hubka, oferecem algo único para a modelagem, simulação e projeto de sistemas de

controle de potência. O estudo do fluxo de energia permite uma descrição dinâmica do sistema que mantém uma forte associação com as ações e conexões físicas do próprio sistema modular. Os *grafos* proporcionam ao projetista um procedimento valioso no modelamento dinâmico o qual é mais fundamental e útil no ambiente do projeto de sistemas. Eles podem ligar a estrutura funcional à estrutura física do produto, possibilitando a simulação do comportamento do sistema projetado [50].

A idéia básica é modelar o sistema físico graficamente. Os nós dos *grafos*, correspondentes aos princípios de solução, são conectados entre si através de bordas, equivalentes às interfaces. O comportamento dos princípios de solução são descritos por equações constitutivas, fluxo de energia e relacionamentos casuais. O estado do sistema é representado em termos de fluxos e esforços generalizados nas interfaces através de equações algébricas. Desta forma, os *grafos* são utilizados de dois modos [50]:

1. Do *Grafo* de um sistema deriva-se as equações de estado e simula-se seu comportamento.
2. Os *Grafos* providenciam um elo de ligação da representação funcional com a física de um princípio de solução, pois os atributos físicos do componente podem ser ligados aos parâmetros dos *grafos*, que por sua vez estão conectados à funcionalidade do componente ou princípio de solução.

Apesar da sua utilidade, os *Grafos de Ligação* são limitados a descrever somente o fluxo de energia num sistema. Os fluxos de sinal e material só podem ser representados se os mesmos forem “carregados” por um fluxo de energia. Outra limitação é a dificuldade de expressar funções de intenção, como apoiar, e funções lógicas. Mesmo assim, os *grafos* têm tido amplo emprego em ambientes computacionais de auxílio ao projeto de sistemas mecânicos.

2.3.3 - Diagrama de Interfaces

O *Diagrama de Interfaces* é um modelo estruturado, que enfoca basicamente as conexões ou contatos entre os componentes físicos ou processos de um produto, que auxilia a equipe de projeto a conceitualizar as relações componentes-funções do produto. Os nós do *diagrama* correspondem aos componentes em si, enquanto os traços de ligação às interfaces propriamente ditas. A sua importância provém da relação direta com a estrutura funcional do produto em questão. A funcionalidade de cada peça ou processo é deduzida pela observação das interações físicas entre esta(e) e as demais peças ou processos vizinhos, pois assume-se que as funções, em sua maioria, ocorrem nas interfaces entre os componentes. Quanto maior o número de interfaces de uma peça, mais multifuncional esta será. A exceção fica com os corpos físicos que providenciam as funções.

Um exemplo simples de um *Diagrama de Interfaces* é o mostrado na figura 2.15 representando a montagem de uma caneta esferográfica conforme a figura 2.14. Os números apresentados no diagrama são apenas um controle de identificação de cada interface [68].

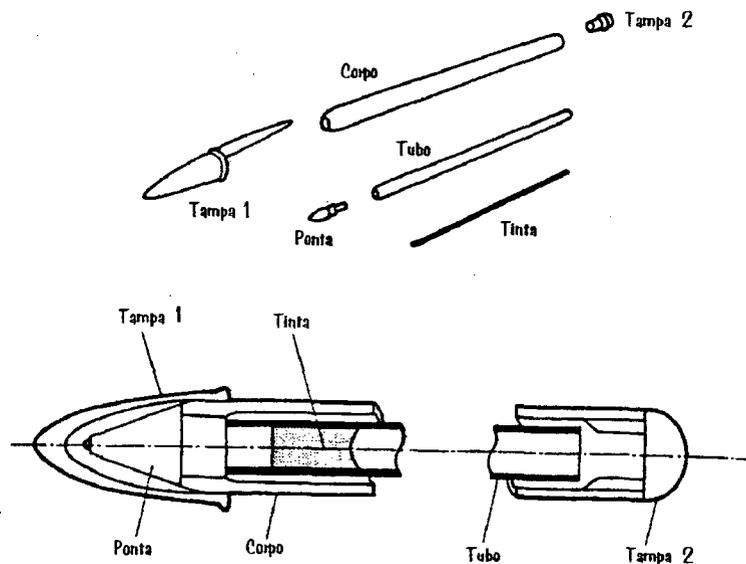


Figura 2.14 - Montagem de uma caneta esferográfica [68].

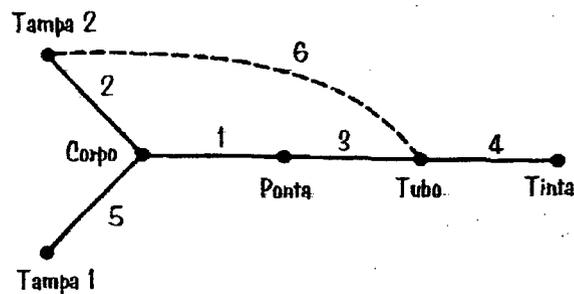


Figura 2.15 - Diagrama de Interfaces para uma caneta esferográfica [68].

A geração de um *diagrama* é relativamente simples, constituindo-se de dois passos básicos:

- 1º. listar todos os componentes e processos envolvidos na montagem do produto,
- 2º. listar as conexões e contatos entre os componentes e gerar o diagrama de interfaces entre os componentes, representando graficamente os componentes em “nós” e as conexões ou contatos em “traços de ligação”.

Como dito anteriormente, o *diagrama de interfaces* é que representa a conversão da visão funcional para a visão modular do modelo de dispositivo. A conversão objetiva auxiliar o exame da praticabilidade da estrutura do produto inicialmente proposta pelo ponto de vista funcional. Sugere-se então, os seguintes cuidados sobre as interfaces [68]:

- a) refletir equilíbrio de forças e fluxo contínuo de energia, material e sinal, considerando-se todos os objetos integrados na interface;
- b) considerar, após as externas, as interfaces que executam as funções mais críticas;
- c) manter independência funcional, com cada dimensão da montagem ou componente afetando somente uma única função;
- d) ter cautela com o refinamento das interfaces, que pode gerar novos componentes ou submontagens.

Para melhor compreensão da necessidade ou não do refinamento das interfaces, é importante salientar que o material entre as interfaces serve principalmente a três propósitos:

- i) carregar formas de energia entre elas com suficiente fluxo e rigidez,
- ii) atuar como clausura ou guia de outros componentes,
- iii) propiciar superfícies de aparência.

Quando o *Diagrama de Interfaces* apresenta as funções primárias de montagem (*segurar, suportar, impelir, etc.*) também é chamado de "*Gráfico Conceitual*" [36], que apesar de incorporar mais informações, necessita da definição das relações funcionais entre os componentes, o que nem sempre é possível no início do projeto conceitual. A figura 2.16 apresenta um exemplo do gráfico para uma válvula de diafragma. Nota-se que para efeitos de planejamento do processo de montagem, este meio representativo mostra-se mais útil e interessante que o diagrama de interfaces apesar das limitações que apresenta.

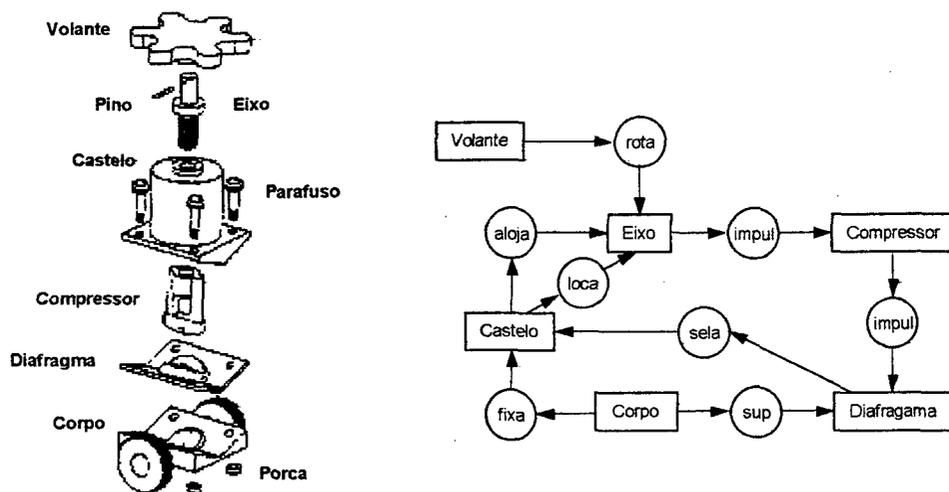


Figura 2.16 - Gráfico conceitual para uma válvula de diafragma [36].

2.3.4 - Mapa de Conexões

Arranjar concepções numa configuração desenvolve-se com base em vários requisitos do produto e ou do sistema de montagem. É possível rever certos aspectos de uma configuração do produto, sem examinar em grandes detalhes as submontagens e componentes que o constituem. O *Mapa de Conexões* é um esforço de representar qualitativamente as conexões mecânicas e interfaces entre os elementos de um produto, além das relações conceituais destes entre si [35].

Pode-se dizer que o *Mapa de Conexões* é uma representação mais detalhada do *Diagrama de Interfaces*; ao mostrar quais elementos dos princípios de solução/submontagens conectam-se aos demais princípios ou componentes do produto e de que tipo é esta conexão. Tanto que, a figura 2.14 pode ser considerada como um exemplo de um *Mapa de conexões* tridimensional de uma caneta esferográfica. Percebe-se então, sua geração é similar à do *diagrama*, e sua aplicação é mais útil no projeto preliminar do que no conceitual.

As conexões ou interfaces que devem ser representadas no *Mapa de Conexões Mecânicas*, são aquelas que afetam enormemente a habilidade de assegurar as posições relativas dos elementos funcionalmente interativos (os que se interagem pela função). Elas podem ser de três tipos [35]:

- i. conexões localizadoras ou de posição;
- ii. conexões de força ou carga;
- iii. conexões de dobra (*rótulas*).

Um método criativo e vantajoso é o uso de esquemas de localização em que elementos são posicionados relativamente ao outro, através de superfícies ou elementos de localização comuns. Tal técnica pode reduzir significativamente os requisitos de precisão em grandes estruturas [35]. Estima-se que menos de 20% das dimensões da maioria dos componentes num equipamento são críticas ao desempenho do mesmo [68].

2.4 - Comentários

A aplicação dos princípios do projeto para montagem nas técnicas de *QFD*, *Função Síntese* e *Matriz Morfológica* demonstra que o *DFA* é uma ferramenta poderosíssima que pode ser utilizada por todo o processo de projeto. Para fazer-se melhor usufruto do *DFA*, e diminuir os custos com reprojeto de protótipos, aconselha-se o uso de modelos funcionais que facilitem não só a busca por princípios de solução, principalmente os inovadores, como também, a transferência de informações relevantes a diferentes níveis de abstração conforme o requerido no

projeto conceitual. Estas informações são importantes para avaliar a estrutura do produto a fim de simplificá-la convenientemente.

O que é proposto aqui, concerne não só ao *DFA*, mas às outras metodologias (*DFX*) também. Ou seja, as mesmas idéias/diretrizes aqui propostas servem também para os demais tipos de *DFX* (*Design for Excellence*), guardadas as devidas proporções e ou diferenças (*complementares ou não*). Inclusive para a análise dos sistemas de produção. O leitor poderá notar no capítulo seguinte, que a abordagem deste capítulo possui a idéia central semelhante à proposta pelo método do *Projeto Orientado à Montagem* (seção 3.5). Essa seria a aplicação sistemática dos princípios de projeto e de avaliações de montabilidade após cada etapa do processo de projeto em ordem de influenciar o projeto do produto do ponto de vista da montagem.

A montagem, neste caso, é considerada como um sistema de estrutura integrada por máquinas e operadores que efetua a construção de subsistemas ou produtos acabados com determinadas características, empregando componentes ou, se necessário, material amorfo (*colas e outros*). Esta integração é obtida usando-se um processo onde as operações necessárias são integradas considerando-se o fluxo de material, energia e sinal (*informação*) [6]. A montagem do produto pode então, ser modelada com o auxílio de esboços, símbolos ou blocos verbais, usando técnicas como o *Diagrama de Interfaces*.

A um *Diagrama de Interfaces* ou *Mapa de Conexões* pode-se associar vários tipos de informações úteis ao projeto, tais como: descrição da função ou comportamento, propriedades difusas, intenção de projeto, elementos de um *grafo de ligação*, atributos, geometria e dimensões [51]. Isto significa que o "nó" de um *diagrama* pode estar associado a um modelo de *grafo de ligação*, um modelo semântico ou uma submontagem geométrica, representando componentes a diferentes níveis de detalhamento sem que haja perdas na compreensão das interfaces existentes. Tal propriedade caracteriza-o como um modelo para representar o produto durante todo o seu processo de desenvolvimento.

A vantagem da avaliação da montabilidade é de demonstrar onde se pode diminuir custos mais facilmente do que a avaliação dos custos totais pura e simplesmente. Saber todos os custos envolvidos é de extrema importância, mas deve-se também saber aonde estão, no produto ou no processo, as potencialidades

de redução dos custos e quais são as mais acessíveis. O processo se simplificaria se a equipe de projeto pudesse trabalhar em termos de atributos de montagem com informações suficientes sobre sua própria funcionalidade permitindo-a determinar relacionamentos entre peças e calcular transformações de posicionamento e orientação automaticamente já no projeto conceitual. O enfoque de analisar uma interface está em definir uma coleção de objetos e processos, que poderão manter os componentes de uma montagem continuamente compatíveis entre si. Pela avaliação das interfaces, atributos de encaixe ou geométricos definidos em algum estágio do desenvolvimento do produto, são documentados e podem ser questionados, eliminados, simplificados ou mantidos em estágios posteriores [51].

O modelo de estrutura para o projeto conceitual proposto por Gui [51] foi desenvolvido para implantação computacional em conjunto à teoria dos *grafos de ligação*. O que se realizou neste capítulo foi a tentativa de mostrar a sua utilidade, a interação e a complementação às demais técnicas já há muito tempo empregadas no projeto conceitual fora do ambiente computacional. Estima-se que esta seja uma boa contribuição àqueles que trabalham com planejamento e desenvolvimento de produtos; principalmente quando se verifica que o programa computacional de auxílio ao projeto conceitual ainda se encontrava em desenvolvimento na época da realização deste trabalho.

Métodos de Avaliação da Montabilidade

3.1 - Introdução

Os métodos de avaliação da montabilidade nada mais são do que ferramentas à disposição dos projetistas para auxiliar a aplicação na prática das técnicas do *DFA* com eficiência. Com base nos resultados obtidos a equipe de projeto pode decidir aperfeiçoar ou não o projeto em questão. A idéia, por trás da maioria dos métodos sistemáticos de *DFA*, é considerar como cada peça será inserida no produto, mensurar a dificuldade do processo de montagem e somar os resultados a fim de obter um valor numérico da dificuldade de montagem. De fato, toda ferramenta de projeto torna-se mais útil e confiável, quando consegue exibir dados mensuráveis junto à filosofia de projeto, isto é, quando quantifica as informações. E isto, o *DFA* faz de maneira única em relação às demais metodologias *DFX*.

Um caso típico da aplicação da metodologia do *DFA* é o reprojeto da braçadeira de fixação do tubo de descarga da aeronave MD-90 apresentado por Ashley [11] e reproduzido na figura 3.1. Neste, o número de componentes baixou de 15 para 3, significando uma redução da ordem de 80%; as operações de montagem reduziram-se de 210 para 8 (96%); o tempo de montagem passou de 46 para 3 minutos (93%); o peso diminuiu de 60 gr para 23 gr (61%), e o custo final da peça reduziu-se de US\$64,00 para US\$4,75 (91%). Inicialmente, as taxas de melhoria podem parecer elevadas em demasia, entretanto, ao analisar o *potencial de melhoria* de Ullman (ver seção 3.8.3), de 87% e 33% para os respectivos casos

de projeto inicial e reprojeto, percebe-se que as mesmas estão dentro da realidade do exemplo citado.

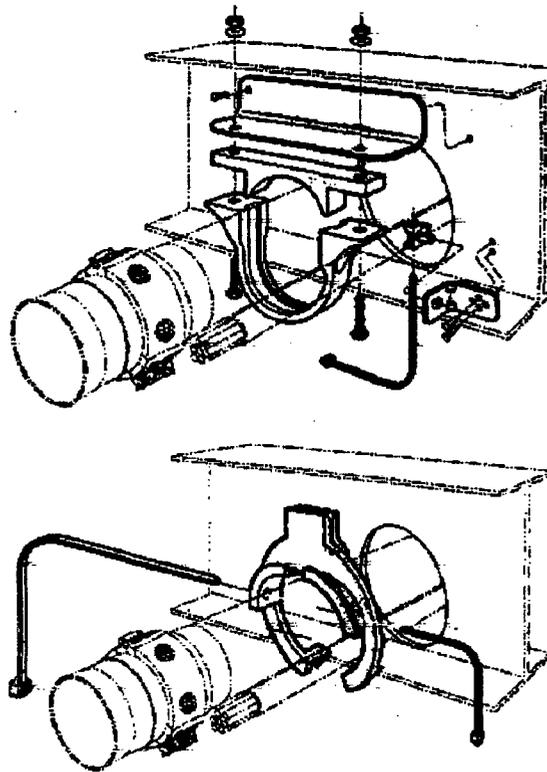


Figura 3.1 - Braçadeira do MD-90 antes e depois do reprojeto [11].

Segundo Boothroyd [15] e Lempiäinen [47], existem vários métodos de avaliação da montabilidade desenvolvidos. Os principais, serão apresentados sucintamente nas seções seguintes de acordo com o que foi encontrado na literatura. Ao fim do capítulo encontram-se breves comentários sobre as peculiaridades de cada um.

No momento, é importante salientar que se está estudando somente a parte do projeto para montagem, *DFA*, relativa à montagem de peças mecânicas. Quanto aos componentes eletrônicos, apesar da conexão destes abranger o domínio da mecânica, envolvendo manipulação, inserção e soldagem; o processo de *DFA* é diferente ao de componentes mecânicos. O *DFA eletrônico*, assim denominado por alguns estudiosos [22], não é direcionado à melhoria da forma geométrica ou à integração de funções dos componentes a serem montados; e sim, ao posicionamento das peças montadas e às técnicas de montagem empregadas [22]. Isto deve-se ao fato de montagens eletrônicas, como a montagem de placas de

circuito impresso (*PCB = Printed Circuit Board*), conterem componentes altamente padronizados (*chips, resistores, capacitores, etc.*)

3.2 - Método AEM da Hitachi Co.⁽¹⁾

Direcionado inicialmente, para a simplificação da inserção automática das peças, o método de avaliação da montagem (*AEM - Assembly Evaluation Method*), considera as dificuldades encontradas nas diversas alternativas para processos de manufatura e montagem e uma idéia da relação dos custos de cada processo. No *AEM*, aproximadamente 20 símbolos, como os da figura 3.2, são utilizados para representar as operações de montagem. Cada símbolo tem um índice que pode ser usado para acessar o grau da montabilidade da peça em consideração, como exemplificado na figura 3.3. O método é baseado no princípio de “*um único movimento para uma única peça.*” Para movimentos mais complicados, uma penalidade padrão é usada e a montabilidade geral do produto é avaliada pela subtração dos pontos perdidos. A forma pela qual esta simbologia é apresentada, tem sido o fator determinante da utilização do *AEM* em implantações computacionais.

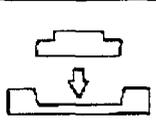
Operação Elementar	Símbolo AEM	Penalidade
		0
	S	20

Figura 3.2 - Exemplo da simbologia do AEM [19].

⁽¹⁾ Referências [6], [12], [15], [19], [56], [57].

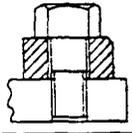
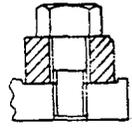
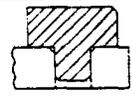
Product structure and assembly operations	Part assembly evaluation score	Assemblability evaluation score	Assembly cost (€)	Part to be improved
	1 Set chassis	100	73	block
	2 Bring down block and hold it to maintain its orientation	50		
	3 Fasten screw	65		
	1 Set chassis	100	86	Approx 0.5 screw
	2 Bring down block orientation is maintained by self-facing	100		
	3 Fasten screw	65		
	1 Set chassis	100	89	Approx 0.5 block
	2 Bring down and press fit block	80		

Figura 3.3 - Exemplo do emprego do AEM [19].

Por ser um método desenvolvido dentro do contexto da década de 70, apresentado em 1976 pela *Hitachi Co.*, o método precisou ser renovado no final da década de 80. O AEM renovado considera a influência da precisão dimensional e configuracional, o tamanho e peso das peças, a repetição de operações, tamanho de parafusos, etc., no custo de montagem. Há ainda, outras modificações, como novos símbolos, emprego de fórmulas e constantes, para reduzir a influência da subjetividade do usuário nas avaliações. Sua implementação computacional também foi realizada, tendo os principais benefícios da aplicação do AEM apresentados pela *Hitachi Co.* como sendo [15]:

- uma redução no trabalho de montagem;
- a facilidade para a automatização da fábrica;
- redução no período de projeto;
- melhoria na confiabilidade dos produtos e equipamentos automatizados.

De acordo com a literatura consultada, o método renovado usa dois índices aplicados o mais cedo possível, chamados de *nota de montagem do produto (E)*, que mede a qualidade do projeto com relação à montagem baseado na dificuldade de montagem, e a *razão dos custos de montagem (K)*, que estima a relação entre o custo de montagem das alternativas de projeto. As N_i tarefas envolvidas na montagem de cada componente i recebem uma nota P_i , a qual está associada uma penalidade “ e_j ” conforme a dificuldade de cada operação elementar j (eq. 3.1). A média das notas de montagem P das peças equivale à nota de montagem do produto E (eq. 3.2).

$$P_i = 100 - \sum_j^{N_i} e_j \quad (3.1)$$

$$E = \frac{\sum_i^n P_i}{n} \quad (3.2)$$

onde “ n ” corresponde à quantidade de componentes do produto.

Já a razão dos custos de montagem K é definida como o produto da nota de montagem do produto E pelo número total de tarefas de montagem N do projeto em avaliação, dividido por este mesmo produto do projeto padrão pdr (eq. 3.3).

$$K = \frac{N \cdot E}{N_{pdr} \cdot E_{pdr}} \quad (3.3)$$

Este método não faz distinção entre montagem manual, automática ou automatizada, e visa a comparação do custo e da facilidade de montagem entre dois projetos, alternativas de solução ou produtos concorrentes. Os autores do *AEM* acreditam que há uma forte correlação entre os graus de dificuldade usando os três tipos de montagens. Também acreditam na dificuldade dos projetistas predizerem os métodos de produção já na fase inicial do processo de projeto.

Ou seja, o *AEM* é um método de avaliação “comparativo”, seu índice “ K ” só estima a relação entre o custo de montagem entre duas alternativas de projeto de um mesmo produto ou dois produtos concorrentes. Deste modo, para avaliar-se três ou mais alternativas, deve-se escolher uma como sendo o projeto padrão.

Passos do *AEM* atual [56]:

1. Preparar os formulários de avaliação da montabilidade.
 - 1.1. Verificar listas e escrever as operações elementares para a produção (apoiar, parafusar, soldar, empurrar, etc.).
 - 1.2. Definir as penalidades “ e_j ” para cada tarefa arbitradas numa escala de 0 a 100, quanto maior a penalidade, maior o custo e a dificuldade de realizá-la. Leva-se em conta a experiência dos operários da produção, além do tempo, pessoal e equipamentos necessários.
2. Preparar os produtos a serem avaliados coletando o maior número possível de informações sobre os mesmos.
3. Preencher o formulário com nome das peças e sua quantidade na mesma ordem da seqüência de montagem.

4. Determinar a seqüência de montagem das submontagens.
5. Determinar as tarefas de montagem das peças.
6. Calcular $P_i = 100 - \sum e_j$ (eq. 3.1) para cada componente. Desta forma a avaliação das tarefas pode ser encarada como uma nota para a tarefa, quanto melhor a nota, melhor a tarefa.
7. Calcular $E = \sum P_i/n$ (eq. 3.2). Esta é a avaliação da dificuldade média das tarefas envolvidas, sendo um valor absoluto de 0 a 100.
8. Escolher um projeto como ponto de referência para os aperfeiçoamentos, dito como padrão (*pdr*).
9. Calcular $K = N \cdot E / N_{pdr} \cdot E_{pdr}$ (eq. 3.3).
10. Comparar E e K aos objetivos desejados, para efeitos de avaliação. A sugestão é aprovar projetos com $E > 80$ e $K < 0,7$.

Nota-se pelos passos 1 e 2, que cada empresa, ou seção desta, terá a sua própria lista de operações e penalidades. A figura 3.4 mostra esquematicamente o procedimento do *AEM*.

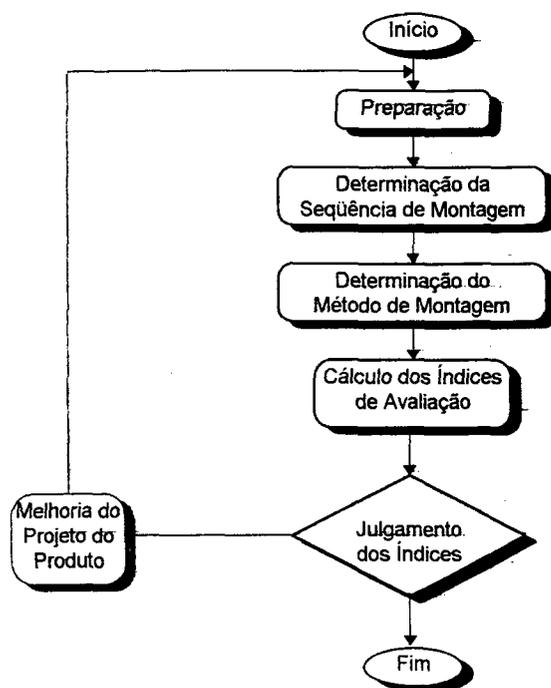


Figura 3.4 - Procedimento do método *AEM* da Hitachi.

Durante o reprojeção é recomendável reduzir o número de operações de montagem N modificando os componentes de menor nota P , assim como obter melhoria de 20 a 30 pontos no valor de E ao reprojetar, sendo preferível um menor valor de K a um menor E .

3.3 - Método Boothroyd-Dewhurst de DFA⁽²⁾

Este método — desenvolvido em 1977 inicialmente pelo prof. Geoffrey Boothroyd — avalia o projeto verificando se os componentes são de fato necessários para o conjunto ou se a função desempenhada por eles pode ser resolvida por outros componentes. Os princípios de montagem e propostas de simplificação (1º passo do processo de DFA, pág. 12) são diferenciados entre montagem manual, automática e mecanizada. As tarefas são então analisadas em relação aos princípios de montagem estabelecidos anteriormente. A peça é subtraída do conjunto se houver resposta negativa às seguintes questões:

- O componente deve possuir movimento relativo ao conjunto?
- O material do componente deve ser diferente do material do conjunto?
- O componente deve ser separado para permitir a desmontagem e remontagem do conjunto?

Essas perguntas originam o *critério de menor número de peças* que guia a otimização do projeto em torno do tempo de montagem. O tempo de montagem é estimado através da utilização de bancos de dados com tempos reais de montagem padronizados obtidos de uma série de estudos sobre tempo e movimentos (*MTM = Methods Time Measurement*). A *eficiência de projeto* DE_{BD} (*Design Efficiency*), ou índice de DFA, é obtido ao comparar o tempo de montagem ($t_{montagem}$) do produto em atividade com o tempo mínimo de montagem se esse tivesse apenas o menor número de peças teóricamente necessárias ($t_{min\ de\ DFA}$), como se elas fossem fáceis de montar (eq. 3.4). Uma variação deste cálculo, é calcular DE em função dos custos de montagem ao invés de tempos de montagem (eq. 3.5).

$$DE_{BD} \approx \frac{t_{min\ de\ DFA}}{t_{montagem}} \quad (3.4)$$

$$DE_{BD} = \frac{N_{tmin} \cdot t_{DFA} \text{ OU } C_{DFA}}{N_{atual} \cdot t_{atual} \text{ OU } C_{atual}} \quad (3.5)$$

onde N_{tmin} é o número teórico mínimo de peças; t_{DFA} o tempo para montar os componentes críticos; C_{DFA} o custo do projeto ótimo; N_{atual} o número total de

⁽²⁾ Referências [6], [12], [14], [15], [17], [19], [31], [55], [56], [57].

componentes do produto; t_{atual} o tempo de montagem de todos os componentes atuais e C_{atual} o custo do produto atual. Nota-se que DE_{BD} varia de 0 a 1, para projeto pobre e ideal respectivamente.

Ou seja, os dois fatores principais que influenciam o custo de montagem de um produto, ou submontagem são:

1. o número total de componentes, e
2. a facilidade de manipulação, inserção e união dos componentes.

Considera implícita nestes casos a influência da estrutura do produto nos custos.

A equação para o cálculo da *Eficiência de Montagem* manual, proposto pelos autores, é

$$E_{ma} = \frac{N_{tmin} \cdot t_a}{t_{ma}} \quad (3.6)$$

onde N_{tmin} é o número teórico mínimo, t_{ma} é o tempo total mínimo de montagem, e t_a é o tempo básico de montagem. Este último é o tempo médio para um componente que apresenta nenhuma dificuldade de manipulação, inserção ou união/conexão, tal tempo é estipulado, e tido como referência, como sendo 3 (três) segundos [14]. A equação 3.6 pode ser reescrita como:

$$E_{ma} = \frac{3 \cdot N_{tmin}}{t_{ma}} \quad (3.7)$$

No cálculo do tempo total de montagem manual, t_{ma} , utiliza-se tabelas de códigos e tempos para as operações de manipulação e composição (*duas planilhas*), como as das figuras 3.5, 3.6 e 3.7. Já para as montagens automática e mecanizada, utiliza-se um total de quatro ou seis planilhas [7].

Sumariando, os passos do método de Boothroyd-Dewhurst são os seguintes:

1. Definição da estrutura do produto.
2. Cálculo do mínimo número teórico de peças N_{tmin} .
3. Escolha do método de montagem (*manual, automática ou mecanizada*).
4. Estabelecimento dos princípios de montagem.
5. Estimativa do t_{ma} , no caso de montagem manual.
6. Cálculo da eficiência de montagem $E_{ma} = 3 \cdot N_{tmin} / t_{ma}$ (eq. 3.7).
7. Análise das tarefas de montagem.

8. Identificação das dificuldades de montagem que geram problemas de manufatura e qualidade.

9. Melhoria do projeto e reanálise.

MANUAL HANDLING – ESTIMATED TIMES (seconds)

Key.		parts are easy to grasp and manipulate										parts present handling difficulties (1)																																		
		thickness > 2 mm					thickness ≤ 2 mm					thickness > 2 mm					thickness ≤ 2 mm																													
		size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm																														
	ONE HAND	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4	
parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools	$(\alpha + \beta) < 360^\circ$	0																																												
	$360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 540^\circ$	1																																												
	$540^\circ \leq (\alpha + \beta) < 720^\circ$	2																																												
	$(\alpha + \beta) = 720^\circ$	3																																												
	ONE HAND with GRASPING AIDS	parts need tweezers for grasping and manipulation										parts require optical magnification for manipulation																																		
parts can be grasped and manipulated by one hand but only with the use of grasping tools	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	parts are easy to grasp and manipulate					parts present handling difficulties (1)					parts are easy to grasp and manipulate					parts present handling difficulties (1)																													
	$\beta = 360^\circ$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10	
	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	6																																												
	$\beta = 360^\circ$	7																																												
	TWO HANDS for MANIPULATION	parts present no additional handling difficulties										parts present additional handling difficulties (e.g. sticky, delicate, slippery, etc.) (1)																																		
parts severely nest or tangle or are flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if necessary) (2)	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$					$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$																													
	$\alpha = 360^\circ$	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7	9	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7																							
	TWO HANDS required for LARGE SIZE	parts can be handled by one person without mechanical assistance										parts do not severely nest or tangle and are not flexible																																		
two hands, two persons or mechanical assistance required for grasping and transporting parts	$\alpha \leq 180^\circ$	part weight < 10 lb					parts are heavy (> 10 lb)					parts are easy to grasp and manipulate					parts present other handling difficulties (1)																													
	$\alpha = 360^\circ$	parts are easy to grasp and manipulate					parts present other handling difficulties (1)					parts are easy to grasp and manipulate					parts present other handling difficulties (1)																													
	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$					$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$																													
	$\alpha = 360^\circ$	9	2	3	2	3	3	4	4	4	5	7	9	9	2	3	2	3	3	4	4	4	5	7	9																					

Figura 3.5 - Tabela utilizada para classificação, codificação e como base de dados das peças que afetam o tempo de manipulação manual [14].

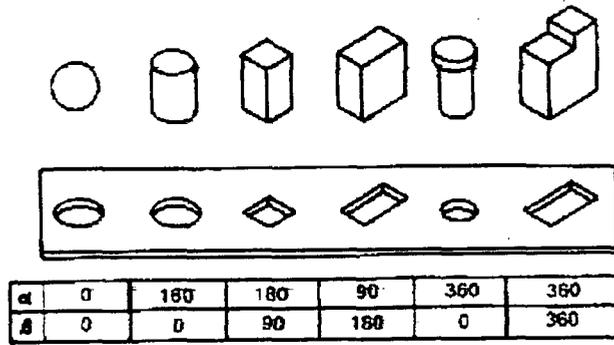


Figura 3.6 - Figura utilizada para determinação dos ângulos de simetria/assimetria α e β para a tabela de manipulação da figura 3.5 [14].

MANUAL INSERTION – ESTIMATED TIMES (seconds)

		after assembly no holding down required to maintain orientation and location (3)				holding down required during subsequent processes to maintain orientation or location (3)						
		easy to align and position during assembly (4)		not easy to align or position during assembly		easy to align and position during assembly (4)		not easy to align or position during assembly				
Key:		no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)			
		0	1	2	3	6	7	8	9			
addition of any part (1) where neither the part nor the associated tool is secured immediately.	part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location	0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5		
	part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location	1	4	5	5	6	8	9	9	10		
	due to obstructed access or restricted vision (2)	2	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5		
addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately.	part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	part and associated tool (including hands) cannot be operated easily	3	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
	due to obstructed access or restricted vision (2)	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately.	part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12
	part and associated tool (including hands) cannot be operated easily	3	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
	due to obstructed access or restricted vision (2)	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
assembly processes where all solid parts are in place	mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)	none or localized plastic deformation		bulk plastic deformation (large proportion of material deformed during fastening)		metallurgical processes		non-mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)		non-fastening processes		
	bending or similar processes	riveting or similar processes	screw tightening (6) or other processes	no additional material required (e.g. resistance, friction welding, etc.)	additional material required	soldering processes	weld/braze processes	chemical processes (e.g. adhesive bonding, etc.)	manipulation of parts or sub-assembly (e.g. orienting, fitting or adjustment of parts), etc.)	other processes (e.g. liquid insertion, etc.)		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	9	4	7	5	3.5	7	8	12	12	9	12	

Figura 3.7 - Tabela utilizada para classificação, codificação e como base de dados das peças que afetam o tempo de composição manual [14].

Segundo os próprios autores, o método apresenta-se como um procedimento estruturado de análise de projeto, que auxilia a busca e eliminação das dificuldades de montagem, maior fonte dos problemas de qualidade. Na sua aplicação é de fundamental importância a correta utilização dos bancos de dados com tempos padronizados, tanto que há equações de aferição destes tempos para peças de peso e ou dimensões ditas anormais (*acima de 1,15 Kg e 381 mm o maior comprimento*), e na combinação de fatores como simetria e peças que necessitam duas mãos na manipulação [14] [31]. Os bancos de dados também têm sido expandidos a fim de incluir conexões elétricas e placas de circuito impresso (*PCB*). Desde 1982 este método está implantado em ambiente computacional que atualmente apresenta-se na versão 8.2. No capítulo 4, seção 4.3, decorrer-se-á melhor sobre este assunto.

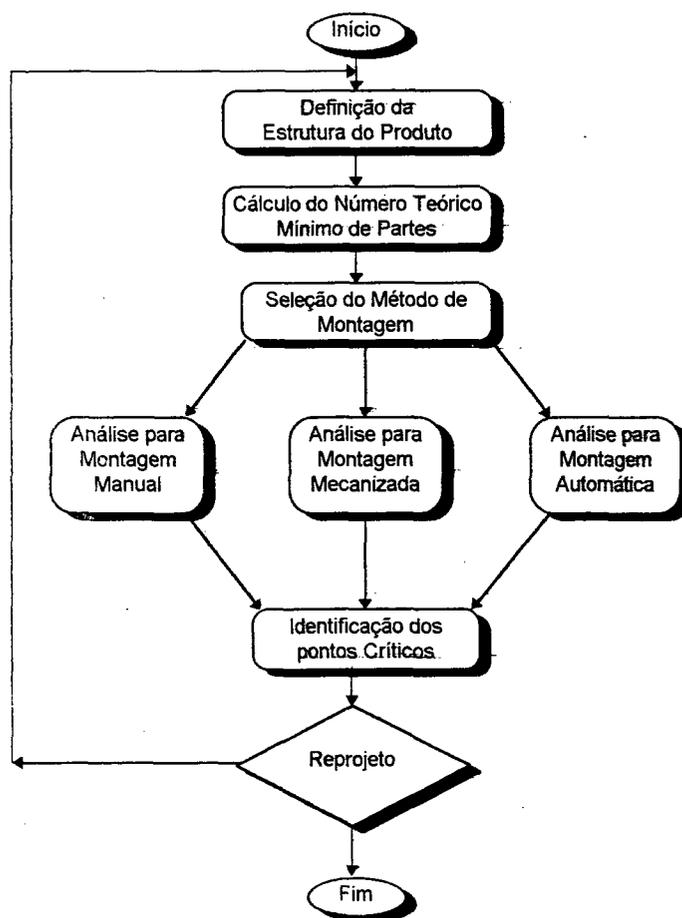


Figura 3.8 - Fluxograma do método de Boothroyd-Bewhurst.

3.4 - Método de Lucas⁽³⁾

Desenvolvido nos meados dos anos 80 por B. L. Miles, da *Lucas Engineering and Systems Ltd.*, e Ken G. Swift da Universidade de Hull (*Grã-Bretanha*), teve como meta a evolução da avaliação da montabilidade a fim de atender os requisitos modernos. Tanto que, o seu critério de redução de peças (*análise funcional*) é originário do critério de Boothroyd, também apresenta um banco de dados para classificar a dificuldade de montagem das peças similar ao do *Boothroyd-Dewhurst*, e possui o conceito de estabelecer pontos ao analisar o produto como no *AEM*.

Há essencialmente quatro estágios da análise de *DFMA*, sendo três específicos do *DFA*, onde analisam-se a função, a manipulação e a composição dos componentes. Cada estágio produz sua própria métrica de desempenho *MOP* (*Measure of Performance*). O reprojeito do produto é realizado a fim de eliminar os custos relativos e melhorar os *MOPs*. Os estágios apresentam-se esquematizados na figura 3.9.

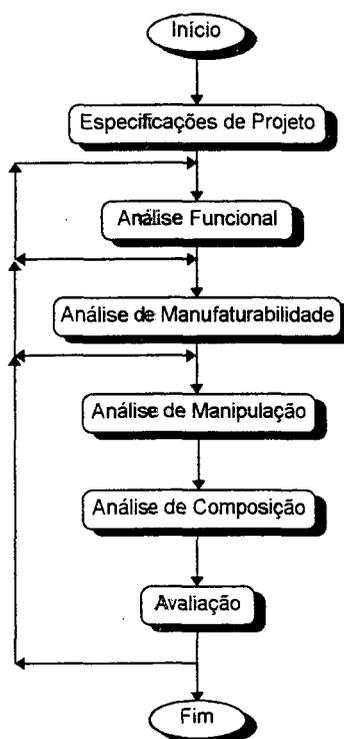


Figura 3.9 - Fluxograma do Método de Lucas.

⁽³⁾ Referências [1], [6], [12], [15], [19], [53], [54].

Outras características deste método são:

- a) O banco de dados foi obtido junto a organizações especializadas em sistemas de montagens mecanizadas. Apesar disto, os autores enfatizam (*como o AEM*) que tal é igualmente válido para a montagem manual.
- b) Procedimento mais rápido e simples que os métodos anteriores (*segundo os autores*).
- c) Uso do *QFD*, pois é tida como essencial a existência de uma especificação de projeto do produto para a avaliação.
- d) Tem como saída um diagrama racional e estruturado do trabalho de montagem que fornece uma especificação inicial para o projeto do processo de montagem.

Nas figuras 3.10 a 3.11, apresenta-se um exemplo ilustrativo do método encontrado na literatura [1].

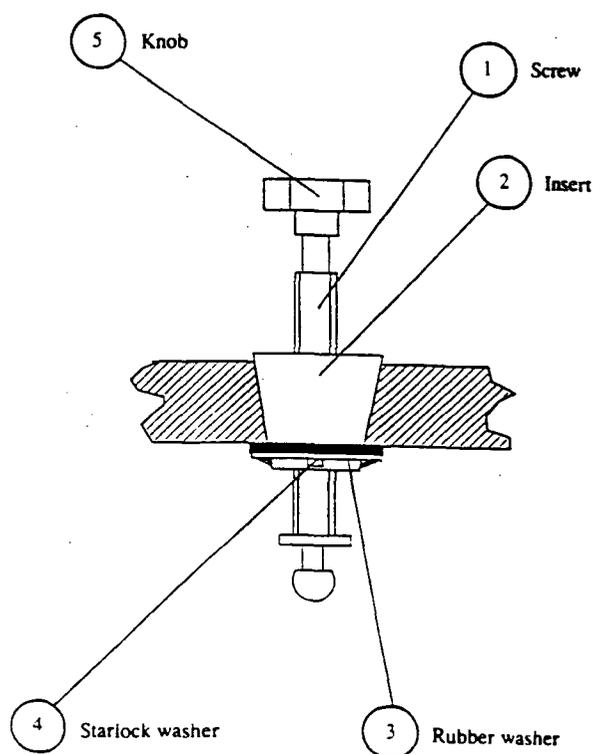


Figura 3.10a - Guarnição antes do reprojeto [1].

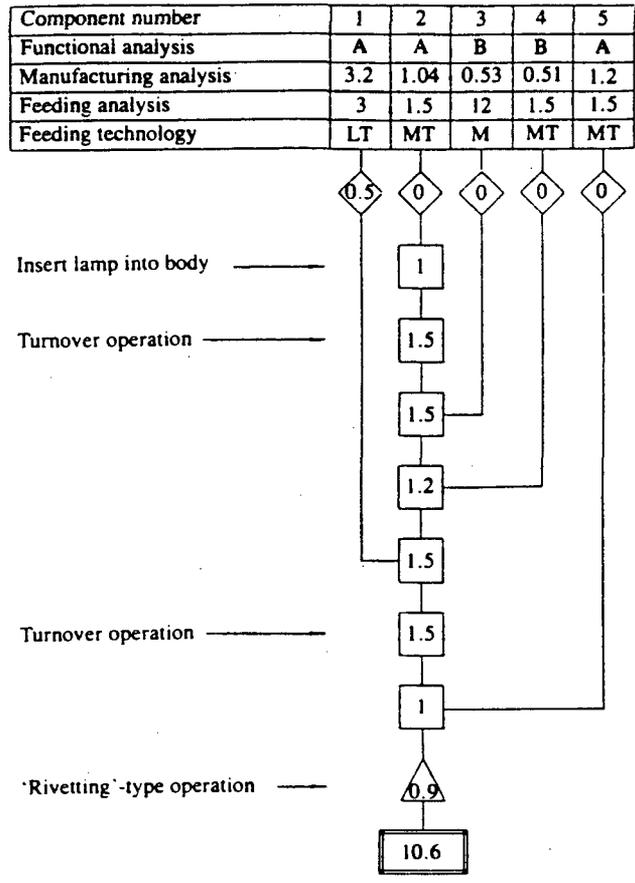


Figura 3.10b - Diagrama resultante da análise da guarnição da figura 3.10a [1].

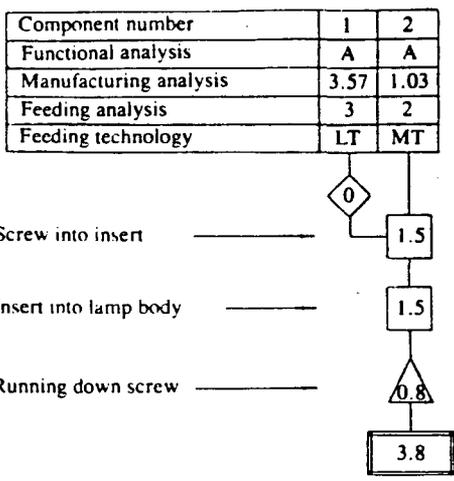
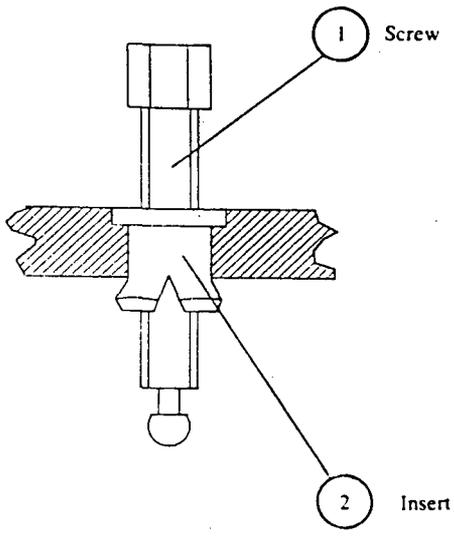


Figura 3.11 - Guarnição e respectivo diagrama DFA após o reprojeto [1].

3.4.1 - Análise Funcional

Através de uma análise de valor em que se examinam os requisitos funcionais do produto, as peças são categorizadas em peças essenciais ou não essenciais, tipos *A* ou *B* respectivamente. As peças do tipo *A* são ditas essenciais por serem exigidas pelas especificações de projeto definidas junto aos clientes (*sugere-se o uso da técnica QFD*). Já as peças do tipo *B* são ditas não essenciais por serem requeridas pela solução particular de projeto (*forma*) definida pelos princípios de solução adotados. A métrica de desempenho *MOP* é a *eficiência de projeto*, DE_{Lucas} , expressada como uma porcentagem entre as duas categorias.

$$DE_{Lucas} = \frac{A}{A + B} \quad (3.8)$$

Procura-se eliminar ao máximo o número de peças *B*, não essenciais. Um projeto é considerado bom quando a eficiência de projeto DE_{Lucas} for maior que 60%. No entanto, há uma ressalva dos autores que $DE_{Lucas} > 30\%$ seja considerado satisfatório para produtos muitíssimos complexos (*automóveis por ex.*). Tais porcentagens são arbitrárias e foram sugeridas após estudos de vários projetos pelos autores. A figura 3.12 apresenta a *Carta de Critério Funcional* utilizada na classificação dos componentes em *A* e *B*.

