

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

JOÃO PEDRO BUIARSKEY KOVALCHUK

**APLICAÇÃO DO DFA NO DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES
DA LINHA BRANCA – UM ESTUDO DE CASO**

**CURITIBA
2006**

JOÃO PEDRO BUIARSKEY KOVALCHUK

**APLICAÇÃO DO DFA NO DESENVOLVIMENTO DE COMPONENTES
DA LINHA BRANCA – UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como pré-requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Sistemas, Área de Concentração Gestão da Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Orientador: Prof. Osiris Canciglieri Jr, M. Eng. Ph. D

CURITIBA

2006

K88a
2006

Kovalchuk, João Pedro Buiarskey

Aplicação do DFM/DFA no desenvolvimento de componentes da linha branca : um estudo de caso / João Pedro Buiarskey Kovalchuk ; orientador, Osíris Canciglieri Jr. – 2006.

V, 120 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2006

Inclui bibliografia

1. Plásticos - Indústria. 2. Termoplásticos. 3. Moldagem por injeção de plásticos. I. Canciglieri Junior, Osíris. II. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção e Sistemas. III. Título.

CDD 20. ed. 668.41
668.423
668.412

AGRADECIMENTOS

- A DEUS, princípio, razão e justificativa de toda nossa ciência;
- A minha esposa Mariana pelo amor, companheirismo e paciência por todas as horas de convívio que precisou ceder para que o estudo fosse completado;
- Aos meus pais Meron e Irene pela paciência, amor e grandes sacrifícios que fizeram;
- Ao Professor Osíris Canciglieri Jr., amigo e orientador de todas as horas;
- A Electrolux do Brasil S/A. pelo incentivo, apoio financeiro e oportunidade real de aplicação dos conhecimentos;
- Aos senhores Jardel M.Sprenger, Márcio Wowk, Marco Pereira, Luiz Pazinato, Carlos Dib Guelfi e Caeser Rau de Mio – Corpo Gerencial da Electrolux do Brasil S/A - pelo incentivo e apoio;
- Ao grupo CORE (Candeo, Mann, Mariana, Paulo, Ricardo, Chiquetano e Eduardo) – vocês são o melhor time de engenharia do mundo;
- Aos meus amigos Marcello Machado, autor da primeira conceituação do projeto e Renato Ricco, principal motivador da idéia;
- Ao meu grande amigo Maurício Marsola, grande incentivador e executor do projeto – “a voz da Manufatura” na acepção da palavra;
- Ao meu grande Antonio Cândido de Paiva Neto – que acreditou que valia a pena investir muito em alguém que estava apenas começando;
- Aos amigos Viriato e Adolfoi (BELLS Plásticos) que acreditaram na idéia e produziram o sonho, investindo em numa tecnologia nova;
- Ao meu amigo Marcus Mocellin, que conduziu as negociações e literalmente comprou a idéia;
- Aos meus colegas, professores e amigos que trouxeram sugestões, explicações e melhorias sugeridas ao trabalho.

RESUMO

Com o constante aumento da demanda por alta qualidade com menor preço as empresas têm sido compelidas a desenvolver produtos baratos e cada vez mais rapidamente, com menores prazos e chances de erro - efeitos diretos da globalização que se traduzem na partida das cadeias produtivas para países onde há incentivos, matéria-prima acessível e mão-de-obra de menor custo, na fragmentação de projetos em várias plantas e na busca de soluções que possam ser implementadas a nível mundial. Com esse cenário e em se considerando os altos investimentos que são realizados em injetoras, moldes e produtos pela indústria de processamento do plástico, é de grande valia minorar os efeitos dessas incertezas através de propostas de concepção de projeto utilizando alternativas baseadas em conceitos colaborativos tais como os da Engenharia Simultânea e a metodologia de Projeto Orientado para a Manufatura/ Projeto Orientado para a Montagem (DFM – *Design For Manufacturing*/ DFA -*Desing For Assembly* - que sendo ferramentas que unem a manufatura e a montagem com o design e a conceituação do projeto, propõe oferecer uma maior possibilidade de acerto no que se refere ao conceito da peça, do molde e do seu processo, evitando retrabalhos e ajustes que são comuns aos atuais conceitos de fabricação. Tais condições de contorno se delineiam para este projeto de dissertação que visa buscar a proposição, devidamente respaldada pela prática aplicada de análise baseada em DFM/DFA para peças plásticas em geral e sugerir pontos e formas de implementação alternativas dessa citada metodologia.