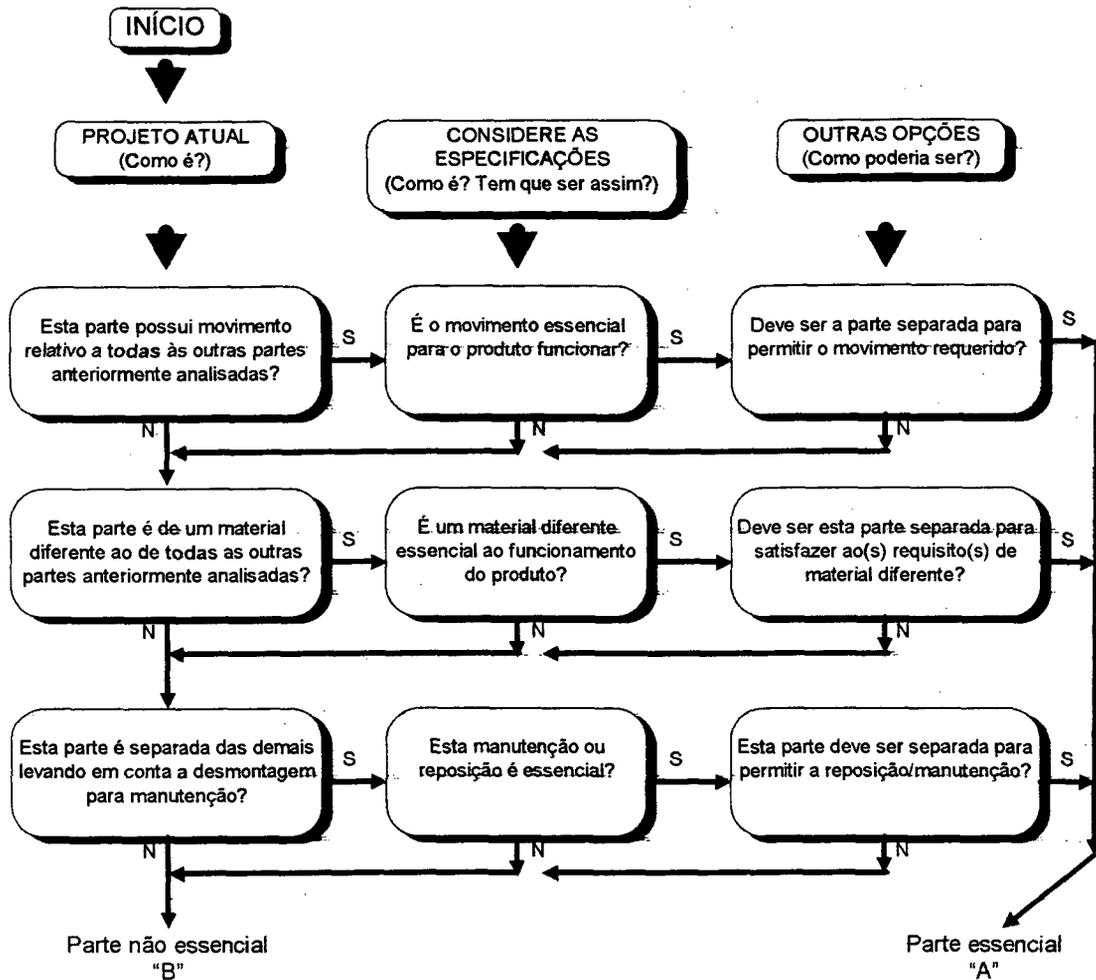


Figura 3.12 - Carta de Critério Funcional do Método de Lucas [75].

Algumas observações sobre a Carta são:

- i) As questões estão arranjadas em três colunas. Na coluna "*projeto atual*" deve-se considerar o projeto como é de fato e não como deveria ser. Nas questões da coluna "*considerar as especificações*", deve-se considerar como é, e questionar se a peça tem de ser da forma que é. Na terceira coluna "*outras opções*" deve-se provocar idéias de como o projeto e ou desenho poderia ser.
- ii) Deve-se dar atenção a todas as peças, principalmente às idênticas como parafusos, juntas e molas que não raramente não desempenham a mesma função ou que a função pode ser atendida por um número menor destas peças.
- iii) Se houver dúvida da categoria da peça, esta deve ser considerada não essencial (B).

3.4.2 - Análise de Manipulação

Esta análise engloba desde a separação dos componentes armazenados no estoque até a sua condição "pronta para montar". Levantando os custos de manipulação de cada peça, as peças são pontuadas conforme três áreas: tamanho e peso; dificuldade de manipulação, e orientação da peça. O objetivo é analisar a manipulação e alimentação dos componentes assegurando que o projeto dos componentes individuais é compatível com o método de montagem (manipulação) selecionado. A métrica de desempenho *MOP* é a taxa de manipulação $T_{X_{man}}$, definida como a razão entre a soma dos pontos individuais de manipulação P_{im} para cada peça A e B , e o número total de peças essenciais n_A .

$$T_{X_{man}} = \frac{\sum P_{im}}{n_A} \quad (3.9)$$

Objetiva-se $T_{X_{man}}$ menor que 2,5 para o produto, sugerindo investigar para reprojeito cada peça com pontuação individual maior que 1,5⁽⁴⁾. A figura 3.13 expõe um exemplo de parte do banco de dados utilizado na análise de manipulação.

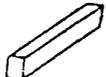
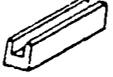
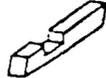
Orientation property		Orientation technology	Sample components		
			Long	Short	Disc
Symmetrical components (no trivial orientation tooling)		MT	 1	 1	 1
	Capability to be fed in a slot supported by its head	MT	 1.2	 1.3	 1.3
	Through grooves or projections parallel to major axis	MT	 2	 1.3	 1.3
	Through grooves or projections perpendicular to major axis	MT	 1		

Figura 3.13 - Exemplo do banco de dados com pontos para a análise de manipulação conforme a orientação da peça [54].

⁽⁴⁾ Não há indícios claros na literatura consultada de como os valores são atribuídos aos componentes analisados.

3.4.3 - Análise de composição:

O objetivo é levantar os custos de montagem identificando as tarefas de composição de maior custo individual. Realiza-se então, uma análise da tarefa de composição baseada na seqüência de montagem, avaliando se a peça necessita de alinhamento, direcionamento, força de inserção, comportar alguma instalação, e se restringe a visão. MOP é a *taxa de composição* $T_{X_{comp}}$, definida como a razão entre a soma dos pontos individuais de composição P_{ic} para cada peça A e B , e o número total de peças essenciais n_A .

$$T_{X_{comp}} = \frac{\sum P_{ic}}{n_A} \quad (3.10)$$

Objetiva-se $T_{X_{comp}}$ menor que 2,5 para o produto, sugerindo investigar para reprojeção cada peça com pontuação individual maior que 1,5⁽⁵⁾.

3.5 - Projeto Orientado à Montagem do Produto⁽⁶⁾

Pesquisadores do *Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)* [13] e [70], na Universidade de Stuttgart (*Alemanha*), propuseram este método (*Assembly-Oriented Product Design*), cuja contribuição é a de considerar tanto a utilidade do componente quanto o seu valor funcional. Isto significa que peças com menor valor funcional (*fixadores separados, por ex.*) e difíceis de montar recebem baixo valor. Assim, avaliam-se a dificuldade da montagem e o valor funcional, resultando em uma classificação, que é utilizada como guia para o reprojeção.

O processo do projeto orientado à montagem demonstra que entre o grande número de auxílios aplicáveis, os mais importantes são as regras (*princípios*) de projeto sistematicamente aplicadas e a avaliação de montabilidade. Durante o processo, as regras ou princípios podem influenciar o projeto do produto do ponto de vista da montagem. Após cada etapa do processo de projeto, uma avaliação é

⁽⁵⁾ Mesma observação da nota anterior sobre a taxa de manipulação.

⁽⁶⁾ Referências [13], [15], [19], [70].

realizada em ordem de conferir se há ou não a necessidade de melhoria do projeto em função da montagem.

Os autores defendem que o conhecimento dos requisitos de projeto, o arranjo do produto e os vários métodos para implantar sistemas de montagem devem ser avaliados no estágio de desenvolvimento do produto e serem integrados ao projeto do mesmo. O processo de montagem, então, deve ser analisado e planejado em paralelo (*com o menor lapso de tempo possível*) com o projeto do produto.

Deste modo, é necessário considerar e avaliar todos os fatores de influência no projeto do produto. A proposta da equipe do *IPA* é utilizar catálogos e listas de controle, que examinarão precisamente esses fatores que são importantes durante as várias fases do projeto.

As regras de projeto sumariadas em catálogos, segundo os pesquisadores, devem atender alguns requerimentos, tais como acesso rápido e estruturado à tarefa, compreensivo alcance de soluções, aplicabilidade tanto ao projeto convencional quanto ao projeto auxiliado por computador. Os catálogos empregados no *IPA* estão classificados convenientemente em quatro, conforme as subdivisões das regras e diretrizes:

1. sobre a estrutura do produto,
2. sobre as submontagens,
3. sobre os componentes individuais,
4. sobre as técnicas de composição (*união*).

As principais características de acesso aos catálogos são a validade das regras durante o processo de projeto, a validade de certos tipos de montagem e a importância das regras classificadas em *A*, *B* ou *C* de acordo com sua contribuição. Um extrato de uma das páginas dos catálogos é ilustrada na figura 3.14. Nos catálogos as regras são suplementadas por exemplos ilustrativos do tipo positivo e negativo que auxiliam a compreensão e aplicação dos conceitos envolvidos.

Rules for assembly-oriented product design			
3 Measures for subassemblies			
2.3 Design of the basic unit			
No.	Design rules	Importance	Design step
2.3.1	Mounting of subassemblies on the basic unit (preferably complete subassembly on one basic unit)	A	II.7 III.1
2.3.2	Basic unit must have good positional stability	B	III.3
2.3.3	Basic unit must have a preferably large end plane surface	B	III.7 III.1

Figura 3.14 - Extrato de um dos catálogos do método [70].

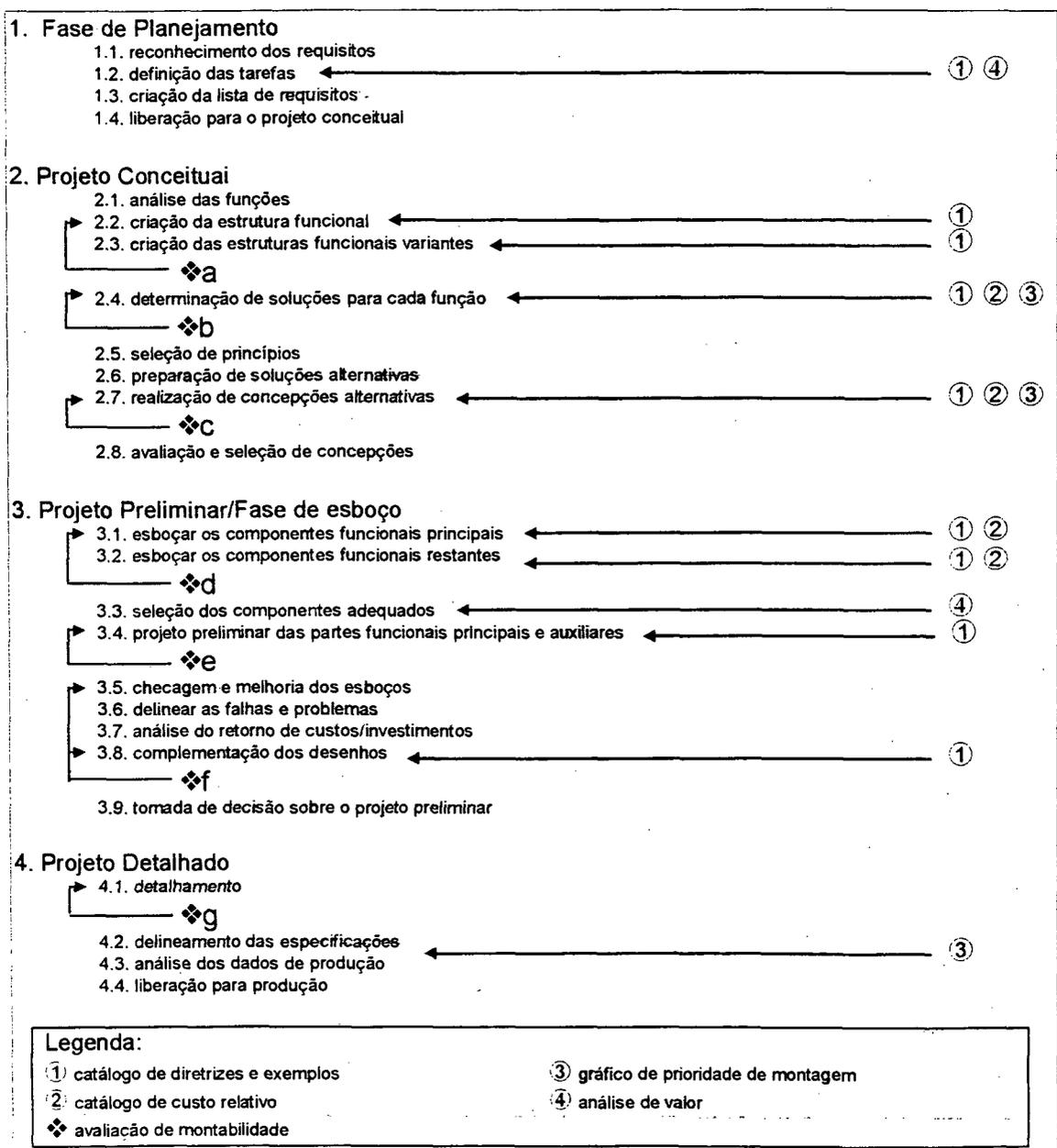


Figura 3.15 - Etapas do Projeto Orientado à Montagem do Produto [13] e [70].

A figura 3.15 mostra a proposta de aplicação do método no processo de projeto, estruturado em quatro estágios distintos: planejamento, projeto conceitual, esboço e projeto detalhado. A avaliação é alcançada através dos seguintes princípios:

- i) avaliações a e b: uso de listas de controle que examinam precisamente os fatores que são importantes durante os vários estágios do processo,
- ii) avaliações c em diante: avalia-se em função de um procedimento cuja idéia básica é que os produtos devem ser projetados para preencher os requisitos e funções listadas na planilha de especificações.

A partir da avaliação c (figura 3.16), o conteúdo funcional FM de cada componente é derivado da estrutura funcional. Essa é uma métrica proposta que identificará o grau de funcionalidade de cada componente pela quantidade e importância das funções atendidas individualmente.

Já no projeto preliminar, é possível estimar os gastos (custos e ou tempos) da montagem AM e, conseqüentemente, calcular o valor característico da montagem KM, definido como a razão entre o conteúdo funcional FM e o gasto de montagem AM (eq. 3.11). Almeja-se $KM > 0,75$. A figura 3.16 apresenta um exemplo de uma avaliação de montabilidade realizada pelo método de projeto orientado à montagem [17].

$$KM = \frac{FM}{AM} \tag{3.11}$$

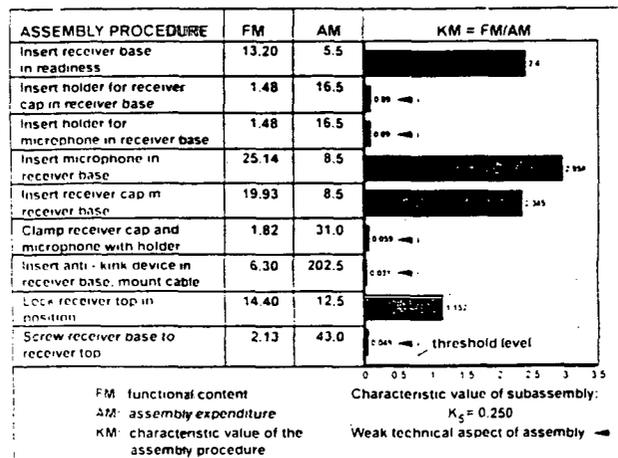


Figura 3.16 - Exemplo de avaliação pelo método de Projeto Orientado à Montagem [19].

Por fim, no projeto detalhado, utiliza-se então a análise de valor sobre a determinação dos custos e gastos funcionais. A eficiência de um procedimento da montagem é melhor quando um componente com alto valor funcional é montado com baixo gasto de montagem.

Em suma, o método acarreta nos seguintes passos a serem seguidos (fig. 3.17):

1. o estabelecimento de uma estrutura funcional;
2. a ponderação das funções e a determinação do conteúdo funcional (FM);
3. o estabelecimento de uma estrutura de submontagens;
4. a distribuição dos conteúdos funcionais aos diferentes componentes;
5. determinação da sequência de montagem;
6. determinação das despesas de montagem (AM);
7. determinação dos valores mensurando a aptidão para montagem (KM);
8. identificação dos problemas técnicos durante a montagem.

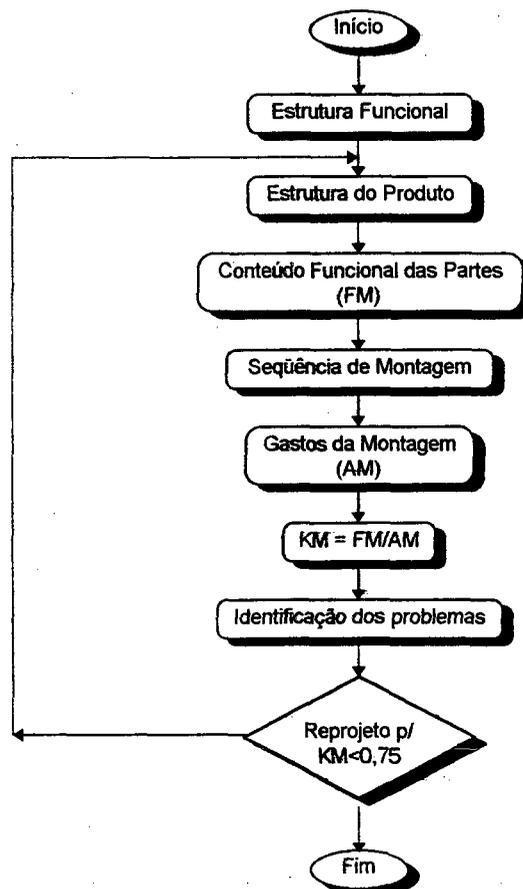


Figura 3.17 - Fluxograma do método de Projeto Orientado à Montagem.

Uma vantagem identificada neste método é forçar pequenos “loops” por todo o processo desde o real início do mesmo, e avaliar não só cada componente individualmente como também o produto todo desenvolvendo-o interativamente. A integração do método com sistemas CAD está em implantação.

3.6 - Método DAC da Sony⁽⁷⁾

Desenvolvido no início da década de 80, este método avalia a eficácia da montabilidade nos custos. Os fatores para avaliação são classificados em 30 palavras chaves. As avaliações são exibidas num diagrama usando um sistema de pontuação de 0 a 100 para cada operação. A ênfase é dada na facilidade em que cada operação pode ser realizada automaticamente, sendo o método usado para ilustrar os problemas com a eficiência do sistema de montagem. Seu diagrama, exemplificado na figura 3.18 auxilia a rápida visualização de julgamento. Uma lista das operações é apresentada no diagrama DAC (*Design for Assembly Cost*), e um gráfico de barras representa a pontuação para a operação em particular. De acordo com Lempiäinen [47], o método é principalmente utilizado em casos de produção em massa por possuir princípios característicos da montagem automática. Pela literatura nota-se que o método já possui a versão computacional, mas sua comercialização é restrita pela própria Sony Co.

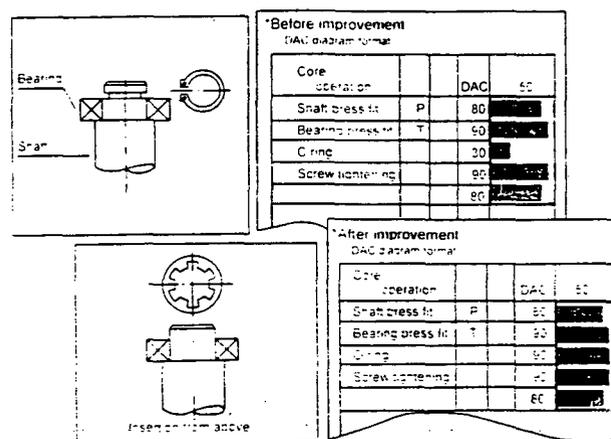


Figura 3.18 - Exemplo de aplicação do método DAC [19].

⁽⁷⁾ Referências [15], [19],[22] [47].

3.7 - Método proposto por Kroll-Lenz-Wolberg⁽⁸⁾

Segundo Boothroyd [15], os autores defendem a idéia de abandonar robôs em favor de equipamentos para processos alternativos. Eles acreditam que a aplicação de *DFA* no início do processo de projeto direciona a mudanças que melhoram a eficiência do processo de projeto e conduz a robôs mais simples com menos ferramental, garras e características mais baratas. Propõem ainda, duas abordagens para serem aplicadas durante o projeto conceitual: uma quantitativa e outra qualitativa. Conforme o próprio Boothroyd [15], na abordagem qualitativa apresentam somente princípios e regras gerais seguidos de exemplos ilustrativos, de difícil aplicação prática. Na quantitativa, designam códigos numéricos e custos por período de tempo a várias características dos componentes e do sistema de montagem; o que requer grande quantidade de informações específicas. Tais seriam, por exemplo, a taxa de produção estimada, o custo do equipamento de montagem e as propriedades simétricas dos componentes.

Do ponto de vista dos próprios autores, citados em Boothroyd [15], a abordagem quantitativa do método falha em flexibilidade ao confiar em dados de referência, que talvez não estejam disponíveis no momento da análise, e ao utilizar equipamentos padrões de montagem como uma base comparativa. Mas os principais inconvenientes são justamente a forma implícita de identificação de melhorias no projeto, e muito mais fundamentalmente, a incapacidade de tratar os produtos num nível maior que as peças individuais. Como resultado, o projeto de configuração pode somente ser realizado por eliminação ou integração das peças.

Este método possui a sua versão computacional cuja ênfase é no projeto conceitual onde a estrutura do produto é considerada como um todo [15].

⁽⁸⁾ Referência [15].

3.8 - Sistema MOSIM da Siemens⁽⁹⁾

Nesta abordagem, os autores, Angermuller e Moritzen, citados por Boothroyd [15], sugerem que o projeto do produto deve ser realizado ao mesmo tempo que o projeto e avaliação do processo de produção. O *MOSIM* é um sistema interativo gráfico do tipo especialista suportado por um banco-de-dados próprio. Seu objetivo é permitir à equipe de projeto determinar e analisar as conseqüências de processos de montagem e montagens de um projeto modelado através de sistemas *CAD*. Além de considerar como as seqüências e processos de montagem serão representadas, a proposta é usar um modelamento computacional 3-D sólido a fim de representar o produto e extrair suas características (*features*) relevantes.

Adicionalmente, os autores afirmam que a avaliação da montabilidade é geralmente baseada em resultados de processos de manipulação, composição e verificação, e não no produto e suas características. A determinação destes processos é considerada como planejamento, significando que o grau de detalhamento não necessita ser profundo para se fazer a avaliação. Sugerem então, que os procedimentos de avaliação sejam implantados computacionalmente com os conhecimentos contidos nestes codificados em regras como em sistemas especialistas [15].

3.9 – Novo método de DFA⁽¹⁰⁾

Desenvolvido a partir do conhecimento gerado pelos demais métodos conhecidos, este método, proposto por Valentovic e Chal [69] (*Tcheco-Eslováquia*) em 1993, aborda o processo de montagem como um problema geométrico-cinemático. Os autores consideram que as tarefas de orientação e composição são, em princípio, combinações de rotações e translações. A abordagem consiste em avaliar o grau de liberdade do produto e seus componentes da equação 3.12, onde

⁽⁹⁾ Referência [15].

⁽¹⁰⁾ Referência [69].

" n " é o número de peças e " Σk " é o número de pontos de conexões (*interfaces*) entre as peças do produto.

$$i = 6 \cdot n - 6 - \Sigma k \quad (3.12)$$

Com o valor de " i " conhecido, consulta-se um catálogo de regras de projeto estruturado, com exemplos e comentários, de forma a classificar as regras em categorias de acordo com a aplicabilidade nas fases do processo de projeto e com os graus de liberdade. A idéia principal é eliminar ao máximo o número e tamanho das translações e rotações necessárias na montagem de um produto; assim, a manipulação total seria a menor possível.

3.10 - Planilhas

Além dos métodos anteriores, há ainda, as planilhas propostas por Poli e outros [16] e [17], e por Ullman [22]. Não se entrará em detalhes nas duas primeiras por estas já terem sido descritas e exemplificadas na dissertação de Oliveira [57], e serem de uso exclusivo no projeto detalhado por requererem a montagem ou desmontagem do produto final para serem preenchidas.

3.10.1 - Planilha para análise da montagem e balanceamento da linha de montagem

Desenvolvida por Poli, Graves e Groppetti [17], esta planilha destina-se exclusivamente à montagem manual e a avaliar o produto em relação à fácil montagem e manipulação de peças. Utilizando um código de cores, o mesmo banco de dados de tempo do método Boothroyd-Dewhurst e um gráfico para estimar custos, o produto, ou um protótipo deste, deve ser montado ou desmontado para o preenchimento da planilha, sendo preferível a análise através da desmontagem. O objetivo é determinar e localizar os problemas de montagem existentes como tarefas difíceis de serem realizadas e peças que afetam a manipulação do produto.

3.10.2 - Planilha para a montagem automática

Proposta por Poli e Fenoglio [16], foi desenvolvida para analisar a montagem automática de um produto. Muito parecida com a planilha anterior, utilizando código de cores, banco de dados e gráficos de custos que levam em consideração as peculiaridades do processo automático, o método de preenchimento é similar ao da montagem manual.

3.10.3 - Planilha proposta por Ullman

Ullman [68], propõe um índice de medição do potencial de melhoria da montabilidade do produto parecido com o índice de *Boothroyd-Dewhurst*, com a vantagem de não ter que calcular tempos de montagem, e sim, somente o número de componentes. O *potencial de melhoria* PM_{Ullman} é conhecido encontrando-se a razão entre o número atual de componentes N_{atual} subtraído do mínimo número teórico de peças N_{min} pelo mesmo número atual de componentes, como apresentado na equação 3.12.

$$PM_{Ullman} = \frac{N_{atual} - N_{min}}{N_{atual}} \quad (3.12)$$

Recomenda-se o reprojeto para potenciais superiores a 40%. Há ainda, uma planilha, mostrada na figura 3.19, a ser preenchida para cada peça considerando os aspectos da montagem no geral, a manipulação, o encaixe e a captação dos componentes.

A planilha de trabalho foi desenvolvida para dar a pontuação da eficiência de montagem de cada produto analisado. A pontuação varia de 0 a 104. Quanto maior a nota, melhor a montagem. O valor obtido é usado como uma mensuração relativa para comparar projetos ou concepções alternativas do mesmo produto, ou de produtos similares. O valor absoluto da pontuação não tem qualquer significado. Entretanto, analisando a planilha, um projeto muito bom estará acima dos 78 pontos, enquanto um abaixo dos 52 pontos será recomendável ao reprojeto. O projeto ou concepção pode ser modificado baseando-se nas sugestões proporcionadas pelos princípios e então reavaliado. A diferença entre a pontuação

do produto original e o reprojeto propicia uma indicação da melhoria da eficiência de montagem.

DESIGN FOR ASSEMBLY		Avaliado por _____			Data: ___/___/___	
		Revisado por _____			Data: ___/___/___	
Análise de montagem individual para _____				Avaliação n.º: 01 02 03 04 05		
Montagem Global					Comentários	
1) Conta total de peças minimizadas (potencial de melhoria)	<input type="radio"/> pobre (>60%)	<input type="radio"/> razoável (40-60%)	<input type="radio"/> boa (20-40%)	<input type="radio"/> muito boa (11-20%)	<input type="radio"/> excelente (<10%)	
2) Mínimo uso de fixadores separados	<input type="radio"/> pobre	<input type="radio"/> razoável	<input type="radio"/> bom	<input type="radio"/> muito bom	<input type="radio"/> excelente	
3) Peça básica com características de instalação	<input type="radio"/> pobre	<input type="radio"/> razoável	<input type="radio"/> boa	<input type="radio"/> muito boa	<input type="radio"/> excelente	
4) Reposicionamento requerido durante a montagem	<input type="radio"/> dois ou mais		<input type="radio"/> um		<input type="radio"/> sem repos.	
5) Eficiência da seqüência de montagem	<input type="radio"/> pobre	<input type="radio"/> razoável	<input type="radio"/> boa	<input type="radio"/> muito boa	<input type="radio"/> excelente	
Captação das Peças						
6) Características que complicam a manipulação (flexibilidade excessiva, emaranhamento, etc.) foram evitadas	<input type="radio"/> nenhuma peça	<input type="radio"/> poucas peças	<input type="radio"/> algumas peças	<input type="radio"/> a maioria das peças	<input type="radio"/> todas as peças	
7) As peças foram projetadas para uma abordagem específica de alimentação (volume, linha, carregador)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Manipulação das peças						
8) Peças simétricas de ponta a ponta	<input type="radio"/> nenhuma peça	<input type="radio"/> poucas peças	<input type="radio"/> algumas peças	<input type="radio"/> a maioria das peças	<input type="radio"/> todas as peças	
9) Peças simétricas ao eixo de inserção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
10) Onde a simetria é impossível, as peças são claramente assimétricas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Combinação das Peças						
11) Movimentações retilíneas de montagem	<input type="radio"/> nenhuma peça	<input type="radio"/> poucas peças	<input type="radio"/> algumas peças	<input type="radio"/> a maioria das peças	<input type="radio"/> todas as peças	
12) Chanfros e características que facilitam a inserção e o auto-alinhamento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
13) Máxima acessibilidade às peças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
NOTA: pontuação de avaliação a ser usada somente para comparar uma montagem a alternativas de projeto da mesma montagem.	<input type="radio"/> total x 8 → <input type="radio"/> total x 6 → <input type="radio"/> total x 4 → <input type="radio"/> total x 2 → <input type="radio"/> total x 0 →					
	total =					

Figura 3.19 - Planilha de DFA proposta por Ullman [68].

O autor concorda que esta técnica só pode ser aplicada a partir do projeto preliminar, quando o produto está refinado o suficiente, com os componentes individuais e os métodos de união determinados. No entanto, a sua contribuição pode ser apreciada bem mais cedo. Tal é verdade, depois de desempenhar a avaliação preenchendo-se a planilha várias vezes, o projetista desenvolve um senso do que torna um produto fácil de montar, um conhecimento que terá efeito em todos os projetos futuros.

Continuando, o autor defende que o uso do *DFA* como indicador da qualidade de projeto só faz sentido para produtos de produção em massa, por encorajar componentes complexos cujo valor empregado nas modificações podem ser maior que os benefícios.

Apesar de sua reconhecida importância, a planilha apresenta-se muito subjetiva quanto ao seu preenchimento, requerendo-se uma maior prática da equipe de projeto sobre a mesma. Uma desvantagem do índice do potencial de melhoria é para os casos de projetos compostos por um número de peças pequeno, quando o potencial mostra-se ainda relativamente alto, mas esconde qual será o esforço necessário para melhorar o projeto; isto pode ser contornado com a utilização conjunta de outros métodos, ou metodologias; principalmente dos que utilizem as medições de tempos e métodos (*MTM = Methods-Time Measurement*).

3.11 - Comentários

Relembrando os comentários sobre as ferramentas de *DFA* ao final do primeiro capítulo, comprova-se que os métodos focalizam o sistema produtivo. Os métodos em si procuram tratar a complexidade do problemas através de considerações simples e se atendo a métricas fáceis de serem quantificadas como o número de peças, a necessidade da peça, tempos e custos de montagem. Isso os torna fáceis de serem compreendidos e assimilados, mas não elimina totalmente os julgamentos subjetivos da análise do projeto.

Nota-se que todos os métodos abordam o problema da montagem de modo bastante sistemático, o que é de grande valia em manter a coerência entre os

resultados de diferentes avaliações, e conseqüentemente, a confiança da equipe na ferramenta em uso.

O conhecimento da função da peça e a seqüência de montagem do produto é um pré-requisito para várias abordagens metodológicas de avaliação da montabilidade. Dentre os métodos e planilhas abordados pode-se destacar:

1. os métodos *AEM* e *Boothroyd-Dewhurst* como os precursores dos demais métodos;
2. a contribuição da proposta do “projeto orientado à montagem” quanto à aplicação real da metodologia de *DFA* desde o início do processo de projeto;
3. a planilha proposta por Ullman, que por ser simples de se preencher e contribuir com resultados rápidos é extremamente útil em qualquer tipo de avaliação de montabilidade, mesmo com a limitação do alto grau de subjetividade envolvido.

O *AEM* enfatiza os movimentos no momento da composição, sem considerar a manipulação anterior a este momento. Sua análise é altamente subjetiva e do tipo comparativa, estando mais para *DFM* do que *DFA*.

O método de *Boothroyd* atém-se aos tempos de montagem e ao número de peças. Avalia a dificuldade de manipular e inserir através da análise da forma do componente.

O método de *Lucas* é similar ao de *Boothroyd*, mas menos subjetivo no que se refere à análise funcional. Seu fluxograma é o único que propõe o *DFM* antes de se terminar a análise de *DFA*. Ele e o método *Projeto Orientado à Montagem* são os únicos que consideram as especificações de projeto na análise de montabilidade.

A desvantagem do método de *Lucas*, para ser aproveitado ao máximo, é a necessidade de conhecer o histórico do processo de projeto do produto em questão, isto é, pelo menos a estrutura funcional e respectiva matriz morfológica. Quanto ao diagrama gerado, não há informação suficiente na literatura consultada para que uma análise de sua contribuição seja realizada.

Percebe-se também que nenhum dos métodos apresentados sugere abordagens alternativas para a melhoria da manufatura e montagem (*exceto as versões computacionais destes, as quais serão vistas no capítulo seguinte*).

Programas Computacionais de DFA

4.1 - Introdução

O modo aparentemente mais acessível de se utilizar os métodos de avaliação de projeto para montagem é através de listas de controle impressas em papéis avulsos. Apesar de serem extremamente baratas e fáceis de serem modificadas e manipuladas conforme a necessidade, o número de questões é limitado e o trabalho de se calcular tempos e custos de montagem manualmente é árduo. Não é difícil perceber que checar princípios de projeto, normas técnicas, requisitos do consumidor, etc., ao longo do processo de projeto é uma tarefa estafante, senão estressante, para uma equipe que vive sob a pressão de apresentar resultados rápidos.

Com o advento do computador na sociedade, hoje, praticamente todo projeto de produto pode ser gerado com auxílio computacional. Naturalmente, as metodologias de projeto têm sido implantadas em ambiente computacional. Assim, outras formas de avaliação da montabilidade integram, na sua maioria, os métodos descritos no capítulo anterior com técnicas de auxílio computacional, tornando o processo de avaliação menos trabalhoso e cansativo para a equipe responsável. Dentre estes *softwares* a grande maioria combina os métodos de Boothroyd e o *AEM* e, seguindo uma tendência, outras metodologias complementares como *DFM*. Como exemplo, citam-se o *software DFMA*, desenvolvido pela *Boothroyd & Dewhurst Inc.*, e o *LASeR* da Universidade de Stanford.

É importante destacar que os programas computacionais têm sido os grandes responsáveis pela difusão do sucesso dos métodos de avaliação. Tanto que Lempiäinen [47] cita que os métodos de avaliação de *DFA* só obtiveram seus

primeiros sucessos na indústria após serem implementados no ambiente computacional devido à dificuldade de calcular o trabalho de manipulação ao longo do processo produtivo. Os principais programas encontrados serão discutidos nas próximas seções. O objetivo foi gerar um conjunto de informações que forme uma base que auxilie a seleção do(s) método(s) de *DFA* pela equipe de projeto interessada em aplicar a metodologia em seus projetos de produtos.

É interessante ressaltar desde já, que todos os *softwares* encontrados podem trabalhar no ambiente multitarefa do *Microsoft Windows* em microcomputadores *IBM-PC*, mas somente três (o *DFMA*, o *TeamSET* e o *CONSENS*) apresentam versões com a possibilidade de trabalhar em estações de trabalho.

4.2 - Software *LASeR* da Universidade de Stanford⁽¹⁾

Em desenvolvimento desde 1994 por membros da Universidade de Stanford e da Universidade Estadual de Ohio (*ambas nos EUA*), o *LASeR* avalia a manutenibilidade, a reciclagem e a montagem de projetos mecânicos.

Primeiramente, o usuário descreve o diagrama estrutural do produto de um sistema mecânico, juntamente com os dados de custo, mão-de-obra e material. O passo seguinte é invocar a rotina da análise de interesse. O único ponto em comum nas análises é a estrutura do produto, fora isso, as avaliações são independentes entre si. Para a análise de montabilidade, utiliza-se o método *AEM* da *Hitachi-GE* (seção 3.2, pág. 64), acrescido do critério de necessidade da peça (*as três perguntas clássicas de Boothroyd*, pág. 68). Para a manutenção, a análise seleciona os dados de mão-de-obra e as operações necessárias para efetuar os reparos a fim de computar os custos envolvidos na manutenção e identificar as tarefas mais executadas. Já para a retirada do produto, o usuário seleciona agrupamentos de componentes que serão analisados pelo programa que determinará os custos de desmontagem e reciclagem associados à estratégia de grupos fixada pelo próprio usuário.

Na página inicial, dita de navegação e mostrada na figura 4.1, o usuário tem acesso às páginas de descrição do projeto, avaliação da montagem, manutenção e

⁽¹⁾ Referência [72].

3. encaixa e encobre - há contato físico sem movimento relativo e o primeiro componente tem de ser removido para poder acessar o segundo;
4. engata - conexão física com movimento relativo entre os dois componentes, devendo primeiro desfazer a conexão a fim de poder remover algum componente;
5. suporta - contato físico sem movimento relativo, mas para remover o primeiro componente, o segundo deve ser removido totalmente ou suportado por um terceiro componente.

Após criada uma conexão, esta pode ser modificada por subconexões. As subconexões podem ser um ou mais de um fixador ou processo de união. Na página de subconexões, mostrada na figura 4.4, o usuário preenche dados sobre o nome do fixador, a quantidade e questões de acesso (*direção de inserção, orientação da ferramenta e espaço disponível em volta do fixador*).

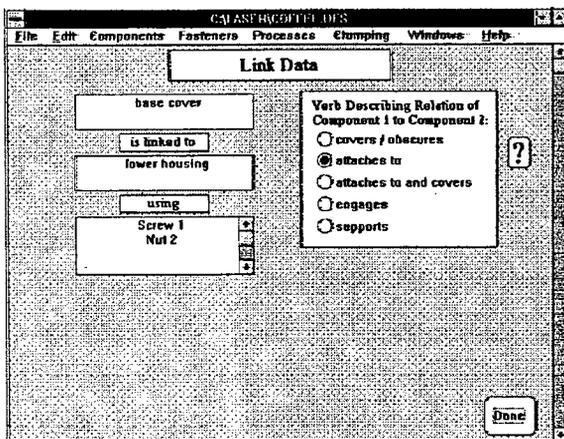


Figura 4.3 - Página de Conexões.

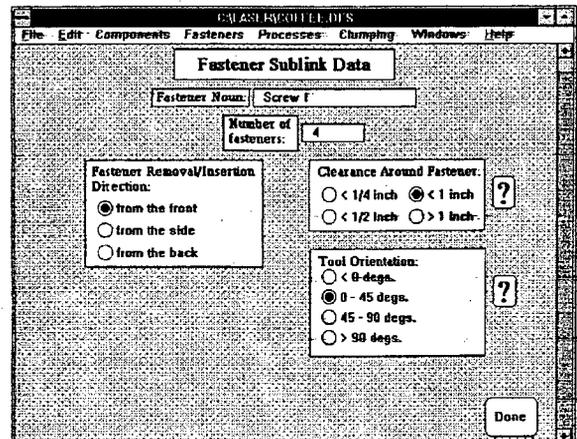


Figura 4.4 - Página de Subconexões.

As figuras 4.5a e b mostram as páginas de entrada de dados para a avaliação de montabilidade a serem preenchidas para cada componente do produto. Na primeira página (fig. 4.5a), o usuário entra com qual operação (*movimento vertical, horizontal, rotação no eixo vertical ou horizontal e reposicionamento*) ou combinação destas é necessária para a montagem da peça, assim como o número de repetições de cada operação. Na página seguinte, figura 4.5b, há continuação dos dados sobre a montagem (*união por adesivos, calor, prensa, soldagem ou brazagem, e necessidade de usinar, dobrar ou cortar após a montagem*) como também as três perguntas clássicas que determinarão se a peça é ou não candidata à eliminação.

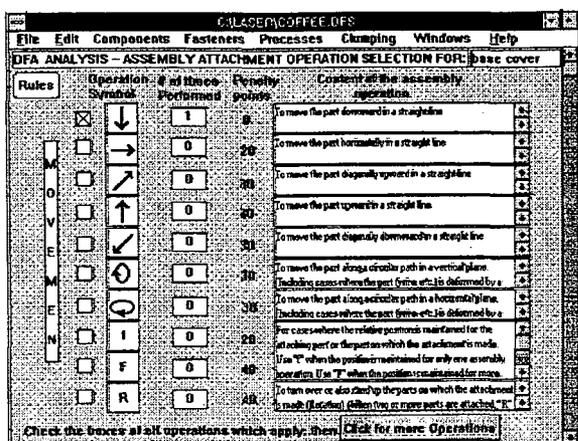


Figura 4.5a - Primeira página de dados para a avaliação da montabilidade.

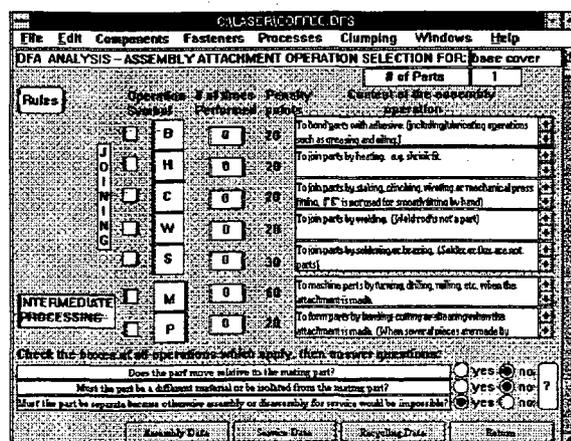


Figura 4.5b - Segunda página de dados para a avaliação da montabilidade.

A página dos resultados da avaliação da montabilidade é mostrada na figura 4.6. Um dos resultados apresentados é o tempo de montagem (*assembly time*), expresso em unidades de "Td", que é a soma de todos os tempos de montagem individuais também expressos em "Td". A unidade "Td" é um valor que pode ser expresso em tempo real (*por ex.: minutos*) para qualquer produto ou submontagem como segue:

1. selecione um produto com um tempo de montagem conhecido;
2. analise tal produto pelo método de avaliação da montagem;
3. verifique seu tempo de montagem em unidades de Td no LASeR;
4. calcule o valor para Td pela equação 4.1.

$$Td = \frac{\text{tempo de montagem atual em minutos}}{\text{tempo de montagem calculado em Td}} \quad (\text{eq. 4.1})$$

Não está claro, mas supõe-se que "Td" seja uma tentativa de normalizar os resultados apresentados para englobar e/ou comparar mais facilmente diferentes tipos de montagem (*manual, automática, mecânizada, etc.*) e diferentes tipos de produtos (*similares mas não iguais entre si*).

Outro resultado apresentado é a taxa de montagem (*assemblability rating*, fig. 4.6), cujo valor é uma relação do tempo de montagem ideal com o tempo de montagem calculado. O tempo de montagem ideal assume que todas as peças são unidas com um movimento descendente simples e que nenhum ponto de penalidade é designado a qualquer peça. Uma taxa de montagem de 100 pontos significa que

todas as peças são inseridas verticalmente. Com as diminuições da taxa, movimentos extras, fixadores e ou uniões são requeridos para montagem.

Já a taxa de redução peças, ou *PCRR* (*parts count reduction rating*, fig.4.6), avalia o projeto em termos de peças desnecessárias. O número de peças que são candidatas à eliminação, *total#CFE* (*CFE = candidates for elimination*), é determinado baseando-se nas respostas para as perguntas de movimento relativo, material diferente, e desmontagem e remontagem para serviço. O *PCRR* é determinado pela equação 4.2 que expressa a razão entre o número total de componentes necessários pelo número total de peças no produto, *total#peças*.

$$PCRR = \frac{\text{total\#partes} - \text{total\#CFE}}{\text{total\#partes}} \quad (\text{eq. 4.2})$$

Um valor obtido de 100 significa que toda peça existente no produto é necessária.

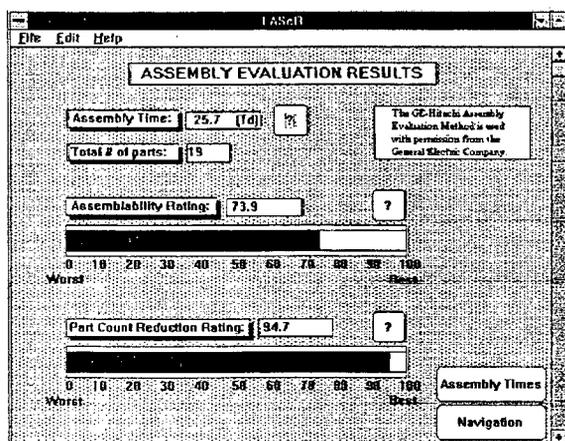


Figura 4.6 - Página de Avaliação da Montabilidade.

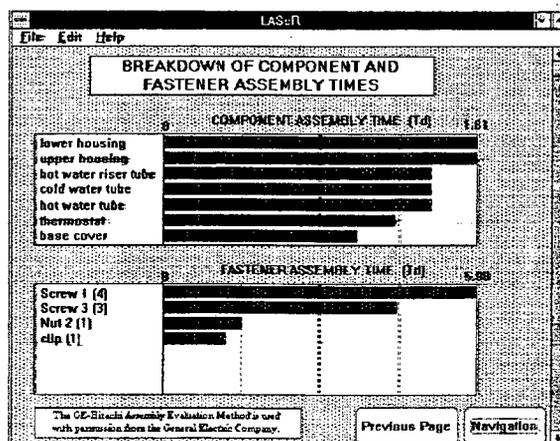


Figura 4.7 - Página dos tempos de montagem individuais.

A figura 4.7 apresenta duas listas que discriminam os tempos de montagem, identificando quais componentes demoram mais a serem montados, exibindo os tempos em unidades de "Td" de cada peça no formato gráfico de barras para melhor visualização. A segunda lista apresenta somente os tempos dos fixadores separados. Desta forma, é possível também ter-se idéia da proporção entre componentes propriamente ditos, e fixadores separados na montagem, e da influência de cada segmento e ou peça no tempo total de montagem.

Percebe-se que o *AEM Hitachi-GE* enfoca a dificuldade da inserção da peça, a necessidade de operações extras, a eliminação da peça, os métodos de união e fixação. O sistema auxilia identificar componentes difíceis de inserir, mas não considera a influência da manipulação dos mesmos, assumindo que as peças já estejam na posição “*prontos para montar*”.

4.3 - Software *DFMA* da *Boothroyd-Dewhurst Inc.*⁽²⁾

Desenvolvido em conjunto com o meio acadêmico (*principalmente junto a universidade americana de Rhode Island*), mas com intenções comerciais, este programa teve a sua primeira versão comercial lançada em 1983. Sendo, portanto, o programa de *DFA* mais antigo comercializado⁽³⁾, além de ser o líder mundial em ferramentas de avaliação da montabilidade [47].

O *software* da *BDI* é, na verdade, composto por módulos que enfatizam determinada metodologia e que podem ser adquiridos em diversas combinações. O principal é o módulo *DFA*, mas há também o *DFM*, subdividido em módulos específicos para tecnologias de fabricação (*usinagem, fundição, estampagem, metalurgia do pó e injeção de moldes*); o *DFS* (*service = serviço/manutenção*), e o *DFE* (*environment = meio ambiente*) recém desenvolvidos. Os quatro módulos em conjunto definiriam o ciclo-de-vida do produto. Interessante observar que o *DFA* é o primeiro a ser usado, sendo o que define a estrutura do produto que irá ser usada pelos demais módulos. O compartilhamento é possível também com o programa de *CAD Pro/ENGINEER* da *Parametric Technology Corporation*.

O programa *DFA* analisa o produto sistematicamente para identificar peças individuais desnecessárias e determinar os tempos e custos de montagem. O módulo de *DFM* tem a função de estimar os custos das peças individuais a fim de basear as decisões de projeto, como seleção de materiais e processos, e é subdividido em cinco módulos para tecnologias específicas: *usinagem, fundição, metalurgia do pó, estampagem e moldagem por injeção*. Os submódulos também auxiliam o planejamento do processo de produção, o cálculo do tempo de produção,

⁽²⁾ Referências [47], [73] e [74].

⁽³⁾ Lembrete: o *AEM* da *Hitachi*, apesar de ser mais antigo, é um método licenciado para uso por outras empresas e não um programa computacional comercial.

e a identificação das limitações do processo escolhido tendo como fonte informações sobre o corpo de trabalho, a operação de fabricação e o equipamento utilizado. O módulo de **DFS** auxilia a avaliação das seqüências de desmontagem e remontagem ao estimar tempos e custos de manutenção na fase de projeto. O módulo **DFE** simula a desmontagem dos produtos no fim-de-vida, e revela os benefícios associados a custos e impacto ambiental de um projeto de produto. Considerando os fatores de material, energia e toxicidade, o programa realiza duas análises baseadas na seqüência de desmontagem (gerada automaticamente das informações do módulo **DFA**):

1. retorno financeiro da desmontagem, retirada, reuso ou reciclagem, e
2. impacto ambiental resultante da manufatura e retirada, reuso ou reciclagem.

A primeira janela do módulo de **DFA** é a de informações do produto, onde pode-se registrar o nome da montagem, o nome do fabricante e o local de fabricação, assim como duração e volume da produção do produto que poderão ser aplicados às equações na biblioteca de operações. Nesta janela acessa também os parâmetros iniciais (unidade de dimensões, distâncias de ferramentas e peças, custo do trabalho por hora, unidade de tempo, peso, custo e sistema de medição para outras variáveis).

Cada janela na versão 8.x inclui barras de ferramentas definidas pelo usuário, as quais permitem desempenhar qualquer seleção de menu com um simples toque no ícone apropriado. Em adição, uma barra de "*status*"/mensagem incita para o próximo passo lógico na análise. O sistema de ajuda gráfica inclui ajuda de contexto sensível ao toque de objeto o qual pretende acelerar a aprendizagem dos princípios de **DFA**.

A análise de **DFA** inicia-se pelo desenvolvimento da estrutura do produto na janela seguinte, chamada de carta de estrutura (*figura 4.8*), incluindo as operações de montagem, reorientações, etc. O projetista especifica a operação e como esta é adicionada à montagem (*por ex., se o item é adicionado, mas não fixado ou fixado na inserção por rosqueamento, etc.*). Esta janela, a principal deste módulo, possui a propriedade de permitir o usuário construir a lista completa de itens e operações diretamente nela. Conforme prossegue a listagem do produto, as entradas aparecerem como blocos numa forma de árvore mostrando a estrutura do produto.

Cada bloco consiste de um símbolo que identifica o tipo de entrada como submontagem, peça ou operação; de caixas de texto para o número de repetições seguido do nome e resultado da análise. A caixa de resultado conterá os valores de tempo ou custo de montagem dependendo da seleção no menu de avaliação feita pelo usuário. Pela caixa de resultado acessa-se a janela de questões de *DFA* (figura 4.9) para o item em questão. O espaço permanecerá vazio até que as questões do critério de mínimas peças e sobre as dimensões da peça ou submontagem sejam completadas.

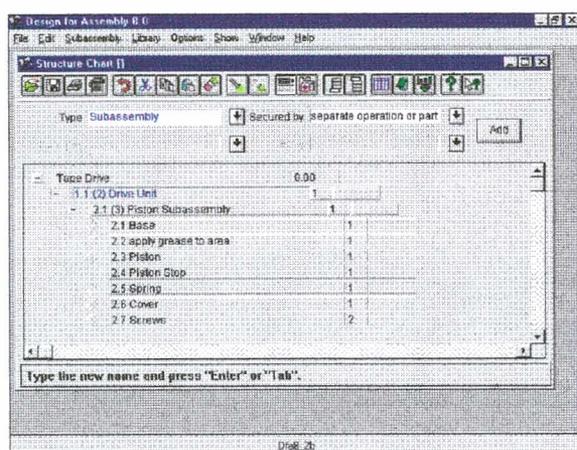


Figura 4.8 - Janela carta de estrutura do produto.

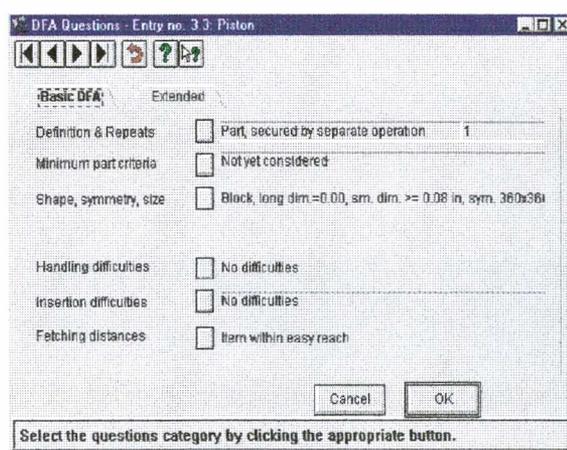


Figura 4.9 - Janela questões de *DFA*

Quando a estrutura do produto é definida, o projetista (*usuário*) é questionado a examinar cada peça através de uma série de questões sobre quatro áreas: funcionalidade, forma geométrica, dificuldades de manipulação, e dificuldades de inserção (figuras 4.9 a 4.12). Baseado nas respostas fornecidas, o *software* acessa uma extensa série de bases de dados de tempos e movimentos para cada atributo da peça ou operação específica. Estes tempos são discriminados em tempo de captação de ferramentas, tempo de manipulação, tempo de inserção, e em tempo total. Os resultados são adicionados automaticamente às colunas especificadas na planilha de trabalho, mostrada na figura 4.13, e à carta de estrutura.

A janela de questões de *DFA*, mostrada na figura 4.9, é desenhada de forma que o usuário desempenha na primeira seção uma análise básica de *DFA* respondendo questões sobre a geometria da peça, dificuldades de manipulação e inserção, e o critério de mínimas peças. Estas questões são todas sobre aspectos do projeto do produto que afetam os tempos e custos totais de montagem, os quais

são então visualizados junto à estrutura do produto na janela principal. Já a segunda seção contém campos de edição para entradas de dados para colunas extras na planilha de trabalho (fig. 4.13) definidas pelo usuário.

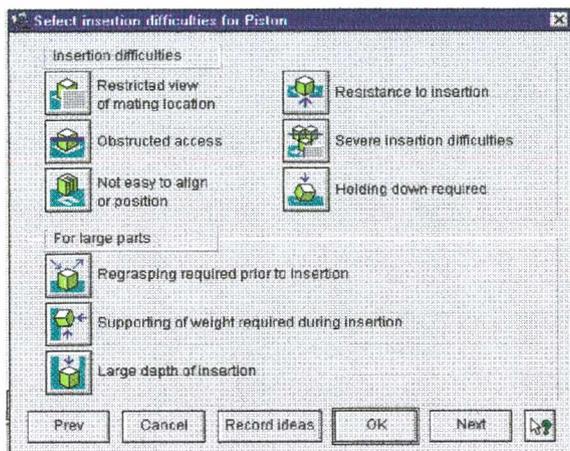


Figura 4.10 - Quadro de questões sobre a dificuldade de inserção.

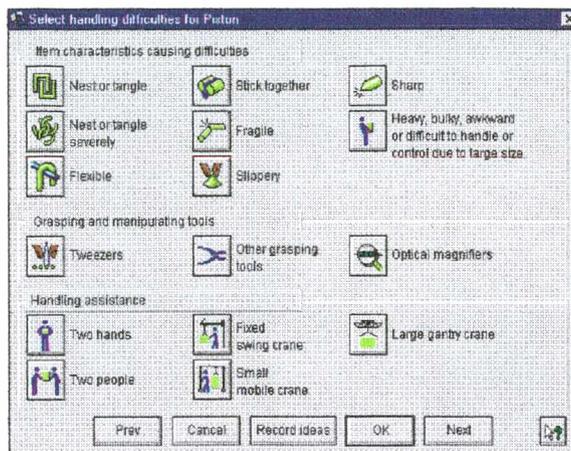


Figura 4.11 - Quadro de questões sobre a dificuldade de manipulação.

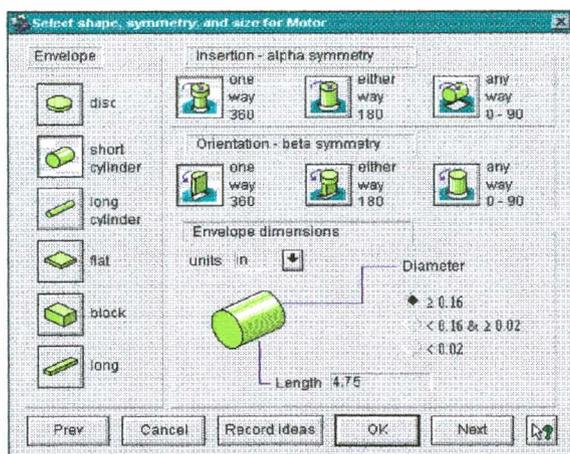


Figura 4.12 - Quadro de questões sobre forma, simetria e dimensões.

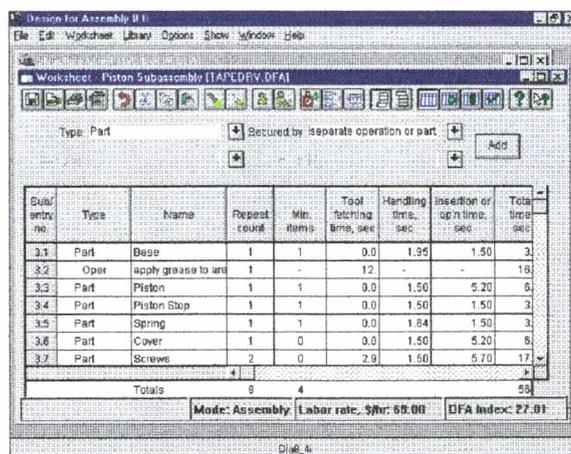


Figura 4.13 - Janela da planilha de trabalho.

As figuras 4.10 a 4.12 mostram os quadros de questões abertos pela janela de questões sobre a geometria e as dificuldades de inserção e manipulação dos componentes. Nestes quadros, um botão chamado de *record ideas*, está disponível para registrar idéias para a peça em questão no programa *Microsoft Notepad*.

Na janela da planilha de trabalho (fig. 4.13), a coluna *assembly tool* ou *fixture cost* permite a entrada de custos de matrizes, moldes, ferramentas e etc., que serão usados na manufatura do(s) item(s) nesta linha produtiva. Há ainda, a

disponibilidade de colunas definidas pelo usuário que podem ser aplicadas na discriminação na apresentação dos resultados (*variável do usuário, nome de fornecedor, tipos de materiais, etc.*). Pode-se mudar a taxa de trabalho através do botão “rate” na barra de ferramentas.

Juntamente com a planilha de trabalho completa, é providenciado ao projetista também uma diversidade de relatórios incluindo um sumário dos totais da análise e um sumário de sugestões para reprojeto (*figura 4.14*). O sumário dos totais da análise especifica o tempo e custo total de montagem para uma dada taxa de trabalho para o produto. Isso permite realizar comparações das diferentes alternativas de projeto baseadas nessa informação de tempo e custo. O sumário de sugestões para reprojeto fornece sugestões detalhadas de opções, e uma lista das áreas no produto onde as características podem ser alteradas para melhorar a montabilidade. Incluído com as listas estão os tempos economizados que podem resultar através destas mudanças. O projetista pode, então, priorizar as áreas para examiná-las. A genialidade e criatividade do projetista ficam livres para focar em resolver as questões de projeto que essa análise compreensiva apresenta.

Os gráficos e sugestões para reprojeto, exemplificados nas figuras 4.14 e 4.15, não só permitem uma revisão rápida e apresenta os resultados de uma análise, como também permitem uma comparação de resultados de múltiplas análises. Resultados do *DFA* fornecem estimativas dos tempos de montagem, custos de montagem e tempos de operação, assim como sugestões para reprojeto.

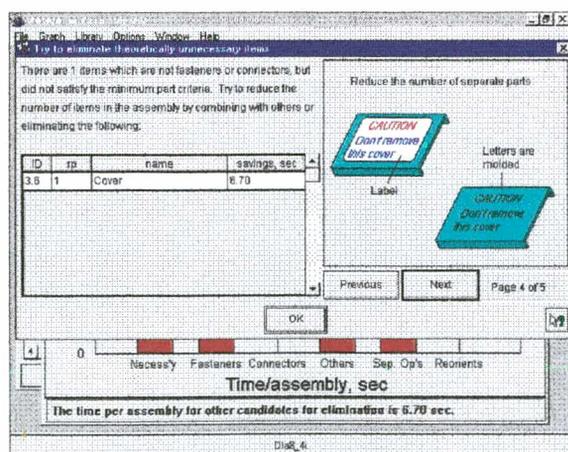


Figura 4.14 - Sumário de sugestões de reprojeto

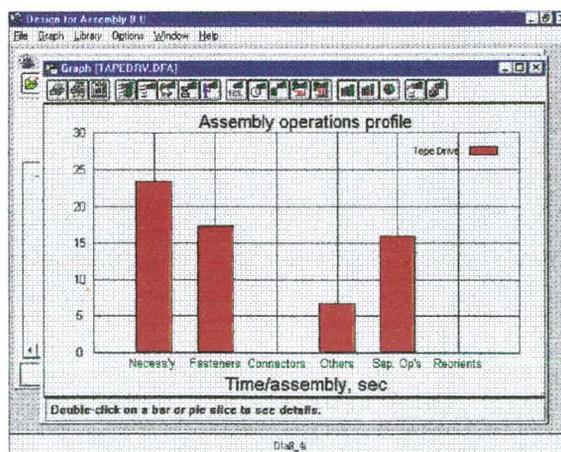


Figura 4.15 – Gráfico dos resultados da análise de *DFA*.

A tabela de revisão do produto, de aparência semelhante à planilha da figura 4.13, é uma janela que apresenta todas as informações sobre o produto. É essencialmente uma combinação/compilação de todas as janelas de trabalho de DFA. Há ainda, disponíveis na versão completa do programa, questões adicionais sobre o tipo de conexão (figura 4.16) para avaliação de PCB e elementos elétricos, relatórios impressos e gráficos comparativos entre projeto e reprojeito (figura 4.17).

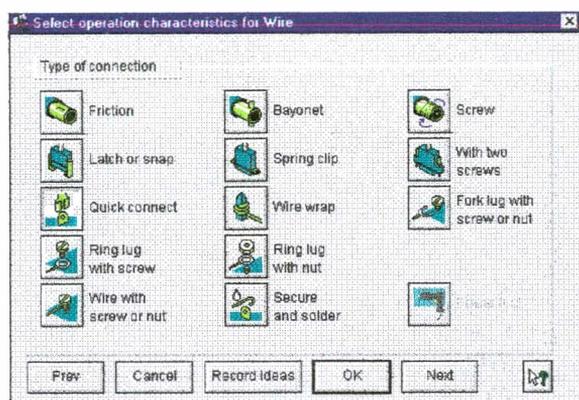


Figura 4.16 - Quadro das operações específicas de conexão de cabos flexíveis.

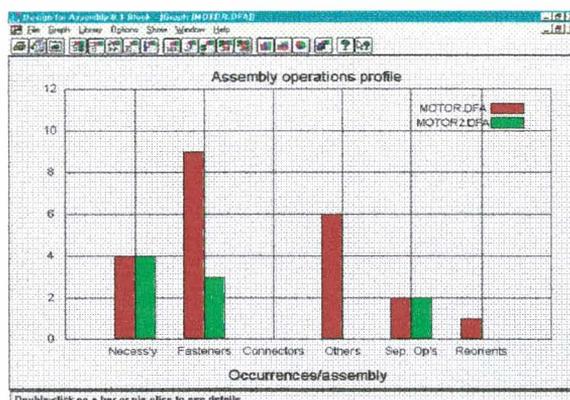


Figura 4.17 – Gráfico comparativo dos resultados da análise de DFA.

4.4 - Software TeamSET da Computer Sciences Ltd.⁽⁴⁾

Inicialmente idealizado pela companhia inglesa *Lucas Engineering Systems Ltd.*, este programa está sendo comercializado e desenvolvido desde 1994 pela, também inglesa, *CSC Computer Sciences Ltd.*. O *TeamSET* é considerado como um arranjo integrado de ferramentas computacionais de engenharia simultânea. O programa permite a equipe de projeto testar e comparar alternativas de projeto antes de se iniciar a manufatura e assegurar que a alternativa selecionada é simples de se manufaturar e montar, tem um mínimo de peças não-essenciais, tem baixos custos de ferramentaria, e atende às necessidades dos consumidores.

As ferramentas nele integradas estão divididas em seis módulos, descritos posteriormente, que compartilham uma base de dados em comum a qual permite cruzamentos de informações e possibilita cenários “o que-se” de múltiplos aspectos

⁽⁴⁾ Referências [47] e [75].

do processo de projeto. Ao contrário ao *software* da *BDI*, os módulos do *TeamSET* não podem ser adquiridos em diversas combinações. O *TeamSET* é estruturado de acordo com a abordagem proposta pelo método de Lucas (seção 3.4, pág. 73) tendo o módulo *QFD* aplicado antes da análise de montabilidade e manufaturabilidade realizada pelos módulos *DFA* e *MA*. Adicionalmente, há o suporte fornecido pelos módulos *Con-con*, *DtC* e *FMEA*.

Na janela principal, a de navegação (figura 4.18), o usuário tem condições de preencher alguns dados informativos sobre o projeto, produto e o cenário de projeto, além de visualizar a estrutura do produto. A e poder acessar o editor da estrutura (figura 4.19). Já a estrutura do produto, que irá ser compartilhada pelos módulos, é construída separadamente no editor mostrado na figura 4.19, sendo composta por todos componentes físicos, descartando os fluidos como lubrificantes e gases.

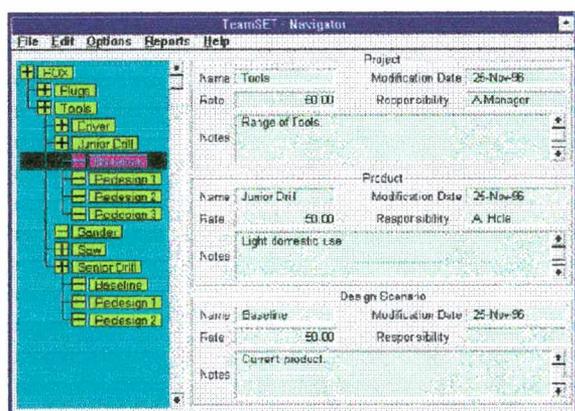


Figura 4.18 – Janela de navegação do TeamSET.

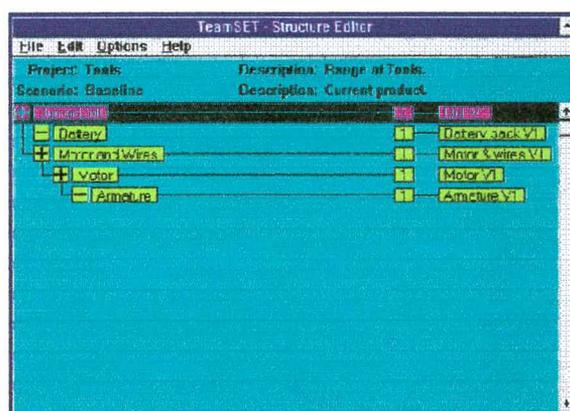


Figura 4.19 – Janela de edição da estrutura do produto.

O módulo **QFD** é um programa computacional de *QFD* para focar as prioridades e necessidades reais do consumidor no esforço de projeto. Sua característica principal é possuir múltiplos níveis de matrizes de *QFD* além da primeira matriz conhecida como *Casa da Qualidade*, com cada nível refinando mais, toda ou só uma parte, uma análise de um nível maior. Permite ainda, a reutilização dos dados de montagem e componentes existentes, e possui a habilidade de relacionar o *QFD* diretamente com a estrutura do produto (figuras 4.18 a 4.20). Adicionalmente, desempenha todos os cálculos matriciais e providencia histogramas de Pareto interativos (figura 4.20).

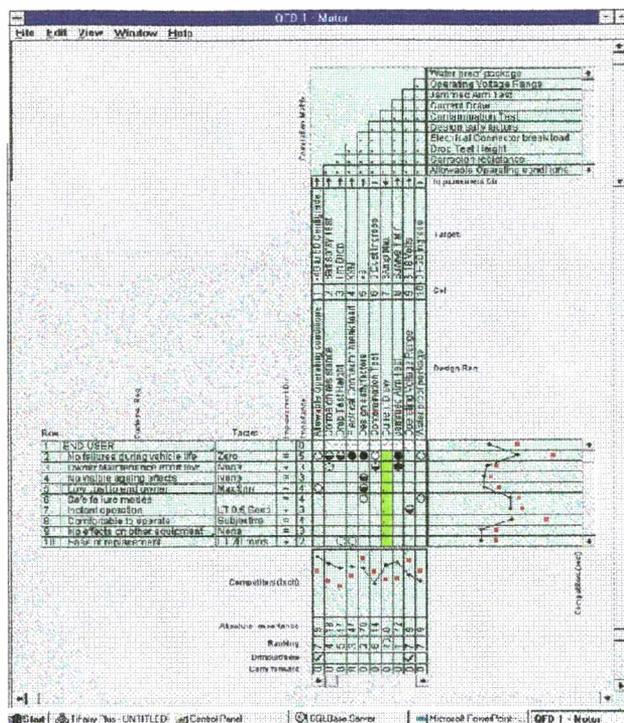


Figura 4.20 – Matriz do módulo QFD e respectivo histograma de Pareto.

O módulo **Con-con** (*concept convergence*) é um método estruturado para desenvolver uma concepção de projeto que atenda às necessidades dos consumidores. Tem a função de avaliar todas as concepções e soluções contra uma série de requisitos buscando uma solução ótima. Trabalha com critérios provenientes do módulo QFD ou fornecido manualmente pelo usuário. Emite resultados rápidos de comparações com dados alternativos. Assiste o aperfeiçoamento de concepções.

As janelas mostradas nas figuras 4.21 a 4.27 são as correspondentes às análises de montabilidade e manufaturabilidade, realizadas pelos módulos *DFA* e *MA*.

O módulo **DFA** busca a redução do número de peças e os custos de montagem, utilizando o método de Lucas (seção 3.4, pág. 72) para assegurar que peças não essenciais sejam eliminadas e tempos e requisitos de produção sejam minimizados. O módulo permite a análise das alternativas de projeto, não possuindo limites para a quantidade de níveis de submontagem; além de gerar uma carta de fluxo do processo de montagem.

A primeira análise de *DFA* é a funcional, cuja janela é mostrada na figura 4.21. Nota-se sua semelhança à *Carta de Critério Funcional* (fig. 3.12, pág. 76), a

qual caracteriza os componentes do produto em essenciais ou não essenciais pela análise de seus requisitos funcionais definidos nas especificações de projeto.

A análise de manipulação, figura 4.22, analisa a manipulação e alimentação dos componentes visando a segurança dos operadores, a prevenção de danos aos componentes e composições incorretas. No exame da dificuldade de manipulação considera-se a influência do tamanho, peso, fragilidade, flexibilidade, estabilidade, tamanho do lote de produção, e orientação da peça.

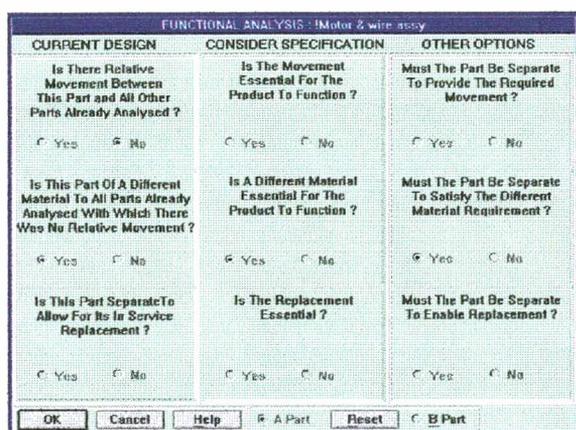


Figura 4.21 – Janela da análise funcional do módulo DFA.

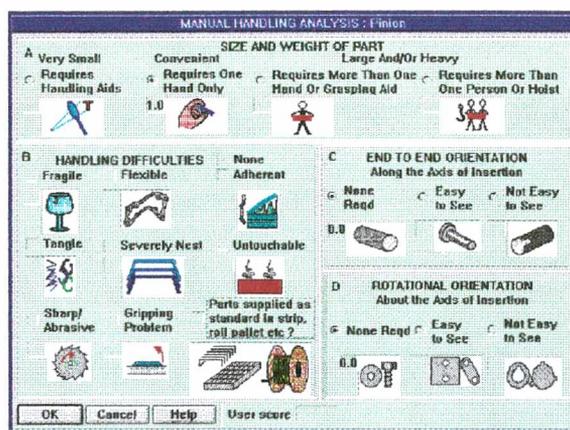


Figura 4.22 – Janela da análise de manipulação manual do módulo DFA.

Na análise de composição, figura 4.23, analisa-se a seqüência de montagem, problemas de composição e verificação, requisitos de equipamentos e dificuldades de execução das tarefas de montagem. O objetivo é identificar as tarefas de composição de maior custo individual.

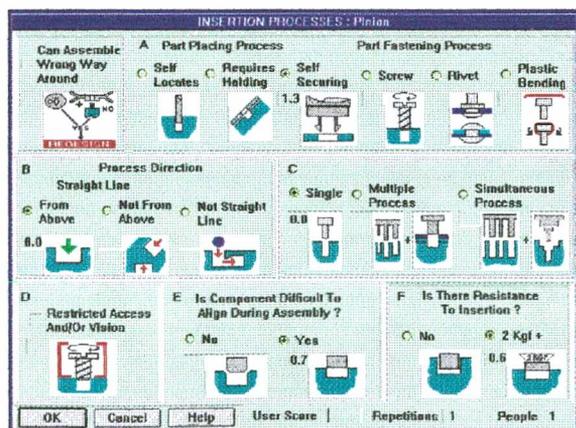


Figura 4.23 – Janela da análise de composição do módulo DFA.

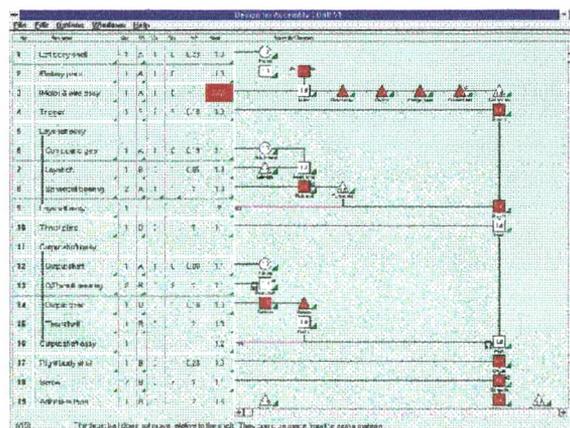


Figura 4.24 – Diagrama de DFA gerado pelo método de Lucas.

A figura 4.24 apresenta o diagrama resultante da análise de *DFA* que, por ser considerado uma forma racional e estruturada do trabalho de montagem, serve como uma especificação inicial para o projeto do processo de montagem.

Já o módulo **MA**, exemplificado na figura 4.25, seleciona o material e processos de melhor relação de custo-benefício já no estágio inicial de projeto. Também possibilita comparações de custo durante o projeto e a avaliação de múltiplas opções. Promove o projeto ideal do componente e “calibração” para igualar os custos conhecidos do usuário. Alguns fatores analisados são os custos reais de material, as características do processo selecionado e a demanda anual de produção para a peça. Outras considerações envolvem:

- o volume da peça,
- coeficiente de perdas de material (*cavaco*),
- complexidade da forma geométrica,
- propriedades do material,
- requisitos de tolerância e tipo de acabamento superficial,
- tratamentos superficiais.

O interessante do *TeamSET* é a apresentação dos relatórios gráficos dos resultados dos módulos *DFA* e *MA* das várias alternativas analisadas em conjunto, como o mostrado na figura 4.26.

Column	1	2	3
Material	PIFC	PMMA	Undefined
Primary Process	Plastic Moulding	Plastic Moulding	Undefined
Shape Complexity	C5	A4	Undefined
Part Volume	68000.00	66666.00	0.00
-Final or Initial	Final	Initial	Undefined
Minimum Section	> 0.6 - 1.0 mm	> 0.4 - 0.6 mm	Undefined
Tolerance	> 0.05 - 0.00 mm	> 0.03 - 0.05 mm	Undefined
- on planes	Two	Three or More	Undefined
Surface Finish	Medium Fine	Coarse Ground	Undefined
- on planes	Three or More	Three or More	Undefined
Process Cost	0.047	0.072	Undefined
Material cost	6.453	9.560	Undefined
Manufacturing Index	6.506	0.632	Undefined
Carry result to DFA	<input checked="" type="checkbox"/>		
Warnings	*		

Figura 4.25 – Janela da análise de manufaturabilidade do módulo *MA*.

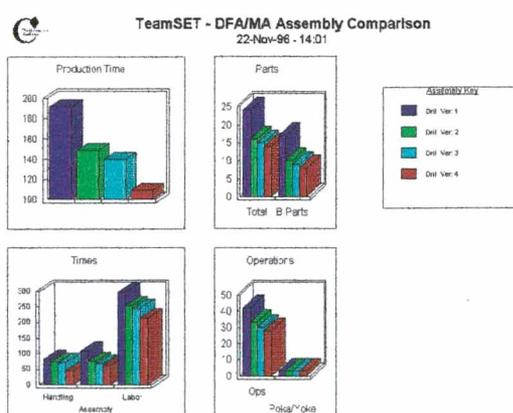


Figura 4.26 – Gráficos com os resultados das análises de *DFMA*.

O módulo *DtC* monitora os custos do produto para metas de custo total. Permite o registro de uma meta de custo de produção para um produto, e a distribuição, ou repartição, do custo meta entre os principais componentes assim que

são definidos. Importa os custos iniciais dos módulos de *DFA* e *MA*. Fornece também, o registro histórico das estimativas de custo ao longo do projeto. A figura 4.27 mostra a janela principal do módulo na qual aparecem a estrutura do produto e os dados associados a cada componente; enquanto a figura 4.28 apresenta os gráficos obtidos pela análise de *DtC*.

Figura 4.27 – Janela do módulo *DtC*.

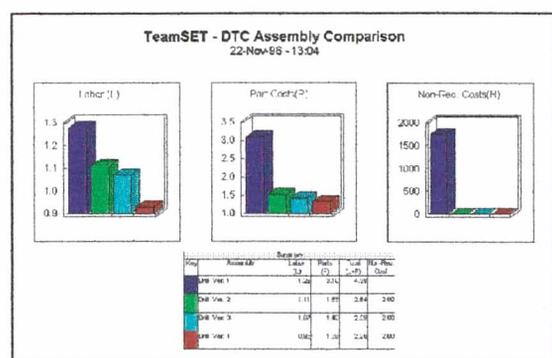


Figura 4.28 – Relatório da análise realizada pelo módulo *DtC*.

O módulo *FMEA* identifica e prioriza as áreas de risco, encorajando ações corretivas. Identifica modos pelos quais um produto pode vir a falhar em serviço e os efeitos que poderão ser experimentados pelo consumidor. Abrange as falhas tanto do projeto quanto do processo; classifica as falhas por severidade, ocorrência e detecção. Calcula valores de classificação (*RPN = Ranked Priority Number*). As figuras 4.29 e 4.30 mostram algumas das janelas do módulo em que o usuário define a função do componente, o modo de falha, seus efeitos e causas, monitora as causas potenciais, as ações recomendadas e as executadas, entre outros dados.

Os bancos de dados em comum estimula o maior aproveitamento das ferramentas ao dispensar a repetição da entrada de dados a respeito do produto. As bibliotecas também podem ser definidas pelo usuário.

Possui a desvantagem de, em produtos de grandes números de submontagens, ser difícil identificar oportunidades de combinar componentes de diferentes submontagens. Além de sempre ter de se conhecer bem as especificações de projeto a fim de se tirar melhor proveito do método de *DFA*.

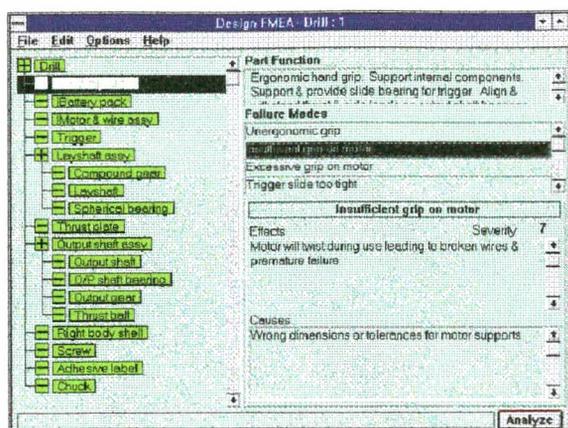


Figura 4.29 – Janela do módulo FMEA.

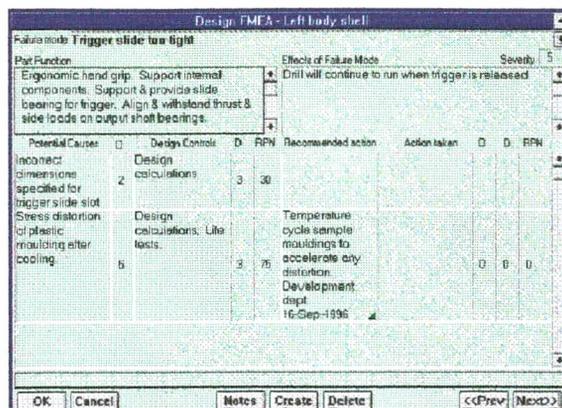


Figura 4.30 – Janela do módulo FMEA.

4.5 - Software DFA-Tool da Deltatron Ltd.⁽⁵⁾

Criado em 1997 pela Deltatron Ltd. (Finlândia), o DFA-Tool foi construído sobre o programa de planilhas eletrônicas Microsoft Excel for Windows usando a linguagem de programação VBA (Visual Basic for Applications). Sua instalação é simples, bastando acionar o arquivo principal nomeado DFATOOLE.XLS e a biblioteca que o acompanha (arquivos *.DFX) através do Microsoft Excel for Windows. Ao contrário dos programas anteriores, o DFA-Tool só faz análise da montagem. Ele analisa os componentes do produto, as operações extras de montagem, os equipamentos necessários e os custos envolvidos.

Todo o código deste software está ao alcance de todos e o ambiente aberto dá ao usuário uma chance para modificar este programa computacional e ou adicionar algumas características novas. O Excel como ambiente de desenvolvimento dá uma chance a isso, mas faz limitações à criação de interfaces de usuário.

Ao iniciar o programa, um relatório prévio de análise de DFA (semelhante ao da figura 4.35, pág. 116) é mostrado na tela, enquanto o menu principal do Excel é substituído pelo menu próprio do DFA-Tool, mas sendo possível mudar para o menu principal quando for necessário.

⁽⁵⁾ Referências [47] e [76].

O usuário pode usar tantas tabelas de produto diferentes quanto quiser. As tabelas de produto (*arquivos *.DFX*) incluem todos os itens necessários para construir um produto a ser analisado: produtos, peças e módulos já definidos e operações de união e possíveis operações extras durante processo de montagem e possível equipamento extra (*investimento*) necessário para o processo de montagem.

As análises de montabilidade, dos custos e tempos de montagem de um produto inicia naturalmente ao definir-se o produto. Para definir um produto, todas as peças, uniões, operações extras e possível equipamento devem ser definidos, antes ou simultaneamente, junto à tabela do produto (**.DFX*) em questão. Cada tabela de produto consiste em quatro planilhas de trabalho diferentes. A primeira é a planilha de produto - nomeada **Produtos** - (*figura 4.31*) que tem todos os produtos. A segunda planilha - **Peças e Módulos** - (*figura 4.32*) tem todas as peças, submontagens e módulos. A terceira planilha - **Operações** - (*figura 4.33*) possui as operações de união e também as operações extras necessárias à montagem do produto. A quarta - **Equipamentos** - (*figura 4.34*) tem todo o equipamento extra necessário durante as operações extras de montagem.

Product name	cost (\$)	weight (kg)	assembly	operation	equipment	investment
Product 1	100.1	2.05	4	20	150	5.08
Product 2	75	1.2	1	3	100	11
Product 3	15	1	1	2	200	0.10
Product 4	0.1	0.05	1	1	100	0.05
Product 5	80	0.1	1	1	100	0.05

Figura 4.31 – Planilha de Produto.

Part or module name	cost (\$)	weight (kg)	assembly
Wire 2 m	10	10	0.4
Fuse 15 A	4	4	0.8
Connector	0.1	0.1	0.05
Bob M12/03	0.03	0.03	0.6
Nuc M5	0.03	0.03	0.018
Nuc M12	0.05	0.05	0.025
Tim	75	75	1.2
Plate 4*4	15	15	1
Beam	15	15	0.4

Figura 4.32 – Planilha de Peças e Módulos.

Group	Operation	Time (q)
Fastening	Shear	0,5
	Manual screwing	4,5
	Screwing with hand tool (1)	9
	Screwing with hand tool (more than 3)	3
	Screwing with machine tool (1)	4,5
	Screwing with machine tool (more than 1)	2
	Riveting (machine ready)	3
	Riveting + movements	5
	Screwing M12*100	15
	Soldering, gluing	Soldering (1)
Soldering (more than 1)		6
Gluing		5
Welding	Fast gluing	1
	Spot welding, 1-2 spots	9
	Spot welding, 3-6 spots	16
	Spot welding, 7-10 spots	25

Figura 4.33 – Planilha de Operações.

Group	Equipment name	Price (\$)	Capacity / hour	Usage factor
Hand tools	Screwing unit	300	400	0,8
	Bolt feeder 10 m	1000	600	0,95
Robots	Puma 6i def)	80000	1500	0,9
	Hera 4 def)	50000	2000	0,85
	Jig P-345	800		0,35

Figura 4.34 – Planilha de Equipamentos.

Entretanto, vale a ressalva de que o produto a ser analisado pelo *DFA-Tool* só pode ser constituído pelos componentes ou módulos existentes na planilha de peças e módulos. Isto significa que caso haja submontagens, estas devem ser primeiro definidas como módulos na planilha correspondente. Os módulos por sua vez são constituídos de peças já definidas na mesma planilha.

Na planilha **Produtos**, mostrada na figura 4.31, pode-se adicionar um produto novo ao grupo de trabalho, peças e ou módulos ao produto, operações aos componentes e equipamentos às operações; definir o custo do trabalho de montagem, a produção anual e o tempo de retorno de possíveis investimentos em equipamentos. Para tal, basta o usuário clicar nas respectivas células sob as colunas correspondentes que planilhas ou caixas de diálogo serão abertas automaticamente.

Uma vez que uma peça é adicionada ao produto, o usuário só pode modificar os parâmetros de manipulação e quantidade do componente. Caso seja necessário modificar outras propriedades (*custo, peso, tempo, etc.*) deve-se apagar a peça a ser modificada e inserir uma nova com as propriedades já modificadas na planilha **Peças e Módulos**, mostrada na figura 4.32. O mesmo acontece para equipamentos necessários a uma operação na figura 4.33.

DFA Tool		17-Dez-1997
Example		
Number of parts	4	kpl
Number of extra operations	8	kpl
Assembly time	118,0	s
Assembly time with uncertainties	142,8	s
Necessity parts	3	kpl
Necessity parts / all parts (%)	75%	
The average assembly time of a single part (from the assembly time with uncertainties)	35,7	s
Overall effectiveness of the assembly	6%	
Material etc. costs of a product	100,10	\$/product
Costs of the assembly work	5,95	\$/product
Costs of invested equipment	0,00	\$/product
Total costs	106,05	\$/product

Cost / hour of an assembly worker	150,00	\$/h
Uncertainty of the work	1,10	
Uncertainty of the assembly worker	1,10	
Working hours / day	7,00	h
Working days / year	222	wt
Equipment investments	0	mt
Pay-back time	5,00	v
Annual production	100.000	kpl/v
Max. annual production (sequential)	36.182	kpl/v

Figura 4.35 – Relatório da primeira análise de DFA.

DFA Tool - analyzing assembleability

Analysis of parts and processes

Product: Example

Part	Process	Time (s)	Cost (\$)	Priority
1	1	118,0	100,10	1
2	2	142,8	106,05	2
3	3	35,7	35,7	3
4	4	35,7	35,7	4

Analysis of the overall assembly

Property	Value
Assembly time	118,0 s
Assembly time with uncertainties	142,8 s
Material etc. costs of a product	100,10 \$/product
Costs of the assembly work	5,95 \$/product
Costs of invested equipment	0,00 \$/product
Total costs	106,05 \$/product

Figura 4.36 – Relatório da segunda análise de DFA.

No *DFA-Tool* há duas análises *DFA* diferentes para executar. A primeira, cujo relatório é apresentado na figura 4.35, trata-se de custos de montagem, tempos e eficiência global do processo de montagem. A Segunda, cujo relatório é mostrado na figura 4.36, trata-se da montabilidade do produto inteiro. A montabilidade está relacionada às propriedades das peças, processos e a própria montagem inteira. Esta análise mostra os gargalos do produto do ponto de vista de montagem.

A segunda análise é adequada para comparar variações diferentes de um produto. Também dá a informação vital ao projetista que tem que reprojeter o produto para uma montagem mais amigável. São mostradas nesta análise, os pontos fracos, quanto a peças e propriedades, de um produto, e então, é fácil priorizar as propriedades que devem ser reprojeteradas primeiro. A análise mostra os pontos por componente e pontos por cada propriedade do componente. Também são calculadas as prioridades como uma porcentagem. Quanto menor a pontuação total melhor é a montagem do produto.

É possível executar a análise só com as propriedades das peças definidas e somente visualizá-las; mas a análise completa leva em consideração também as propriedades de processo das peças e as propriedades de montagem.

Na versão completa do *DFA-Tool* (a analisada foi uma demonstrativa), possui arquivo de ajuda apresentando exemplos gráficos, além de permitir adicionar quadros e gráficos aos relatórios gerados pelas análises. A visualização dos

relatórios também é diferente na versão completa. São mostrados os gargalos da montagem na segunda análise graficamente e o usuário pode ver os pontos fracos de um produto imediatamente sem ter que passar por uma quantia enorme de dados numéricos.

4.6 - Software *DFA-Access do ITA*⁽⁶⁾

Desenvolvido em 1994 no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (*Brasil*), por Nogueira [56], esta proposta acadêmica de implementação computacional das técnicas de *DFA*, utiliza-se da composição dos métodos de Boothroyd (seção 3.3, pág. 67) e do *AEM* (seção 3.2, pág. 64) para avaliar a montabilidade de produtos no ambiente computacional do gerenciador de banco-de-dados *Microsoft Access for Windows*.

Devido a essa característica do ambiente computacional, todo o código deste *software*, assim como o do *DFA-Tool*, é aberto ao usuário dando-lhe uma chance para modificar e ou adicionar algumas características novas; mas também impondo limitações à criação de interfaces de usuário.

O aplicativo consiste em, uma vez especificado o produto, suas peças e seu processo de montagem, utilizar recursos de armazenamento e manipulação de dados do *Access* e automatizar o procedimento de entrada de dados, avaliação de alternativas de projeto segundo os critérios de número mínimo teórico de peças (*Boothroyd*) e facilidade de manufatura (*AEM*) e apresentar o resultado [56]. O programa gerencia basicamente cinco tabelas conforme descrito em seguida.

Ao iniciar o programa computacional, a primeira janela que aparece é a tabela de projetos, mostrada na figura 4.37, onde o usuário deve especificar os nomes das alternativas de projeto a serem avaliadas. Em seguida, na janela de projeto padrão, figura 4.38, especifica-se qual das alternativas será a considerada como projeto padrão para avaliação segundo o *AEM*.

⁽⁶⁾ Referências [55] e [56].

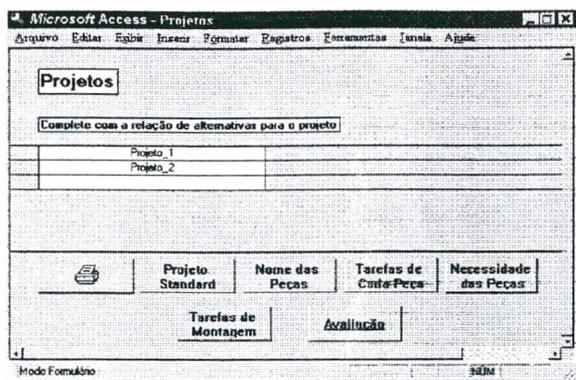


Figura 4.37 – Tabela dos nomes das alternativas de projeto.

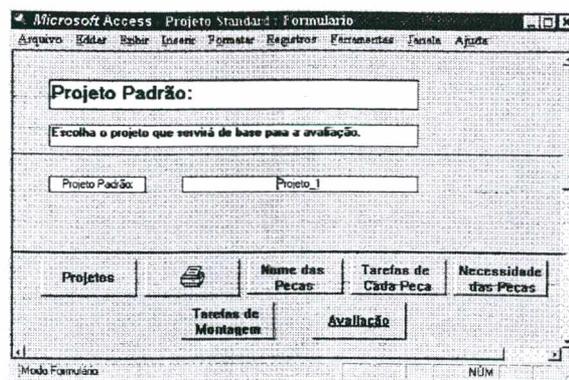


Figura 4.38 – Janela de identificação do projeto padrão.

Prosseguindo, na tabela 2, figura 4.39, especifica-se o nome de cada peça de cada projeto e a quantidade destas no produto. Já a tabela 3, apresentada na figura 4.40, define a necessidade de cada peça descrita na tabela 2, sem no entanto, discriminar as peças que possuem repetição. Isto é, se houverem duas ou mais peças iguais elas serão consideradas com a mesma necessidade a não ser que a discriminação seja realizada na tabela 2.

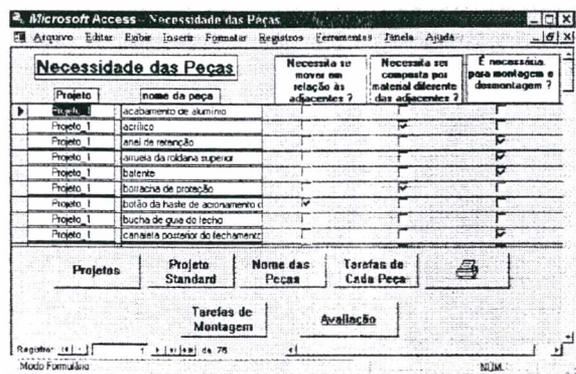


Figura 4.40 – Tabela de definição das necessidades das peças.

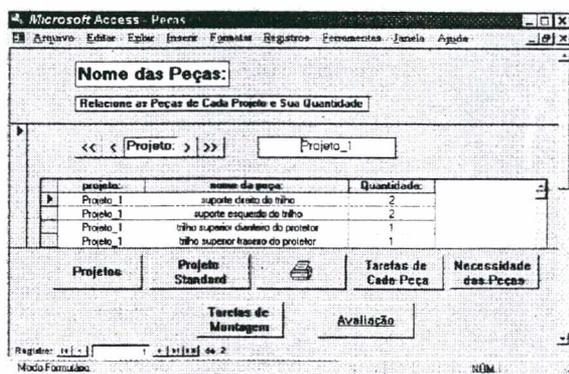


Figura 4.39 – Tabela dos nomes das peças utilizadas (estrutura do produto).

Na tabela 4, figura 4.41, o usuário especifica as tarefas de montagem necessárias a cada peça na seqüência de execução. Tais tarefas têm de primeiro estarem especificadas na tabela 5, figura 4.42, com as suas respectivas notas de avaliação de montabilidade. Ou seja, na tabela 4, definem-se as operações elementares de montagem que serão realizadas em cada peça de cada alternativa de projeto, com a respectiva penalidade proveniente da tabela 5.

A página final (figura 4.43), chamada de avaliação, apresenta o resultado da avaliação da montabilidade expressando os valores *E* e *K* segundo o método *AEM* (seção 3.2, pág. 64) e a porcentagem de peças essenciais seguindo o critério de mínimas peças de Boothroyd (seção 3.3, pág. 68). A porcentagem de peças funcionalmente necessárias é obtida da razão entre o número teórico mínimo de peças e o número total de componentes do produto.