ABSTRACT

With the constant increase of the demand for high quality with lower price, the companies have been compelled to develop cheap products and each time more quickly, with shorter schedules and lower possibilities of error - effects of the globalization which are translated with the departure of the productive chains for countries where incentives, accessible raw material and man power are cheaper, in the spreading of projects in several plants and the brainstorming that can be implemented the world-wide level. With this scenario and considering the high investments that are carried through in injector, molds and products for the industry of processing of the plastic, are of great value to lower the effect of these uncertainties through proposals of conception of project using alternative based in collaborative concepts such as of Concurrent Engineering and the methodology DFM/DFA - Design For Manufacturing/ Design For Assembly - that tools that join the manufacture and the assembly with design and the conceptualization of the project, considers to offer a bigger possibility of rightness as for the concept of the part, the mold and its process, preventing reworks and adjustments that are common to the current concepts of manufacture. Such conditions of contour delineate for this project of dissertation that aims to search the proposal, duly endorsed by practical application of analysis based on DFM/DFA plastic parts in general and to suggest points and alternative forms of implementation of this cited methodology.

Subiu Ele a uma barca com seus discípulos.
De repente, desencadeou-se sobre o mar uma
tempestade tão grande, que as ondas cobriam a barca.
Ele, no entanto, dormia.
Os discípulos chegaram-se a ele e o acordaram,
dizendo: Senhor, salva-nos, nós perecemos!
E Jesus perguntou: Por que este medo, gente de pouca
fé? Então, levantando-se, deu ordens aos ventos e ao
mar e fez-se uma grande calma.
Admirados, diziam: Quem é este homem a quem até os
ventos e o mar obedecem?
(*Mateus, 8, 23-28*)

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

BS	<i>British Standard</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CE	<i>Concurrent Engineering</i> (Engenharia Simultânea)
CNC	Controle Numérico por Computador
DFA	<i>Design for Assembly</i>
DFM	<i>Design for Manufacture</i>
DIN	<i>Deutsches Institut fur Normung</i>
DP	Desenvolvimento de Produtos
ES	Engenharia Simultânea
FEA	<i>Finite Element Analysis</i> (Análise de Elementos Finitos)
GP	Gerência de Projetos
IPDP	<i>Integrated Product Development System</i>
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PUC/PR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Contexto da Pesquisa.....	5
1.2 Justificativas	6
1.3 Metodologia de pesquisa.....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo geral.....	8
1.4.2 Objetivos específicos	8
1.5 Estrutura da dissertação	9
2 METODOLOGIA CIENTÍFICA	11
2.1 Visão geral.....	11
2.1.1 Metodologias de pesquisa – tipologia	13
2.1.2 Contribuição no uso de metodologias e técnicas no desenvolvimento	14
2.1.3 O estudo de caso como metodologia de pesquisa.....	14
2.1.4 Análise final sobre a metodologia empregada	16
2.2 Abordagem final deste capítulo	17
3 REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1 Introdução.....	18
3.2 Projeto Orientado para a Manufatura e Montagem – Introdução e Definição ..	18
3.3 Projeto orientado para a manufatura e montagem – Aplicação.....	20
3.3.1 Uma breve revisão histórica.....	24
3.3.2 Projeto Orientado para a Manufatura – DFM	27
3.3.2.1 O caso da GE Automotive	28
3.3.2.2 O exemplo da Motorola	29
3.3.2.3 A experiência da HP	30
3.3.2.4 O <i>mouse</i> Digital	31
3.3.3 Projeto Orientado para a Montagem – DFA.....	32
3.3.3.1 O AH64 APACHE – McDonnell-Douglas (Boeing).....	37
3.3.3.2 O C-17 GLOBEMASTER (MD-17) – Boeing.....	40
3.3.4 A melhoria do processo produtivo	42
3.4 Projeto de produtos e processos	45
3.4.1 Projeto de um produto.....	47
3.4.2 Projeto de um processo	52
3.5 Resumo do capítulo.....	54
4 APLICAÇÃO DO DFM/DFA EM UMA PEÇA DA LINHA BRANCA	55
4.4.1 Início do desenvolvimento.....	60
4.4.1.2 A quebra do paradigma	62
4.4.1.3 A busca do material ideal	63
4.4.2 Criação de uma matriz decisória para aplicação dos conceitos de DFM/ DFA.....	64
4.4.3 Desenvolvimento utilizando o DFA.....	67
4.4.3.1 Conceito de DFA	67
4.4.3.2 Caracterização do uso da ferramenta.....	69
4.4.4 Concepção do componente, premissas e definições de objetivo.....	69
4.4.4.1 Método BOOTHROYD-DEWHURST e o cálculo no número mínimo de peças.....	69