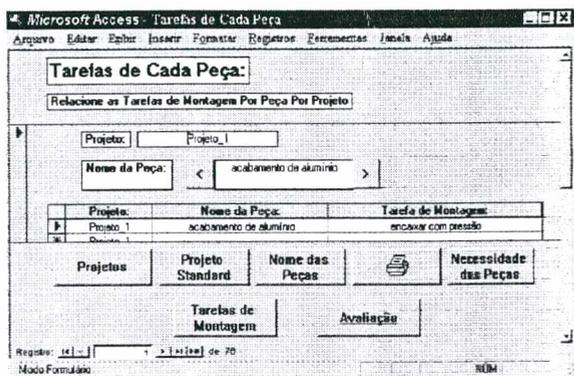


Figura 4.41 – Tabela para definição das tarefas de montagem de cada peça.

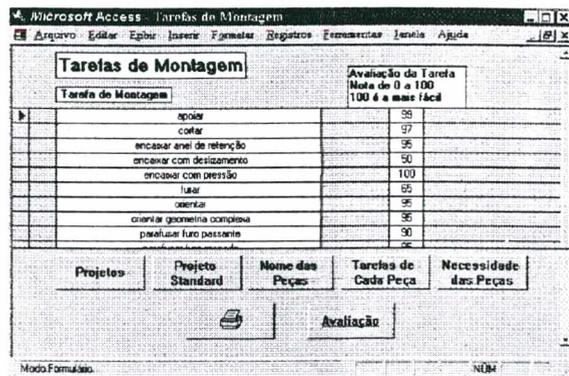


Figura 4.42 – Tabela das penalidades associadas às tarefas de montagem.

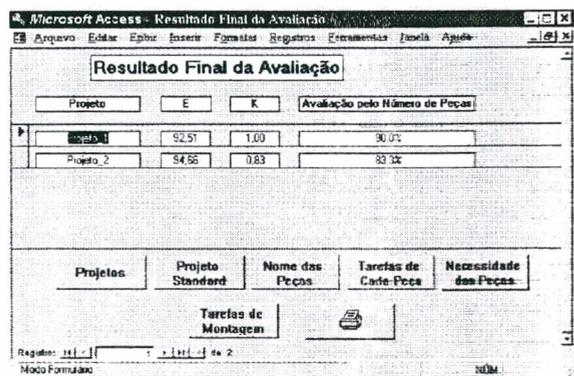


Figura 4.43 – Janela dos resultados da avaliação de montabilidade.

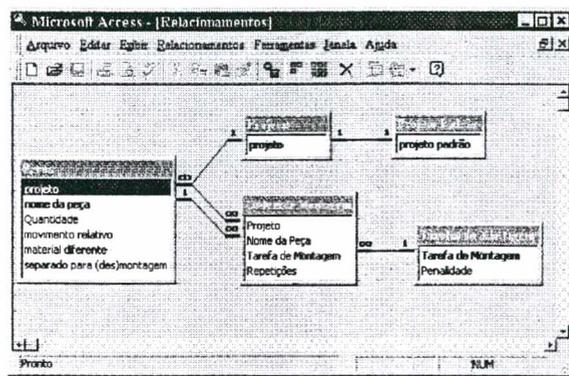


Figura 4.44 – Estrutura dos relacionamentos existentes entre os dados das tabelas.

A maior limitação para se fazer uso deste programa de avaliação é a necessidade da criação da lista das tarefas de montagem dentro de um ambiente de engenharia simultânea antes de aplicá-lo, já que não possui uma biblioteca pronta. Os próprios autores citam a dificuldade da colaboração por parte dos operários de chão-de-fábrica, receosos em ceder essas informações.

4.7 - Software de engenharia concorrente CONSENS⁽⁷⁾

Desenvolvido com intenções comerciais, o *CONSENS* não é apenas um programa computacional de *DFA* ou *DFX*; e sim, um sistema de informações de suporte à estratégia global de engenharia concorrente ou simultânea. A idéia central gira em torno de que a transformação de uma estrutura de trabalho seqüencial para uma estrutura de engenharia simultânea, requer tanto a reestruturação da organização de trabalho, quanto a implantação de sistemas de suporte de informações.

Similar ao método de transição das estruturas de trabalho, o sistema de informação deve encaixar-se na estratégia global da engenharia simultânea. Isto é, contribuir para a paralelização, padronização e integração. Neste contexto, paralelização significa a capacidade de se executar processos interrelacionados simultaneamente. Padronização é a unificação dos processos que tenham um alto grau de similaridade ou possibilidade de repetição. Integração é a convocação e execução simultânea de diferentes aspectos relacionados ao desenvolvimento do produto, o qual deve ser considerado como um todo.

No *CONSENS* oito módulos foram selecionados como as ferramentas básicas de suporte à engenharia concorrente, divididos em dois tipos: orientados ao gerenciamento do projeto e orientados ao projeto do produto. As ferramentas orientadas ao gerenciamento são a administração do processo de engenharia (*EPM = Engineering Process Management*), e o sistema de suporte a decisões administrativas (*MDS = Management Decision Support System*). Já as ferramentas orientadas ao projeto do produto são: o projeto para custos (*DtC = Design to Cost*), o projeto para manufatura e montagem (*DFM e DFA*), o projeto para qualidade (*DFQ = Design for Quality*), o projeto de instalações de produção (*DoPF = Design of Production Facilities*), o sistema inteligente de projeto auxiliado por computador (*ICAD = Intelligent CAD-System*), e finalmente, a tecnologia de grupo (*GT = Group Technology*).

Como são as ferramentas de projeto de produto que interessam nesta dissertação, falar-se-á delas rapidamente, com um enfoque maior na de *DFA*, é claro.

⁽⁷⁾ Referência [22].

O **módulo DtC** tem a função de estruturar melhor os dados de custos de todas as atividades da empresa, facilitando a coleta, o processamento, a recuperação e a demonstração dos mesmos para todas as tarefas/atividades que os requeiram. Abrange não só as partes de manufatura (*DFM*) e montagem (*DFA*), como também os demais aspectos relacionados a custos num nível mais detalhado. O *DtC* é ainda subdividido em mais dois módulos, o *ASCET (Assembly Cost Estimation Tool)* que enfoca os custos relacionados à montagem de um produto, e o *FCCS (Flexible Cost Calculation System)* que enfoca os custos de manufatura de um produto complexo. Como provoca/possibilita um monitoramento e controle contínuo dos custos do produto, os cálculos podem ser atualizados a qualquer momento e realizados em paralelo a outras tarefas. Contribui com a engenharia simultânea, quando a equipe de projeto considera os custos de manufatura e montagem durante o projeto conceitual.

A tarefa dos **módulos DFM e DFA** é formalizar e integrar ao processo de projeto as restrições e capacidades da manufatura e montagem. Permitem ainda, a execução paralela da análise funcional e de manufaturabilidade, a fim de otimizar o desempenho mecânico do produto.

O **módulo DFM** utiliza o modelamento por *features (características paramétricas)* aplica o conhecimento de planejamento de processo como análise funcional, ou seja, é um módulo de conexão entre *CAD* e *CAPP*. Alguns fatores considerados são o equipamento envolvido, o processo escolhido, o número de *set ups*, e trocas de ferramenta, entre outros. Objetiva-se assim, o menor custo e esforço de produção.

Já o **módulo DFA** é subdividido em duas partes. O *DFA mecânico*, com enfoque na montagem de componentes mecânicos, e o *DFA eletrônico*, para as placas de circuito impresso (*PCB*). O *DFA eletrônico* visa indicar e enfatizar os componentes que causam o maior custo de montagem. O *DFA mecânico*, em adição, torna possível acessar o potencial para montagem sem haver informações detalhadas da montagem final. O método empregado descreve e quantifica a influência do peso, da geometria, do material, da superfície (*áspera, oleosa ou lisa*) e das condições particulares de manipulação de cada componente. A avaliação é executada sobre cada operação de montagem seguindo a seqüência da estrutura do produto.

Para avaliação utiliza-se de tabelas próprias cujos valores são expressos em unidades de tempo *TMU* (*Time Measurement Unit*, sendo 10^5 *TMU* = 1 hora). A comparação dos resultados da análise de *DFA*, expressos em *TMU*, de antes e depois do reprojeto mostra o tempo ganho na montagem.

Esta análise *DFA* auxiliada por computador não é capaz de realizar sugestões criativas para melhorar a montabilidade. Restrições resultantes dos requisitos de segurança, qualidade, manutenção e possibilidades para reciclagem são desconhecidas e ignoradas pelo sistema computacional. A aplicação da análise de *DFA* direciona a uma abordagem sistemática que auxilia a visualização de melhorias potenciais.

Assim, a avaliação é executada em planilhas baseadas nos indicadores de tempo de manipulação e inserção (*composição*). Toda operação é então, descrita por códigos alfanuméricos. Os graus de melhoria podem ser divididos em quatro grupos com melhorias relacionados a:

- a) peças individuais (*separadas*),
- b) submontagens,
- c) estrutura do produto,
- d) técnicas de conexão.

Há sugestões genéricas com exemplos de vantagens e desvantagens para cada grupo.

A análise de *DFA* é completada com uma análise estrutural cujo resultado é a classificação das peças em essenciais e não essenciais⁽⁸⁾. Calcula-se então um tempo ideal de montagem que é utilizado para caracterizar a qualidade do produto em questão.⁽⁹⁾

O **módulo *DFQ*** tem o objetivo de planejar e otimizar planos gerenciais de qualidade do início do processo de projeto até o final da produção de um produto com o uso de testes estratégicos e métodos de simulação. Um produto consiste de informação sobre suas características básicas, como geometria, estrutura, etc., como também de uma descrição do processo de produção, como processos e plantas-teste. Por este ponto de vista, o módulo *DFQ* permite prever a qualidade entregue de um novo produto através de simulações. Desenvolve-se então,

⁽⁸⁾ Similar à análise funcional do método de Lucas.

⁽⁹⁾ Nota-se que no método de *DFA* do *CONSENS* há fortes indícios de contribuição dos métodos de Lucas, Boothroyd e *AEM*.

medidas de detecção de erros. São informações coletadas que providenciarão os dados básicos (*histórico*) para os projetos subseqüentes. Outra contribuição é a padronização da representação das informações vitais de engenharia.

Os parâmetros aplicados são custo, qualidade e limites de tempo. Calcula-se qualidade (*n.º de produtos não defeituosos*), confiabilidade (*n.º de produtos em trabalho*) e um número de prioridade de risco (*similar ao FMEA*), com emprego das técnicas de lógica difusa.

Possuindo um relacionamento íntimo com o *DFA*, o **módulo DoPF** tem a função de integrar o projeto do produto com o projeto das instalações de produção. Considera os aspectos ergonômicos e o leiaute do sistema fabril além de: o método de montagem, ferramentas e instalações necessárias, forma e complexidade dos equipamentos, projeto de estações de trabalho e ciclos de tempo de trabalho.

O *DoPF* utiliza o programa *ERGOMAS (Ergonomic Design and Optimisation of Manufacturing and Assembly Systems)* desenvolvido para o projeto preliminar e detalhado de sistemas manuais ou parcialmente automatizados, onde as considerações ergonômicas são importantíssimas. Usufruindo de uma base de dados relevante e modelamento tridimensional, o enfoque do *ERGOMAS* não é só na simples visualização das linhas de produção e estações de trabalho. Sua função consiste em auxiliar a equipe de projeto em todos os aspectos de planejamento dos sistemas de produção como:

- leiaute de sistemas de produção,
- balanceamento das linhas de produção,
- organização do fluxo de material,
- projeto das estações de trabalho,
- avaliação ergonômica das estações de trabalho,
- análise do ciclo de tempo de trabalho,
- cálculo dos custos de montagem,
- administração da documentação de planejamento.

A estrutura de montagem é definida automaticamente pelo editor do produto, com informações sobre a estrutura do produto cedidas pelo **ICAD**, e aplicação de métodos de medições de tempos padrões. O **ICAD** é um modelador *CAD* chamado de *KnobieCAD* com a função de fornecer informações detalhadas sobre o produto integrando os demais módulos *DFX* pelo conceito "*design by features*".

Já o conceito de **tecnologia de grupo** (*GT = Group Technology*) é utilizado para coletar, estruturar e permitir o reuso da experiência adquirida pelas equipes de projeto da empresa em projetos e processos anteriores. Sua função é permitir a exploração da memória da organização de modo otimizada.

4.8 - Software TQM do Inst. de Tec. de New Jersey⁽¹⁰⁾

Proposta acadêmica do Instituto de Tecnologia de New Jersey (*EUA*), ainda não disponível para uso comercial, divulgada em 1996. Segundo seus autores [26], é estruturada como um tipo de análise reversa de causa-efeito.

Utiliza a metodologia de projeto para qualidade de manufaturabilidade (*DFQM = Design for Quality Manufacturability*), desenvolvida para a avaliação de produtos que requerem montagem. Seu banco de dados constitui-se de uma série de classes comuns de defeitos de qualidade e de uma série de fatores que influenciam a ocorrência destes defeitos. O método é limitado aos processos de montagem. A saída resultante é a *matriz índice de QM*, ou *matriz DFQM*, a qual indica a qualidade de manufaturabilidade de cada peça na montagem em termos dos defeitos padrões e fatores de influência indicados. Segundo Das [26], a qualidade de manufaturabilidade de um projeto é definida como a probabilidade que defeitos irão ocorrer durante a manufatura do referido produto em uma planta produtiva padrão.

O enfoque é exclusivamente em avaliar um projeto por uma perspectiva da qualidade; principalmente em termos da qualidade manufaturada, definida como a extensão na qual um produto desvia das especificações de projeto.

Os termos (n,k) da *matriz DFQM*, exemplificada na figura 4.52 (pág. 128), representam a pontuação de *QM* para a peça “*n*” em termos da classe de defeitos “*k*”. A pontuação varia de 0 a 1, sendo 0 para o produto ideal sem defeitos e 1 para o produto cujas taxas de defeito serão inaceitáveis para o controle de qualidade, ou seja, quando a probabilidade de ocorrerem imperfeições no produto final, que comprometam a sua qualidade, é muito alta e arriscada.

São seis as classes de defeitos considerados para avaliação *DFQM*:

1. falta de ou componentes mal-empregados;

⁽¹⁰⁾ Referência [26].

2. desalinhamento dos componentes;
3. interferências de peças;
4. defeitos relacionados à fixação;
5. não conformidade de projeto (*superfícies ou dimensões que não se encaixam*), e
6. peças danificadas.

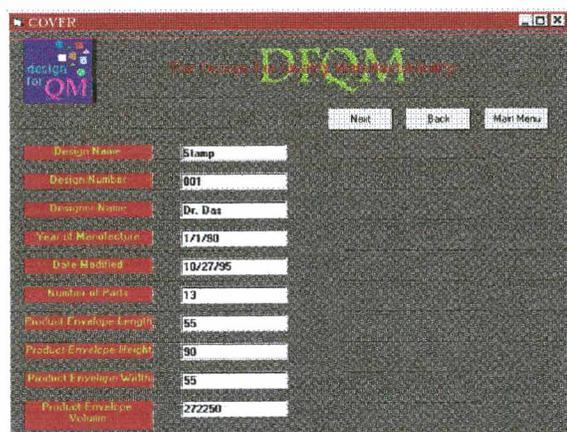
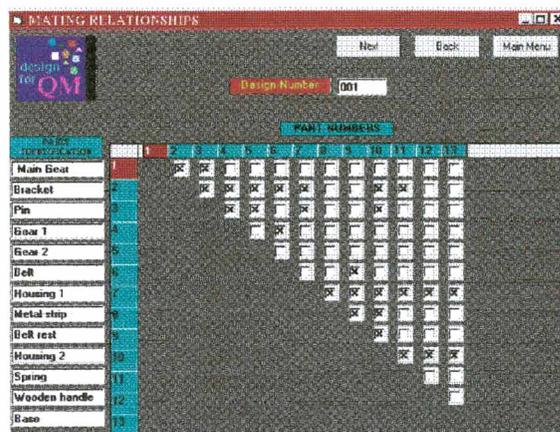


Figura 4.45 – Planilha inicial do software de DFQM.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Main Gear	X	X											
Bracket		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pin			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gear 1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gear 2				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bell					X	X	X	X	X	X	X	X	X
Housing 1						X	X	X	X	X	X	X	X
Metal stop							X	X	X	X	X	X	X
Bell rest								X	X	X	X	X	X
Housing 2									X	X	X	X	X
Spring										X	X	X	X
Wooden handle											X	X	X
Base												X	X

Figura 4.46 – Planilha das relações de composição (interfaces).

Ao iniciar o programa, o usuário tem a opção de criar um novo projeto ou abrir um projeto existente. Com o produto já definido, preenche-se a planilha inicial (figura 4.45) com o nome do projeto e ou produto, n.º de peças, dimensões de envelope do produto e volume de envelope do produto, projetista responsável, datas de produção e modificação, n.º do projeto.

Na planilha seguinte (figura 4.46), o usuário identifica que peças possuem interfaces (*superfícies de conexão*) entre si. Após, há diversas planilhas para entrada de dados a respeito das características individuais de cada peça do produto, como mostrado nas figuras de 4.47a a 4.49b. Algumas das informações são a respeito das dimensões e volume de envelope do produto e das peças, interfaces das peças, seqüência de montagem, n.º de repetições das peças, hierarquia de montagem, n.º de componentes montados no mesmo estágio, coeficiente de expansão, tipo de conexão, restrições de movimento. Há ainda janelas próprias para os fixadores (figuras 4.49a e 4.49b), para identificar seu tipo, n.º de peças que segura, se há dispositivos de tensão, tipo de operação, acessibilidade e outros.

The screenshot shows the 'PARTS' form with the following fields and values:

- Similar number of parts in assembly: 0
- Presence of part parts across the length while rotating:
- Part present on the surface:
- Component envelope length: 35
- Component envelope width: 8
- Component envelope height: 35
- Component envelope volume: 9900
- Coefficient of Expansion: [empty]
- Design Number: 001
- Part Identification: Main Gear
- Part Number: 1

Figura 4.47a – Planilha das características individuais da peça.

The screenshot shows the 'PARTS' form with the following fields and values:

- Part Name: Main Gear
- Design Number: 001
- Assembly method: Manual
- Part Identification: Main Gear
- Type of material handling: Bulk Handling
- Part Number: 1
- Assembly sequence number: 1
- Positioning and handling of part at different work stations: 0
- Number of components to be assembled at the same stage: 6
- Number of different components to be assembled at the same stage: 5
- Number of different components to be assembled with holding part: 0

Figura 4.47b – Planilha das características individuais da peça.

The screenshot shows the 'MATING' form with the following fields and values:

- Mating ID Number: 12
- Design Number: 001
- Functional Code: A7
- Part ID Number: 1
- Functional Code: EN1
- Part Number: 1
- Number of Mating Stages: [empty]
- Mating Relationship: Loose Fit
- Surface Finish of Hole: Smooth
- Location of Mating: [empty]
- Direction of Mating: [empty]

Figura 4.48a – Planilha das características de composição para cada peça.

The screenshot shows the 'MATING' form with the following fields and values:

- Number of constraints (rotating, translating motion): 0
- Design Number: 001
- Relation of mating axis with axis of symmetry: 34
- Part ID Number: 1
- Presence of flexible parts:
- Part Number: 1
- Number of flexible parts: [empty]
- Number of components to be assembled at same stage: [empty]
- Number of different components to be assembled at same stage: 001
- Number of locations at which flexible part associated: 0

Figura 4.48b – Planilha das características de composição.

The screenshot shows the 'FASTENER' form with the following fields and values:

- Fastener Identification Number: [empty]
- Design Number: 001
- Mating Identification Number: 1-2
- Part ID Number: 01
- Fastening sequence: [empty]
- Part Number: 01
- Number of fasteners in sequence: [empty]
- Are the stress devices present?
- Number of Stress Devices: [empty]
- Type of the Stress Device: [empty]
- # of other parts sharing the fastener: [empty]

Figura 4.49a – Planilha das características de fixadores.

The screenshot shows the 'FASTENER' form with the following fields and values:

- Fasteners Quantity Number: [empty]
- Design Number: 001
- Total number of mating fasteners: [empty]
- Part ID Number: 01
- Inter fastener distance: [empty]
- Part Number: 01
- Fastening accessibility: [empty]
- Number of other parts sharing fastener: [empty]
- Presence of fastening system hold position: [empty]

Figura 4.49b – Planilha das características de fixadores.

Todas as planilhas são preenchidas por códigos provenientes de tabelas e catálogos como a mostrada na figura 4.50. O programa apresenta os resultados em forma de planilhas como a da figura 4.51 para cada classe de defeito, e uma em forma de *matriz índice de QM*, mostrada na figura 4.52.

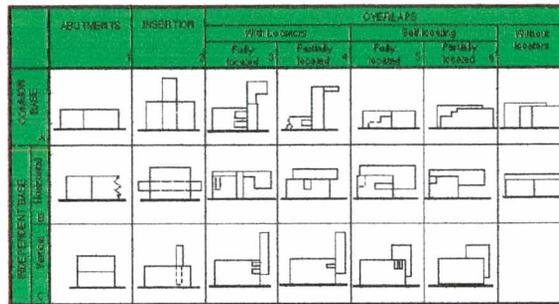


Figura 4.50 – Exemplo da procedência dos códigos utilizados.

PART NUMBER	A-1-1	A-1-2	A-1-3	A-1
1	0.55	0.00	0.00	0.14
2	1.00	0.00	0.00	0.25
3	0.56	0.00	0.00	0.14
4	0.56	0.00	0.00	0.14
5	1.00	0.00	0.00	0.25
6	0.00	0.00	0.00	0.10
7	1.00	0.00	0.00	0.25
8	0.42	0.00	0.00	0.10
9	0.00	0.00	0.00	0.10
10	1.00	0.00	0.00	0.25
11	0.00	0.00	0.00	0.10
12	0.00	0.00	0.00	0.10
13	0.50	0.00	0.00	0.15

Figura 4.51 – Exemplo de relatório da análise de produto por classe de defeito.

PART NUMBER	A	B	C	D	E	F
1	0.14	0.25	0.55	1.00	0.90	0.90
2	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.14	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.14	0.00	0.55	1.00	0.90	0.90
5	0.25	0.25	0.55	0.00	0.90	0.90
6	0.10	0.25	1.00	0.00	1.00	1.00
7	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
13	0.15	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 4.52 – Matriz DFQM gerada pela análise de produto.

4.9 - Comentários

Com as informações disponíveis sobre os métodos e programas computacionais de DFA mais conhecidos, comprova-se que os métodos normalmente são aplicáveis em plataformas IBM-PC e tratam os problemas técnicos complexos através de considerações simples. Sendo o conhecimento da função do componente e a seqüência de montagem do produto pré-requisitos para as abordagens metodológicas de avaliação da montabilidade contribuírem com a melhoria do produto.

A propriedade dos programas de *DFA* serem executados em computadores pessoais, demonstra a simplicidade de suas estruturas computacionais e prova que não são ferramentas exclusivas de departamentos que executam seus projetos em estações de trabalho. Esta simplicidade estrutural é percebida ao analisar o programa *DFA-Access* que através do gerenciamento de cinco bancos de dados consegue calcular os índices de montabilidade de dois métodos.

Comparando os programas computacionais entre si, comprova-se que, no geral, a abordagem do problema pelos métodos de *DFA* é muito sistemática e quase independente das capacidades do usuário, gerando resultados fáceis de serem reproduzidos, apesar da subjetividade envolvida. As apresentações em dados numéricos evidenciando o critério de cálculo é de grande assistência em otimizar a solução. Em contrapartida, os programas atuais ainda se concentram em atividades fáceis de serem calculadas, como o número de peças. Consequentemente, componentes de formas muito complexas podem vir a ser adotadas no produto até que se realize um análise de sua manufaturabilidade por um programa, ou método, específico de *DFM* [47].

Em comum, todos *softwares* de *DFA* realizam análises da manipulação e composição dos componentes dos produtos, apesar de adotarem abordagens diferentes entre si. Assim como ignoram-se todas tarefas não relacionadas diretamente à montagem do produto, como empacotamento, armazenamento ou transporte.

Atualmente, as análises *DFA* auxiliadas por computador não são capazes de realizar sugestões criativas para melhorar a montabilidade. Restrições resultantes dos requisitos de segurança, qualidade, manutenção e possibilidades para reciclagem são desconhecidas e ignoradas pelo sistema computacional. A aplicação da análise de *DFA* direciona a uma abordagem sistemática que auxilia a visualização de melhorias potenciais. Isto significa que, por melhor que sejam os *softwares*, o projetista terá de priorizar as áreas para reprojeto. Por outro lado, o tempo ganho com os programas de auxílio ao projeto permite que a genialidade e criatividade da equipe de projeto fiquem livres para focar em resolver as questões de projeto.

Outras características evidenciadas nos programas computacionais discutidos neste capítulo são apresentadas em forma de resumo comparativo na tabela 4.1. Já a tabela 4.2 apresenta as mesmas características da tabela 4.1 para os métodos

AEM da *Hitachi Co.* e *DAC* da *Sony Co.* que foram estudados apenas como métodos no capítulo anterior, mas são superficialmente comparados em Lempiäinen [47]. Nessas tabelas, a marca “(?)” indica suposição, enquanto a marca “-??-” indica desconhecimento sobre a característica em questão.

Tabela 4.1 – Resumo das principais características encontradas nos programas de *DFA*.

Características encontradas	<i>LASeR</i>	<i>DFMA</i>	<i>TeamSET</i>	<i>DFA-Tool</i>	<i>DFA-Access</i>	<i>CONSENS</i>	<i>TQM</i>
análise da redução de peças	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não
análise de captação	não	sim	sim	sim	não	sim	não
análise de manipulação e composição	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
visualização da estrutura do produto	diagramas de interfaces	seqüência de montagem	seqüência de montagem	seqüência de montagem	não	seqüência de montagem	não
análise adicional de processos	não	opcional	implícita	sim	não	implícita (?)	não
adequação aos diferentes tipos de montagem	ruim	boa	boa	razoável	ruim	boa (?)	boa
cálculo do investimento do sistema de montagem	não	não	não	sim	não	não	não
<i>DFA</i> eletrônico (<i>p/PCB</i>)	não	sim	sim (?)	não (?)	não	sim	não
relatório com sugestões de reprojeto	não	sim	sim	sim	não	sim	não
outras ferramentas de apoio ao projeto	não	não	<i>QFD/FMEA/Con-Con</i>	não	não	<i>EPM/MDS/GT</i>	não
combinação com metodologias <i>DFX</i>	<i>DFS/DFR</i>	<i>DFM/DFS/DFE</i>	<i>DFM/DTC</i>	não	não	<i>DFM/DTC/DoPF/DFQ</i>	<i>DFQ (?)</i>
integração com sistemas <i>CAD</i>	não	sim	sim (?)	não	não	sim	não
subjetividade do método de análise	alta	média	média	média	alta	média (?)	alta
interface com usuário	ruim	boa	boa	razoável	ruim	-??-	ruim
esforço de treinamento	alto	médio	médio	médio baixo	médio alto	alto	alto
categoria	acadêmico	comercial	comercial	comercial	acadêmico	comercial	acadêmico
custo do programa computacional	alto (?)	médio	médio	médio baixo	baixo	alto (?)	-??-

Tabela 4.2 – Resumo das características do *AEM* e *DAC*, adaptadas de Lempiäinen [47].

	análise da redução de peças	análise de captação	análise de manipulação e composição	visualização da estrutura do produto	análise adicional de processos	adequação aos diferentes tipos de montagem	cálculo do investimento do sistema de montagem	<i>DFA</i> eletrônico (<i>p/PCB</i>)	relatório com sugestões de reprojeto	outras ferramentas de apoio ao projeto	combinação com metodologias <i>DFX</i>	integração com sistemas <i>CAD</i>	subjetividade do método de análise	interface com usuário	esforço de treinamento	Categoria	custo do programa computacional
<i>AEM</i>	não	não	sim	lista de operações por peça	não	ruim	não	não	não	não	<i>DFM (?)</i>	não	alta	-??-	alto	privado	alto
<i>DAC</i>	não	implícita	sim	lista de operações por peça	não	ruim	sim	não	não	não	não	não	alta	-??-	alto	privado	muito alto

Muitos estudiosos, citados por Boothroyd [15], acreditam que os métodos de *DFA* devam ser incorporados aos sistemas *CAD* a fim de permitir efetiva automação do setor de montagem. Isto cria a necessidade dos métodos serem desenvolvidos para extrair informações de *features* da base de dados de um sistema *CAD*. Até o presente momento, sabe-se que somente o *DFMA* da *BDI* e o *CONSENS* possuem tal propriedade, enquanto supõe-se que o *TeamSET* a tenha desenvolvido.

Sobre a análise adicional de processo, o *DFMA* da *BDI* realiza a análise da seqüência de montagem e desmontagem pelo módulo *DFS*, já o *TeamSET* apresenta o diagrama do processo de montagem, o mesmo que deve haver no *CONSENS* já que emprega-se o método de Lucas. O *DFA-Tool* apresenta uma análise própria das operações e equipamentos do sistema de montagem especialmente baseada em custos.

A discussão sobre os programas disponíveis de *DFA* comprova as afirmações feitas por Davis et al [27]. Eles atestam que as técnicas de *DFA* atuais falham nos seguintes aspectos:

- i) apesar do esforço de diminuir a subjetividade nos métodos, todos dependem do projetista responder corretamente as questões;
- ii) não refletem todas as preocupações de manufatura; sendo que o *DFMA* da *BDI* sai-se melhor oferecendo cinco módulos específicos de *DFM*.
- iii) apresentam somente resultados quantitativos, sem oferecer recomendações; exceto o *DFMA*, *TeamSET*, *DFA-Tool* e *CONSENS*. Mas no geral, só apontam os componentes problemas sugerindo recomendações genéricas, baseadas nos princípios de projeto negligenciados, que podem vir a não auxiliar o reprojeto.
- iv) falta mecanismos de captura de regras ou diretrizes que atualizem a avaliação do produto de acordo com a necessidade do usuário. Neste caso, o *TeamSET* possibilita contornar o problema através dos módulos de *QFD* e *Con-Con*, enquanto o *DFA-Tool* pode ser modificado por possuir seus códigos abertos ao usuário.

O *LASer*, em relação aos demais programas estudados, possui a característica única de apresentar o produto em termos gráficos. Ou seja, a estrutura do produto é visualizada em forma de um *Diagrama de Interfaces*, o que facilita a percepção de como os componentes do produto se relacionam entre si. Em

contrapartida, esta vantagem torna-se uma desvantagem quando há outros níveis de submontagens, pois, como as submontagens são editadas em páginas diferentes, não é possível perceber qual parte da submontagem se relaciona, ou tem interface, com uma outra fora da mesma submontagem. Nem tão pouco facilita visualizar, ao mesmo tempo que se olha a montagem principal, e perceber qual é a submontagem com maior número de componentes. Em suma, sua maior vantagem é totalmente discutível no momento que se trabalha com produtos mais complexos que requeiram mais de um nível de montagem. Além disso, há a dificuldade de identificação das peças nos relatórios de avaliação caso estes não sejam explicitamente identificados pelo usuário no momento da edição da estrutura do produto. Ou seja, é difícil dizer de prontidão qual é a peça que tem maior influência na montagem como também qual é a submontagem que mais problemas apresenta. O resultado é muito vago.

O *DFMA* apresenta a vantagem de ter uma interface gráfica, mas seus pontos mais fortes são os módulos específicos de *DFM* (*fundição, usinagem, etc.*), os de *DFS* e *DFE*, e os relatórios apontando quais componentes apresentam problemas com sugestões e indicações de quanto é possível ganhar se houver modificação. Há também a possibilidade de, na estrutura do produto, ver os tempos de cada componente. As desvantagens ficam em termos das limitações do baixo número de sugestões, a falta de um manual específico de *DFA* além do manual do usuário do software.

O *TeamSET* tem um critério de análise funcional melhor, pois para cada pergunta (material, movimento, desmontagem) que identifica a necessidade da peça, há mais duas que ajudam a sanar dúvidas provenientes da subjetividade junto ao usuário. Outras vantagens são as ferramentas de apoio ao projeto adicionais ao *DFA*, como o *QFD*, o *Con-con* e o *FMEA*, e a interface gráfica com o usuário. As outras análises são semelhantes às do *DFMA* da *BDI*. Seu módulo de *DFM* não reflete as diferenças existentes entre diferentes tipos de processos de fabricação, no entanto o método de *DFA* adotado gera um diagrama de grande valia ao projeto do processo de montagem.

O *DFA-Tool* tem a vantagem de ser um software aberto, podendo ser modificado em razão das necessidades do usuário. Seu treinamento é relativamente menor aos demais caso o usuário já saiba usar o *MS-Excel*. As sugestões estão no arquivo de ajuda, mas não nos relatórios gerados. Juntamente com o *DAC* da *Sony*,

possui a propriedade única de se calcular os custos de investimento do sistema de montagem.

O *DFA-Access* é possivelmente o mais simples de todos, mas este avalia o produto como um todo, sem identificar os pontos fracos deste e muito menos sugerir recomendações de reprojeto. Não possui biblioteca formada necessitando que o próprio usuário desenvolva a sua lista de tarefas de montagem e respectivas penalidades. Pode ser considerado ótimo para quem se preocupa com números absolutos, mas péssimo para quem necessita saber mais sobre como o resultado foi alcançado e o que pode ser melhorado no produto. Sem dúvida, caracteriza-se pelo baixo preço, pela escassez de recursos e por ser um programa aberto como o *DFA-Tool*.

O *CONSENS* parece ser ótimo para um ambiente de engenharia simultânea, mas é difícil dizer quais são suas limitações com as informações obtidas. Mostra-se ser mais completo ao apresentar ferramentas de apoio gerencial ao projeto e a metodologia de projeto das instalações produtivas. No entanto, esquece-se o resto do ciclo-de-vida do produto que existe após a venda no mercado consumidor.

O *TQM* é uma abordagem interessante, mas seus relatórios são totalmente numéricos em forma de matrizes, o que dificulta uma rápida percepção dos pontos fracos do produto analisado. Sua maior característica é avaliar a montabilidade pelo aspecto da qualidade manufaturada.

Dentre os programas computacionais de *DFA* desenvolvidos podemos classificá-los em três categorias:

1. Acadêmicos: propostos por universidades; em estágio de desenvolvimento, dependente do próprio anseio da universidade; não comerciais. (*LASER*, *DFA-Access*, *TQM*)
2. Privados: desenvolvidos para uso próprio por grupos industriais e de restrita comercialização. (*AEM da Hitachi*; *DAC da Sony*; *MOSIM da Siemens*)
3. Comerciais: desenvolvidos por empresas, com eventual parceria com universidades, para atender uma necessidade geral. Existem dois em comercialização (*DFMA da BDI* e o *TeamSET da CSC*) e um em desenvolvimento (*DFA-Tool da Deltatron*).

Os softwares discutidos nas seções anteriores, exceto o *DFA-Access*, ou estão comercialmente disponíveis ou estarão em breve. Também podem ser encontrados em restrita comercialização os softwares ditos privados, como o *AEM* da *Hitachi Co.* e o *DAC* da *Sony Co.*, cujas metodologias foram apresentadas no capítulo anterior. Por consequência o *AEM* e o *DAC* são os softwares de maior custo, por serem de uso quase exclusivo de seus criadores, e possuem a característica comum de apresentarem o produto na forma de lista de operações por peça. Como já dito, o *DAC*, destaca-se junto com o *DFA-Tool* em habilitar o cálculo do investimento do sistema de montagem.

Capítulo 5

Estudo de Caso

5.1 - Introdução

Uma análise crítica da metodologia de *DFA* não seria completa se não houvesse um estudo da aplicação da metodologia na prática. Com o propósito de complementar a quantidade mínima de informações para essa análise crítica do *DFA*, houve a necessidade da realização de um estudo de caso de aplicação dos métodos de avaliação disponíveis. O ideal, seria praticar a metodologia completa de projeto para montagem num produto em produção industrial, preferencialmente um de projeto novo ou em reprojeto, desde o início do respectivo processo de projeto. Entretanto, perante a dificuldade de aceite por parte das indústrias, relutantes face a um fantasma de espionagem industrial, optou-se pelo uso de protótipos desenvolvidos pelo próprio Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (*antigo Laboratório de Projeto*) da Universidade Federal de Santa Catarina (*NeDIP/UFSC*).

Dentre as diversas máquinas agrícolas disponíveis, selecionou-se o “*implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto*” desenvolvido em 1996 [4]. Tal implemento foi escolhido pelo simples fato de ter sido recente, e possuidor do maior número de informações, melhor documentado sobre o seu planejamento e desenvolvimento.

O produto em questão foi desenvolvido para a abertura e adubação de sulcos para o cultivo de cebola e outras hortaliças nas técnicas de cultivo mínimo e plantio direto. O implemento é destinado a pequenos produtores rurais e é acoplado na parte dianteira de um microtrator articulado também desenvolvido pelo *NeDIP/UFSC*. Para o seu desenvolvimento, foi-se empregado as técnicas de projeto *QFD*, *Função*

Síntese e Matriz Morfológica [4]. Será através da documentação gerada neste processo de projeto que o estudo de caso provar-se-á das informações necessárias, além de uma desmontagem e respectiva montagem realizada na oficina do *NeDIP/UFSC*.

5.2 – Esclarecimento da tarefa

Em posse da documentação sobre o desenvolvimento do implemento, o estudo de caso consistiu em desmontar parcialmente e montar o implemento com o propósito de:

1. listar todos os componentes, ferramentas necessárias e processos envolvidos no ato da montagem a partir das informações contidas na documentação escrita e nas coletadas durante a desmontagem e montagem no laboratório;
2. listar as interfaces entre os princípios de solução ou sistemas e gerar um diagrama de interfaces;
3. determinar as interfaces prioritárias e definir restrições;
4. anotar os tempos de montagem e desmontagem;
5. observar o grau de dificuldade das tarefas envolvidas;
6. exemplificar a análise da etapa de projeto conceitual como proposto no capítulo 2;
7. avaliar o implemento no seu estágio atual segundo as técnicas disponíveis;
8. analisar os resultados obtidos;
9. realizar uma sugestão de reprojeto, apresentando a respectiva avaliação para efeitos comparativos dos ganhos que podem ser obtidos.

A desmontagem foi considerada de nível parcial, devido à não desunião dos elementos soldados ou rebitados, tendo estes sido considerados como um único elemento individual. Desta forma, os componentes considerados como uma peça individual foram: o reservatório, o corpo do dosador unido à mangueira, o corpo das enxadas rotativas, a estrutura, o pára-lamas, a proteção externa e a roda.

Inicialmente, um objetivo foi de exemplificar o relacionamento do *DFA* com o processo de projeto e exercitar a aplicação das técnicas de *DFA*. Outro mais

específico foi simular o ambiente de execução das avaliações de montabilidade, desvendando as dificuldades e dúvidas surgidas, e os recursos necessários. Ou seja, identificar as limitações e vantagens que serão percebidas pela equipe de projeto na aplicação dos métodos.

5.3 - Avaliação do Implemento

Como já foi dito, nem todos métodos de avaliação estudados anteriormente nos capítulos 3 e 4, encontram-se disponíveis para uma aplicação completa em um eventual estudo de caso. Por isso, o estudo aqui realizado limita-se à aplicação dos recursos até então disponíveis. Assim, o implemento foi avaliado empregando-se a planilha de Ullman, os programas *LASeR* e *DFMA*, e a *Carta de Critério Funcional* do método de Lucas.

Adicionalmente, como a preocupação maior desta dissertação é avaliar os métodos de *DFA* para propor diretrizes em como melhor utilizar a metodologia no projeto conceitual, não definir-se-á o estudo de caso ao nível de projeto detalhado, por dois motivos:

Primeiro, não se considera a avaliação total do implemento imprescindível para se obter as informações necessárias e relevantes ao estudo no projeto conceitual.

Segundo, a avaliação completa pormenorizada só se justifica para o caso de reprojeto do implemento em questão; como não é este o nosso objetivo, a avaliação será feita num nível geral, mais abstrato, analisando mais os conceitos e os princípios de solução envolvidos e adotados do que os menores detalhes geométricos.

Do aspecto da montagem, o implemento compõe-se basicamente de oito componentes principais, sendo três submontagens, com treze interfaces como pode ser percebido pelo diagrama de interfaces do implemento apresentado na figura 5.1. Nota-se que não aparece o tipo de fixação da interface de conexão do implemento com o microtrator, tal foi omitida por entender-se que os componentes de fixação são pertencentes ao microtrator e não ao implemento. Em contrapartida, entende-se

11º. proteção externa da correia eixo-enxada na estrutura por meio de quatro parafusos;

12º. reservatório no dosador por encaixe.

As restrições encontradas na geração da seqüência de montagem foram:

- as enxadas rotativas serem montadas antes do pára-lama na estrutura;
- o pára-lama ser montado antes do dosador na estrutura;
- o pára-lama antes das correias eixo-dosador e eixo-acionamento;
- eixo intermediário na estrutura antes das correias;
- correia eixo-enxada antes da proteção externa da correia.

Quanto às ferramentas utilizadas, listam-se as seguintes:

- 1 martelo de borracha,
- 1 martelo de metal pequeno,
- 1 sacador de polia,
- 1 alicate universal,
- 1 alicate de bico,
- 1 chave de fenda,
- 2 chaves de boca 13 mm,
- 2 chaves de boca 17 mm.

A avaliação do implemento foi realizada em seis etapas que serão apresentadas nas subseções seguintes. As três primeiras são relativas ao projeto conceitual seguindo a abordagem proposta no segundo capítulo. Nestas avaliações, procurou-se não considerar a existência do protótipo para não influenciar as críticas e recomendações que poderiam advir. Tanto que a descrição funcional do implemento só é realizada junto à Matriz Morfológica. Por outro lado, nas três últimas etapas consideraram-se todas as informações disponíveis sobre o implemento, inclusive as avaliações da etapa conceitual.

5.3.1 - Avaliação das Especificações de Projeto

Nesta avaliação, levou-se em conta tão somente as informações contidas na etapa de Especificações de Projeto do planejamento e desenvolvimento

documentado na referência [4]. Nesta etapa do processo de projeto, os requisitos de projeto do implemento foram especificados conforme as necessidades prioritárias dos consumidores diretos, ou seja, dos usuários do equipamento os quais seriam os pequenos produtores rurais. Idealizou-se então, um implemento para abertura e adubação de sulcos para o transplante de mudas de cebola no plantio direto a ser acoplado ao microtrator articulado desenvolvido pelo *NeDIP/UFSC*. Com a aplicação da técnica de *QFD* procurou-se uma solução de fácil fabricação e montagem, baixo custo, robusta e compacta [4].

Tais especificações, no entanto, não foram explicitamente identificadas na “*Casa da Qualidade*”, um indício de que os princípios de *DFA* corriam o risco de serem negligenciados no desenvolver do produto.

A fim de evitar este caso, sugeria-se incluir ao menos os seguintes itens como necessidades do cliente interno ou requisitos de projeto:

- a) porcentagem de componentes essenciais sobre os totais;
- b) fácil manipulação, ou número de operações de manipulação por peça;
- c) tempo e ou custo de montagem;
- d) características de auto-localização;
- e) poucos níveis de montagem.

5.3.2 - Avaliação da Estrutura de Funções

Nesta avaliação considerou-se somente as informações contidas nas duas primeiras etapas do projeto conceitual do implemento abordando o problema como proposto no segundo capítulo.

A da identificação da função total, “*preparar sulco com adubo*”, dividiu-se a estrutura em duas funções principais: “*abrir sulco e adubar solo*” (figura 5.2a). Houve então, a decomposição destas na estrutura apresentada na figura 5.2b empregando-se a técnica da Função Síntese.

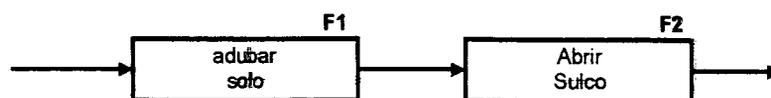


Figura 5.2a - Estrutura de funções parciais.

De acordo com o proposto no segundo capítulo, o *DFA* pode ser aplicado através do questionamento da decomposição das funções principais, pela métrica da porcentagem de funções essenciais e pela classificação das funções pela necessidade expressada pelo cliente externo.

Analisando a estrutura de funções da figura 5.2b sob estes aspectos, percebe-se que no desenvolvimento da estrutura não ocorreu a preocupação em classificar as funções pela necessidade. Entretanto, todas funções estão diretamente envolvidas com a função total e com as necessidades do cliente externo, significando um percentual de 100% de funções essenciais.

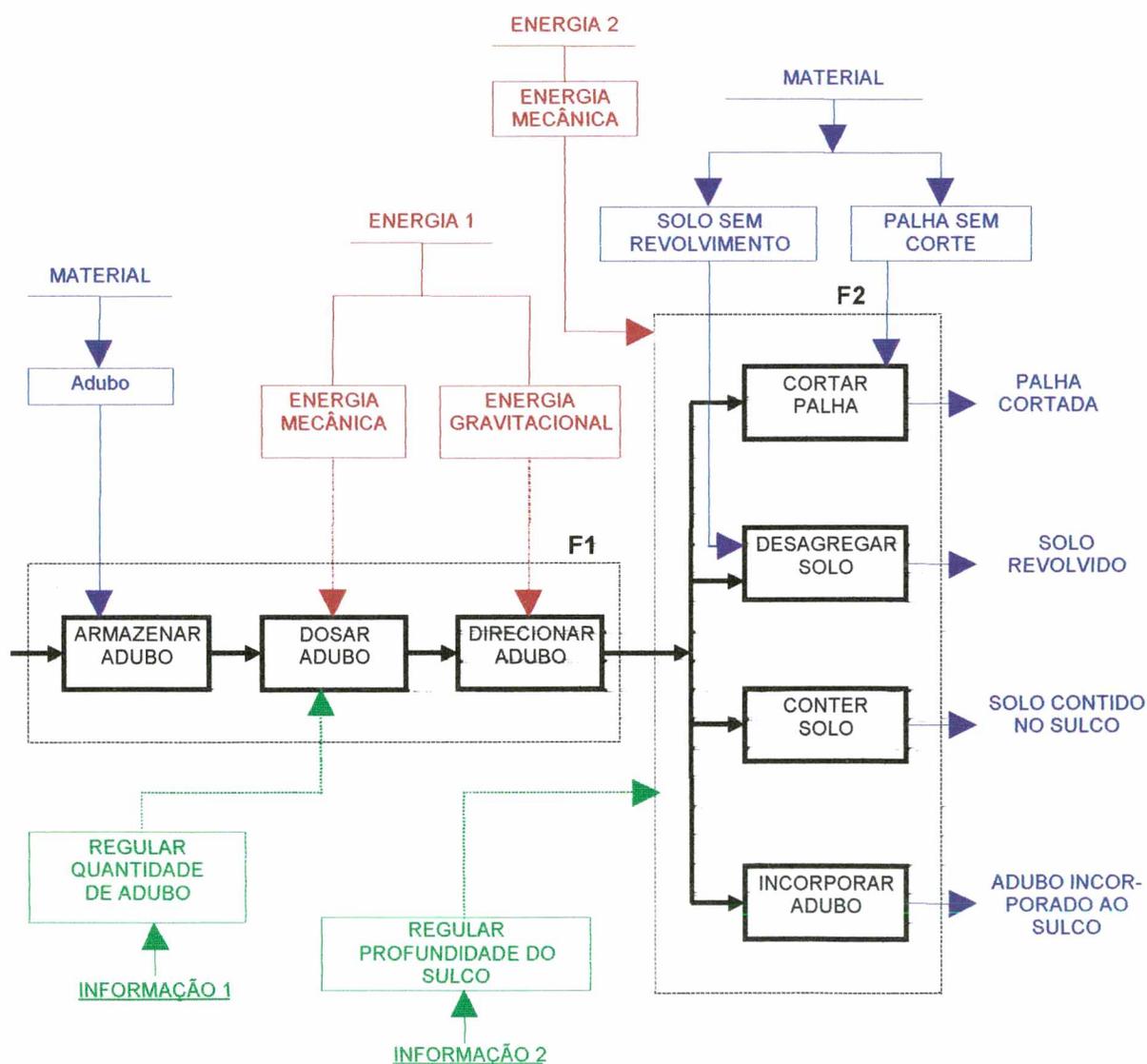


Figura 5.2b - Estrutura de Funções para o implemento de abertura e adubação de sulcos.

Outros questionamentos que poderiam ocorrer nesta etapa seriam:

- Quais destas subfunções podem ser realizadas por um único componente multifuncional?
- Como será a interface entre estas funções e subfunções? O que elas podem ter ou têm em comum?
- É realmente necessária a subdivisão da energia 1? Pode a energia gravitacional ser usada para dosar o adubo?

Através deste questionamento, percebe-se que:

- a) a função adubar necessitará de no mínimo dois componentes essenciais devido ao movimento relativo existente entre *armazenar adubo* e *regular/dosar adubo*;
- b) as funções *desagregar solo*, *conter solo* e *incorporar adubo* tem em comum a função de *misturar algo dentro de um limite físico*, o que pode significar num único princípio de solução para as três soluções.
- c) se pode especular que as funções *cortar palha*, *desagregar solo* e *incorporar adubo* terão no mínimo um componente em comum, assim como *direcionar adubo* e *conter solo*.

5.3.3 - Avaliação do Desenvolvimento de Princípios de Solução

A *Matriz Morfológica* desenvolvida para o implemento é mostrada na figura 5.3. Observa-se que a mesma foi estruturada da forma tradicional, com princípios em diferentes graus de abstração e inclusão de novos parâmetros não identificados nas etapas anteriores de especificações de projeto e estrutura funcional, como o sistema estrutural e o de levantamento. Comprova-se ser então, uma matriz típica com as limitações apontadas na seção 2.2.3.

Naturalmente, o questionamento possível nesta etapa seria:

- a) que tipo de conexão é possível entre cada interface?
- b) é possível eliminar alguma interface?
- c) que conceitos ou princípios podem ser desenvolvidos a fim de diminuir ao máximo o número de componentes e ou interfaces?

- d) onde estão os melhores candidatos a se tornarem multifuncionais?
 e) qual é o índice de *DFA* nesta etapa?

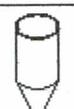
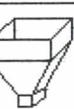
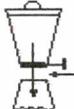
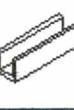
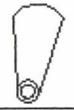
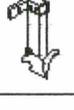
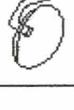
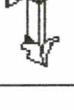
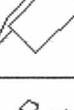
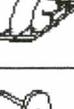
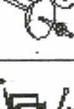
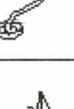
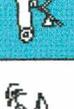
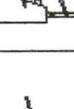
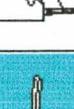
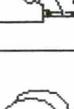
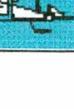
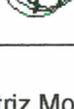
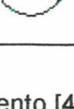
		Princípio de solução		1	2	3	4	5
		Sub-funções						
A	Sistema de adubação	1	Armazenar Adubo					
		2	Dosar Adubo					
		3	Direcionar Adubo					
B	Sistema Sulcador	1	Cortar Palma					
		2	Desagregar Solo					
		3	Incorporar Adubo					
		4	Cortar Solo				SEM PROTECAO	
C	Sistema Estrutural							
D	Sistema de Ajustamento do implemento							
E	Sistema de Levantamento							
F	Sistema de Suporte							

Figura 5.3 - Matriz Morfológica do Implemento [4].

Ao analisar a matriz pelo critério de peças funcionalmente essenciais e não essenciais como proposto no segundo capítulo, nota-se que dos nove princípios de

solução dois são classificados como não essenciais, a estrutura e o sistema de levantamento. A necessidade destes sistemas só pode ser justificada nesta etapa caso seja uma necessidade explícita do cliente externo, caso contrário, os componentes permanecem como não essenciais. Isso significa que o projeto conceitual do implemento pode ser considerado como bom, de acordo com o potencial de melhoria nesta fase calculado pela equação 3.12 que é de 22,22%. Para chegar neste resultado basta considerar cada princípio selecionado como um único componente (*nove no total, sendo sete essenciais*).

As questões expostas anteriormente identificam as enxadas rotativas como uma ótima escolha em eliminar interfaces como também auxiliam a especulação sobre o sistema estrutural e o sistema sulcador poderem ter um princípio de solução em comum. Tal seria o resultado do desenvolvimento dos princípios *B.4.1* e *C.1* convergindo para único princípio de solução multifuncional que integraria os conceitos envolvidos em ambos. Esta tese é sustentada reavaliando a matriz em conjunto com o provável diagrama de interfaces apresentado na figura 5.4. É possível questionar que uma configuração na qual cada componente essencial possua uma característica de encaixe (*por ex. como em um quebra-cabeças*), possa eliminar a estrutura. Ou seja, o sistema estrutural seria “incorporado” pelos demais componentes, simplificando o produto.

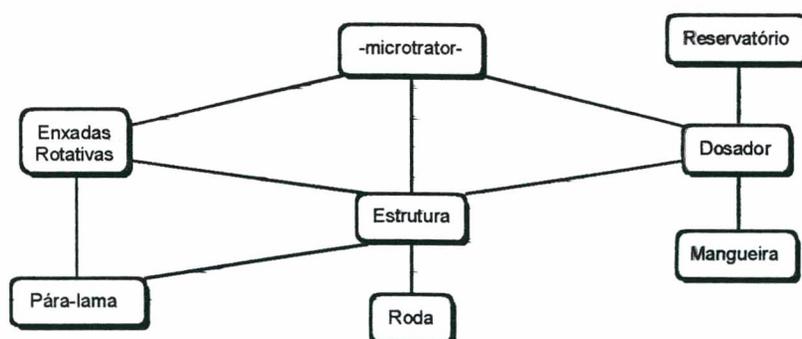


Figura 5.4 – Diagrama de interfaces gerado a partir da Matriz Morfológica e Estrutura Funcional.

O implemento é constituído então, de seis sistemas conforme demonstrado pela matriz morfológica da figura 5.3. Nesta, os princípios de solução em destaque são os que constituem a solução adotada para o implemento, que ao serem desenvolvidos foram estruturados de acordo com as figuras 5.5a e 5.5b. Todavia, o sistema de levantamento foi idealizado, mas não construído por falta de espaço físico dentro dos limites estruturais no microtrator [4]. Assim, considerar-se-á na

descrição funcional a seguir, o implemento constituído somente de cinco sistemas. Uma descrição física pormenorizada do implemento atual encontra-se no apêndice A cujo conteúdo é basicamente transcrito da referência [4].

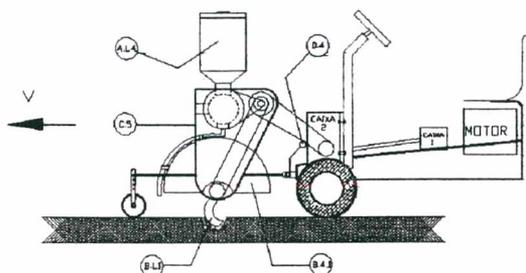


Figura 5.5a - Vista lateral esquerda do implemento [4].

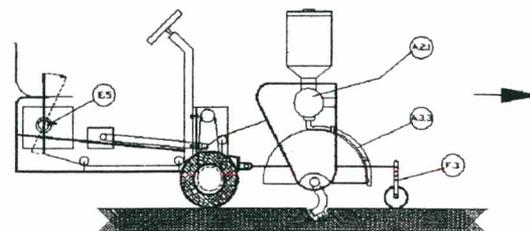


Figura 5.5b - Vista lateral direita do implemento [4].

Resumidamente, o implemento caracteriza-se por apresentar uma forma compacta e robusta, onde os componentes estão arranjados pelo auxílio da estrutura de perfil tubular, de modo a proporcionar uma operação segura durante o trabalho no campo. A estrutura é conectada ao microtrator enquanto a sustentação do implemento sobre o solo e o acompanhamento dos desníveis normais dos terrenos de plantio, é feita por uma roda de borracha conectada à parte frontal da estrutura.

A entrada de potência é efetivada através de um sistema de acionamento por correia e embreagem por polia tensionadora. O sistema contém um eixo intermediário, montado no sistema estrutural, cuja função é distribuir e transmitir potência às enxadas rotativas e ao rotor do dosador. Há ainda, uma proteção lateral externa envolvendo a correia da enxada rotativa como medida de segurança.

O adubo é armazenado em um reservatório de forma cúbica-tronco de pirâmide encaixado no bocal receptor do dosador de rotor canelado em cujo bocal de saída encontra-se uma mangueira flexível para o direcionamento da quantidade de adubo pretendida até o solo.

O corte da palha, a desagregação do solo e a incorporação do adubo, são realizados pelo emprego de um sistema de enxadas rotativas. Já a contenção do solo revolvido dentro do sulco é garantida por um sistema protetor tipo pára-lama envolvendo as mesmas enxadas rotativas.

A figura 5.6 apresenta o gráfico conceitual do implemento da forma que foi analisado, onde também estão representadas as interfaces do implemento com o microtrator.

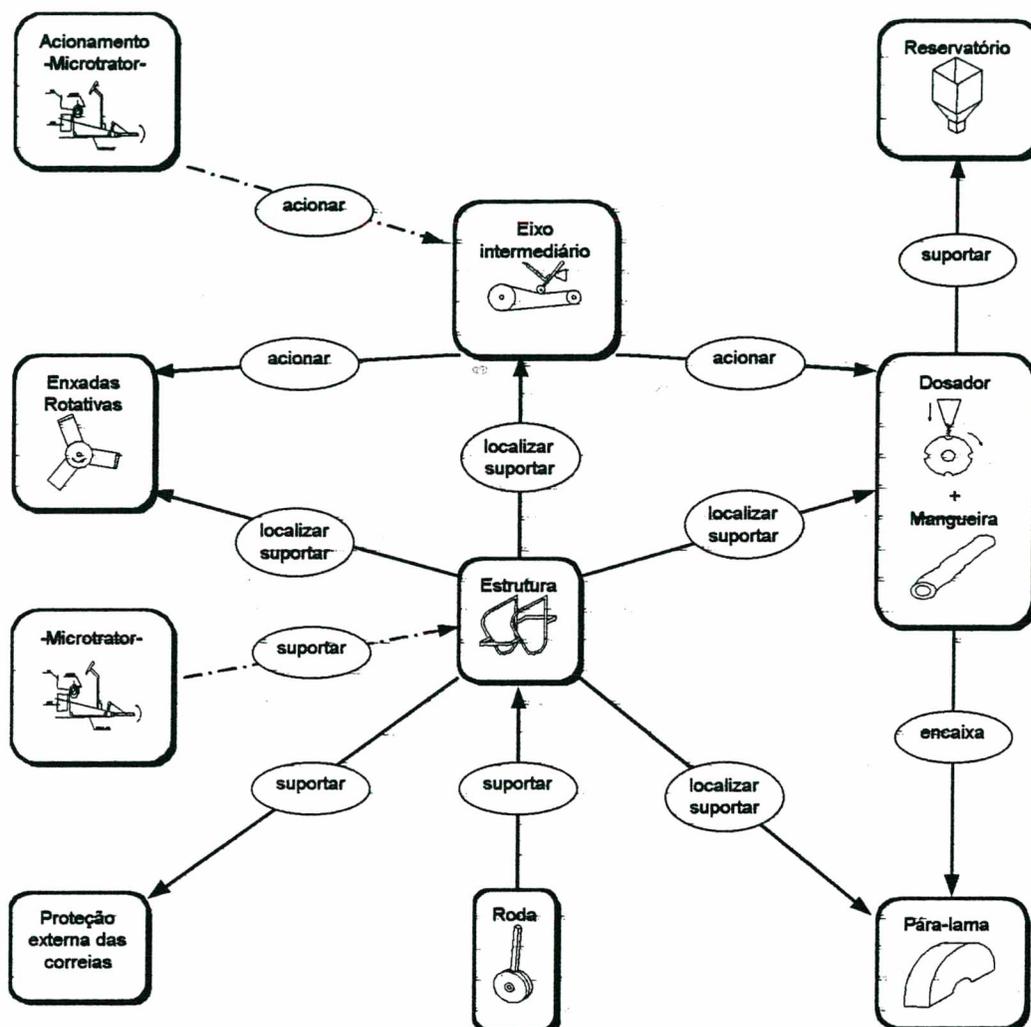


Figura 5.6 – Gráfico Conceitual do implemento de abertura e adubação de sulcos.

Analisando-se a descrição da solução adotada, comprova-se as suposições realizadas na avaliação da estrutura funcional. Nota-se que as funções “*desagregar solo*”, “*cortar palha*” e “*incorporar adubo*” apresentam mais de um componente em comum ao serem executadas pelo mesmo princípio de solução.

Infelizmente, não houve uma preocupação em criar novas matrizes que acompanhariam o progresso do projeto e que auxiliariam o desenvolvimento das interfaces entre os princípios de solução adotados. Tal falta de preocupação é um indício de que o projeto conceitual tido como bom corria o risco de tornar-se ruim sob o aspecto da montagem nas fases seguintes do processo de projeto, apresentando

interfaces incoerentes com os princípios do *DFA*. Isto será comprovado pelas avaliações apresentadas nas seções seguintes.

5.3.4 - Segundo a planilha de Ullman

Esta avaliação foi realizada sobre todas as informações disponíveis sobre o implemento. Ela apresenta-se ser subjetiva e qualitativa, mas baseia-se não só na observação crítica da montagem do produto tratando as dificuldades encontradas de forma genérica, mas também, na contabilização de todas as peças do produto identificando o mínimo número teórico de peças necessárias.

Como já dito no capítulo 3, o valor final dos pontos na planilha em si só não tem significado algum, serve tão somente como valor relativo de comparação entre os projetos alternativos do mesmo produto, ou de algum similar. No entanto, a planilha preenchida propicia informações importantes sobre o produto.

Pela planilha da figura 5.7, o produto apresenta uma boa seqüência de montagem, peças claramente assimétricas, relativamente fáceis de serem captadas e manipuladas e de ótima acessibilidade. Por outro lado, nota-se que a preocupação com a montabilidade do produto aparentemente ficou limitada a estes aspectos.

O *potencial de melhoria* PM_{Ullman} é muito elevado, como também é a quantidade de fixadores separados (*parafusos, arruelas, porcas, anéis e pinos*) em uso. Praticamente não há peças básicas com características de composição. A estrutura é o componente que mais se aproxima desse requisito, mas esta possui superfícies de conexão com a função de organizar (*estruturar*) a posição dos componentes e não características que facilitem a montagem em si.

Outros problemas identificados na avaliação são relativos à dificuldade de alinhamento, orientação, visão restrita da conexão e manter o posicionamento da peça em questão.

Em suma, o implemento apresenta condições de melhorar sensivelmente ao ser reprojeto para uma melhor montagem. Tanto que, dos 104 pontos possíveis, o implemento obteve 34 pontos; ou 33% de aproveitamento. Por um raciocínio análogo à compreensão do *potencial de melhoria*, isso pode ser interpretado como o

projeto do produto estar 67% aquém do ideal, e conseqüentemente, ser considerado um projeto pobre do ponto de vista da montagem.

DESIGN FOR ASSEMBLY		Avaliado por _____				Data: __/__/__
		Revisado por _____				Data: __/__/__
Análise de montagem individual para <u>implemento de abertura e adubação de sulcos</u>		Avaliação n.º: 01 02 03 04 05				
Montagem Global					Comentários	
1) Conta total de peças minimizadas (potencial de melhoria)	<input checked="" type="radio"/> pobre (>60%)	<input type="radio"/> razoável (40-60%)	<input type="radio"/> boa (20-40%)	<input type="radio"/> muito boa (11-20%)	<input type="radio"/> excelente (<10%)	PM = 79,49%
2) Mínimo uso de fixadores separados	<input checked="" type="radio"/> pobre	<input type="radio"/> razoável	<input type="radio"/> bom	<input type="radio"/> muito bom	<input type="radio"/> excelente	
3) Peça básica com características de instalação	<input checked="" type="radio"/> pobre	<input type="radio"/> razoável	<input type="radio"/> boa	<input type="radio"/> muito boa	<input type="radio"/> excelente	
4) Reposicionamento requerido durante a montagem	<input checked="" type="radio"/> dois ou mais		<input type="radio"/> um		<input type="radio"/> sem repos.	
5) Eficiência da seqüência de montagem	<input type="radio"/> pobre	<input type="radio"/> razoável	<input checked="" type="radio"/> boa	<input type="radio"/> muito boa	<input type="radio"/> excelente	
Captação das Peças						
6) Características que complicam a manipulação (flexibilidade excessiva, emaranhamento, etc.) foram evitadas	<input type="radio"/> nenhuma peça	<input type="radio"/> poucas peças	<input type="radio"/> algumas peças	<input checked="" type="radio"/> a maioria das peças	<input type="radio"/> todas as peças	
7) As peças foram projetadas para uma abordagem específica de alimentação (volume, linha, carregador)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Manipulação das peças						
8) Peças simétricas de ponta a ponta	<input type="radio"/> nenhuma peça	<input checked="" type="radio"/> poucas peças	<input type="radio"/> algumas peças	<input type="radio"/> a maioria das peças	<input type="radio"/> todas as peças	
9) Peças simétricas ao eixo de inserção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
10) Onde a simetria é impossível, as peças são claramente assimétricas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Combinação das Peças						
11) Movimentações retílineas de montagem	<input type="radio"/> nenhuma peça	<input type="radio"/> poucas peças	<input checked="" type="radio"/> algumas peças	<input type="radio"/> a maioria das peças	<input type="radio"/> todas as peças	
12) Chanfros e características que facilitam a inserção e o auto-alinhamento	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
13) Máxima acessibilidade às peças	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
NOTA: pontuação de avaliação a ser usada somente para comparar uma montagem a alternativas de projeto da mesma montagem.	<input type="radio"/> total x 8					0
	<input type="radio"/> total x 6					18
	<input type="radio"/> total x 4					12
	<input type="radio"/> total x 2					4
	<input type="radio"/> total x 0					0
total =						34

Figura 5.7 – Planilha de avaliação da montabilidade do implemento.

5.3.2 – Segundo Análise Funcional de Lucas

Esta análise, apesar de estar sendo apresentada em separado, foi realizada em paralelo às demais análises pela planilha de Ullman e pelos *softwares* LAsER e DFMA, pois, todos requereriam o conhecimento do número total de componentes do implemento e identificar quais peças seriam as funcionalmente essenciais.

Tabela 5.1 – Resultados da análise funcional do implemento pelo método de Lucas.

	Componente	Quantidade	Peça A	Peça B
1	parafusos	45	0	45
2	arruelas	33	0	33
3	porcas	25	0	25
4	anéis de fixação	5	0	5
5	chavetas	5	0	5
6	pinos	2	0	2
7	eixo da enxada rotativa	1	1	0
8	cubo da enxada rotativa	1	0	1
9	alojamentos internos dos mancais	2	2	0
10	mancais (enxada rotativa)	2	2	0
11	alojamentos externos dos mancais	2	2	0
12	roda dentada (enxada rotativa)	1	1	0
13	lâminas da enxada rotativa	4	4	0
14	pára-lama	1	1	0
15	presilhas	4	0	4
16	roda de borracha	1	1	0
17	eixo do eixo intermediário	1	1	0
18	mancais (eixo intermediário)	2	1	1
19	suporte dos mancais	1	1	0
20	tampas dos mancais	2	1	1
21	roda dentada (10d)	1	1	0
22	polia	1	1	0
23	roda dentada (12d)	1	1	0
24	correia eixo-enxada	1	1	0
25	correia eixo-dosador	1	1	0
26	correia eixo-acionamento	1	1	0
27	proteção externa da correia	1	1	0
28	corpo do dosador + mangueira	1	1	0
29	rotor do dosador	1	1	0
30	mancais (dosador)	2	2	0
31	alojamento direito	1	0	1
32	alojamento esquerdo	1	1	0
33	roda dentada (dosador)	1	1	0
34	reservatório de adubo	1	1	0
35	estrutura	1	0	1
	TOTAIS	156	32	124

Os resultados da avaliação dos estudos de caso segundo a análise funcional do método de Lucas estão apresentados discriminadamente na tabela 5.1. A análise mostrou-se ser rápida, simples e de baixa subjetividade.

Identificado o número de peças essenciais (*A*) e não essenciais (*B*), calculou-se a eficiência de projeto DE_{Lucas} pela equação 3.8 (pág. 76), que resultou no valor de 20,51% para o implemento. Tal valor, em si só, sugere o reprojeo do produto em questão, pois indica que aproximadamente só $\frac{1}{5}$ dos componentes do produto são necessários para atender à função total do implemento.

Salienta-se que esta avaliação também permitiu identificar que há um número de fixadores separados maior que o triplo de componentes tidos como essenciais. Em contrapartida, percebeu-se que dos componentes diretamente envolvidos com os princípios de solução (listados a partir da 7ª posição na tabela 5.1), e não suas interfaces, poucos foram os considerados como não essenciais. Um indício claro de que os princípios do *DFA* foram mais negligenciados no desenvolvimento das interfaces, isto é, na integração dos princípios de solução em ordem de se compor um produto como um todo.

5.3.3 – Segundo os softwares *LASeR* e *DFMA*

Nesta etapa avaliou-se o implemento através dos programas computacionais *LASeR* e *DFMA*, disponíveis respectivamente nas suas versões demonstrativa e completa. Nos apêndices B e C encontram-se os dados completos resultantes de ambas avaliações com os tempos de montagem encontrados para cada peça individual. No apêndice B, estão impressas as janelas da avaliação do *LASeR*, já que a versão demonstrativa do programa computacional não gera relatórios impressos. Enquanto no apêndice C, estão os principais relatórios gerados pela avaliação da montabilidade do implemento realizada pelo programa *DFMA* da *BDI*.

Na tabela 5.2 encontram-se os componentes do implemento listados em ordem decrescente de maior tempo de montagem de acordo com o observado durante a montagem na oficina e segundo as avaliações pelos programas computacionais utilizados. Nela, as submontagens estão listadas como um único componente cujo tempo de montagem é o tempo total equivalente à montagem da submontagem propriamente dita e à sua respectiva montagem na estrutura do implemento. Outra simplificação é a apresentação do tempo total de montagem das correias ao invés de discriminar os tempos de montagem de cada correia.

Tabela 5.2 – Lista dos componentes principais do implemento.

TEMPO de MONTAGEM do IMPLEMENTO por COMPONENTE			
ordem	Montagem na Oficina do <i>NeDIP</i>	Avaliação pelo <i>DFMA</i>	Avaliação pelo <i>LASer</i>
1º	enxadas rotativas [13 min]	enxadas rotativas [9,69 min]	enxadas rotativas [103 Td = 12,7 min]
2º	dosador + mangueira [10 min]	dosador + mangueira [7,48 min]	dosador + mangueira [75 Td = 9,2 min]
3º	eixo intermediário [9 min]	pára-lama [7,32 min]	pára-lama [55 Td = 6,76 min]
4º	pára-lama [8 min]	eixo intermediário [4,75 min]	eixo intermediário [51 Td = 6,27 min]
5º	roda de borracha [3 min]	roda de borracha [2,28 min]	roda de borracha [28 Td = 3,44 min]
6º	proteção ext. da correia [1 min]	proteção ext. da correia [1,58 min]	proteção ext. da correia [12 Td = 1,48 min]
7º	três correias [2 min]	três correias [1,11 min]	estrutura [3,6 Td = 26 s]
8º	estrutura [30 s]	estrutura [14 s]	três correias [5,4 Td = 40 s]
9º	reservatório de adubo [5 s]	reservatório [7,8 s]	reservatório [1 Td = 7,3 s]
total	46 minutos e 35 segundos	34 minutos e 34 segundos	380 Td (334 Td)

Nos dados apresentados na tabela 5.2, observa-se que a seqüência dos componentes de maiores tempos de montagem é aproximadamente a mesma nas três colunas; o que valida as avaliações realizadas quanto à identificação dos componentes de maior tempo de montagem. Em contrapartida, observa-se uma discrepância maior que a aceitável de 15%, nos valores dos tempos de montagem entre os medidos na oficina (*prática*) e os calculados pelos softwares (*teoria*). Isto deve-se a três fatores básicos considerados pelos programas computacionais, mas incompatíveis com o ambiente de oficina encontrado no *NeDIP/UFSC*:

- todas as peças e ferramentas estão organizadas e ordenadas em uma estação de trabalho dentro do alcance do operário;
- não contabiliza-se o tempo de troca de ferramentas durante a montagem;
- o operário sabe exatamente que peça e ferramentas vai necessitar a cada passo, sem precisar raciocinar sobre a montagem e tomar decisões sobre a mesma.

Em adição a esses fatores, há as particularidades da abordagem de cada programa. Por exemplo, o programa *DFMA* enfoca a dificuldade de inserir e manipular as peças, mas sem identificar o grau da dificuldade envolvida. Isto atrapalha em avaliar tarefas como a de inserir rolamentos no eixo com interferência sem o uso de prensas. Adicionalmente, durante o uso do programa notou-se que o peso, o maior comprimento e, em alguns casos, a forma do volume de envelope, da peça não influenciaram os tempos resultantes, só a espessura e a simetria. Já o *LASer* enfoca os movimentos de montagem e sua quantidade sem levar em conta a duração ou dificuldade de execução. Inclusive não identifica o grau de dificuldade

de composição ignorando o difícil alinhamento, a grande resistência à inserção, a necessidade de ajuda (*duas mãos ou ferramentas especiais*) extra na montagem.

Adicionalmente, somente as reorientações superiores a 180° ao eixo de inserção anterior foram contabilizadas na montagem devido à premissa de não considerar ser necessário um alto grau de detalhamento na avaliação.

Todos estes aspectos, sem dúvida, influenciam na discrepância dos resultados. No entanto, não invalidam os resultados obtidos nas avaliações. Tanto que, quando a influência destes fatores é mínima, os tempos teóricos aproximam-se bastante dos tempos obtidos na prática, como é o caso da montagem do pára-lama, da roda e do reservatório; podendo até superá-los tal como na montagem da proteção externa da correia eixo-enxada e do reservatório.

Quanto aos tempos obtidos para as submontagens, sua discrepância pode ser atribuída em parte à dificuldade encontrada em definir com exatidão a dificuldade de inserir os mancais nos respectivos eixos manualmente sem o auxílio de prensas.

Já na tabela 5.3 listam-se as dez peças de maior tempo de montagem de acordo com as avaliações realizadas pelos programas *LASer* e *DFMA*. Segundo estas avaliações essas seriam as peças mais difíceis de montar. Nesta tabela, é interessante notar que os cinco primeiros elementos são exatamente os mesmos o que, juntamente com o observado na tabela 5.2, comprova que independentemente da abordagem adotada, os métodos de avaliação apresentam resultados semelhantes quanto à montabilidade das peças do implemento.

Tabela 5.3 – Listagem das peças de maior tempo de montagem.

PEÇAS de MAIORES TEMPOS de MONTAGEM		
	Avaliação pelo <i>DFMA</i>	Avaliação pelo <i>LASer</i>
1º	fixadores separados	fixadores separados
2º	presilhas	presilhas
3º	lâminas	lâminas
4º	mancais	mancais
5º	pára-lama	pára-lama
6º	correias	estrutura
7º	roda de borracha	rotor do dosador
8º	rotor do dosador	corpo do dosador
9º	proteção ext. da correia	eixo (eixo intermediário)
10º	estrutura	polia. rodas dentadas (vários)

A única ressalva que se faz sobre a tabela 5.3 é sobre a posição dos mancais, cuja dificuldade de montar manualmente fosse expressa com exatidão, sua posição provavelmente seria a segunda da lista, senão a primeira.

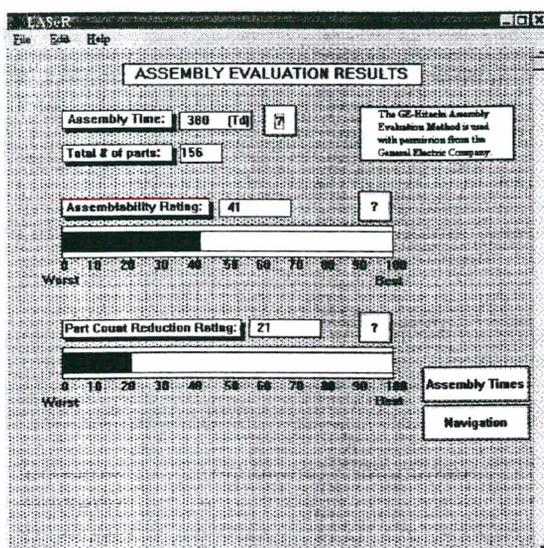


Figura 5.8 – Página principal da avaliação da montabilidade do implemento pelo LASer.

A figura 5.8 mostra a página de avaliação da montabilidade pelo LASer. Esta página é reproduzida no apêndice B juntamente com as páginas dos tempos de montagem individuais para todos os componentes. Analisando os dados disponíveis verifica-se uma discrepância de 13,8% entre o tempo total (380 Td) e a soma dos tempos parciais apresentados graficamente (aproximadamente 334 Td).

Para efeitos do cálculo do valor de Td, considera-se o valor de 380 como o correto. Isto leva, pela equação 4.1 (pág. 98) ao valor de 7,3 segundos para cada Td; considerando o tempo total de montagem sendo 46 minutos e 35 segundos.

A taxa de montagem encontrada é de 41 pontos. O que significa que 41% dos componentes são inseridos verticalmente e que 59% dos componentes necessitam de dois ou mais movimentos, ou mesmo de operações extras, para serem inseridos na montagem.

A taxa de redução de peças (PCRR) foi de 21%, significando que somente esse montante dos componentes é realmente necessário; os demais são todos candidatos à eliminação. Ou seja o potencial de melhoria é de 79%.

As figuras 5.9 e 5.10 apresentam os gráficos do programa DFMA com as ocorrências de montagem e respectivo tempo de montagem para o implemento dividido em grupos de peças necessárias, fixadores, conectores, outras peças não

essenciais, operações adicionais e reorientações. Através destes gráficos, se pode ter uma idéia clara de como o produto está estruturado e quanto cada grupo influi no tempo de montagem do implemento. Por exemplo, o grupo dos componentes essenciais corresponde a 18,4% das ocorrências e é responsável por 24% do tempo de montagem do implemento. Enquanto as reorientações e operações adicionais representam 16,3% das ocorrências, mas respondem por somente 7,2% do tempo de montagem.

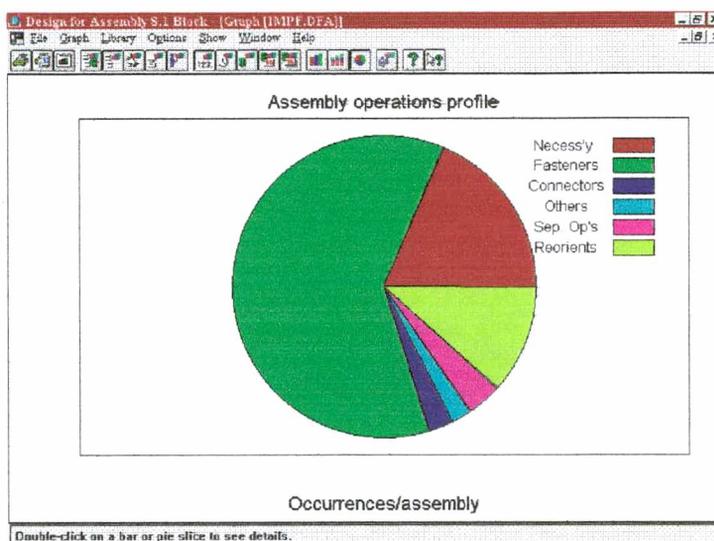


Figura 5.9 – Gráfico das ocorrências de montagem no implemento gerado pelo DFMA.

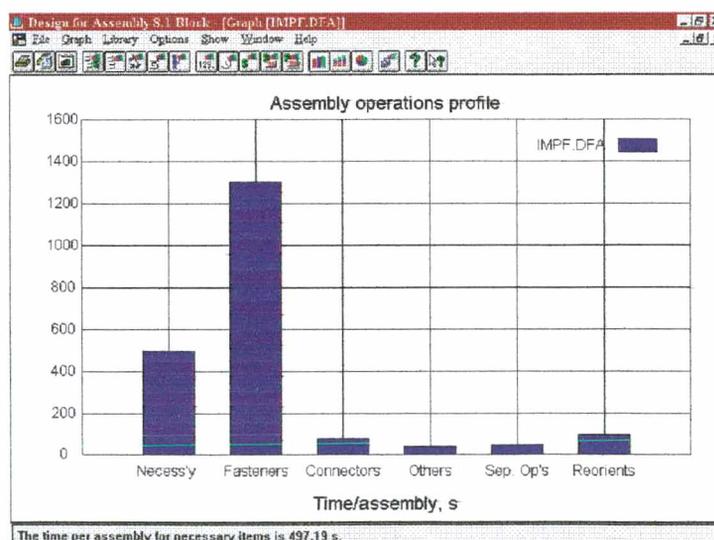


Figura 5.10 – Gráfico dos tempos de montagem do implemento gerado pelo DFMA.

A impressão que se tem sobre o índice de *DFA* fornecido pelo programa *DFMA* é esse ser totalmente “*solto*”, isto é, seu valor absoluto pouco significa, não havendo nem uma idéia interpretativa como a planilha de Ullman. Tanto que na referência [14] os autores citam que um índice de *DFA* de 18% é “*respeitavelmente razoável*” para um produto de complexidade semelhante a de um controlador de pressão. Entretanto, pode-se afirmar que o índice de *DFA* DE_{BD} — que para o implemento é de 4,78 — indica a porcentagem do tempo mínimo teoricamente necessário para montar o produto sobre o tempo total da montagem atual caso este fosse perfeitamente projetado conforme toda a metodologia do *DFA*, existindo somente as peças essenciais e que todas estas fossem inseridas verticalmente no produto. Ou seja, o valor complementar do índice DE_{BD} — que no caso do implemento é 95,22 — indica a porcentagem do tempo de montagem gasto em reorientações, movimentos e ou operações adicionais, em peças não essenciais, e ou em outras dificuldades que aumentam o tempo necessário para a montagem do produto.

Confrontando os valores do tempo mínimo teoricamente necessário de 4,78% e o tempo atual calculado para a montagem das peças essenciais de 24%, percebe-se que os próprios componentes tidos como essenciais necessitam ser reprojeto para melhorar a sua montabilidade.

Sobre as sugestões de reprojeto, cujos relatórios completos para o implemento encontram-se no apêndice C, os componentes que recebem o maior número de sugestões, fora os fixadores separados, são a estrutura, o pára-lama com suas presilhas e a submontagem das enxadas rotativas.

5.4 – Sugestão de reprojeto e respectiva avaliação

Como foi constatado nas avaliações realizadas sobre o implemento, decidiu-se expor aqui uma sugestão de reprojeto para o pára-lama que substituísse a estrutura tubular. A intenção é apresentar um exemplo de solução simples que melhore a montabilidade do produto em questão.

A forma pela qual o implemento foi avaliado, desconsiderando as montagens das peças soldadas, não exprime corretamente o elemento de maior dificuldade de

produção e de menor importância para o implemento, que é a estrutura tubular. Esta, possui uma série de inconvenientes. A começar pela dobragem dos tubos, cuja tarefa requer um equipamento apropriado; e a furação das chapas de suporte dos eixos, que necessitam serem mandriladas, um processo lento e caro. Mas isto são mais problemas de manufatura do que de montagem. Sobre a montagem propriamente dita, a estrutura no seu todo necessita de treze operações de soldagem. Isto não seria relevante, se não fosse a necessidade de gabaritos de montagem específicos para cada operação. Felizmente, pela semelhança existente entre algumas operações, o número total de gabaritos não ultrapassa de seis, mesmo assim, é um número relativamente alto (*analisando criticamente, pode-se dizer que o mínimo necessário são dois ou três gabaritos*). No entanto, todo esse trabalho pode ser evitado, pois, como já dito, a estrutura pode facilmente ser eliminada. Basta incorporar suas características mais importantes, as chamadas superfícies de conexão, ao pára-lama manufacturando-o com chapas de espessura maior.

O aumento da espessura do pára-lama se justifica, inclusive, para substituir quatro chapas e oito porcas soldadas internamente. Estas chapas e porcas existem com a finalidade de permitir o emprego de parafusos na fixação do pára-lama na estrutura.

Nas figuras 5.11a e 5.11b, estão representadas a estrutura tubular atual e o pára-lama atual, que fixa-se no centro interno da estrutura através de quatro presilhas e dezesseis parafusos.

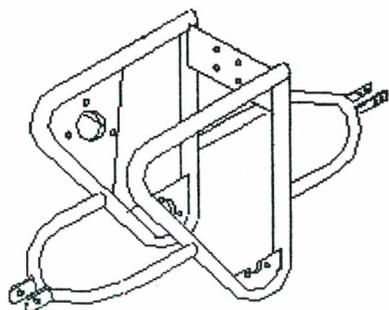


Figura 5.11a – Estrutura tubular atual.

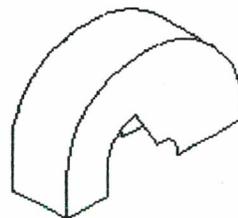


Figura 5.11b – Pára-lama atual.

Já a figura 5.12 apresenta um reprojeto simples do pára-lama como sugerido em ordem de substituir a estrutura tubular atual do implemento. Este reprojeto consistiria em aumentar a espessura das chapas de 1 mm para 6 mm — equivalente

à espessura das chapas soldadas na estrutura tubular atual — incorporando as mesmas superfícies de conexão necessárias para a montagem dos demais componentes do implemento.

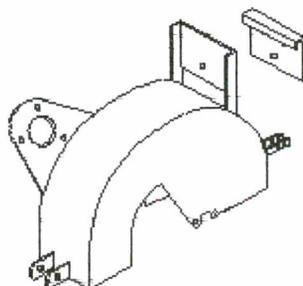


Figura 5.12 – Pára-lama reprojeto para substituir a estrutura.

Para efeitos de análise dos ganhos obtidos com o reprojeto, realizou-se a avaliação da montabilidade da submontagem atual do pára-lama e estrutura tubular, e do respectivo reprojeto empregando o programa computacional *DFMA* da *BDI*. Os principais relatórios gerados pelo *software* para ambas avaliações encontram-se no apêndice D. Entretanto, apresentam-se nas figuras 5.13 e 5.14 os gráficos comparativos dos resultados obtidos em ambas avaliações gerados pelo mesmo programa computacional. Tanto nos gráficos quanto nos relatórios, a submontagem atual do pára-lama com a estrutura tubular (figs. 5.11a e 5.11b) é identificada pela denominação “*SUBPALA1B*”; enquanto o pára-lama reprojeto (fig. 5.12) é identificado pela denominação “*SUBPALA2B*”.

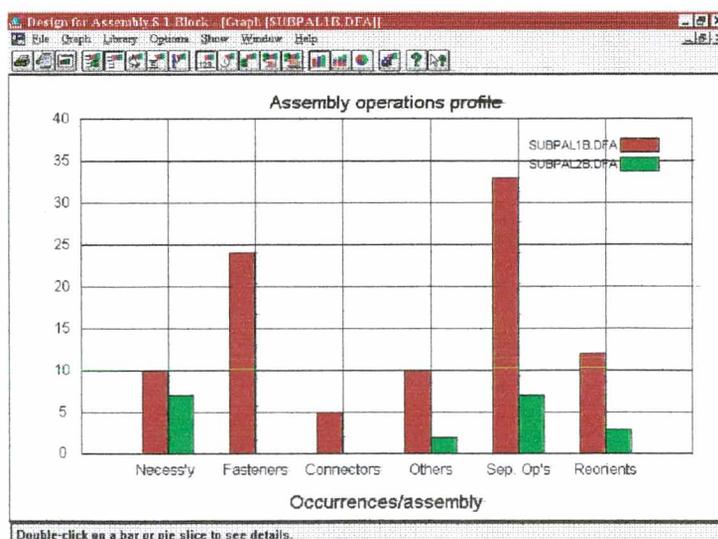


Figura 5.13 – Gráfico comparativo das ocorrências de montagem entre projeto atual e reprojeto.

Na figura 5.13, o gráfico apresenta a quantidade de peças necessárias, fixadores, conectores, peças não essenciais, operações adicionais e reorientações que ocorrem em cada submontagem avaliada (*projeto atual e reprojeto*). Já a figura 5.14, o gráfico apresenta o tempo de montagem dedicado a cada grupo (*peças necessárias, fixadores, etc.*) nos mesmos casos.

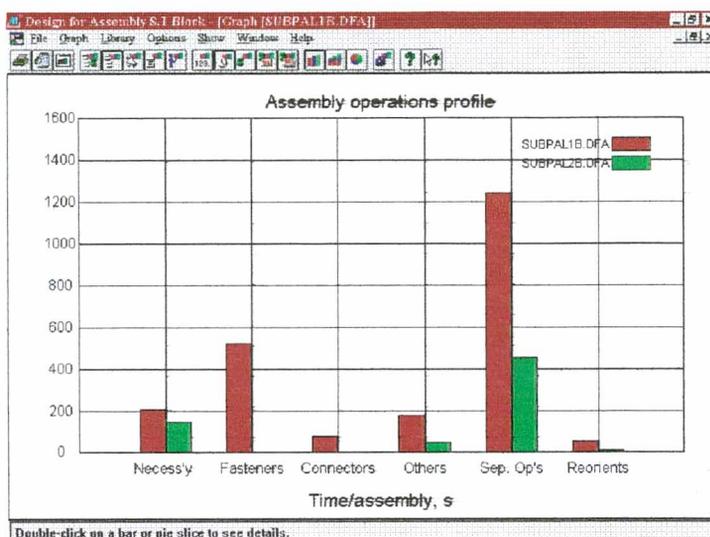


Figura 5.14 – Gráfico comparativo dos tempos de montagem entre projeto atual e reprojeto.

Uma comparação sucinta das melhorias alcançadas com o reprojeto do pára-lama, como sugerido, é mostrada na tabela 5.4. Destaca-se que a simples modificação do pára-lama como sugerido é suficiente para transformar o projeto atual desta submontagem de “pobre” em “muito bom” segundo o critério de Ullman [65].

Tabela 5.4 – Quadro comparativo entre o projeto atual e o reprojeto.

	projeto atual	reprojeto	melhoria
número de peças	47	8	-83%
número de operações	33	7	-78%
número de reorientações	12	3	-75%
número de peças essenciais	9	7	-22%
tempo total de montagem	2287s	995s	-50%
índice de DFA (eq. 3.6)	1,17	2,07	+77%
Potencial de Melhoria (eq. 3.12)	80,8%	12,5%	-84%
classificação segundo Ullman	pobre	muito bom	---

Uma melhoria significativa é a redução do número de peças em 83%, que é inclusive a única acima do valor do potencial de melhoria do projeto atual, 80,8%.

Todas as demais porcentagens das melhorias alcançadas estão abaixo desse valor. Isto significa que o reprojeto do pára-lama pode ser mais ousado do que o sugerido em ordem de aumentar a montabilidade.

Raramente o número de peças essenciais não é modificado no reprojeto de produtos. Neste caso avaliado, explica-se a diferença encontrada por se ter considerado as placas da estrutura, com superfícies de conexão para os demais componentes, como peças essenciais. Como estas superfícies foram integradas às chapas laterais do pára-lama, o seu número foi reduzido de três para duas. Existindo duas chapas laterais no pára-lama, a cobertura deixou de ser essencial, pois entende-se que uma configuração das duas chapas seja suficiente para atender a função de conter o solo.

É interessante perceber que, apesar dos ganhos no reprojeto do pára-lama estarem acima de 70%, a influência destes no implemento como um todo é de apenas 4% no *Potencial de Melhoria* do implemento (ver tabela 5.5) devido à consideração de tratar as submontagens de elementos soldados como uma única peça. Desta forma, as peças eliminadas da estrutura do implemento como analisado anteriormente, foram a estrutura, os dezesseis parafusos M4 e as quatro presilhas (total de 21 peças).

Quanto à chapa de encaixe do dosador, esta pode ser reprojeta conforme o mostrado no canto superior direito da figura 5.12. Acrescenta-se uma característica de encaixe a fim de eliminar o excesso de fixadores separados existentes, mantendo somente um trio parafuso-arruela-porca. Desta forma, eliminam-se sete porcas, quinze arruelas e três parafusos (25 peças no total).

Tabela 5.5 – Influência das sugestões de reprojeto no PM_{Ullman} do Implemento.

IMPLEMENTO	atualmente	pára-lama reprojeto	pára-lama e chapa-dosador reprojeto
total de peças	156	135	110
n.º de peças essenciais	32	32	32
Potencial de Melhoria	79,5%	76,3%	70,9%

Mesmo com as duas sugestões de reprojeto, o potencial de melhoria, PM_{Ullman} , do implemento continua acima dos 60%, classificando-o como um projeto pobre. Isto comprova que o implemento necessita ser todo reprojeto, mais seriamente. Isto é, as modificações apresentadas não são suficientes para terem

um impacto significativo na melhoria da montabilidade do implemento uma vez que não soluciona os maiores problemas do mesmo. Estes problemas, como identificados nas avaliações realizadas, concentram-se nas interfaces como, por exemplo, o grande número de fixadores separados, a dificuldade de alinhamento e o posicionamento da peça em questão.

5.5 - Comentários

Apesar do projeto do implemento avaliado ser ruim do ponto de vista da montagem, deve-se lembrar que em momento algum questiona-se o desempenho funcional do protótipo ou dos conceitos e princípios desenvolvidos. O sucesso da performance do implemento é constatado em testes de campo, como documentado na referência [4].

Tanto que, o estudo de caso realizado sobre o protótipo para abertura e adubação de sulcos comprova ser este um exemplo clássico de como um bom projeto conceitual pode se desenvolver em um protótipo de má produtividade. Tradicionalmente, os projetistas se preocupam demasiadamente com a função e forma dos componentes sem considerar como estes serão unidos em ordem de compor um produto como um todo. Desta forma, as interfaces do produto acabam sendo relegadas a um segundo plano acarretando em um número excessivo de fixadores separados, reorientações desnecessárias e operações extras.

Infelizmente, este caso não é único. Os protótipos até então desenvolvidos pelo *NeDIP/UFSC* caracterizam-se mais pelo desenvolvimento de conceitos e princípios de solução, do que pela preocupação com a manufatura e montagem destes. Tal comportamento, deve-se a três fatores principais:

- i) o aproveitamento de sobras de material, de componentes ou partes destes de outros implementos anteriormente desenvolvidos;
- ii) serem modelos físicos, protótipos, de uma instituição acadêmica cujas oficinas dos laboratórios não são mini-fábricas nem células de manufatura flexíveis;
- iii) a dificuldade de se angariar fundos financeiros para melhores desenvolvimentos.

Outro aspecto constatado foi a cultura existente de ao projetar um produto complexo, pensar-se muito em uma estrutura para unir os diferentes componentes, numa forma de chassis. Apesar de ser um pensamento louvável de acordo com um princípio de *DFA (utilizar componente base)*, a não crítica deste pode acarretar no que houve neste implemento: a criação de um elemento estrutural não necessário que dificulta a montagem de outros componentes.

Outras dificuldades além das já citadas, mas que também influenciam a montabilidade do implemento são:

1. a seqüência de montagem cujo ponto fraco é manter um excesso de reorientações, especialmente menores de 180° ;
2. peculiaridades de um protótipo único, por ex., chavetas idênticas no papel não são tão idênticas;
3. implemento construído a partir de aproveitamento de material, como por exemplo o dosador.

Avaliar um protótipo existente desde a etapa de especificações de projeto não faz muito sentido a não ser que se pretenda identificar onde o negligenciamento do *DFA* começou. Já avaliar a Matriz Morfológica com base na *Estrutura de Funções* com o intuito de identificar os princípios essenciais e não essenciais, mostrou-se ser extremamente útil na identificação de componentes não essenciais e na compreensão de como se pode simplificar a estrutura de um produto.