4.4.4.2 O material apropriado	72
4.4.4.3 Protótipos iniciais	78
4.4.4.4 Testes no componente	79
4.4.4.4.1 Teste mecânicos na peça (não montada)	79
4.4.4.4.2 Teste mecânicos na peça (montada)	80
4.4.4.4.3 Ciclos de funcionamento (teste de 20.000 ciclos)	82
4.4.4.4.4 Choque térmico	83
4.4.4.4.5 Aquecimento e funcionamento	84
4.4.4.4.6 Testes químicos de solubilização	84
4.4.4.4.7 Testes organolépticos (odor e gosto)	85
4.4.4.4.8 Testes de campo – uso e transporte	85
4.5 Resumo do capítulo	86
5 ANÁLISE DE APLICABILIDADE DO DFM/DFA EM PROJETOS DA LINHA BRANCA.....	87
5.1 Introdução	87
5.2 Aplicabilidade do conceito	87
5.2.1 Aplicabilidade do conceito – o fator CUSTO FINAL	87
5.2.2 Aplicabilidade do conceito – o fator MINIMIZAÇÃO DE ERROS	89
5.2.3 Aplicabilidade do conceito – o fator REDUÇÃO DO TEMPO DE PROJETO	91
5.2.4 Aplicabilidade do conceito – o fator REDUÇÃO DO TEMPO PARA A LINHA DE MONTAGEM.....	93
5.2.5 Aplicabilidade do conceito – o fator MELHORIA DO PROJETO	94
5.2.6 Demais fatores de interesse.....	94
5.3 Aplicabilidade no desenvolvimento de itens e produtos da Linha Branca	95
5.4 Experiência obtida com a aplicação da ferramenta	96
5.4.1 O processo de definição das tarefas	97
5.4.2 A experiência de aplicação	97
5.4.3 O início do desenvolvimento	97
5.4.4 Prototipagem e primeiras amostras.....	98
5.4.5 Resultados dos testes e decisões de avanço	99
5.4.6 Testes de comissionamento e fabricação de um lote piloto	100
5.4.7 Montagem dos produtos e testes de campo	100
5.5 Resumo dos resultados do desenvolvimento	101
5.6 Comentários	104
5.7 Resumo do capítulo	104
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	105
6.1 Introdução	105
6.2 Análise dos objetivos específicos	105
6.2.1 Atingimento dos objetivos de pesquisa	106
6.2.3 Atingimento do objetivo de fabricação do componente	107
6.2.2 Atingimento dos objetivos de análise do processo de desenvolvimento	107
6.3 Sugestões para seqüência da pesquisa	109
6.3.1 Observações sobre o processo de desenvolvimento	109
6.3.2 Recomendações para a continuidade do processo de pesquisa	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Alegoria sobre as conseqüências desastrosas da falta de comunicação durante um desenvolvimento de produto	20
Figura 2: Melhoria no conceito de montagem	23
Figura 3: Artesão medieval desenvolvendo e montando seu produto.....	25
Figura 4: Correlação de eficiência de montagem de produto	30
Figura 5: Antigo (à esquerda) e novo projeto do <i>mouse</i> Digital.....	32
Figura 6: Soma de tempos de linha para 48 componentes	35
Figura 7: Soma de tempos de linha para 6 componentes	35
Figura 8: Painel do piloto do AH-64 Apache montado.....	39
Figura 9: Painel do piloto do AH-64 Apache desmontado (em análise)	39
Figura 10: Visão do C-17 Globemaster	41
Figura 11: Intercambiabilidade das informações entre as áreas	44
Figura 12: Exemplo mencionado.....	45
Figura 13: Modelo geral de um processo ou sistema.....	47
Figura 14: Concorrência de atividades num desenvolvimento	51
Figura 15: Custo de modificação de produto.....	53
Figura 16: Custos de desenvolvimento – processo e produto.....	53
Figura 17: Concepção inicial do subconjunto suporte-puxador	60
Figura 18: Aplicação da solução original (à esquerda) e aplicação da primeira proposta usando DFM/DFA (à direita).....	61
Figura 19: Primeira vista da peça.....	76
Figura 20: Segunda vista da peça.....	76
Figura 21: Terceira vista da peça.....	76
Figura 22: Segunda versão do novo componente.....	77
Figura 23: Visão da peça protótipo em sua posição de montagem.....	78
Figura 24: Ponto de aplicação da força no componente	80
Figura 25: Suspensão parcial do produto pelo puxador. Nota-se que não há ruptura.	81
Figura 26: Completa suspensão do produto pelo puxador.....	81
Figura 27: Teste de ciclagem de abertura e fechamento na porta do forno do produto	82
Figura 28: Ciclo térmico ao qual o componente foi submetido	83
Figura 29: Comparação entre a duração de projetos pelas em escolas tradicionais e projetos que adotam novas ferramentas que promovem a comunicação	92
Figura 30: Proposta final do subconjunto	102
Figura 31: Resultado final comparativo entre a solução original (à esquerda) e a peça analisada e desenvolvida com a ferramenta DFM/DFA (à direita)	102
Figura 32: Visão final ilustrativa do componente	103
Figura 33: Resultado final do desenvolvimento da peça	103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Métodos de pesquisa e instrumentos	14
Tabela 2: Redesign na Motorola	30
Tabela 3: Reprojetado do painel do AH-64	39
Tabela 4: DFA/DFM no C-17 Globemaster	41
Tabela 5: Matriz decisória	65
Tabela 6: Resultados do ensaio	79
Tabela 7: Resultados do ensaio	81
Tabela 8: Ensaio de ciclo	82
Tabela 9: Resultados do ensaio	83
Tabela 10: Resultados do ensaio	84
Tabela 11: Resultado do ensaio	84
Tabela 12: Resultado do ensaio	85
Tabela 13: Resultado do teste.....	86
Tabela 14: Resultados finais do processo de desenvolvimento do componente	101
Tabela 15: Características finais do componente e do molde	102