Com as avaliações realizadas, comprovou-se que a planilha proposta por Ullman é um método rápido e simples de ser aplicado, em contrapartida ao fato de sua avaliação ser superficial, subjetiva e não apontar os componentes de maiores problemas de montabilidade.

Salienta-se que os resultados da análise funcional pelo método de Lucas foram idênticos aos obtidos pelo critério do número teórico mínimo do método de Boothroyd-Dewhurst, utilizado nas demais avaliações (*planilha e softwares*). Esta "repetição" de resultados já era esperada devido o método de Lucas ser originário do método de Boothroyd-Dewhurst, como dito no terceiro capítulo. No entanto, realizar a análise funcional segundo os dois critérios comprovou que pelo método de Lucas foi mais fácil definir que partes do produto eram essenciais ou não. Ou seja, a subjetividade da análise foi menor pelo método de Lucas do que pelo método de Boothroyd-Dewhurst.

Comparando os programas computacionais de avaliação da montabilidade *LASeR* e *DFMA*, percebe-se que ambos dependem de respostas corretas às questões por parte do usuário. Ao usuário é necessário ainda, treinamento sobre os *softwares* e, principalmente, sobre a metodologia do *DFA*. Tal se faz necessário para capacitar o usuário a realizar considerações para sobrepujar as limitações impostas pelos programas, diminuindo a subjetividade, já que não há mecanismos de captura de novas regras.

Como pode ser certificado nos relatórios apresentados no apêndice C, é possível afirmar que a grande vantagem do programa *DFMA* é o poder de identificar as partes que contribuem para o aumento do tempo de montagem com sugestões de reprojeto estimando quanto tempo pode ser economizado se houver o reprojeto. Por outro lado, as próprias sugestões e seus exemplos nada mais são do que lembretes dos princípios da metodologia de *DFA*, e são tão genéricos que pouco podem ser úteis à equipe de projeto em determinadas situações. Nas sugestões, listam-se os princípios e as peças que infringem cada princípio; mas não se lista quais peças infringem o maior número de princípios. Esta informação tem de ser feita pelo próprio usuário cruzando os dados contidos nos diversos relatórios, o que significa uma perda de tempo em uma atividade que poderia já ser realizada pelo próprio programa.

Outra vantagem encontrada no programa *DFMA* da *BDI* foi a de permitir a comparação entre diferentes projetos através do mesmo gráfico. Apesar do *LASeR* não apresentar relatórios com sugestões de reprojeto, suas maiores vantagens foram o diagrama de interfaces e a visualização gráfica em separado dos resultados de componentes e fixadores.

Quanto às desvantagens, os recursos de edição dos relatórios impressos do *software DFMA* são limitados a omitir ou não certos dados e a modificar a fonte da letra (*tipo e tamanho*). Os relatórios não podem ser editados por um editor de texto, pois perdem a formatação quando transformado em arquivo texto *ASCII*. Adicionalmente, os custos de montagem apresentados são meras conversões dos tempos de montagem multiplicados pelo fator custo por hora da mão de obra e uso de equipamentos.

Já as desvantagens do *LASeR* ficam por conta da grande subjetividade envolvida, da não avaliação da manipulação e dificuldades de inserção. Só os movimentos de inserção e alguns processos de composição são considerados, não

há símbolos suficientes para descrever o produto e não contabiliza as reorientações entre as tarefas de composição dos componentes apropriadamente.

Além disso, a interface do *LASeR* com o usuário é péssima. Quando uma conexão ou componente é apagado da página de edição do produto, a numeração prossegue como se o dado ainda existisse. Apresentou ainda, limite de espaço na descrição do produto tendo um número limitado de componentes, operações e conexões por página de edição.

Uma observação realizada através da comparação dos tempos obtidos pelo programa *DFMA* e na oficina demonstra que há a necessidade de customização das bibliotecas de operações, tempos e custos. Tanto que como estes fatores não estavam devidamente customizados, os resultados de custos foram omitidos neste estudo de caso.

Com a sugestão de reprojeto, procurou-se mostrar que simples soluções podem ter um impacto significativo na melhoria da montabilidade, como também, comprovar que para melhorar significativamente a montabilidade do protótipo avaliado, é necessário reprojeter todas as interfaces existentes, especialmente as submontagens.

Conclusões e Recomendações

6.1 – Introdução

Nesta dissertação ratificou-se que a importância do *DFA*, ou de qualquer metodologia *DFX*, no projeto conceitual, deve-se ao fato de que as decisões tomadas nesta fase são responsáveis pela determinação de aspectos relacionados ao desempenho e à competitividade do produto, como à qualidade e à atratividade econômica, por todo o seu ciclo de vida.

Buscou-se registrar o estudo realizado sobre a adequação dos métodos atuais de *DFA* e a obtenção de recomendações para o emprego mais apropriado da metodologia durante todas as fases do processo de projeto. O objetivo geral foi gerar um conjunto de informações confiáveis e úteis a todos os envolvidos na tarefa de planejamento e desenvolvimento de produtos. Assim, procurou-se reunir o conhecimento mínimo necessário para que o leitor, ao final da dissertação, estivesse apto a participar ativamente de uma discussão a respeito da metodologia de projeto para montagem. Neste sentido, cada capítulo possui uma contribuição própria, que leva à comprovação do *DFA*, somado ao *DFM*, não ser só uma questão de técnicas para analisar as peças individuais do produto, mas também uma questão de estratégia, filosofia e manipulação prática do produto.

De fato, o *DFA* procura racionalizar a estrutura do produto, buscando o grau máximo de qualidade e simplificação. Esta racionalização permite inclusive uma melhor racionalização operacional das empresas, aumentando também a produtividade. Como visto, o *DFA* presta-se a esta tarefa com eficiência, através da sua filosofia de examinar o projeto pelo processo de criticar os métodos e as

soluções adotadas, através de informações obtidas pela ferramenta de ponderar as características de montagem do produto.

Assim, neste capítulo final apresentam-se uma síntese das conclusões comprovadas ao longo do estudo, uma breve discussão sobre o panorama atual e algumas perspectivas futuras, contribuindo com sugestões para trabalhos futuros.

6.2 – Conclusões

O primeiro capítulo enfocou a filosofia do *DFA*, contribuindo com a forma pela qual foi apresentado o relacionamento e a definição da filosofia, do processo e da ferramenta de *DFA*; sua diferenciação perante as demais metodologias *DFX*; e seus princípios explicados sucintamente.

Neste primeiro capítulo percebeu-se que alguns princípios das diversas metodologias de projeto *DFX* são semelhantes aos do projeto para montagem. Tanto que, outros aspectos também se aprimoram com a montabilidade, mas isto não descaracteriza qualquer metodologia. Ao contrário, comprova a importância e eficácia do *DFA*, já que é a única metodologia que busca a racionalização da estrutura do produto, mas que necessita ser complementada em ordem de se otimizar o produto. Aliás, ao projetar ou reprojeter produtos industriais, vários fatores devem ser considerados, tais como função, estilo, qualidade, fabricação, custos, mercado consumidor, meio ambiente, etc.. Por isso, a fim de manter o fluxo de idéias organizado para agilizar o processo de planejamento e desenvolvimento, o *DFA* deve ser empregado junto ao *DFM* para alcançar a otimização da produtividade do produto, e junto ao *DFS* e *DFR/D* para complementar o ciclo de vida do produto.

Através do estudo do *DFA*, comprovou-se que seus princípios estão relacionados à minimização do custo da montagem enfatizando a simplificação do produto e projeto, a seqüência de montagem e as restrições humanas e mecânicas impostas pela necessidade de atender encaixe, forma e função da montagem.

O segundo capítulo enfocou o processo de *DFA* contribuindo na forma pela qual foi abordado a aplicação dos princípios do projeto para montagem nas técnicas de *QFD*, *Função Síntese* e *Matriz Morfológica*. Demonstrou-se que o *DFA* pode ser

utilizado por todo o processo de projeto, o que requer vários níveis de abstração, indo da informação funcional até a geometria detalhada.

Ao longo do estudo foi visto que todos os métodos de avaliação encontram-se entre o projeto preliminar e o detalhado, provocando um retorno iterativo para o projeto conceitual. A preocupação do trabalho foi, então, a de propor diretrizes capazes de diminuir ao máximo a necessidade deste retorno ao trazer a avaliação do produto segundo os princípios de *DFA* o mais próximo do início do processo de projeto. Espera-se com isso, que o ganho de tempo e custos de desenvolvimento sejam ainda menores aos praticados.

Destaca-se o fato de que vários estudiosos têm-se preocupado com as deficiências do modelamento funcional somente pela *Estrutura de Funções* e citado a importância do uso de um *Diagrama de Interfaces* ou *Mapa de Conexões* para definir o leiaute e forma do produto para avaliação antes do projeto preliminar, levando-se em conta a seqüência de montagem, tolerância de fabricação, espaço disponível, etc. Comprovou-se que, apesar destes estudiosos terem amplo conhecimento das técnicas de *DFA* ou *DFX*, eles não citam em momento algum, a relevância do uso dos diagramas e mapas junto às técnicas de *DFX*, ou vice-versa. Assim, explorou-se em como usufruir da melhor maneira possível a metodologia de *DFA*, e diminuir os custos com reprojatos de protótipos, aconselhando o uso de modelos funcionais que facilitem não só a busca por princípios de solução, como também, a transferência de informações relevantes a diferentes níveis de abstração conforme o requerido no projeto conceitual.

Estas informações sobre a funcionalidade do produto e os requisitos de manufatura e montagem, são importantes para avaliar a estrutura do produto a fim de simplificá-la convenientemente. Pois, pode-se dizer que, na intenção de simplificar um produto a análise de sua estrutura física possui uma fronteira que limita a sua simplificação. Para sobrepor esta barreira, é necessária a avaliação da estrutura funcional do produto. Ou seja, a análise funcional do produto é muito mais promissora do que a física. No entanto, convém lembrar que ambas são complementares entre si.

O terceiro capítulo, juntamente com o quarto enfocou a ferramenta de *DFA*. Apresentando uma discussão sucinta sobre os principais métodos e *softwares* atualmente desenvolvidos para avaliação da montabilidade de produtos. Afirma-se então, que estes capítulos se destacam em ser de grande valia para os profissionais

responsáveis pela seleção e aquisição de novas ferramentas de projeto a serem empregadas nas empresas.

Comprovou-se que a idéia por trás da maioria dos métodos de avaliação da montabilidade é considerar como cada peça será inserida no produto e mensurar a dificuldade do processo de montagem. A abordagem do problema pelos métodos de *DFA* é muito sistemática, focaliza o sistema produtivo e procura tratar a complexidade do problema através de considerações simples se atendo a métricas fáceis de serem quantificadas, tornando-a quase independente das capacidades do usuário. Isso torna os métodos fáceis de serem compreendidos e assimilados, gerando confiança da equipe na ferramenta em uso; mas não elimina totalmente os julgamentos subjetivos da análise do projeto.

Todos os métodos de avaliação da montabilidade foram criados e desenvolvidos na década de 80, notando-se o *AEM* da *Hitachi* e o *DFMA* de *Boothroyd-Dewhurst* como os métodos pioneiros, e os demais, praticamente, como variantes destes. Já nesta década de 90, percebe-se um grande número de propostas de implantações computacionais de tais métodos. Estas, têm-se caracterizado por serem combinações dos vários métodos conhecidos, com modificações tão somente direcionadas pelas vantagens e limitações das interfaces dos recursos computacionais disponíveis e empregados. No entanto, numa correspondência particular, Boothroyd diz acreditar que *“métodos de estimativa de custos iniciais para a manufatura de peças individuais é a área que necessita da maior atenção. Sendo estes de pouca utilidade se eles são substancialmente baseados em dados históricos. Eles necessitam ser independentes do que aconteceu antes e precisam providenciar uma estimativa imparcial do custo de manufatura da peça e do custo do ferramental necessário.”*

Isto deve-se ao fato do *DFA*, *DFM* e *DtC* serem pré-requisitos para a engenharia simultânea e usam praticamente a mesma base de dados, cujo acesso deve-se dar somente uma vez. Trabalhando em conjunto, o *DFA* otimiza o desempenho do produto; enquanto o *DFM* otimiza a forma do componente individual, e o *DtC* monitora e controla efetivamente o custo total do produto. Além disso, toda metodologia *DFX* trabalha com dados provenientes das análises de manufatura, montagem e ou custos. Aliás, diversas metodologias de projeto utilizam os dados de custos como parâmetros de otimização do produto. Infelizmente, estimativas confiáveis de custo, as quais podem afetar as decisões de projeto,

raramente são disponíveis até que o detalhamento dos componentes tenha sido efetuado e os planos de processamento preparados.

Quanto aos programas computacionais, comprovou-se que além da abordagem sistemática que auxilia a visualização de melhorias potenciais, as apresentações em dados numéricos evidenciando o critério de cálculo são de grande assistência em otimizar a solução. Tanto que o *DFA* é uma metodologia de sucesso principalmente devido ao emprego de seus métodos de avaliação em ambientes computacionais. Se não fossem as versões computacionais dos métodos de avaliação da montabilidade, provavelmente o *DFA* seria mais uma metodologia desenvolvida e não empregada pela indústria.. Em contrapartida, os programas atuais ainda se concentram em atividades fáceis de serem calculadas, e apresentam um certo grau de subjetividade.

Neste estudo foi visto que, as análises de *DFA* auxiliadas por computador não são capazes de realizar sugestões criativas para melhorar a montabilidade. Em adição, comprovou-se que todas as tarefas não relacionadas diretamente à montagem do produto; como empacotamento, armazenamento ou transporte são ignoradas. Restrições resultantes dos requisitos de segurança, qualidade, manutenção e possibilidades para reciclagem também são desconhecidas e ignoradas pelo sistema computacional. A aplicação da análise de *DFA* direciona a uma abordagem sistemática que auxilia a visualização de melhorias potenciais. Isto significa que, por melhor que sejam os *softwares*, o projetista terá de priorizar as áreas para reprojeto.

Os métodos atuais, ainda que bem difundidos, estão estruturados de forma pouco satisfatória na visão dos usuários. Os métodos e suas versões computacionais direcionam a equipe de projeto a refazer vários passos do processo de projeto a fim de chegar ao projeto ideal. A equipe anseia por programas que os auxiliem desde o projeto conceitual a fim de que não tenham de voltar às etapas iniciais e refazer todo o produto a final de uma avaliação que só é realizada no projeto preliminar.

Dentre os programas computacionais de *DFA* desenvolvidos e disponíveis para comercialização, todos utilizam-se do conhecimento adquirido com o desenvolvimento de todos os métodos. A diferença fica pela forma que o problema de projeto é tratado. O software *DFMA* atém-se a ferramentas *DFX* apresentando análises mais específicas e rigorosas sobre os custos de manufatura. O *TeamSET*

procura conciliar ferramentas diversas como o *QFD*, *FMEA* e *DFX*, abrangendo melhor o processo de projeto, mas sem apresentar uma análise tão rigorosa de *DFM* quanto o concorrente *DFMA*. Já o *CONSENS* mostra-se ser mais abrangente ao apresentar também ferramentas de apoio gerencial ao projeto e a metodologia de projeto das instalações produtivas. No entanto, esquece-se o resto do ciclo-de-vida do produto que existe após a venda no mercado consumidor. A escolha de qual deve ser empregado depende somente dos objetivos e necessidades da empresa interessada.

O quinto capítulo mostrou como o emprego da metodologia de *DFA* pode ser benéfica ao identificar onde encontram-se as deficiências do projeto do ponto de vista da montagem. Além de comprovar que são justamente nos casos de projeto de produtos simples e de baixa demanda, que as metodologias de projeto são mais negligenciadas. Tanto que, o estudo de caso realizado sobre o implemento agrícola comprovou ser este um exemplo de como um bom projeto conceitual pode se desenvolver em um protótipo de má produtividade.

Aliás, por se tratarem de protótipos únicos e acadêmicos, os projetos do NeDIP/UFSC, até o momento, se destacam mais pelo desenvolvimento de conceitos e princípios de solução, do que pela manufaturabilidade e ou montabilidade. Não raramente, os implementos desenvolvidos apresentam um número excessivo de fixadores separados, reorientações desnecessárias e operações extras. Essas características apresentadas fazem com que o sucesso da performance dos implementos seja sempre constatado em testes de campo, enquanto o comercial seja extremamente raro.

A sugestão de reprojetar o pára-lama e a reavaliação do implemento serviu para comprovar que para melhorar significativamente a montabilidade do protótipo avaliado, é necessário reprojetar todas as interfaces existentes, especialmente as submontagens.

Por outro lado, avaliar um protótipo existente desde a etapa de especificações de projeto serviu para identificar onde o negligenciamento do *DFA* começou. Enquanto avaliar a *Matriz Morfológica* com base na *Estrutura de Funções* com o intuito de identificar os princípios essenciais e não essenciais, mostrou-se ser extremamente útil na identificação de componentes não essenciais e na compreensão de como se pode simplificar a estrutura de um produto.

Através deste trabalho, conclui-se que os princípios das metodologias de projeto, podem ser usados como parâmetros para avaliar produtos, processos e serviços, tanto na pesquisa de mercado (*benchmarking*) quanto na escolha de alternativas de solução. Também percebe-se que um treinamento sobre os *softwares* e, principalmente, sobre a metodologia do *DFA* se faz necessário para capacitar o usuário a realizar considerações para sobrepujar as limitações impostas pelos programas, diminuindo a subjetividade, já que não há mecanismos de captura de novas regras.

Por fim, pode-se afirmar que é de pouca valia, no quesito *qualidade vs. custos vs. benefícios*, utilizar a tecnologia mais moderna, como a análise por elementos finitos por exemplo, para otimizar os componentes, se o produto final foi mal estruturado. O contrário também é verdadeiro. Um bom produto deve constituir-se de componentes otimizados arranjados estruturalmente de forma ótima. Naturalmente, a estrutura do produto é definida antes da definição detalhada dos componentes. Nada mais natural do que otimizar a estrutura do produto primeiro. Lembrar que a qualidade inicia-se no projeto, passa pela conformidade do produto e termina no serviço pós-venda.

6.3 – Perspectivas e Novas Tendências no DFA

Com o advento da informatização das ferramentas de auxílio ao processo de projeto, caracterizando-se como um caminho de mão única, pode-se afirmar que dificilmente serão desenvolvidos novos métodos de *DFA*. Todo o desenvolvimento futuro estará concentrado em novos programas computacionais que se caracterizarão por explorarem melhor os recursos de ambientes multitarefas, as interfaces existentes entre as várias metodologias de projeto e a interface com o usuário, realizando uma conexão real e amigável para uso da ferramenta de avaliação por todo o processo de projeto. Ou seja, o futuro são programas de gerenciamento de produtos integrados entre si (*QFD + DFX + FMEA + ...*) e entre ferramentas computacionais como *CAE/CAD/CAM/CAPP* e *softwares* de simulação, que abrangeriam não só o projeto do produto, mas também o projeto do processo de produção, e quem sabe, o processo de retirada e reciclagem do produto.

A área de projeto do processo continua promissora, pois, tradicionalmente, planejamento do processo focalizava-se mais em operações de remoção de metais, contudo, alguns dos novos desenvolvimentos em melhoria de manufatura e prototipagem rápida podem mudar a natureza e a necessidade do planejamento de processos de controle numérico para usinagem. No entretanto, há aumento na preocupação da necessidade por planejadores de processo eficientes em domínios diferentes da remoção de metais, tais como, planejamento do processo de montagem, planejamento e definição de tarefas robóticas.

Não é mais relevante assegurar um fluxo efetivo de informações do projeto para o planejamento de processo a fim de providenciar os dados e conhecimentos necessários para criar um plano de processo eficiente. Está tornando-se essencial retornar/realimentar informações do planejamento do processo para auxiliar o projetista em acessar as várias características de projeto o mais cedo possível; não só de um ponto de vista funcional, mas também com respeito à manufaturabilidade, montabilidade, inspecionabilidade, tempo de processo e custo. Se o projetista perceber cedo o bastante que algumas características do produto requererão instalações dispendiosas, ou ferramentas especiais e processos elaborados, ou são impossíveis de inspecionar com confiabilidade, outras alternativas deverão ser investigadas.

Uma necessidade chave é o desenvolvimento de uma definição completa do produto que aborde o projeto tão bem como os aspectos funcionais e tecnológicos do produto. No caso de integração projetista e planejador de processo, o importante é disponibilizar ferramentas de projeto nas quais a geometria do produto terá de ser definida ao invés de ferramentas para quais a geometria do produto é um dado de entrada necessário. Até o momento, as ferramentas propostas têm-se atido à técnica de "*design by features*", que como já foi dito, não suporta a informação funcional necessária a diversos momentos de tomada de decisão no processo de projeto.

Para sobrepujar tais limitações, algumas propostas novas de abordagem sobre a avaliação de projetos têm-se apresentado como listas de controle computacionais, listando os princípios da metodologia adotada na forma de regras "se...e...então..." (*IF...AND...THEN...*) que guiarão a equipe durante o projeto [27]. Na Universidade de Malta, por exemplo, há o desenvolvimento de um programa computacional sintetizado como uma ferramenta *KICAD* (*Knowledge Intensive*

Computer Aided Design) batizado inicialmente de *FORESEE* cuja função é apresentar à equipe de projeto as conseqüências das tomadas de decisão realizadas ao longo do projeto do componente a partir da conceitualização do mesmo. Tal programa, considera não só os princípios da metodologia de projeto para montagem, como também os de qualquer outra metodologia *DFX* [20]. Um futuro desenvolvimento é estender o uso para o projeto de produto.

Outra linha de pesquisa interessante que pode contribuir significativamente para as metodologias de projeto é um estudo sobre a conceitualização da forma que está em andamento na Universidade de Delft (*Holanda*). A conceitualização da forma enfoca a transformação da imagem mental sobre o produto para uma representação inicial do produto (*mas não uma representação que possa ser usada para propósitos de manufatura*). No processo de conceitualização da forma, o produto é considerado como um todo. Pouca ou nenhuma atenção é dada às peças individuais que compõem o(s) produto(s). A conceitualização da forma tem grande significado em algumas aplicações particulares de desenvolvimento de produto. Por exemplo, desenvolvimento de produto de consumo, onde tanto a função quanto o estilo são importantes. Entretanto, tem pouco significado no desenvolvimento de produtos mecânicos onde a função (*ou funcionamento*) do produto é mais importante.

6.3.1 – Panorama atual e perspectivas no Brasil

Com a estabilização da economia brasileira tem-se notado um aumento sem precedentes na demanda por manufaturados novos pelo mercado interno. Há inclusive, indícios de uma melhoria da qualidade de vida da população. Tais fatos têm demonstrado o potencial de desenvolvimento do mercado consumidor no Brasil. O aumento da demanda, somada à variedade de produtos ofertada, previsto para os próximos anos, implicará em produtos de preço final cada vez mais baixo e num nível de qualidade cada vez maior. Desta forma, estima-se que o mercado brasileiro crescerá de qualquer forma, mesmo que muitas indústrias tenham longa e difícil reorganização pela frente. A ascensão, no entanto, tanto da mão-de-obra nas empresas, quanto das empresas no mercado, dependerá tão somente da evolução da produtividade dos envolvidos.

Nessa busca pela produtividade, as empresas brasileiras têm-se reorganizado principalmente na produção. Dentre as técnicas de produção mais comuns destacam-se a filosofia *JIT (Just-in-Time)*, *Kanban*, *MRP*, *OPT*, etc..

No entanto, devido à crescente competitividade comercial, otimizar a produção não basta. Necessita-se também otimizar o produto, o que é realizado dando-se a devida atenção ao processo de projeto; algo que se está fazendo desde a década de 80 no exterior. O *DFA* se relaciona intimamente com tais técnicas de produção quando simplifica a estrutura do produto e oferece um projeto compatível com as necessidades da empresa em produzir um produto de alta qualidade eficientemente.

Dentre todas técnicas de produção destaca-se o *Just-in-Time (JIT)*, pois este incorpora aspectos importantes de outros sistemas orientados ao gerenciamento de processos, conseguindo assim, a melhor aplicação global dentro de cada empresa. Algumas das principais técnicas de manufatura que exercem influência em cima de um sistema *JIT* são: o sistema *kanban* dos japoneses, o controle total da qualidade, o controle estatístico do processo, e a tecnologia de grupo.

O termo *Just-in-Time (JIT)* é utilizado para descrever o tipo de sistema que resulta da adoção de uma filosofia de integração total de sistemas de produção cuja tarefa gerencial consiste em desenvolver ao longo de toda a organização a consciência de sempre procurar uma oportunidade de reduzir o desperdício e a ineficiência que estejam presentes no sistema produtivo.

Um dos sistemas associados ao *JIT* é o planejamento de capacidade de manufatura (*MRP II*). É uma extensão do planejamento de necessidades de materiais (*MRP*) - baseado na explosão da estrutura dos produtos, visando controlar as necessidades de peças individuais - e usa um banco de dados comum para fornecer informações de carga de máquina, custos e mão-de-obra. Interessante observar que tais informações são imprescindíveis à equipe de projeto, para aferição do seu banco de dados sobre a produção.

Juntamente com este estudo, percebeu-se que a tarefa de projeto não é abordada corretamente no Brasil. Aqui, o desenvolvimento de produtos ainda é conduzido em função da experiência acumulada por seus profissionais de projeto, acarretando a pouca variação de modelos e inovações nos produtos. Geralmente, a inovação atém-se a novos materiais e processos de fabricação. Praticamente não existe o projeto conceitual. A fase inicial após a seleção de idéias é a de concepção

que busca um projeto preliminar e não uma idéia ou conceito, além de avaliar se é viável tecnicamente e economicamente.

Lamentavelmente, grande parte dos projetos de produtos realizados no Brasil, são na verdade “*tropicalizações*” de produtos existentes no exterior que são trazidos para o mercado brasileiro através das multinacionais instaladas no território nacional. A tropicalização consiste em adaptar ao gosto, à cultura e ao clima brasileiro os produtos normalmente consagrados no mercado externo, o que minimiza o trabalho de pesquisa e desenvolvimento realizado pelas companhias.

Quanto à metodologia de projeto para montagem e manufatura, notou-se que as poucas organizações brasileiras que empregam de alguma forma o *DFMA*, são em sua maioria absoluta, filiais de multinacionais e empresas exportadoras que sofrem com a crescente competição internacional. Das multinacionais, todas adotaram a metodologia por exigência da matriz que já empregava o *DFMA* nos seus projetos. Já entre as companhias nacionais, destaca-se a *EMBRAER* que em 1996 adquiriu o *software DFMA* da *BDI* a fim de melhorar a competitividade de suas aeronaves.

O reconhecimento das contribuições das técnicas de *DFA* por quem usa, só vem a demonstrar que o Brasil mais uma vez, está em desvantagem perante os seus concorrentes industriais [9] e [10]. Com o propósito de tornar-se um país desenvolvido, proporcionando uma qualidade de vida digna deste termo, o Brasil necessita tornar-se industrialmente competitivo, desenvolvendo produtos no mesmo nível de qualidade que os do primeiro mundo, o que só é possível aplicando o conhecimento técnico-científico. Há várias formas de um país gerar riquezas e desenvolver-se em qualidade de vida de seus habitantes, como a indústria turística. No entanto, hoje o Brasil enfrenta um problema de déficit comercial, para solucioná-lo, os produtos nacionais devem ser para os consumidores internos mais atrativos do que os produtos importados. Isto só é possível com a melhoria da qualidade somada à redução do custo final dos produtos brasileiros.

6.3.2 – Perspectivas gerais

Uma das conseqüências da globalização é a conscientização do fato de todos habitarem um mesmo planeta como cidadãos mundiais, e serem responsáveis pelo

mesmo. Mas não se pode tratar todos os lugares e todas as pessoas do mesmo modo, pois a natureza humana leva os consumidores a defender a sua liberdade de escolha, a qual está intimamente ligada ao sistema cultural do indivíduo. Ocorre então, uma reação contra a homogeneização dos produtos e propagandas com a redescoberta das diferenças culturais e nacionais em tudo o que é consumível. As empresas globalizadas devem ter isto em mente e lembrar que o DFA pode auxiliar na criação de módulos de distinção, a fim de satisfazer as diferenças culturais existentes entre consumidores de regiões geográficas diferentes, e até mesmo, na distinção entre produtos para classes sociais diversas.

Na busca pela competitividade industrial, percebe-se que o projetista é o responsável pela maior parte da economia, da qualidade e do impacto ambiental do produto através das decisões que são feitas durante o trabalho de desenvolvimento do produto. Um projeto para o ciclo-de-vida de alta qualidade, pode criar distinções e “*personalizações*” para um novo produto ou sistema. Pode ser usado para revigorar o interesse num produto antigo. Pode comunicar um sentimento do valor do produto para o consumidor e guiá-lo para uma maior satisfação. Pode, finalmente, reduzir os custos de operação e manutenção.

Atualmente, o mercado consumidor nos países industrializados está mostrando-se saturado, caracterizando-se por uma demanda de reposição de produtos como eletrodomésticos, eletrônicos e automóveis. Por outro lado, nos demais países em desenvolvimento, além de apresentarem-se como mercados promissores para produtos novos, o custo da mão-de-obra é baixo, e em alguns casos, apresentam uma crescente qualificação educacional da população.

A tendência atual em muitas indústrias é ser menos integrada verticalmente, adquirindo maior quantidade de subconjuntos de fornecedores. A alteração na escolha de fazer ou comprar componentes, com uma percentagem maior de decisões por comprar, é em parte devido aos maiores níveis de tecnologia necessários para confeccionar um produto. Isso direciona para linhas de produção descentralizadas, flexíveis e de baixa complexidade localizadas em grandes mercados regionais sofisticados. Busca-se custo baixo a baixo volume de produção com tempo de entrega curto. As linhas de produção estão sendo transferidas para próximo dos mercados consumidores e para países de baixo custo de mão-de-obra. Nesse aspecto, o DFA auxilia no desenvolvimento de produtos que comporão outros produtos como submontagens destes. O uso do DFA por todos os envolvidos no

processo produtivo garante a integração entre fabricante e fornecedor, e a conseqüente manutenção da qualidade pelos mínimos custos.

Uma nova tendência na área da produção é o chamado consórcio modular, inicialmente empregado na fábrica da *Volkswagen do Brasil* em Resende-RJ. O consórcio modular foi concebido para trabalhar com a filosofia do *Just-in-Time*. A empresa se responsabiliza tão somente pelo desenvolvimento do produto e pelo controle de qualidade. Os fornecedores tornam-se responsáveis pela montagem do produto. O desafio fica em projetar produtos para uso eficiente nas operações de produção dos clientes; isto é, projetar não só para manufatura e montagem na própria fábrica, mas também, em compatibilidade com as operações do consumidor. Percebe-se que a idéia é considerar as submontagens do produto como módulos que deverão ser fornecidos na íntegra pelos especialistas em projetá-los e desenvolvê-los.

Em 1984, numa conferência da *NSF (National Science Foundation)* representantes de centros de pesquisas, universidades e indústrias, definiram uma série de linhas de pesquisas prioritárias, dentre as quais se destacaram [12]:

- avaliação econômica das alternativas de projeto por todo o ciclo de vida;
- modelamento econômico dos processos de manufatura e dos sistemas de produção;
- estimativas auxiliadas por computador;
- integração da engenharia, finanças e contabilidade;
- sincronização e localização da introdução de novas tecnologias;
- custos/benefícios da flexibilidade de manufatura;
- técnicas de parametrização e estimativas rápidas;
- avaliação econômica de tecnologias e estratégias de qualidade alternativas.

Os avanços tecnológicos têm possibilitado não somente o desenvolvimento de novos produtos, mas também, a habilidade de antecipar o comportamento dos produtos por toda sua vida útil. No entanto, ainda há muito trabalho a ser feito em melhorar a integração dos critérios técnicos, econômicos, humanos e ambientais no processo de projeto. As quatro áreas seguintes têm-se mostrado promissoras:

- projeto por todo o ciclo de vida;
- extensão do uso de *CAE/CAD/CAM*;

- compressão do tempo de desenvolvimento;
- economia do ciclo-de-vida.

Hoje em dia ainda se pode assumir que as linhas de pesquisa citadas continuam entre as mais prioritárias. Observa-se uma interligação destas com os métodos de avaliação e estimativas de custos presentes no processo de projeto. Eleva-se, deste modo, a importância do uso destes a partir dos primeiros passos do projeto. Estimativas de custo e tempo devem possuir credibilidade, com fácil visualização de onde vem os valores encontrados. A questão de escolha de métricas é importante devido aos diferentes tipos de pontuação guiarem a diferentes resultados. As raízes de todos os custos estão diretamente relacionadas ao projeto do produto. Nesse sentido, associa-se o custo de montagem ao *DFA*, o custo ambiental ao *DFR*, o custo de manutenção ao *DFS* e o custo de fabricação ao *DFM*; o que eleva o mérito do *DtC* para gerenciar todos os custos envolvidos no produto.

Pode-se perguntar por que não *DFQ* (*Design for Quality*) no lugar do *DFA*? As ferramentas de *DFQ* auxiliam a prever a qualidade “entregue” a um novo produto, desenvolvendo medidas de detecção de erros no processo produtivo. Todos os dados coletados são transmitidos imediatamente para o desenvolvimento e melhoria do produto. Por basear-se em dados históricos (*passados*), mostra-se muito eficiente em auxiliar a calcular a “*garantia de qualidade*” do produto. Mas, como foi dito anteriormente, é de pouca utilidade em providenciar uma estimativa imparcial do custo de manufatura da peça e do custo do ferramental necessário no início do processo de projeto.

Na Era da Informação, sem dúvida nenhuma, sistemas *CAD* são imprescindíveis. Eles são a principal fonte de informações detalhadas sobre o produto e o processo fabril no geral. Providenciam ainda, uma interação das análises de manufatura, montagem e custos. As informações que as ferramentas *DFX* recebem devem ser precisas, corretas conceitualmente e livres de processamento prévio. A evolução tem-se mostrado a favor de *Sistemas Especialistas* com interfaces para interagir entre si e outras ferramentas de projeto (ex.: *DFA + DFM*, *DFA + DFS*, *DFM + CAPP*, etc.). As primeiras versões têm mostrado métodos incorporados aos sistemas *CAE/CAD/CAM* através da possibilidade de extrair informações de *features* da base de dados de um sistema *CAD* base.

6.4 – Comentários Finais e Recomendações

Atualmente no Brasil, sob influência maior dos EUA, os assuntos sobre *DFX* estão sendo discutidos mais do ponto de vista da Engenharia de Produção, com muito pouco aprofundamento teórico seja sobre o produto ou sobre o processo. Tanto que no Brasil, é comum alguns profissionais se referirem às metodologias *DFX*, especialmente ao *DFMA*, como “*ferramentas de qualidade*”. Tal denominação, mostra-se equivocada já que foi mostrado ao longo do trabalho que as metodologias de projeto compõem o conhecimento técnico-científico não só como ferramenta de projeto, mas também como filosofia e processo.

Esses aspectos acarretam num problema de terminologia que dificulta a compreensão do que se está usando: a metodologia ou a ferramenta. Mal compreendida, a metodologia é selecionada de maneira errada e importantes elementos contextuais de processo são ignorados. Os pequenos grupos acabam seguindo e utilizando o que os grandes estejam usando. Ocorre então, a pobre implementação da ferramenta que, quando não traz os benefícios prometidos, é simplesmente abandonada, dando lugar a outras com o mesmo objetivo. Tanto que, Araujo [7], afirma que o fracasso geral de centenas de ferramentas de projeto disponíveis atualmente, é parcialmente explicado pelo problema da terminologia empregada.

Já na Europa, o assunto do projeto é discutido aprofundadamente sob dois pontos de vista distintos:

- projeto como o produto; incluindo modelamento, teoria dos domínios, e todas as metodologias *DFX*; e
- projeto como processo de realização do produto, incluindo modelos de desenvolvimento de produtos (*Pahl&Beitz, Pugh, etc.*), desenvolvimento integrado de produtos, métodos e ferramentas de projeto, etc..

Atualmente as preocupações estão voltadas ao auxílio ao projeto conceitual, à conceitualização de soluções, principalmente dentro de um ambiente computacional.

Pensa-se muito em simulações virtuais do processo de produção, principalmente o de montagem, no estilo de “*realidade virtual*” anteriores à produção

inclusive de protótipos. No entanto, tal técnica ainda é considerada “*um ambiente agressivo*” para ser empregada antes da etapa de projeto detalhado. Isto deve-se à dificuldade de se trabalhar com modelamento de componentes de formas geométricas não totalmente definidas; ao trabalho necessário no modelamento; às limitações atuais de *hardware* e *software*.

Há grandes estudos em torno do *Gerenciamento Global de Dados do Produto* (*Global Product Data Management*), cuja preocupação é como manter disponíveis os dados a respeito de um produto em desenvolvimento para que todos os envolvidos possam consultá-los a qualquer momento [65]. Os estudos atuais concentram-se em como manter estes dados (*muitas vezes confidenciais*) disponíveis num “*site*” cibernético para que equipes localizadas em diferentes regiões geográficas possam trabalhar em conjunto sobre o mesmo projeto independentemente das distâncias geográficas ou até mesmo dos diferentes fusos horários. No último caso, fala-se principalmente em uma equipe continuar o trabalho da outra sem interrupções. Há também, a preocupação com a intercomunicabilidade entre os diferentes programas computacionais empregados. Neste sentido, os maiores estudos se concentram no *STEP* (*Standard for Exchange of Product Data*), um protocolo para transferência de informações entre diferentes pacotes de *CAD*.

No geral, há uma clara necessidade por desenvolvimento direcionado ao mercado consumidor e à tecnologia. Um objetivo comum seria criar um equilíbrio entre um clima inovador (*principalmente nas fases iniciais*) e um contínuo e estruturado processo de desenvolvimento (*nas fases posteriores*). Neste trabalho percebeu-se que para uma análise de sucesso nas fases iniciais de projeto, é necessário estimar tempos e custos de montagem e manufatura, tão bem como o potencial de simplificação da estrutura do produto. Adicionalmente, há um lapso de suporte no desenvolvimento do produto entre a *Matriz Morfológica* e o protótipo preliminar. Sugere-se um trabalho nesta área, observando que o *FORESEE* pode ser uma ótima ferramenta para este caso.

Como já foi dito, a incumbência de se eliminar componentes não essenciais leva a equipe de projeto a desafiar os limites impostos pelos materiais e processos disponíveis (*tecnologia*) e a inovar nas soluções. Tanto que, uma das decisões chaves é a seleção de materiais e processos de manufatura (*seleção M/P*). Nesse sentido, recomenda-se estudar a tarefa de selecionar função, forma, material e método de produção, e os materiais e processos de fabricação que auxiliam o

emprego do *DFA*. O objetivo inicial do estudo seria criar um catálogo ou tabela que apresente uma métrica — com informações qualitativas e quantitativas — para cada processo de fabricação em como este possibilita a incorporação dos princípios de *DFA* (ex. tabela 2.2 da referência [14]), como a consolidação de peças, características de alinhamento e localização, fixadores integrados, etc. Pode-se, inclusive, pensar em propor um programa computacional que auxilie a escolha dos materiais e processos que possibilitem as características de *DFA*. Ou também, a integração de um sistema especialista de seleção *M/P* com um *software* de *DFMA*.

Complementarmente, recomenda-se realizar um estudo que catalogue e apresente técnica(s) para gerar vários princípios de solução de fixação, conexão e ou união que auxiliem na eliminação e ou diminuição de fixadores separados nos produtos.

O conhecimento da função da peça e a seqüência de montagem do produto é um pré-requisito para várias abordagens metodológicas de avaliação da montabilidade. Torna-se importante então, estudar a seqüência de montagem, modelos de representação da estrutura do produto e da estrutura de produção visando sugerir formas de abordar o problema de projetar o produto e sua respectiva linha de produção simultaneamente empregando a metodologia de *DFMA*.

Possivelmente seja viável criar um programa que empregue a abordagem do segundo capítulo em ambiente computacional acreditando-se que um caminho no desenvolvimento de uma ferramenta de apoio a todo processo de projeto seja algo estruturado da forma de um *Diagrama de Interfaces*.

Quanto ao programa computacional *DFMA* agora disponível no *NeDIP/UFSC*, é imprescindível empregá-lo nos próximos implementos realizando comparações de custos estimados de produção por determinados processos. Inclusive por novas técnicas desenvolvidas na própria universidade. Mas primeiro, é recomendável a customização das bibliotecas do programa junto às indústrias brasileiras e à realidade da infra-estrutura disponível na *UFSC*.

Por fim, sugere-se reprojeter o implemento avaliado para melhorar sua montabilidade e adaptá-lo a um trator convencional facilmente encontrado nas propriedades rurais, tornando-o uma máquina agrícola acessível ao público a que se destina.

Apêndice A

Descrição Física do Implemento

A armazenagem do adubo é feita em um reservatório do tipo cúbico-tronco de pirâmide, com dosador tipo rotor canelado e o direcionamento do adubo até o solo por meio de uma mangueira flexível.

Quanto ao reservatório de adubo, conforme ilustrado na figura A.1, este é cortado em chapa de aço de 1 mm de espessura e posteriormente dobrado, assumindo a forma cúbica-tronco de pirâmide.

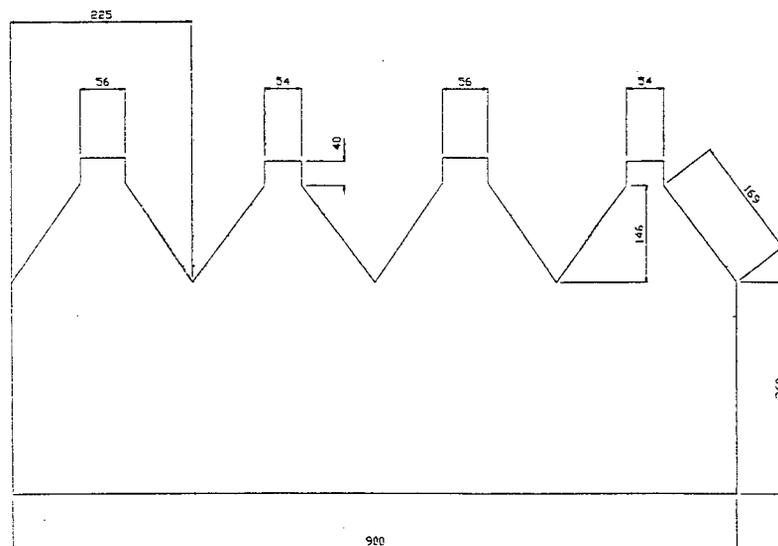


Figura A.1 - Reservatório de adubo planificado

O dosador, mostrado na figura A.2, é constituído pelo bocal receptor de adubo (1) construído em chapas de aço, por onde o adubo escoa até o rotor (2), fixado por

pressão ao eixo (3), apoiado em dois mancais de rolamentos de esferas (4), os quais estão internos aos alojamentos (5) fixados a carcaça do dosador (6) por transferência (7). A entrada de potência é pela roda dentada (8) fixada ao eixo do dosador pelo pino (9). Finalmente, o adubo é escoado em direção ao solo pelo bocal de saída (10) construído em chapas de aço.

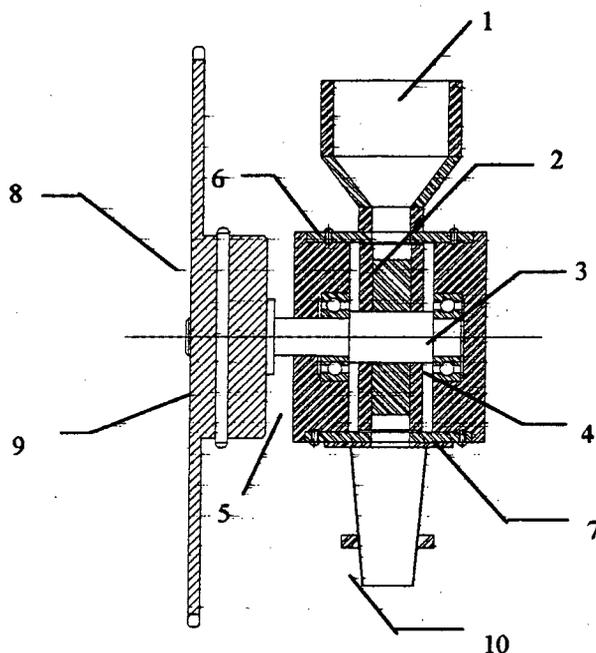


Figura A.2 - Dosador de adubo

Para o corte da palha, a desagregação do solo e a incorporação do adubo, é usado um sistema de enxadas rotativas. Sobre a contenção do solo revolvido dentro do sulco, adota-se o uso de um pára-lama envolvendo as enxadas rotativas.

Representado na figura A.3, o subconjunto para a abertura de sulcos é composto por dois pares de enxadas rotativas, sendo duas com lâminas de corte à esquerda (1) e duas com Lâminas à direita (2), montadas por parafusos M10 (3) aos encaixes (4), os quais estão soldados ao cubo (5).

Este cubo (5), por sua vez, é fixado por meio de chavetas (6) e por anéis (7) ao eixo interno (8), construído em aço e apoiado em dois rolamentos de esferas (9), os quais estão encaixados nos alojamentos (10) e (11), sendo estes presos por parafusos M10 (12) as placas (13), soldadas no sistema estrutural.

A entrada de potência é efetivada por meio de uma roda dentada (14) de, construída em aço e fixada por meio de chaveta (15) e anel (16) ao eixo (8).

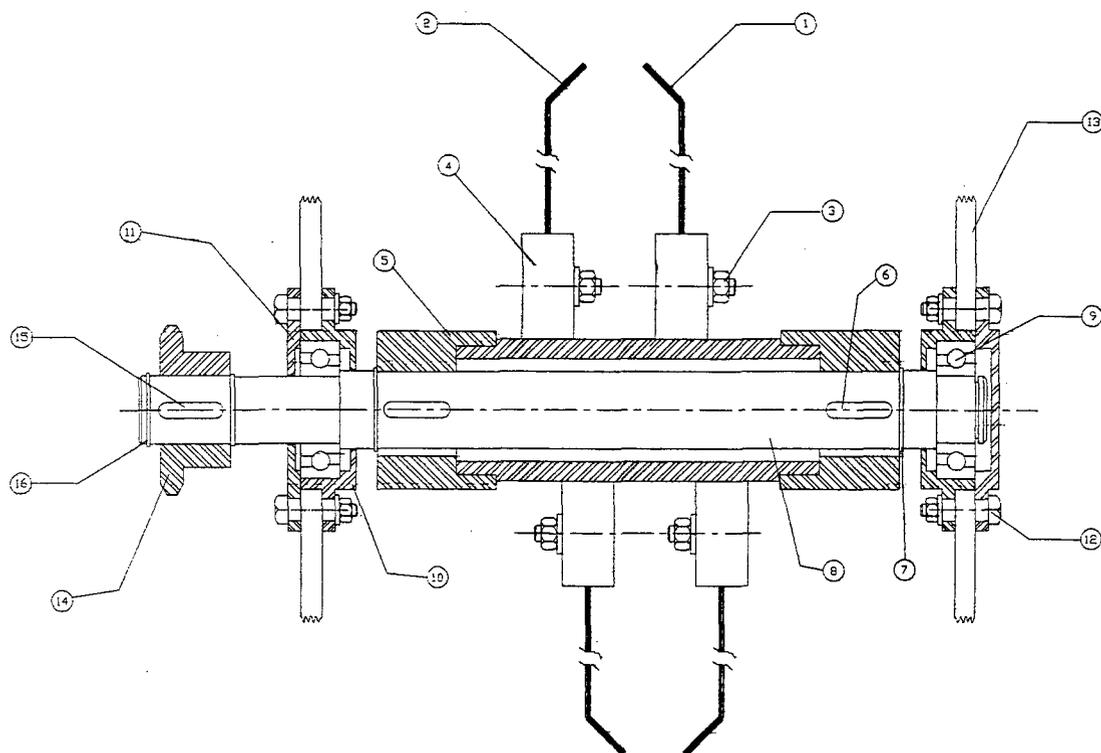


Figura A.3 - Sistema de preparo de sulcos

A contenção do solo revolvido nas linhas de plantio é feita através de um sistema protetor tipo pára-lama, ilustrado na figura A.4, construído em chapa de aço de 1 mm de espessura, possuindo cortes em suas laterais para a saída de excesso de palha; e preso ao sistema estrutural por 4 presilhas (chapas dobradas) fixadas por 16 parafusos M4.



Figura A.4 - Pára-lama de contenção de solo revolvido.

O sistema estrutural é construído em perfil tubular de aço e composto de chapas de conexão com os demais sistemas funcionais, totalizando 12 peças que após corte e dobramento foram unidas por processo de soldagem.

Pela figura A.5 observa-se na parte inferior as chapas (4) onde se alojam os suportes de rolamentos do eixo das rotativas. Na parte superior esquerda, nota-se a chapa (1) onde é montado o suporte de rolamentos do eixo intermediário. Finalmente, na parte superior frontal observa-se a chapa (2) na qual é fixado o dosador de adubo. Estas chapas são de aço e soldadas à estrutura. Há ainda, as chapas (3) para fixação da roda e as chapas (5) para o engate ao microtrator.

É interessante colocar que a chapa direita inferior (4) apresenta o furo de alojamento dos suportes de rolamentos, na forma de meia circunferência. Esta configuração teve como objetivo tornar o processo de montagem do eixo das rotativas mais facilitado e rápido, como verificou-se na montagem do conjunto em laboratório. Com esta forma, tornou-se possível dividir em duas etapas a montagem do subconjunto de preparo de sulcos.

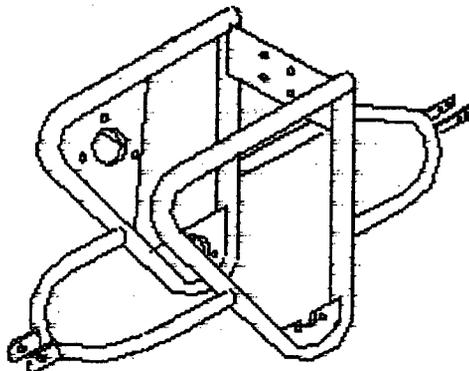


Figura A.5 - Estrutura do implemento.

Adota-se o sistema de acionamento por correia e embreagem por polia tensionadora para transmitir potência para as enxadas rotativas e para o rotor do dosador.

Como ilustrado na figura A.6, a transmissão de potência para o preparo e adubação de sulcos parte da polia (5) por uma correia para a polia (6, fixada no eixo intermediário, o qual é montado no sistema estrutural.

Neste eixo intermediário, estão fixadas as rodas dentadas (7) e (9).

Para o preparo de sulcos, a transmissão é feita por uma corrente de rolos ligando a roda dentada (7) a roda dentada (8). A rotação para o eixo do dosador é

também transmitida por uma correntes de rolos que une a roda dentada (9) a roda dentada (10).

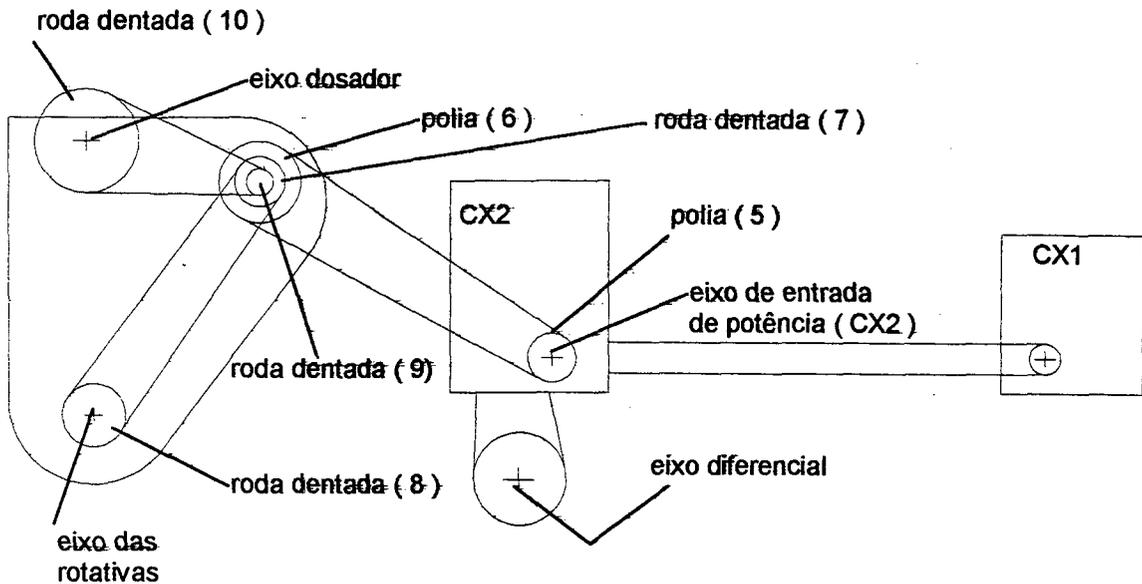


Figura A.6 - Transmissão de potência para o preparo e adubação de sulcos

Na figura A.7, está representado um corte longitudinal da montagem do eixo intermediário (1), sendo este construído em aço e apoiado a dois rolamentos de esferas (2), os quais estão internos ao suporte (3) que, por sua vez, é fixado por três parafusos M10 (4), a chapa de aço (5) soldada no sistema estrutural.

Na extremidade esquerda do eixo está montada a roda dentada (6), a qual transmite potência para o preparo de sulcos. Na extremidade direita, estão fixadas a polia (7), que recebe potência do eixo de entrada da (CX2) e, a roda dentada (8), que transmite movimento de rotação ao eixo do dosador de adubo.

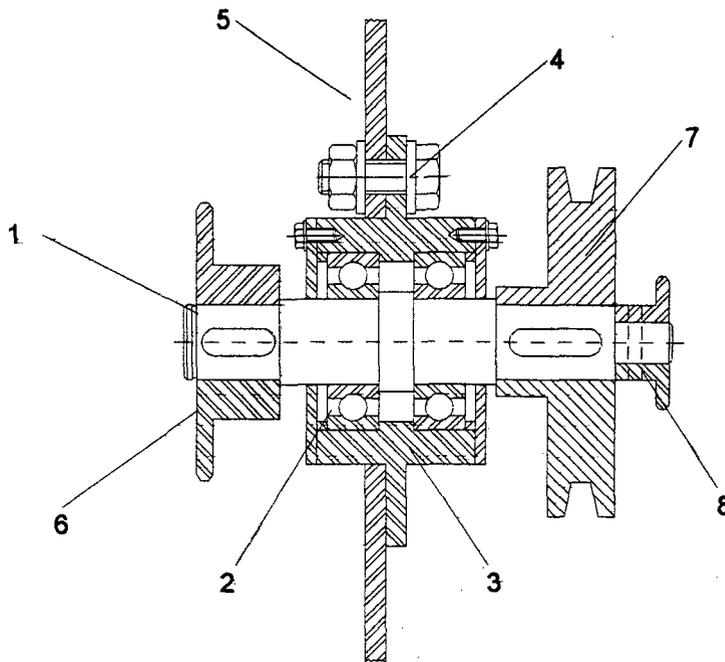


Figura A.7 - Eixo intermediário de transmissão de potência

Como sustentação do implemento sobre o solo e para acompanhar os desníveis normais dos terrenos de plantio, utiliza-se uma roda de borracha posicionada na frente do equipamento.

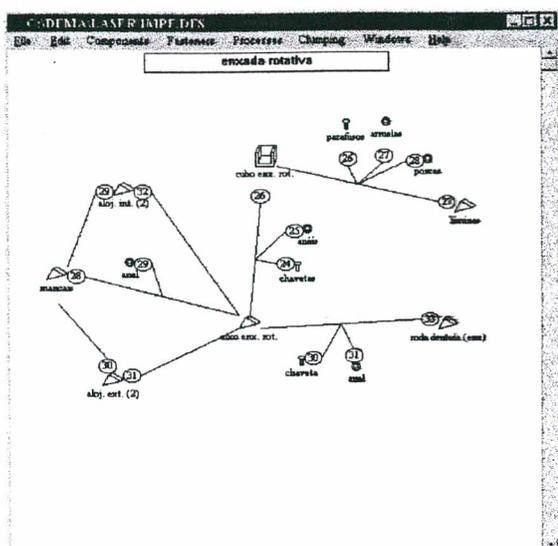


Figura B.3 – Página de edição da submontagem da enxada rotativa.

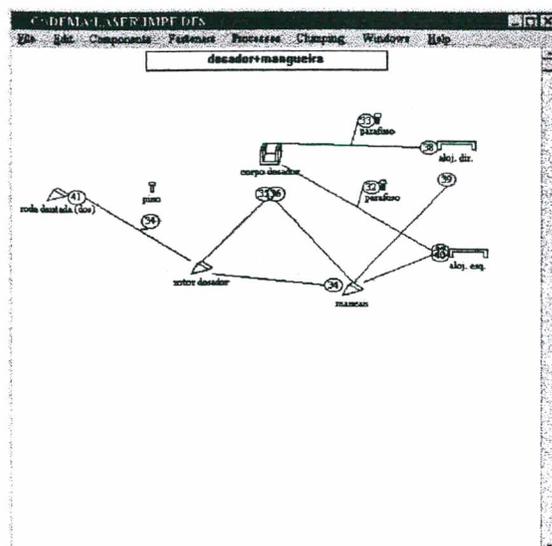


Figura B.4 – Página de edição da submontagem do dosador + mangueira.

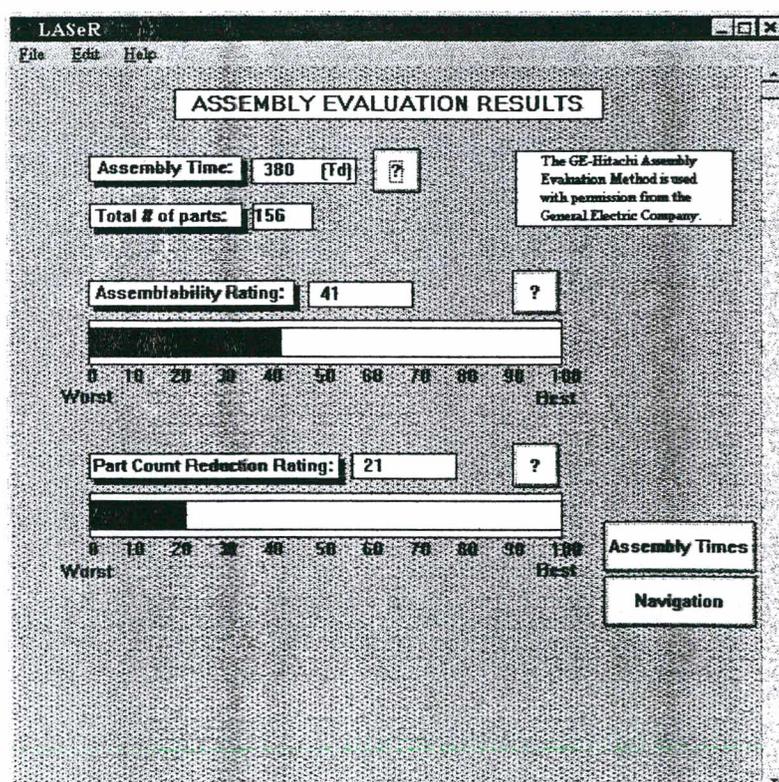


Figura B.5 – Página dos resultados da avaliação da montabilidade para o implemento.

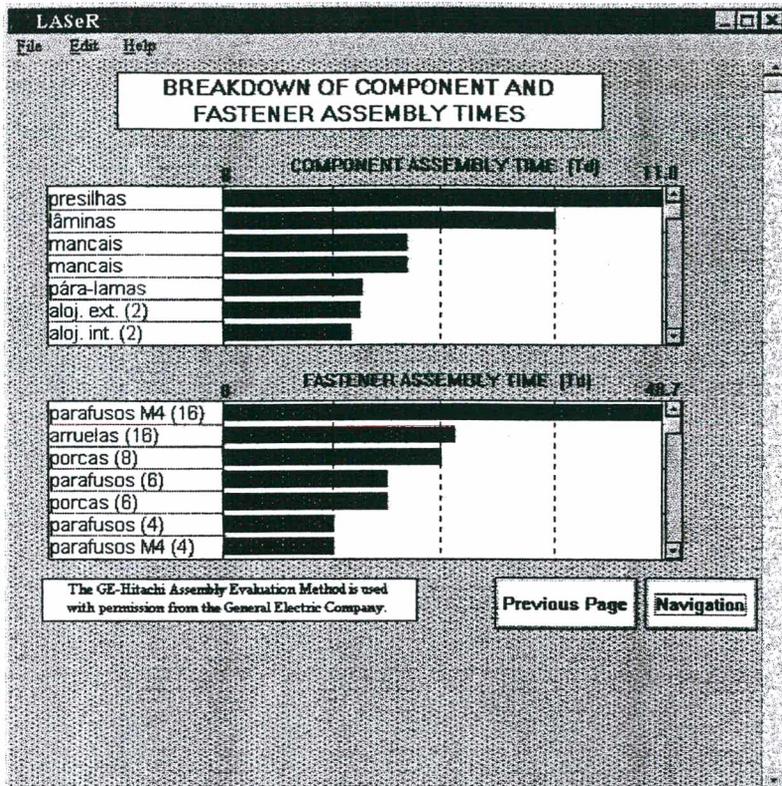


Figura B.6a – Página dos tempos de montagem para as peças do implemento.

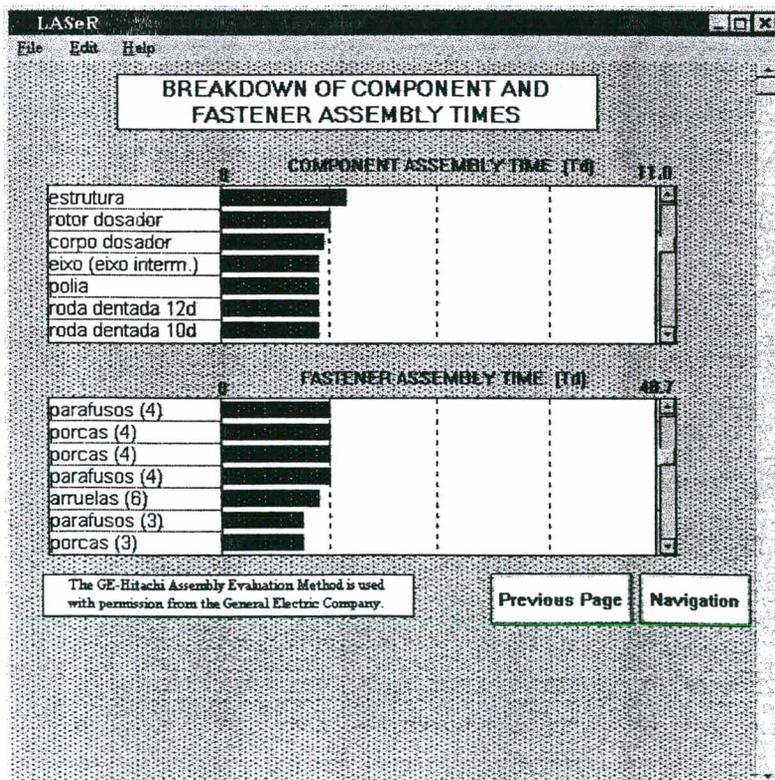


Figura B.6b – Página dos tempos de montagem para as peças do implemento.

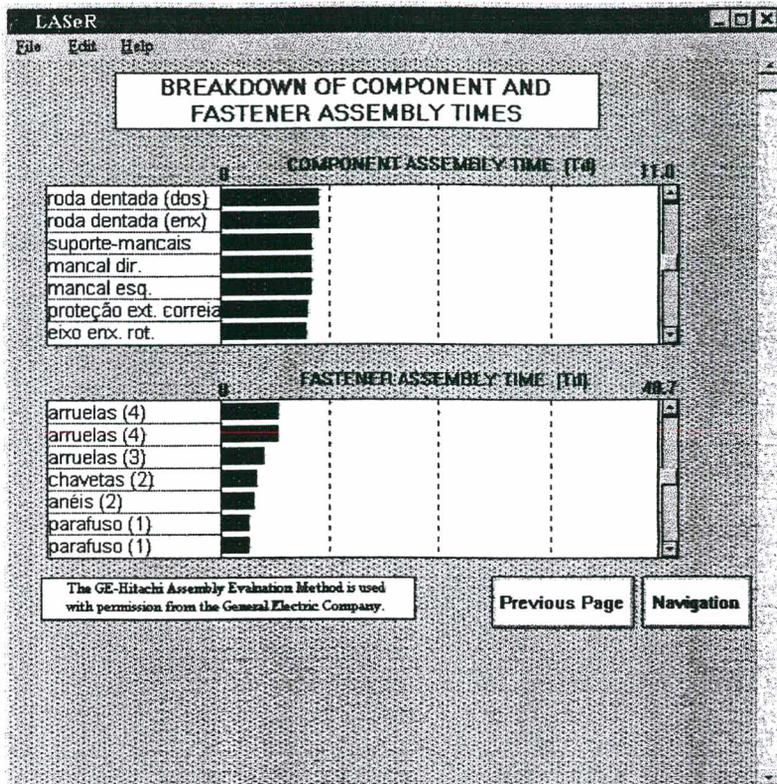


Figura B.6c – Página dos tempos de montagem para as peças do implemento.

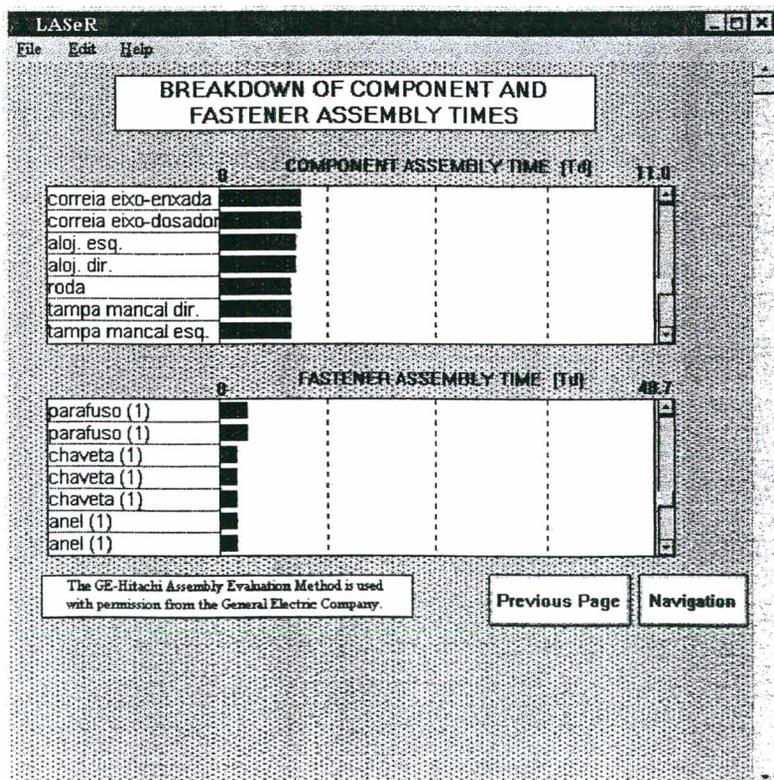


Figura B.6d – Página dos tempos de montagem para as peças do implemento.

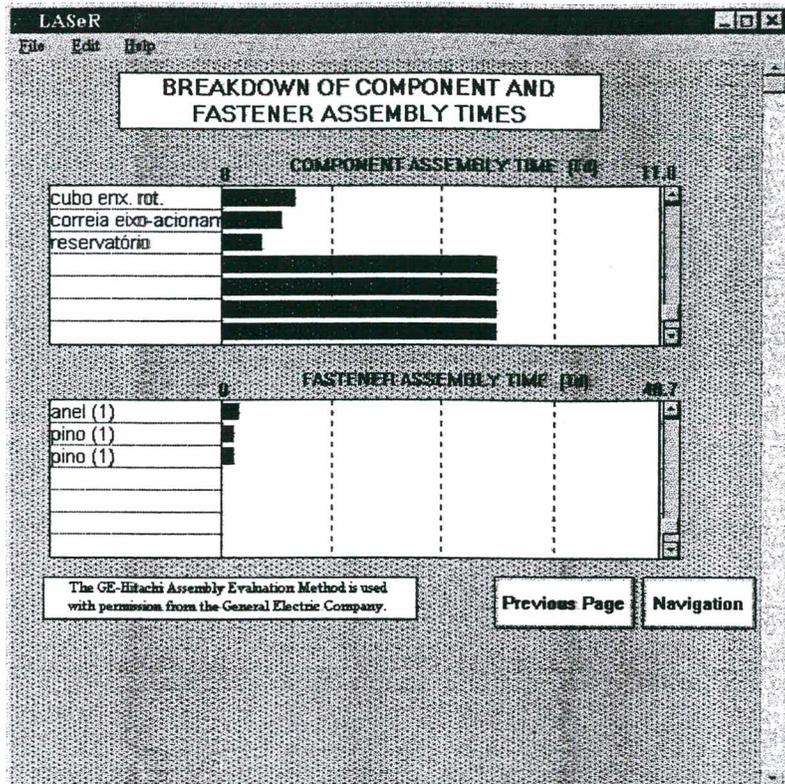


Figura B.6e – Página dos tempos de montagem para as peças do implemento.

Apêndice C

Relatórios do Software DFMA para o implemento

Neste apêndice encontram-se os relatórios gerados para o implemento agrícola de abertura e adubação de sulcos. Primeiramente, apresenta-se a estrutura do produto. Depois, a tabela de revisão dos tempos de montagem para cada componente do produto. Em seguida, os relatórios de sugestões de reprojeção para a montagem principal e submontagens da enxada rotativa, eixo intermediário e dosador + mangueira. Por fim, os relatórios das respostas realizadas às perguntas de *DFA*.

DESIGN FOR ASSEMBLY STRUCTURE CHART REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

=Part,
 =Subassembly/PCB,
 =Operation,
 =Excluded,
 =Children hidden,
 =Children visible

Time shown in seconds. Filter: None

	(1) IMPLEMENTO p/abert. e adub.		2072.85
	1.1 Estrutura	1	14.00
	1.2 (2) Enxada Rotativa	1	17.20
	2.1 eixo	1	8.30
	2.2 cubo	1	11.20
	2.3 chavetas	2	13.32
	2.4 interference fitting	1	7.20
	2.5 anel	1	16.20
	2.6 Reorientation	1	4.50
	2.7 anel	1	17.90
	2.8 alojamento interno	1	5.70
	2.9 mancaí enx. rot.	1	13.30
	2.10 Reorientation	1	4.50
	2.11 alojamento interno	1	5.70
	2.12 mancaí enx. rot.	1	13.30
	2.13 anel	1	16.20
	2.14 alojamento externo	1	8.30
	2.15 Reorientation	1	4.50
	2.16 alojamento externo	1	8.30
	2.17 chaveta	1	7.70
	2.18 roda dentada	1	8.80
	2.19 interference fitting	1	5.00
	2.20 anel	1	16.20
	2.21 Reorientation	4	18.00
	2.22 lâminas	4	34.92
	2.23 parafuso	4	51.00
	2.24 arruela	4	15.96
	2.25 porca	4	49.52
	1.3 parafuso	3	39.60
	1.4 arruela	3	11.97

DESIGN FOR ASSEMBLY STRUCTURE CHART REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

	1.5 porca	3	39.02
	1.6 Reorientação ins. de fixadores	1	4.50
	1.7 parafuso	3	39.60
	1.8 arruela	3	11.97
	1.9 porca	3	39.02
	1.10 Pára-lamas	1	33.10
	1.11 presilhas	4	67.32
	1.12 Reorientação ins. de fixadores	8	36.00
	1.13 parafusos M4	16	302.52
	1.14 (3) Eixo intermediário	1	9.80

	3.1 eixo	1	8.30
	3.2 mancaí eixo intern.	1	15.50
	3.3 Reorientation	1	4.50
	3.4 mancaí eixo intern.	1	15.50
	3.5 suporte dos mancais	1	8.80
	3.6 push fitting	2	10.00
	3.7 tampa dos mancais	1	7.29
	3.8 Reorientation	1	4.50
	3.9 tampa dos mancais	1	7.29
	3.10 polia	1	7.60
	3.11 chavetas	2	13.32
	3.12 roda dentada (10d)	1	11.20
	3.13 interference fitting	1	5.00
	3.14 Reorientation	1	4.50
	3.15 roda dentada (12d)	1	7.60
	3.16 interference fitting	1	5.00
	3.17 pino	1	11.50
	3.18 Reorientation	1	4.50
	3.19 anel	1	16.20
	3.20 parafuso	2	28.58

	1.15 parafuso	3	39.60
	1.16 arruela	3	11.97
	1.17 porca	3	39.02

DESIGN FOR ASSEMBLY STRUCTURE CHART REPORT
Fundação do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

	1.18 Correia eixo-enxada	1	26.30
	1.19 Roda	1	15.70
	1.20 Reorientação ins. de fixadores	1	4.50
	1.21 parafuso	4	51.00
	1.22 arruela	4	15.96
	1.23 porca	4	49.52
	1.24 (4) Dosador + mangueira	1	76.80
	4.1 corpo do dosador	1	12.00
	4.2 rotor do dosador + eixo	1	15.30
	4.3 mancais	2	34.78
	4.4 interference fitting	2	10.00
	4.5 alojamento direito	1	8.80
	4.6 Reorientation	1	4.50
	4.7 alojamento esquerdo	1	8.80
	4.8 parafusos	2	39.12
	4.9 roda dentada	1	11.20
	4.10 pino	1	11.50
	1.25 parafuso	4	51.00
	1.26 arruela	16	63.84
	1.27 porca	8	93.64
	1.28 encaixe mangueira no pára-lama	1	7.20
	1.29 Correia eixo-acionamento	1	14.00
	1.30 Correia eixo-dosador	1	26.30
	1.31 Proteção externa das correias	1	15.20
	1.32 parafuso	4	79.68
	1.33 Reservatório	1	7.80

DESIGN FOR ASSEMBLY PRODUCT REVIEW TABLE REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. (IMPF.DFA)

No.	Sub no. entry no.	Type	Name	Repeat count	Minimum items	Handling time, s	Insertion or op'n time, s	Total time, s
1	1.13	Part	parafusos M4	16	0	2.57	16.00	302.52
2	1.27	Part	porca	8	0	1.43	9.60	93.64
3	1.32	Part	parafuso	4	0	2.57	16.00	79.68
4	1.24	Sub4	Dosador + mangueira	1	-	12.50	64.30	76.80
5	1.11	Part	presilhas	4	0	2.73	14.10	67.32
6	1.26	Part	arruela	16	0	1.69	2.30	63.84
7	1.21	Part	parafuso	4	0	1.80	9.60	51.00
8	1.25	Part	parafuso	4	0	1.80	9.60	51.00
9	2.23	Part	parafuso	4	0	1.80	9.60	51.00
10	1.23	Part	porca	4	0	1.43	9.60	49.52
11	2.25	Part	porca	4	0	1.43	9.60	49.52
12	1.3	Part	parafuso	3	0	1.80	9.60	39.60
13	1.15	Part	parafuso	3	0	1.80	9.60	39.60
14	1.7	Part	parafuso	3	0	1.80	9.60	39.60
15	4.8	Part	parafusos	2	0	3.26	13.60	39.12
16	1.5	Part	porca	3	0	1.61	9.60	39.02
17	1.17	Part	porca	3	0	1.61	9.60	39.02
18	1.9	Part	porca	3	0	1.61	9.60	39.02
19	1.12	Oper	Reorientação ins. de fixadores	8	-	-	4.50	36.00
20	2.22	Part	lâminas	4	4	2.73	6.00	34.92
21	4.3	Part	mancais	2	2	1.99	15.40	34.78
22	1.10	Part	Pára-lamas	1	1	5.80	27.30	33.10
23	3.20	Part	parafuso	2	0	1.99	9.60	28.58
24	1.30	Part	Correia eixo-dosador	1	1	6.00	17.40	26.30
25	1.18	Part	Correia eixo-enxada	1	1	6.00	17.40	26.30
26	2.21	Oper	Reorientation	4	-	-	4.50	18.00
27	2.7	Part	anel	1	0	4.30	6.50	17.90
28	1.2	Sub2	Enxada Rotativa	1	-	5.80	11.40	17.20
29	2.20	Part	anel	1	0	4.30	6.50	16.20
30	2.5	Part	anel	1	0	4.30	6.50	16.20
31	2.13	Part	anel	1	0	4.30	6.50	16.20
32	3.19	Part	anel	1	0	4.30	6.50	16.20
33	1.22	Part	arruela	4	0	1.69	2.30	15.96
34	2.24	Part	arruela	4	0	1.69	2.30	15.96
35	1.19	Part	Roda	1	1	3.80	11.90	15.70
36	3.2	Part	mancai eixo interm.	1	1	2.30	13.20	15.50
37	3.4	Part	mancai eixo interm.	1	0	2.30	13.20	15.50
38	4.2	Part	rotor do dosador + eixo	1	1	4.30	11.00	15.30
39	1.31	Part	Proteção externa das correias	1	1	3.80	11.40	15.20
40	1.1	Part	Estrutura	1	0	5.80	8.20	14.00
41	1.29	Part	Correia eixo-acionamento	1	1	7.00	7.00	14.00
42	3.11	Part	chavetas	2	0	3.26	3.40	13.32
43	2.3	Part	chavetas	2	0	3.26	3.40	13.32
44	2.12	Part	mancai enx. rot.	1	1	2.30	11.00	13.30
45	2.9	Part	mancai enx. rot.	1	1	2.30	11.00	13.30
46	4.1	Part	corpo do dosador	1	1	4.30	7.70	12.00
47	1.4	Part	arruela	3	0	1.69	2.30	11.97
48	1.8	Part	arrueia	3	0	1.69	2.30	11.97
49	1.16	Part	arruela	3	0	1.69	2.30	11.97
50	4.10	Part	pino	1	0	4.30	7.20	11.50
51	3.17	Part	pino	1	0	4.30	7.20	11.50
52	4.9	Part	roda dentada	1	1	2.30	8.90	11.20
53	3.12	Part	roda dentada (10d)	1	1	2.30	8.90	11.20
54	2.2	Part	cubo	1	0	2.30	8.90	11.20
55	4.4	Oper	interference fitting	2	-	-	5.00	10.00
56	3.6	Oper	push fitting	2	-	-	5.00	10.00
57	1.14	Sub3	Eixo intermediário	1	-	3.80	6.00	9.80
58	2.18	Part	roda dentada	1	1	2.30	6.50	8.80
59	4.7	Part	alojamento esquerdo	1	1	2.30	6.50	8.80
60	3.5	Part	suporte dos mancais	1	1	2.30	6.50	8.80
61	4.5	Part	alojamento direito	1	0	2.30	6.50	8.80
62	2.14	Part	alojamento externo	1	1	2.30	6.00	8.30
63	2.1	Part	eixo	1	1	2.30	6.00	8.30
64	3.1	Part	eixo	1	1	2.30	6.00	8.30
65	2.16	Part	alojamento externo	1	1	2.30	6.00	8.30

DESIGN FOR ASSEMBLY PRODUCT REVIEW TABLE REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

No.	Sub no. entry no.	Type	Name	Repeat count	Minimum items	Handling time, s	Insertion or op'n time, s	Total time, s
66	1.33	Part	Reservatório	1	1	3.80	4.00	7.80
67	2.17	Part	chaveta	1	0	4.30	3.40	7.70
68	3.15	Part	roda dentada (12d)	1	1	2.30	5.30	7.60
69	3.10	Part	polia	1	1	2.30	5.30	7.60
70	3.9	Part	tampa dos mancais	1	1	1.99	5.30	7.29
71	3.7	Part	tampa dos mancais	1	0	1.99	5.30	7.29
72	1.28	Oper	encaixe mangueira no pára-la...	1	-	-	7.20	7.20
73	2.4	Oper	interference fitting	1	-	-	7.20	7.20
74	2.8	Part	alojamento interno	1	1	2.30	3.40	5.70
75	2.11	Part	alojamento interno	1	1	2.30	3.40	5.70
76	3.13	Oper	interference fitting	1	-	-	5.00	5.00
77	3.16	Oper	interference fitting	1	-	-	5.00	5.00
78	2.19	Oper	interference fitting	1	-	-	5.00	5.00
79	3.18	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50
80	2.6	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50
81	2.10	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50
82	2.15	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50
83	4.6	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50
84	1.6	Oper	Reorientação ins. de fixadores	1	-	-	4.50	4.50
85	3.8	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50
86	1.20	Oper	Reorientação ins. de fixadores	1	-	-	4.50	4.50
87	3.3	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50
88	3.14	Oper	Reorientation	1	-	-	4.50	4.50

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/labert. e adub. [IMPF.DFA]

Incorporate integral fastening elements into functional parts, or change the securing methods, in order to eliminate as many as possible of the following separate fastening elements:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.3	3	parafuso	39.60	1.91
1.4	3	arruela	11.97	0.58
1.5	3	porca	39.02	1.88
1.7	3	parafuso	39.60	1.91
1.8	3	arruela	11.97	0.58
1.9	3	porca	39.02	1.88
1.13	16	parafusos M4	302.52	14.59
1.15	3	parafuso	39.60	1.91
1.16	3	arruela	11.97	0.58
1.17	3	porca	39.02	1.88
1.21	4	parafuso	51.00	2.46
1.22	4	arruela	15.96	0.77
1.23	4	porca	49.52	2.39
1.25	4	parafuso	51.00	2.46
1.26	16	arruela	63.84	3.08
1.27	8	porca	93.64	4.52
1.32	4	parafuso	79.68	3.84
Totals			978.93	47.23

Combine connected items or attempt to rearrange the structure of the product in order to eliminate the following items whose function is solely to make connections:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.1	1	Estrutura	14.00	0.68
1.11	4	presilhas	67.32	3.25
Totals			81.32	3.92

Reduce separate operation times where possible. Try to improve or eliminate any which do not add value to the product and yet contribute significantly to assembly time.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.28	1	encaixe mangueira no pára-lama	7.20	0.35
Totals			7.20	0.35

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

194

Change the assembly structure, where possible, so that the following reorientations or other manipulations are unnecessary:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.6	1	Reorientação ins. de fixadores	4.50	0.22
1.12	8	Reorientação ins. de fixadores	36.00	1.74
1.20	1	Reorientação ins. de fixadores	4.50	0.22
Totals			45.00	2.17

Design locating features into mating parts of the assembly to eliminate the need for holding down the following items during the assembly process:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.1	1	Estrutura	0.00	0.00
1.10	1	Pára-lamas	0.00	0.00
1.11	4	presilhas	14.40	0.69
1.14	1	Eixo intermediário	2.20	0.11
1.19	1	Roda	3.60	0.17
1.24	1	Dosador + mangueira	0.00	0.00
1.31	1	Proteção externa das correias	2.20	0.11
Totals			22.40	1.08

Add assembly features such as chamfers, lips, leads, etc., to make the following items self-aligning:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.1	1	Estrutura	3.70	0.18
1.2	1	Enxada Rotativa	1.50	0.07
1.3	3	parafuso	5.10	0.25
1.5	3	porca	5.10	0.25
1.7	3	parafuso	5.10	0.25
1.9	3	porca	5.10	0.25
1.10	1	Pára-lamas	0.00	0.00
1.11	4	presilhas	0.00	0.00
1.13	16	parafusos M4	0.00	0.00
1.14	1	Eixo intermediário	2.60	0.13
1.15	3	parafuso	5.10	0.25
1.17	3	porca	5.10	0.25
1.18	1	Correia eixo-enxada	0.00	0.00
1.19	1	Roda	0.00	0.00
1.21	4	parafuso	6.80	0.33
1.23	4	porca	6.80	0.33
1.24	1	Dosador + mangueira	0.00	0.00
1.25	4	parafuso	6.80	0.33
1.27	8	porca	13.60	0.66
1.30	1	Correia eixo-dosador	0.00	0.00
1.31	1	Proteção externa das correias	2.60	0.13

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO pabert. e adub. [IMPF.DFA]

195

Add assembly features such as chamfers, lips, leads, etc., to make the following items self-aligning:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.32	4	parafuso	6.80	0.33
Totals			81.80	3.95

Redesign the assembly where possible to allow adequate access and unrestricted vision for placement or insertion of the following items:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.2	1	Enxada Rotativa	2.20	0.11
1.10	1	Pára-lamas	6.40	0.31
1.11	4	presilhas	8.80	0.42
1.18	1	Correia eixo-enxada	4.40	0.21
1.24	1	Dosador + mangueira	12.00	0.58
1.28	1	encaixe mangueira no pára-lama	2.20	0.11
1.30	1	Correia eixo-dosador	4.40	0.21
1.32	4	parafuso	25.60	1.24
Totals			66.00	3.18

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate or reduce handling difficulties which include one or more of the following: nest or tangle, sticky, fragile, slippery, sharp.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.2	1	Enxada Rotativa	0.00	0.00
1.11	4	presilhas	3.12	0.15
1.13	16	parafusos M4	12.32	0.59
1.32	4	parafuso	3.08	0.15
Totals			18.52	0.89

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate or reduce handling difficulties which include one or more of the following: severely nest, severely tangle, flexible.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.18	1	Correia eixo-enxada	0.00	0.00
1.29	1	Correia eixo-acionamento	3.20	0.15
1.30	1	Correia eixo-dosador	0.00	0.00
Totals			3.20	0.15

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO piabert. e adub. [IMPF.DFA]

196

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate the need for grasping tools:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.18	1	Correia eixo-enxada	1.90	0.09
1.30	1	Correia eixo-dosador	1.90	0.09
Totals			3.80	0.18

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate resistance to insertion or severe insertion difficulties:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.10	1	Pára-lamas	7.30	0.35
1.11	4	presilhas	23.60	1.14
1.13	16	parafusos M4	102.40	4.94
1.18	1	Correia eixo-enxada	4.50	0.22
1.19	1	Roda	5.90	0.28
1.24	1	Dosador + mangueira	18.30	0.88
1.30	1	Correia eixo-dosador	4.50	0.22
1.33	1	Reservatório	0.00	0.00
Totals			166.50	8.03

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate or reduce handling difficulties causing the items to be awkward or difficult to grasp or control.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.1	1	Estrutura	4.20	0.20
1.2	1	Enxada Rotativa	0.00	0.00
1.10	1	Pára-lamas	7.60	0.37
1.18	1	Correia eixo-enxada	0.00	0.00
1.24	1	Dosador + mangueira	12.80	0.62
1.30	1	Correia eixo-dosador	0.00	0.00
Totals			24.60	1.19

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. (IMPF.DFA)

197

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate the need for regrasping the items prior to insertion.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
1.2	1	Enxada Rotativa	5.40	0.26
1.10	1	Pára-lamas	5.40	0.26
1.18	1	Correia eixo-enxada	0.00	0.00
1.24	1	Dosador + mangueira	13.50	0.65
1.29	1	Correia eixo-acionamento	0.00	0.00
1.30	1	Correia eixo-dosador	0.00	0.00
1.31	1	Proteção externa das correias	5.40	0.26
Totals			29.70	1.43

Review the following items and operations which may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Possible ergonomic problem areas
1.1	1	Estrutura	item out of reach, bulky, etc.; holding down, supporting weight
1.2	1	Enxada Rotativa	item out of reach, bulky, etc.; sharp, obstructed access
1.3	3	parafuso	item out of reach, tool out of reach
1.4	3	arruela	item out of reach
1.5	3	porca	item out of reach, tool out of reach
1.7	3	parafuso	item out of reach, tool out of reach
1.8	3	arruela	item out of reach
1.9	3	porca	item out of reach, tool out of reach
1.10	1	Pára-lamas	item out of reach, bulky, etc.; restricted view, obstructed acces...
1.11	4	presilhas	item out of reach, slippery, restricted view, holding down, sever...
1.13	16	parafusos M4	item out of reach, tool out of reach, slippery, severe insertion di...
1.14	1	Eixo intermediário	item out of reach, holding down
1.15	3	parafuso	item out of reach, tool out of reach
1.16	3	arruela	item out of reach
1.17	3	porca	item out of reach, tool out of reach
1.18	1	Correia eixo-enxada	item out of reach, bulky, etc.; flexible, restricted view, obstructe...
1.19	1	Roda	item out of reach, holding down, severe insertion difficulties
1.21	4	parafuso	item out of reach, tool out of reach
1.22	4	arruela	item out of reach
1.23	4	porca	item out of reach, tool out of reach
1.24	1	Dosador + mangueira	item out of reach, heavy, bulky, etc.; obstructed access, holdin...
1.25	4	parafuso	item out of reach, tool out of reach
1.26	16	arruela	item out of reach
1.27	8	porca	item out of reach, tool out of reach
1.28	1	encaxe mangueira no pára-lama	obstructed access
1.29	1	Correia eixo-acionamento	item out of reach, flexible
1.30	1	Correia eixo-dosador	item out of reach, bulky, etc.; flexible, restricted view, obstructe...
1.31	1	Proteção externa das correias	item out of reach, holding down
1.32	4	parafuso	item out of reach, tool out of reach, slippery, obstructed access
1.33	1	Reservatório	item out of reach, significant resistance

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia. NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Incorporate integral fastening elements into functional parts, or change the securing methods, in order to eliminate as many as possible of the following separate fastening elements:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.3	2	chavetas	13.32	0.64
2.5	1	anel	16.20	0.78
2.7	1	anel	17.90	0.86
2.13	1	anel	16.20	0.78
2.17	1	chaveta	7.70	0.37
2.20	1	anel	16.20	0.78
2.23	4	parafuso	51.00	2.46
2.24	4	arruela	15.96	0.77
2.25	4	porca	49.52	2.39
Totals			204.00	9.84

Reduce the number of items in the assembly by combining with others or eliminating the following parts or subs:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.2	1	cubo	11.20	0.54
Totals			11.20	0.54

NOTE: Combining an item with another may eliminate further items such as fasteners or operations resulting in much larger time reductions than those indicated.

Reduce separate operation times where possible. Try to improve or eliminate any which do not add value to the product and yet contribute significantly to assembly time.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.4	1	interference fitting	7.20	0.35
2.19	1	interference fitting	5.00	0.24
Totals			12.20	0.59

Change the assembly structure, where possible, so that the following reorientations or other manipulations are unnecessary:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.6	1	Reorientation	4.50	0.22
2.10	1	Reorientation	4.50	0.22
2.15	1	Reorientation	4.50	0.22
2.21	4	Reorientation	18.00	0.87
Totals			31.50	1.52

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p[abert. e adub. (IMPF.DFA)]

199

Design locating features into mating parts of the assembly to eliminate the need for holding down the following items during the assembly process:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.1	1	eixo	2.20	0.11
2.2	1	cubo	3.60	0.17
2.3	2	chavetas	2.20	0.11
2.8	1	alojamento interno	1.10	0.05
2.11	1	alojamento interno	1.10	0.05
2.14	1	alojamento externo	2.20	0.11
2.16	1	alojamento externo	2.20	0.11
2.17	1	chaveta	1.10	0.05
2.22	4	lâminas	8.80	0.42
Totals			24.50	1.18

Add assembly features such as chamfers, lips, leads, etc., to make the following items self-aligning:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.1	1	eixo	2.60	0.13
2.2	1	cubo	2.90	0.14
2.5	1	anel	1.50	0.07
2.7	1	anel	1.50	0.07
2.9	1	mancal enx. rot.	0.00	0.00
2.12	1	mancal enx. rot.	0.00	0.00
2.13	1	anel	1.50	0.07
2.14	1	alojamento externo	2.60	0.13
2.16	1	alojamento externo	2.60	0.13
2.18	1	roda dentada	1.50	0.07
2.20	1	anel	1.50	0.07
2.22	4	lâminas	10.40	0.50
2.23	4	parafuso	6.80	0.33
2.25	4	porca	6.80	0.33
Totals			42.20	2.04

Redesign the assembly where possible to allow adequate access and unrestricted vision for placement or insertion of the following items:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.4	1	interference fitting	2.20	0.11
Totals			2.20	0.11

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

200

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate or reduce handling difficulties which include one or more of the following: nest or tangle, sticky, fragile, slippery, sharp.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.3	2	chavetas	2.54	0.12
2.5	1	anel	0.30	0.01
2.7	1	anel	0.30	0.01
2.13	1	anel	0.30	0.01
2.17	1	chaveta	2.00	0.10
2.20	1	anel	0.30	0.01
2.22	4	lâminas	3.12	0.15

Totals 8.86 0.43

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate the need for grasping tools:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.5	1	anel	5.40	0.26
2.7	1	anel	7.10	0.34
2.13	1	anel	5.40	0.26
2.20	1	anel	5.40	0.26

Totals 23.30 1.12

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate resistance to insertion or severe insertion difficulties:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
2.2	1	cubo	2.90	0.14
2.9	1	mancal enx. rot.	4.50	0.22
2.12	1	mancal enx. rot.	4.50	0.22
2.18	1	roda dentada	0.00	0.00

Totals 11.90 0.57

Review the following items and operations which may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Possible ergonomic problem areas
2.1	1	eixo	item out of reach, holding down
2.2	1	cubo	item out of reach, significant resistance, holding down
2.3	2	chavetas	item out of reach, slippery, holding down
2.4	1	interference fitting	restricted view
2.5	1	anel	item out of reach
2.7	1	anel	item out of reach
2.8	1	alojamento interno	item out of reach, holding down
2.9	1	mancal enx. rot.	item out of reach, significant resistance, severe insertion diffic...
2.11	1	alojamento interno	item out of reach, holding down
2.12	1	mancal enx. rot.	item out of reach, significant resistance, severe insertion diffic...
2.13	1	anel	item out of reach
2.14	1	alojamento externo	item out of reach, holding down
2.16	1	alojamento externo	item out of reach, holding down
2.17	1	chaveta	item out of reach, slippery, holding down
2.18	1	roda dentada	item out of reach, significant resistance
2.19	1	interference fitting	item out of reach
2.20	1	anel	item out of reach
2.22	4	lâminas	item out of reach, sharp, holding down
2.23	4	parafuso	item out of reach, tool out of reach
2.24	4	arruela	item out of reach
2.25	4	porca	item out of reach, tool out of reach

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO pfabert. e adub. [IMPF.DFA]

Incorporate integral fastening elements into functional parts, or change the securing methods, in order to eliminate as many as possible of the following separate fastening elements:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.11	2	chavetas	13.32	0.64
3.17	1	pino	11.50	0.55
3.19	1	anel	16.20	0.78
3.20	2	parafuso	28.58	1.38
Totals			69.60	3.36

Reduce the number of items in the assembly by combining with others or eliminating the following parts or subs:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.4	1	mancal eixo intern.	15.50	0.75
3.7	1	tampa dos mancais	7.29	0.35
Totals			22.79	1.10

NOTE: Combining an item with another may eliminate further items such as fasteners or operations resulting in much larger time reductions than those indicated.

Reduce separate operation times where possible. Try to improve or eliminate any which do not add value to the product and yet contribute significantly to assembly time.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.6	2	push fitting	10.00	0.48
3.13	1	interference fitting	5.00	0.24
3.16	1	interference fitting	5.00	0.24
Totals			20.00	0.96

Change the assembly structure, where possible, so that the following reorientations or other manipulations are unnecessary:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.3	1	Reorientation	4.50	0.22
3.8	1	Reorientation	4.50	0.22
3.14	1	Reorientation	4.50	0.22
3.18	1	Reorientation	4.50	0.22
Totals			18.00	0.87

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. (IMPF.DFA)

203

Design locating features into mating parts of the assembly to eliminate the need for holding down the following items during the assembly process:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.1	1	eixo	2.20	0.11
3.11	2	chavetas	2.20	0.11
3.12	1	roda dentada (10d)	3.60	0.17
Totals			8.00	0.39

Add assembly features such as chamfers, lips, leads, etc.. to make the following items self-aligning:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.1	1	eixo	2.60	0.13
3.2	1	mancal eixo interm.	0.00	0.00
3.4	1	mancai eixo interm.	0.00	0.00
3.5	1	suporte dos mancais	1.50	0.07
3.7	1	tampa dos mancais	1.19	0.06
3.9	1	tampa dos mancais	1.19	0.06
3.10	1	polia	1.50	0.07
3.12	1	roda dentada (10d)	2.90	0.14
3.15	1	roda dentada (12d)	1.50	0.07
3.19	1	anel	1.50	0.07
3.20	2	parafuso	3.40	0.16
Totals			17.28	0.83

Redesign the assembly where possible to allow adequate access and unrestricted vision for placement or insertion of the following items:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.2	1	mancal eixo interm.	2.20	0.11
3.4	1	mancal eixo interm.	2.20	0.11
3.17	1	pino	2.20	0.11
Totals			6.60	0.32

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. (IMPF.DFA)

204

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate or reduce handling difficulties which include one or more of the following: nest or tangle, sticky, fragile, slippery, sharp.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.11	2	chavetas	2.54	0.12
3.17	1	pino	2.00	0.10
3.19	1	anel	0.30	0.01
Totals			4.84	0.23

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate the need for grasping tools:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.19	1	anel	5.40	0.26
Totals			5.40	0.26

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate resistance to insertion or severe insertion difficulties:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
3.2	1	mancal eixo interm.	4.50	0.22
3.4	1	mancai eixo interm.	4.50	0.22
3.5	1	suporte dos mancais	0.00	0.00
3.7	1	tampa dos mancais	1.19	0.06
3.9	1	tampa dos mancais	1.19	0.06
3.10	1	polia	1.50	0.07
3.12	1	roda dentada (10d)	2.90	0.14
3.15	1	roda dentada (12d)	1.50	0.07
3.17	1	pino	0.00	0.00
Totals			17.28	0.83

Review the following items and operations which may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Possible ergonomic problem areas
3.1	1	eixo	item out of reach, holding down
3.2	1	mancal eixo interm.	item out of reach, obstructed access, significant resistance, se...
3.4	1	mancal eixo interm.	item out of reach, obstructed access, significant resistance, se...
3.5	1	suporte dos mancais	item out of reach, significant resistance
3.6	2	push fitting	item out of reach

Review the following items and operations which may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Possible ergonomic problem areas
3.7	1	tampa dos mancais	item out of reach, significant resistance
3.9	1	tampa dos mancais	item out of reach, significant resistance
3.10	1	polia	item out of reach, significant resistance
3.11	2	chavetas	item out of reach, slippery, holding down
3.12	1	roda dentada (10d)	item out of reach, significant resistance, holding down
3.13	1	interference fitting	item out of reach
3.15	1	roda dentada (12d)	item out of reach, significant resistance
3.16	1	interference fitting	item out of reach
3.17	1	pino	item out of reach, slippery, restricted view, significant resistance
3.19	1	anel	item out of reach
3.20	2	parafuso	item out of reach, tool out of reach

c9

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

206

Incorporate integral fastening elements into functional parts, or change the securing methods, in order to eliminate as many as possible of the following separate fastening elements:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings s	Relative effect of change
4.8	2	parafusos	39.12	1.89
4.10	1	pino	11.50	0.55
Totals			50.62	2.44

Reduce the number of items in the assembly by combining with others or eliminating the following parts or subs:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings s	Relative effect of change
4.5	1	alojamento direito	8.80	0.42
Totals			8.80	0.42

NOTE: Combining an item with another may eliminate further items such as fasteners or operations resulting in much larger time reductions than those indicated.

Reduce separate operation times where possible. Try to improve or eliminate any which do not add value to the product and yet contribute significantly to assembly time.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings s	Relative effect of change
4.4	2	interference fitting	10.00	0.48
Totals			10.00	0.48

Change the assembly structure, where possible, so that the following reorientations or other manipulations are unnecessary:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings s	Relative effect of change
4.6	1	Reorientation	4.50	0.22
Totals			4.50	0.22

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

207

Design locating features into mating parts of the assembly to eliminate the need for holding down the following items during the assembly process:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
4.9	1	roda dentada	3.60	0.17
Totals			3.60	0.17

Add assembly features such as chamfers, lips, leads, etc., to make the following items self-aligning:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
4.2	1	rotor do dosador + eixo	0.00	0.00
4.3	2	mancais	0.00	0.00
4.5	1	alojamento direito	1.50	0.07
4.7	1	alojamento esquerdo	1.50	0.07
4.8	2	parafusos	3.40	0.16
4.9	1	roda dentada	2.90	0.14
Totals			9.30	0.45

Redesign the assembly where possible to allow adequate access and unrestricted vision for placement or insertion of the following items:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
4.3	2	mancais	8.80	0.42
4.8	2	parafusos	8.00	0.39
4.10	1	pino	2.20	0.11
Totals			19.00	0.92

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate or reduce handling difficulties which include one or more of the following: nest or tangle, sticky, fragile, slippery, sharp.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
4.8	2	parafusos	2.40	0.12
4.10	1	pino	2.00	0.10
Totals			4.40	0.21

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate resistance to insertion or severe insertion difficulties:

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
4.2	1	rotor do dosador + eixo	4.50	0.22
4.3	2	mancais	9.00	0.43
4.5	1	alojamento direito	0.00	0.00
4.7	1	alojamento esquerdo	0.00	0.00
4.9	1	roda dentada	2.90	0.14
4.10	1	pino	0.00	0.00
Totals			16.40	0.79

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate or reduce handling difficulties causing the items to be awkward or difficult to grasp or control.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
4.1	1	corpo do dosador	1.30	0.06
4.2	1	rotor do dosador + eixo	2.00	0.10
Totals			3.30	0.16

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate the need for regrasping the items prior to insertion.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Time savings	Relative effect of change
4.1	1	corpo do dosador	5.40	0.26
4.2	1	rotor do dosador + eixo	0.00	0.00
Totals			5.40	0.26

Review the following items and operations which may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Possible ergonomic problem areas
4.1	1	corpo do dosador	item out of reach, bulky, etc.
4.2	1	rotor do dosador + eixo	item out of reach, bulky, etc.; significant resistance, severe ins...
4.3	2	mancais	item out of reach, restricted view, obstructed access, significa...
4.4	2	interference fitting	item out of reach
4.5	1	alojamento direito	item out of reach, significant resistance
4.7	1	alojamento esquerdo	item out of reach, significant resistance
4.8	2	parafusos	item out of reach, tool out of reach, slippery, restricted view
4.9	1	roda dentada	item out of reach, significant resistance, holding down

DESIGN FOR ASSEMBLY SUGGESTIONS FOR REDESIGN REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Review the following items and operations which may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

Sub no. entry no.	Repeat count	Name	Possible ergonomic problem areas
4.10	1	pino	item out of reach, slippery, restricted view, significant resistance

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. (IMPF.DFA)

Responses for: (1) IMPLEMENTO p/abert. e adub.

Item no. 1.1 - Estrutura	
Definition & Repeats	Part, secured by separate operation, 1
Minimum part criteria	Connecting other items
Shape, symmetry, size	Block, long dim.=800.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x360
Handling difficulties	Heavy, 2 hands
Insertion difficulties	Alignment, holding, supporting
Fetching distance	Item 1 to 2 m
Item no. 1.2 - Enxada Rotativa	
Definition & Repeats	Subassembly, secured by separate operation, 1
Minimum part criteria	Relative movement
Shape, symmetry, size	Short cyl., len.=400.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0
Handling difficulties	Sharp, heavy, 2 hands
Insertion difficulties	Access, alignment, regrasping
Fetching distance	Item 1 to 2 m
Item no. 1.3 - parafuso	
Definition & Repeats	Part, secured by threaded fastening, 3
Minimum part criteria	Fastening other items
Shape, symmetry, size	Short cyl., len.=10.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0
Operation characteristics	Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions
Handling difficulties	No difficulties
Insertion difficulties	Alignment
Fetching distance	Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.4 - arruela	
Definition & Repeats	Part, secured by separate operation, 3
Minimum part criteria	Fastening other items
Shape, symmetry, size	Disc, dia.=10.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0
Handling difficulties	No difficulties
Insertion difficulties	No difficulties
Fetching distance	Item 0.3 to 1 m
Item no. 1.5 - porca	
Definition & Repeats	Part, secured by threaded fastening, 3
Minimum part criteria	Fastening other items
Shape, symmetry, size	Disc, dia.=10.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0
Operation characteristics	Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions
Handling difficulties	No difficulties
Insertion difficulties	Alignment
Fetching distance	Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.6 - Reorientação ins. de fixadores	
Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 1.7 - parafuso	
Definition & Repeats	Part, secured by threaded fastening, 3
Minimum part criteria	Fastening other items
Shape, symmetry, size	Short cyl., len.=10.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0
Operation characteristics	Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions
Handling difficulties	No difficulties
Insertion difficulties	Alignment
Fetching distance	Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.8 - arruela	
Definition & Repeats	Part, secured by separate operation, 3
Minimum part criteria	Fastening other items
Shape, symmetry, size	Disc, dia.=10.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0
Handling difficulties	No difficulties
Insertion difficulties	No difficulties
Fetching distance	Item 0.3 to 1 m
Item no. 1.9 - porca	
Definition & Repeats	Part, secured by threaded fastening, 3
Minimum part criteria	Fastening other items
Shape, symmetry, size	Disc, dia.=10.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0
Operation characteristics	Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions
Handling difficulties	No difficulties

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFES
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Insertion difficulties Fetching distance	Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.10 - Pára-lamas Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Block, long dim.=520.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 360x360 Heavy, 2 hands View, access, alignment, severe diffs., holding, regrasping, supporting Item 1 to 2 m
Item no. 1.11 - presilhas Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 4 Connecting other items Block, long dim.=80.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x360 Slippery View, alignment, severe diffs., holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 1.12 - Reorientação ins. de fixadores Definition & Repeats	Reorientation, 8
Item no. 1.13 - parafusos M4 Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 16 Fastening other items Short cyl., len.=8.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions Slippery Alignment, severe diffs. Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.14 - Eixo intermediário Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Subassembly, secured by separate operation, 1 Relative movement Short cyl., len.=150.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0 2 hands Alignment, holding Item 1 to 2 m
Item no. 1.15 - parafuso Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 3 Fastening other items Short cyl., len.=10.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.16 - arruela Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 3 Fastening other items Disc, dia.=10.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 No difficulties No difficulties Item 0.3 to 1 m
Item no. 1.17 - porca Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 3 Fastening other items Disc, dia.=10.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.18 - Correia eixo-enxada Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size	Part, secured by staking, 1 Relative movement Disc, dia.=400.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Flexible, heavy, tools, 2 hands View, access, alignment, severe diffs., regrasping Item 1 to 2 m, tool within easy reach
Item no. 1.19 - Roda Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Relative movement Block, long dim.=400.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x360 2 hands Alignment, severe diffs., holding Item 1 to 2 m
Item no. 1.20 - Reorientação ins. de fixadores Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 1.21 - parafuso Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 4 Fastening other items Short cyl., len.=10.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.22 - arruela Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 4 Fastening other items Disc, dia.=10.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 No difficulties No difficulties Item 0.3 to 1 m
Item no. 1.23 - porca Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 4 Fastening other items Disc, dia.=10.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.24 - Dosador + mangueira Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Subassembly, secured by separate operation, 1 Relative movement Block, long dim.=400.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x360 Heavy, 2 hands, 2 persons Access, alignment, severe diffs., holding, regrasping, supporting Item 1 to 2 m
Item no. 1.25 - parafuso Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 4 Fastening other items Short cyl., len.=10.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.26 - arruela Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 16 Fastening other items Disc, dia.=10.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 No difficulties No difficulties Item 0.3 to 1 m
Item no. 1.27 - porca Definition & Repeats Minimum part criteria	Part, secured by threaded fastening, 8 Fastening other items

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Disc, dia.=10.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.28 - encaixe mangueira no pára-lama Definition & Repeats Operation difficulties	Standard op.push fitting, 1 Access
Item no. 1.29 - Correia eixo-acionamento Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by staking, 1 Relative movement Disc, dia.=400.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 Flexible, 2 hands Regrasping Item 1 to 2 m
Item no. 1.30 - Correia eixo-dosador Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by staking, 1 Relative movement Disc, dia.=400.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 Flexible, heavy, tools, 2 hands View, access, alignment, severe diffs., regrasping Item 1 to 2 m, tool within easy reach
Item no. 1.31 - Proteção externa das correias Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Flat, long dim.=400.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x360 2 hands Alignment, holding, regrasping Item 1 to 2 m
Item no. 1.32 - parafuso Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 4 Fastening other items Short cyl., len.=6.000, sm. dim. >= 4,0 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions Slippery Access, alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 1.33 - Reservatório Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by self-sticking, 1 Different material Block, long dim.=450.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 2 hands Resistance Item 1 to 2 m

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Responses for: (2) Enxada Rotativa

Item no. 2.1 - eixo Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 First item is required Long cyl., len.=500.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 180x0 2 hands Alignment, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.2 - cubo Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 None apply Short cyl., len.=300.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 180x0 2 hands Alignment, resistance, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.3 - chavetas Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 2 Fastening other items Block, long dim.=50.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 0x0 Slippery Holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.4 - interference fitting Definition & Repeats Operation difficulties	Standard op.interference fitting, 1 View
Item no. 2.5 - anel Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Fastening other items Disc, dia.=20.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 Nest/tangle, tools Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 2.6 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 2.7 - anel Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Fastening other items Disc, dia.=20.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 Nest/tangle, tools Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 1 to 2 m
Item no. 2.8 - alojamento interno Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Relative movement Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.9 - mancal enx. rot. Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by interference fitting, 1 Relative movement Disc, dia.=40.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 No difficulties Alignment, resistance, severe diffs. Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.10 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 2.11 - alojamento interno Definition & Repeats	Part, secured by separate operation, 1

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Relative movement Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.12 - mancal enx. rot. Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by interference fitting, 1 Relative movement Disc, dia.=40.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 No difficulties Alignment, resistance, severe diffs. Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.13 - anel Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Fastening other items Disc, dia.=20.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 Nest/tangle, tools Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 2.14 - alojamento externo Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.15 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 2.16 - alojamento externo Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.17 - chaveta Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Fastening other items Block, long dim.=10.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 0x0 Slippery Holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.18 - roda dentada Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=40.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.19 - interference fitting Definition & Repeats Operation difficulties	Standard op.interference fitting, 1 No difficulties
Item no. 2.20 - anel Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Fastening other items Disc, dia.=20.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 Nest/tangle, tools Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. (IMPF.DFA)

Item no. 2.21 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 4
Item no. 2.22 - lâminas Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 4 Different material Long, long dim.=200.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x360 Sharp Alignment, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.23 - parafuso Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 4 Fastening other items Short cyl., len.=10.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 2.24 - arruela Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 4 Fastening other items Disc, dia.=10.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 No difficulties No difficulties Item 0.3 to 1 m
Item no. 2.25 - porca Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 4 Fastening other items Disc, dia.=10.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Responses for: (3) Eixo intermediário

Item no. 3.1 - eixo Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Relative movement Long cyl., len.=200.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 180x0 No difficulties Alignment, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.2 - mancal eixo intern. Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by interference fitting, 1 Relative movement Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 No difficulties Access, alignment, resistance, severe diffs. Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.3 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 3.4 - mancal eixo intern. Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by interference fitting, 1 None apply Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 No difficulties Access, alignment, resistance, severe diffs. Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.5 - suporte dos mancais Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by interference fitting, 1 Assembly or disassembly Short cyl., len.=80.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 180x0 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.6 - push fitting Definition & Repeats Operation difficulties	Standard op.push fitting, 2 No difficulties
Item no. 3.7 - tampa dos mancais Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 None apply Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.8 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 3.9 - tampa dos mancais Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.10 - polia Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=70.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x180 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.11 - chavetas Definition & Repeats	Part, secured by separate operation, 2

DESIGN FOR ASSEMBLY RESPONSES REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
IMPLEMENTO p/abert. e adub. [IMPF.DFA]

Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Fastening other items Block, long dim.=50.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 0x0 Slippery Holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.12 - roda dentada (10d) Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x180 No difficulties Alignment, resistance, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.13 - interference fitting Definition & Repeats Operation difficulties	Standard op.interference fitting, 1 No difficulties
Item no. 3.14 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 3.15 - roda dentada (12d) Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=70.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x180 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.16 - interference fitting Definition & Repeats Operation difficulties	Standard op.interference fitting, 1 No difficulties
Item no. 3.17 - pino Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Fastening other items Long cyl., len.=20.000, sm. dim. < 4.0 & >= 0.5 mm, sym. 180x0 Slippery View, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 3.18 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 3.19 - anel Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Fastening other items Disc, dia.=20.000, sm. dim. < 2.0 & >= 0.25 mm, sym. 180x0 Nest/tangle, tools Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 3.20 - parafuso Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 2 Fastening other items Short cyl., len.=10.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions No difficulties Alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m

Responses for: (4) Dosador + mangueira

Item no. 4.1 - corpo do dosador Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Short cyl., len.=400.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 360x360 Heavy, 2 hands Regrasping Item 0.3 to 1 m
Item no. 4.2 - rotor do dosador + eixo Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Relative movement Short cyl., len.=300.000, sm. dim. >= 4.0 mm, sym. 180x0 Heavy, 2 hands Alignment, resistance, severe diffs., regrasping Item 0.3 to 1 m
Item no. 4.3 - mancais Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by interference fitting, 2 Relative movement Disc, dia.=60.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 180x0 No difficulties View, access, alignment, resistance, severe diffs. Item 0.3 to 1 m
Item no. 4.4 - interference fitting Definition & Repeats Operation difficulties	Standard op.interference fitting, 2 No difficulties
Item no. 4.5 - alojamento direito Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 None apply Disc, dia.=100.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 4.6 - Reorientation Definition & Repeats	Reorientation, 1
Item no. 4.7 - alojamento esquerdo Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=100.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, resistance Item 0.3 to 1 m
Item no. 4.8 - parafusos Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Operation characteristics Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by threaded fastening, 2 Fastening other items Short cyl., len.=6.000, sm. dim. < 4.0 & >= 0.5 mm, sym. 360x0 Hand tool: screwdriver, etc., <=5 revolutions Slippery View, alignment Item 0.3 to 1 m, tool 0.3 to 1 m
Item no. 4.9 - roda dentada Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by separate operation, 1 Assembly or disassembly Disc, dia.=250.000, sm. dim. >= 2 mm, sym. 360x0 No difficulties Alignment, resistance, holding Item 0.3 to 1 m
Item no. 4.10 - pino Definition & Repeats Minimum part criteria Shape, symmetry, size Handling difficulties Insertion difficulties Fetching distance	Part, secured by push fitting, 1 Fastening other items Long cyl., len.=20.000, sm. dim. < 4.0 & >= 0.5 mm, sym. 180x0 Slippery View, resistance Item 0.3 to 1 m

Apêndice D

Relatórios do Software DFMA para a Sugestão de Reprojeto

Neste apêndice encontram-se os relatórios gerados para a submontagem pára-lama e estrutura tubular do implemento agrícola de abertura e adubação de sulcos, e respectiva sugestão de reprojeto. Primeiramente, apresenta-se a estrutura do produto e a tabela de revisão dos tempos de montagem para a submontagem atual. Em seguida, apresenta-se a estrutura do produto e a tabela de revisão dos tempos de montagem para o reprojeto do pára-lama como sugerido no quinto capítulo.

DESIGN FOR ASSEMBLY STRUCTURE CHART REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-JFSC
ATUAL PÁRA-LAMA + ESTRUTURA [SUBPAL1B.DFA]

◇ = Part, □ = Subassembly/PCB, ○ = Operation, ⊗ = Excluded, ⊕ = Children hidden, ⊖ = Children visible

Time shown in seconds, Filter: None

⊖	(1) ATUAL PÁRA-LAMA + ESTRUTURA	2287.83		
⊖	1.1 (2) PÁRA-LAMA	1	33.10	
◇	2.1 chapa lateral esquerda	1	20.30	
◇	2.2 chapas internas	2	29.48	
○	2.3 seam weld steel	2	30.65	
◇	2.4 porcas internas	4	109.40	
○	2.5 seam weld steel	4	14.06	
◇	2.6 chapa lateral direita	1	20.30	
◇	2.7 chapas internas	2	29.48	
○	2.8 seam weld steel	2	30.65	
◇	2.9 porcas internas	4	109.40	
○	2.10 seam weld steel	4	14.06	
◇	2.11 chapa cobertura	1	20.30	
○	2.12 seam weld steel	2	279.45	
○	2.13 Reorientation	1	4.50	
◇	1.2 parafusos M4	16	302.52	
○	1.3 Reorientações ins. fixadores	8	36.00	
◇	1.4 presilhas	4	67.32	
⊖	1.5 (3) ESTRUTURA	1	14.00	
◇	3.1 tubo lateral esquerdo	1	20.30	
○	3.2 bending	1	8.20	
○	3.3 spot welding	1	9.20	
◇	3.4 chapa esquerda p/a enxada	1	19.60	
○	3.5 seam weld steel	1	183.27	
○	3.6 Reorientation	1	4.50	
◇	3.7 chapa p/o eixo intermediário	1	19.60	
○	3.8 seam weld steel	1	183.27	
◇	3.9 tubo lateral direito	1	20.30	
○	3.10 bending	1	8.20	
○	3.11 spot welding	1	7.00	

DESIGN FOR ASSEMBLY STRUCTURE CHART REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
ATUAL PARA-LAMA + ESTRUTURA [SUBPAL1B.DFA]

	3.12 chapa direita p/a enxada	1	19.60
	3.13 seam weld steel	1	183.27
	3.14 Reorientation	1	4.50
	3.15 chapa de suporte do dosador	1	19.60
	3.16 seam weld steel	2	123.18
	3.17 tubo frontal	1	19.60
	3.18 bending	1	4.00
	3.19 seam weld steel	2	51.07
	3.20 chapas frontais p/a roda	2	38.58
	3.21 seam weld steel	2	27.04
	3.22 Reorientation	1	4.50
	3.23 tubo traseiro	1	19.60
	3.24 bending	1	8.20
	3.25 seam weld steel	2	51.07
	3.26 chapas traseiras p/o trator	2	38.58
	3.27 seam weld steel	2	27.04

DESIGN FOR ASSEMBLY PRODUCT REVIEW TABLE REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
ATUAL PARA-LAMA + ESTRUTURA [SUBPAL1B.DFA]

No.	Sub no. entry no.	Type	Name	Repeat count	Minimum items	Handling time, s	Insertion or op'n time, s	Total time, s
1	1.2	Part	parafusos M4	16	0	2.57	16.00	302.52
2	2.12	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	279.45
3	3.8	Oper	seam weld steel	1	--	--	--	183.27
4	3.5	Oper	seam weld steel	1	--	--	--	183.27
5	3.13	Oper	seam weld steel	1	--	--	--	183.27
6	3.16	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	123.18
7	2.9	Part	porcas internas	4	0	6.50	19.50	109.40
8	2.4	Part	porcas internas	4	0	6.50	19.50	109.40
9	1.4	Part	presilhas	4	0	2.73	14.10	67.32
10	3.25	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	51.07
11	3.19	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	51.07
12	3.26	Part	chapas traseiras p/o trator	2	2	1.99	17.30	38.58
13	3.20	Part	chapas frontais p/a roda	2	2	1.99	17.30	38.58
14	1.3	Oper	Reorientações ins. fixadores	8	--	--	4.50	36.00
15	1.1	Sub2	PÁRA-LAMA	1	--	5.80	27.30	33.10
16	2.8	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	30.65
17	2.3	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	30.65
18	2.7	Part	chapas internas	2	0	3.34	11.40	29.48
19	2.2	Part	chapas internas	2	0	3.34	11.40	29.48
20	3.21	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	27.04
21	3.27	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	27.04
22	2.11	Part	chapa cobertura	1	1	3.00	17.30	20.30
23	2.6	Part	chapa lateral direita	1	0	3.00	17.30	20.30
24	3.9	Part	tubo lateral direito	1	0	3.00	17.30	20.30
25	3.1	Part	tubo lateral esquerdo	1	0	3.00	17.30	20.30
26	2.1	Part	chapa lateral esquerda	1	0	3.00	17.30	20.30
27	3.12	Part	chapa direita p/a enxada	1	1	2.30	17.30	19.60
28	3.15	Part	chapa de suporte do dosador	1	1	2.30	17.30	19.60
29	3.7	Part	chapa p/o eixo intermediário	1	1	2.30	17.30	19.60
30	3.4	Part	chapa esquerda p/a enxada	1	1	2.30	17.30	19.60
31	3.23	Part	tubo traseiro	1	0	2.30	17.30	19.60
32	3.17	Part	tubo frontal	1	0	2.30	17.30	19.60
33	2.5	Oper	seam weld steel	4	--	--	--	14.06
34	2.10	Oper	seam weld steel	4	--	--	--	14.06
35	1.5	Sub3	ESTRUTURA	1	--	5.80	8.20	14.00
36	3.3	Oper	spot welding	1	--	--	9.20	9.20
37	3.10	Oper	bending	1	--	--	1.10	8.20
38	3.24	Oper	bending	1	--	--	1.10	8.20
39	3.2	Oper	bending	1	--	--	1.10	8.20
40	3.11	Oper	spot welding	1	--	--	7.00	7.00
41	2.13	Oper	Reorientation	1	--	--	4.50	4.50
42	3.6	Oper	Reorientation	1	--	--	4.50	4.50
43	3.14	Oper	Reorientation	1	--	--	4.50	4.50
44	3.22	Oper	Reorientation	1	--	--	4.50	4.50
45	3.18	Oper	bending	1	--	--	1.10	4.00

DESIGN FOR ASSEMBLY STRUCTURE CHART REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
REPROJETO PARA-LAMA +ESTRUTURA [SUBPAL2B.DFA]

◇=Part, □=Subassembly/PCB, ○=Operation, ⊗=Excluded, ⊕=Children hidden, ⊖=Children visible

Time shown in seconds. Filter: None

⊖	(1) REPROJETO PARA-LAMA +ESTRUTURA	994.71		
⊖	1.1 (2) PARA-LAMA	1	27.70	
◇	2.1 chapa lateral esquerda	1	25.20	
◇	2.2 chapa lateral direita	1	25.20	
◇	2.3 chapa cobertura	1	25.20	
○	2.4 seam weld steel	2	603.90	
○	2.5 Reorientation	1	4.50	
◇	1.2 chapa de suporte do dosador	1	19.60	
○	1.3 seam weld steel	1	123.18	
○	1.4 Reorientation	1	4.50	
◇	1.5 chapas frontais p/a roda	2	38.58	
○	1.6 seam weld steel	2	27.04	
○	1.7 Reorientation	1	4.50	
◇	1.8 chapas traseiras p/o trator	2	38.58	
○	1.9 seam weld steel	2	27.04	

DESIGN FOR ASSEMBLY PRODUCT REVIEW TABLE REPORT
Fundacao do Ensino da Engenharia, NeDIP-EMC-UFSC
REPROJETO PARA-LAMA + ESTRUTURA [SUBPAL2B.DFA]

No.	Sub no. entry no.	Type	Name	Repeat count	Minimum items	Handling time, s	Insertion or op'n time, s	Total time, s
1	2.4	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	603.90
2	1.3	Oper	seam weld steel	1	--	--	--	123.18
3	1.8	Part	chapas traseiras p/o trator	2	2	1.99	17.30	38.58
4	1.5	Part	chapas frontais p/a roda	2	2	1.99	17.30	38.58
5	1.1	Sub2	PARA-LAMA	1	--	5.80	21.90	27.70
6	1.9	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	27.04
7	1.6	Oper	seam weld steel	2	--	--	--	27.04
8	2.1	Part	chapa lateral esquerda	1	1	4.30	20.90	25.20
9	2.2	Part	chapa lateral direita	1	1	4.30	20.90	25.20
10	2.3	Part	chapa cobertura	1	0	4.30	20.90	25.20
11	1.2	Part	chapa de suporte do dosador	1	1	2.30	17.30	19.60
12	2.5	Oper	Reorientation	1	--	--	4.50	4.50
13	1.7	Oper	Reorientation	1	--	--	4.50	4.50
14	1.4	Oper	Reorientation	1	--	--	4.50	4.50

Glossário

Abstração - processo em que se ignora o que é particular e se enfatiza o que é geral e essencial.

Alinhamento - Posicionamento do componente em uma ou mais direções axiais em relação ao componente-base.

Armazenamento - armazenamento orientado ao tempo de componentes não orientados.

Benchmarking - técnica de comparação entre objetos (*empresas, produtos, etc.*) concorrentes, tentando identificar as tendências globais.

Bloco Construtivo - uma parte composta do produto que, devido aos requisitos de montagem, representa uma submontagem.

Cliente - aquele que requisita a elaboração do projeto.

Componente - que, ou o que, entra na composição de algo. Abrange desde uma peça individual até a combinação de peças que são incluídas no produto.

Componente-base - um componente, geralmente maior, sobre ou no o qual outros componentes são montados. Pode ser entendido como sendo o primeiro componente a aparecer no processo de montagem.

Concepção - idéia do que é ou do que poderá vir a ser o produto. Geralmente é composta de uma combinação de princípios de solução.

DFA - Projeto para montagem. Metodologia de projeto que visa a projetar o produto para a sua fácil montagem.

DFM - Projeto para manufatura. Metodologia de projeto que visa assegurar que o produto foi otimamente projetado para o método de manufatura escolhido com ênfase no menor custo.

DFX - Projeto para Excelência. Generalização de todas as metodologias de projeto.

Efeito - ação de um objeto sobre outro que acarreta mudanças em propriedades deste último, de acordo com leis da natureza.

Engenharia simultânea - filosofia que aborda o processo de projeto como um esforço de equipe, integrando os vários setores envolvidos na produção do produto (*engenharia, marketing, produção, etc.*)

Especificação de projeto - característica de projeto e/ou do produto.

Estrutura do produto - conjunto de relações invariantes de um produto (*sistema*).

Arranjo físico do produto que define a forma como os componentes são conectados e o modo como estes se relacionam entre si.

Extração - remoção do componente.

Fabricação - ato ou efeito de fabricar.

Ferramenta de Projeto - qualquer técnica, equipamento ou programa computacional utilizado para auxiliar o projetista em cumprir uma tarefa de projeto.

Filosofia de projeto - estudo que visa a ampliar incessantemente a compreensão da tarefa de projeto. **Linha de pensamento.**

Flexibilidade - habilidade de manufaturar a ordem de serviço em qualquer seqüência e em tamanhos de lote de um ou mais.

Função (1) - relação entre entradas e saídas de um sistema físico. (*definição objetiva*)

Função (2) - é a abstração do comportamento de um sistema físico, feita pelo homem, com o intuito de utilizá-lo. (*definição subjetiva*)

Função elementar - função que, por definição, não pode ser desdobrada em subfunções de menor complexidade.

Inserção - posicionamento do componente na ferramenta ou produto.

Inspeção/Verificação - o processo ou processos que verificam a presença ou posição dos componentes como também a qualidade do produto final. Os processos anteriores podem ser acomodados adicionalmente a operações particulares de inspeção (*medição, comparação, rejeição, etc.*). Se a verificação é seguida de manipulação ou novas operações de composição, então fala-se de **ajustagem**.

Inspecionabilidade - qualidade de ser facilmente inspecionado.

Linha de Produção - arranjo de máquinas e operários numa fábrica onde cada operário ou máquina faz um trabalho (*tarefa*) na fabricação de um produto e é então, passado para o próximo operário ou máquina.

Manipulação - Processo ou processos com o objetivo de mover (*reconhecer, pegar e mover*) ou preparar componentes para composição ou inspeção e para entregar o componente para o subsequente sistema de produção, montagem ou embalagem.

Mantenabilidade - habilidade de se realizar a manutenção facilmente e a baixos custos.

Manufatura - grande estabelecimento industrial, fábrica; ou parte deste.

Manufaturabilidade - habilidade de ser facilmente manufaturado.

Manufaturado - produto de manufatura.

Manufaturar - o mesmo que fabricar.

Material Amorfo - componentes viscosos como cola, tinta e líquidos.

Método de projeto - qualquer procedimento ou técnica de auxílio ao projeto.

Metodologia de projeto

Modelo - representação de um objeto real.

Montabilidade – habilidade de ser de fácil montagem, ou fácil de se montar.

Montagem - Ato ou efeito de montar. Operação de reunir peças dum dispositivo, produto, mecanismo, etc., de modo que funcione ou preencha o seu fim.

Montagem final - descreve a construção de um bloco construtivo ou o produto final (*acabado*).

Necessidade - declaração direta de usuários ou clientes.

Operação básica (física) - representação de uma função técnica, através de um símbolo apropriado. Juntamente com um conjunto de outras operações básicas, compõe uma base capaz de representar a estrutura funcional de qualquer sistema técnico existente.

Orientação - ato ou efeito de orientar-se. Processo com objetivo de orientar um componente em relação ao sistema.

Peça - parte dum todo indiviso, dum conjunto. Qualquer objeto que forma uma unidade completa. É composta de um único material e é um componente individual de uma máquina, equipamento ou produto.

Portador de efeito - sistema físico, definido qualitativamente, capaz de realizar um dado efeito físico.

Posicionamento - orientação de um componente em relação a outro.

Princípio de solução - "*representação idealizada da estrutura de um sistema ou subsistema, na qual as características dos elementos e as relações que são essenciais ao seu funcionamento são qualitativamente determinadas*" [59]. Compreende os conceitos de efeito físico e de portador de efeito.

Processo de Desenvolvimento de Produto - processo de transformar uma idéia ou uma necessidade de mercado em um produto. **Processo de projeto.**

Processo de projeto - método sistemático de planejamento e desenvolvimento que se divide em quatro fases: esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

Produção - Ato ou feito de produzir. Processo pelo qual coisas são feitas, com ou sem auxílio de pessoas, numa fábrica (*para serem vendidas*). Setor da fábrica onde o processo é realizado. Engloba manufatura, montagem, embalagem, etc.

Produtibilidade – habilidade de ser facilmente produzido por todos os setores da produção, o que acarreta ganhos na produtividade geral.

Produto - resultado de qualquer atividade humana. Algo útil que é feito numa fábrica (para ser vendido).

Projeto - idealização de algo real para satisfazer da melhor maneira possível uma necessidade. Plano, intento de um produto industrial.

Projeto conceitual - fase do processo de projeto que gera, a partir de uma necessidade detectada e esclarecida, uma concepção para um produto que atenda da melhor maneira possível esta necessidade, sujeita às limitações de recursos e às restrições de projeto.

Qualidade de Produto - a totalidade de atributos e características de um produto que sustentam a habilidade do mesmo em satisfazer as necessidades ou expectativas estipuladas ou implícitas.

Relação - dependência entre atributos de dois elementos.

Requisito de projeto - requisito mensurável, aceito para o projeto.

Requisito de usuário - necessidade, levada à linguagem de projeto.

Sistema - conjunto de elementos reconhecidos pelas suas propriedades ou atributos e que se relacionam entre si.

Snaps – elementos de fixação por encaixe construídos de material flexível.

Submontagem (1)- pode ser criada pela união de peças e irá aparecer como componente nas operações de montagem subseqüentes.

Submontagem (2)- uma operação individual de montagem onde um componente é montado a um outro componente, bloco construtivo ou componente-base.

Superfícies de montagem - superfícies que servem para assegurar a correta conexão dos objetos ao resto do sistema. São usadas na etapa de manipulação, durante o processo de montagem.

Superfícies funcionais - superfícies que são determinadas pela função da peça.

Superfícies funcionais externas – são as superfícies que têm função ativa em relação ao meio circundante ao produto.

Superfícies funcionais internas - são as que têm função ativa em relação a outros elementos do produto. **Superfícies de conexão ou de união.**

Superfícies livres - sua única função é limitar (*definir*) o material, isto é, são superfícies cuja forma pode ser modificada sem afetar a função do objeto.

Tarefa - designação genérica do conjunto de informações que caracterizam o problema de projeto. Engloba os conceitos de necessidade, requisitos de usuário, requisitos de projeto e especificações de projeto.

União - Processo ou processos com o objetivo de criar uma conexão permanente entre os componentes. **Composição.**

Usuário externo - aquele que usará indiretamente o projeto, através do produto físico construído. **Cliente externo.**

Usuário interno - aquele que usa o projeto para a construção do produto, ou para seu reparo, embalagem, descarte, etc. **Cliente interno.**

Referências Bibliográficas

- [1] ALLEN, A. J. e SWIFT, K. G., "*Manufacturing Process Selection and Costing*", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - part B, vol. 204, 1990.
- [2] ALLEN, A. J., BIELBY, M. S. e SWIFT, K. G., "*Development of a Product Manufacturing Analysis and Costing System*", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 6, 1991.
- [3] ALTING, L. e JØRGENSEN, J., "*The Life Cycle Concept as a Basis for Sustainable Industrial Production*", Annals of the CIRP, vol. 42/1/1993.
- [4] AMORIM, F. L., "*Desenvolvimento de um Implemento para Abertura e Adubação de Sulcos no Plantio Direto*", dissertação de mestrado, EMC, Univ. Fed. de Santa Catarina - UFSC, 1996.
- [5] ANDREASEN, M. M., "*Design for Assembly Expanded to CIM*", Developments in Assembly Automation, March 1988.
- [6] ANDREASEN, M. M., KÄHLER, S. e LUND, T., "*Design for Assembly*", IFS Publications, 1988.
- [7] ARAUJO, C. S., "*An Investigation of the Use of Design Methods*", Anais do ENEGEP, 1996.
- [8] ARAUJO, C. S., "*Sharpening Understanding of Design Methods*", Proceedings of the 1st Annual International Conference on Industrial Engineering Applications and Practice, Texas, EUA, December 1996.
- [9] ARAUJO, C. S., et al, "*A Survey of Methods Utilisation During the Product Design Process in UK Industry*", EDI, Loughborough University of Technology - LUT, GB, 1995.

- [10] ARAUJO, C. S., et al, "*The Utilization of Product Development Methods: A Survey of UK Industry*", Journal of Engineering Design, vol. 7, n.º 3, 1996.
- [11] ASHLEY, S., "*Cutting Costs and Time with DFMA*", Mechanical Engineering, March 1995.
- [12] BAKERJIAN, R. (editor), "*Tool and Manufacturing Engineers Handbook*", Society of Manufacturing Engineers, volume 6, 4th edition, 1992.
- [13] BÄSSLER, R. e SCHMAUS, T., "*Procedure for Assembly-Oriented Product Design*", Developments in Assembly Automation, IFS Ltd, March 1988.
- [14] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. e KNIGHT, W., "*Product Design for Manufacture and Assembly*", Marcel Dekker Inc., New York, 1994.
- [15] BOOTHROYD, G. e ALTING, L., "*Design for Assembly and Disassembly*", Annals of the CIRP, vol.41/2/1992.
- [16] BOOTHROYD, G. e RADOVANOVIC, P., "*Estimating the Cost of Machined Components During the Conceptual Design of a Product*", Annals of the CIRP, vol. 38/1/1989.
- [17] BOOTHROYD, G., "*Assembly Automation and Product Design*", Marcel Dekker Inc., 1992.
- [18] BOOTHROYD, G., "*Making it Simple - Design for Assembly*", Mechanical Engineering, February 1988.
- [19] BOOTHROYD, G., "*Product Design for Manufacture and Assembly*", Computer-Aided Design, vol. 26, n.º 7, July 1994.
- [20] BORG, J. C. e YAN, X. T., "*Design Decision Consequences: Key to 'Design for Multi-X' Support*", Proceedings of the 2nd International Symposium on Tools and Methods for Concurrent Engineering – TMCE'98, Manchester, England, April 1998.
- [21] BRALLA, J. G., "*Handbook of Product Design for Manufacturing*", 1986.

- [22] BULLINGER, H. J. e WARSCHAT, J. (editores), "*Concurrent Simultaneous Engineering Systems - the way to successful product development*", Springer-Verlag, London, 1996.
- [23] CASE, K. e GAO, J., "*Feature Technology: an overview*", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 6, n.º 1 & 2, 1993.
- [24] CONSTANCE, J., "*DFMA: Learning to Design for Manufacture and Assembly*", Mechanical Engineering, May 1992.
- [25] CORBETT, John, et al (editores), "*Design for Manufacture: Strategies, Principles and Techniques*", Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- [26] DAS, Sanchoy. K., "*Design for Quality Manufacturability - an approach for improving the quality of assembled products*", Dep. of Industrial & Manufacturing Eng., New Jersey Institute of Technology, March 1996.
- [27] DAVIES, B. J., MOLLOY, E. e BROWNE, Y. J., "*Design for Assembly within Concurrent Engineering*", Annals of the CIRP, vol. 40/1/1991.
- [28] DEWHURST, P., "*Cutting Assembly Costs with Molded Parts*", Machine Design, July 21st, 1988.
- [29] ELMARAGHY, H. A., et al, "*Design for Assembly of a Direct Current Motor*", Developments in Assembly Automation, March 1988.
- [30] FABRYCKY, W. J., "*Designing for the Life Cycle*", Mechanical Engineering, January 1987.
- [31] FAIRFIELD, M. C. e BOOTHROYD, G., "*Assembly of Large Products*", Annals of the CIRP, vol. 40/1/1991.
- [32] FAZIO, T. L., et al, "*A Prototype of Feature-Based Design for Assembly*", Journal of Mechanical Design, vol. 115, December 1993.
- [33] FELDMANN, K., ROTTBAUER, H. e ROTH, N., "*Relevance of Assembly in Global Manufacturing*", Annals of the CIRP, vol.45/2/1996.

- [34] GUPTA, S. K. e NAU, D. S., "*Systematic Approach to Analysing the Manufacturability of Machined Parts*", *Computer-Aided Design*, vol. 27, n.º 5, May 1995.
- [35] HARRISON, K. e WILSON, C. C., "*Comparing Configurations of Complex Machines using the Map of Mechanical Connections*", *International Conference on Engineering Design - ICED'93*, August 1993.
- [36] HASHIM, F. M., JUSTER, N. P. e PENNINGTON, A., "*A Functional Approach to Redesign*", *Engineering with Computers*, Springer-Verlag, 1994.
- [37] HAUSER, J. R. e CLAUSING, Don, "*The House of Quality*", *Harvard Business Review*, May-June 1988.
- [38] HIRD, G., et al, "*Possibilities for Integrated Design and Assembly Planning*", *Developments in Assembly Automation*, March 1988.
- [39] HOLBROOK, A. E. K. e SACKETT, P. J., "*Design for Assembly - guidelines for product design*", *Developments in Assembly Automation*, March 1988.
- [40] HOLBROOK, A. E. K. e SACKETT, P. J., "*Design-for-Assembly through Knowledge Application*", *Assembly Automation*, May 1990.
- [41] HUNDAL, M. S. e BYRNE, J. F., "*Computer-Aided Generation of Function Block Diagrams in a Methodical Design Procedure*", University of Vermont, EUA, 199?.
- [42] HUNDAL, M. S., "*A Systematic Method for Developing Function Structures, Solutions and Concept Variants*", *Mech. Mach. Theory*, vol. 25, n.º 3, 1990.
- [43] ISHII, Kosuke, "*Life-Cycle Engineering Design*", *ASME Journal of Mechanical Design*, 1994.
- [44] JARED, G. E. M., et al, "*Geometric Reasoning and Design for Manufacture*", *Computer-Aided Design*, vol.26, n.º 7, July 1994.
- [45] KIRSCHMAN, C. F., FADEL, G. M. e JARA-ALMONTE, C. C., "*A Function-Based Taxonomy for Mechanical Design*", *Clemson University*, EUA, 1994/5.
- [46] KRAUSE, F. L., ULBRICH, A. e WOLL, R., "*Methods for Quality-Driven Product Development*", *Annals of the CIRP*, vol. 42/1/1993.

- [47] LEMPIÄINEN, J., "*DFM Tools for Improving Product Designs*", Proceedings of the International Conference on Engineering Design - ICED'97, August 1997.
- [48] LENAU, T., "*The Missing Element in Design for Manufacture*", Annals of the CIRP, vol. 45/1/1996.
- [49] MADUREIRA, O. M., "*Planejamento e Desenvolvimento de Produtos*", apostila de curso, Associação Brasileira de Engenharia Automotiva - AEA, 1994.
- [50] MALMQVIST, J., "*Computer-Aided Conceptual Design of Energy-Transforming Technical Systems*", Proceedings of the International Conference on Engineering Design - ICED'93, August 1993.
- [51] MÄNTYLÄ, M. e GUI, J., "*Functional understanding of assembly modeling*", Computer-Aided Design, vol 26, June 1994.
- [52] MERCHANT, M. E. e BOOTHROYD, G., "*Design for Economic Manufacture*", Annals of the CIRP, vol. 28/1/1979.
- [53] MILES, B. L. e SWIFT, K. G., "*Working Together*", Manufacturing Breakthrough, March/April 1992.
- [54] MILES, B. L., "*Design for Assembly - a key element within design for manufacture*", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - part D, vol. 203, 1989.
- [55] NOGUEIRA, E. S. e TRABASSO, L. G., "*Implantando um método computacional DFA amigável para o usuário*", Máquinas e Metais, Abril/1995.
- [56] NOGUEIRA, E. S., "*Implementação Computacional da Técnica de Projeto DFA - Design for Assembly*", relatório final de trabalho de graduação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, 1994.
- [57] OLIVEIRA, D. L. M., "*Estudo Sistematizado das Técnicas do PPM - Projeto para Montagem*", dissertação de mestrado, EMC - UFSC, 1990.
- [58] PAHL, G. e BEITZ, W., "*Engineering Design: A Systematic Approach*", The Design Council, 1988.

- [59] POLI, C. e FENOGLIO, F., "*Designing Parts for Automatic Assembly*", Machine Design, December 10th, 1987.
- [60] POLI, C., GRAVES, R. e GROPPETTI, R., "*Rating Products for Ease of Assembly*", Machine Design, August 21st, 1986.
- [61] ROOZENBURG, M. F. e EEKELS, J., "*Product Design: Fundamentals and Methods*", John Wiley & Sons Ltd., 1995.
- [62] ROSA, E., et al, "*Novos Enfoques para a Concepção de Produtos com o uso de Sistemas CAE/CAD/CAM*", GRANTE-EMC, Univ. Fed. de Santa Catarina, 1994.
- [63] SANTOS, J. A. e SANTOS, R. C., "*Desenvolvendo Produtos Competitivos: exemplo de um modelo para a integração das fases do planejamento e do projeto do produto*", Anais do ENEGEP, 1996.
- [64] SCHUCH, L., "*DFA Promises and Delivers*", Assembly Engineering, May 1989.
- [65] TALEB-BENDIAB, A. e HORVÁTH, I. (editores), "*Proceedings of the 2nd International Symposium on Tools and Methods for Concurrent Engineering – TMCE'98*", Manchester, England, April 1998.
- [66] TRUCKS, H. E., "*Designing for Economical Production*", Society of Manufacturing Engineers, 1987.
- [67] ULLMAN, D. G., "*A New View on Function Modeling*", Proceedings of the International Conference on Engineering Design - ICED'93, August 1993.
- [68] ULLMAN, D. G., "*The Mechanical Design Process*", McGraw-Hill International Editions, 1992.
- [69] VALENTOVIC, E. e CHAL, J., "*A New Design for Assembly Method*", Proceedings of the International Conference on Engineering Design - ICED'93, August 1993.
- [70] WARNECKE, H. J. e BÄSSLER, R., "*Design for Assembly - Part of the Design Process*", Annals of the CIRP, vol 37/2/1988.
- [71] WATSON, R. G., THEIS, E. M. e JANEK, R. S., "*Mechanical Equipment Design for Simplicity*", AT&T Technical Journal, May/June 1990.

- [72] _____, "*LASeR - Life-cycle Assembly, Service and Recycling - User's Manual*", February, 1994.
- [73] _____, prospectos da Boothroyd-Dewhurst Inc., 1996.
- [74] _____, "*Design for Manufacture and Assembly Software - User Guide - Design for Assembly version 8.0*", Boothroyd-Dewhurst Inc., September 1996.
- [75] _____, prospectos da CSC Computer Sciences Ltd., 1996.
- [76] _____, "*DFA-Tool version 1.2 - Demo Version Short Manual*", Deltatron Ltd., Finland, September 1997.