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto da Pesquisa

A globalização pode ser considerada um processo irreversível. A competição em escala mundial permite que se tenha acesso aos produtos fabricados por qualquer empresa, em qualquer planta e lugar do planeta, com preços similares, isso quando ainda os produtos não são fabricados simultaneamente em diversas partes do mundo ou um local que abastecerá diversas localidades da empresa.

Nesse contexto, se faz necessário o repensar do conceito de projeto: no passado era comum que um produto fosse concebido de uma forma razoavelmente rudimentar e depois, num prazo alongado e apenas quando estritamente necessário, fosse sendo otimizado e “transformado” de modo a atingir sua melhor forma com o passar do tempo. Ainda, era possível se ter certa segurança que não haveria alteração significativa no produto num curto prazo e que ele iria ser concebido para ser repetido quase que indefinidamente e sem mudanças por longo tempo.

Atualmente não é mais possível pensar dessa forma: os produtos hoje são projetados, concebidos e fabricados já especificamente para serem colocados rapidamente para os seus mercados, sendo que seu tempo de vida será curto e que na maioria das vezes o projeto de seu sucessor já está com seu desenvolvimento no momento em que o lançamento está sendo realizado.

Com essas variáveis é possível imaginar que o que as empresas mais buscam são a soma dos fatores custo, agilidade e adaptabilidade – produtos concebidos para serem acessíveis aos consumidores, facilmente projetados, prototipados e fabricados e que sejam capazes de serem ajustados a uma nova condição de materiais, ferramental e mão-de-obra e que tenham seus projetos robustos o suficiente para absorver as variações dos processos.

Essas condições de contorno para os projetos se adaptam perfeitamente aos componentes e partes plásticas injetadas – são produtos cuja vida média é curta e cujo projeto é por vezes complexo e demanda de um ferramental por via de regra complexo, caro e sem flexibilidade para ajustes futuros: uma vez concebido o molde,

pouco se poderá fazer para dele se tirar peças diferentes daquilo para o qual foi construído tanto no que se refere à forma quanto ao material.

Considerando todo o exposto pode-se afirmar que existe um desafio para o projeto de produtos, os quais incluem também as peças plásticas: o de ser certo desde o início e durante o ciclo de vida da peça. Esse desafio não é apenas uma atribuição de quem fabrica o molde ou concebe o modelo que gerará a peça, mas de todos na cadeia produtiva, desde quem cria a forma conceitual até o responsável pela montagem final dessa peça num conjunto ou parte de um produto mais complexo.

Para tanto é necessário que se tenha durante a análise do que se pretende extrair no final da linha de montagem ou de fabricação o comprometimento e entendimento pleno das condições de delineamento por parte de todos os envolvidos nessa cadeia produtiva – tarefa complexa e que por vezes é negligenciada e desconsiderada haja vista os prazos que o produto final tem para ser lançado e necessidade de alocação de recursos de mão-de-obra e financeiros.

O que se busca então? Se busca garantir o acerto ou ao menos aumentar a sua taxa na fabricação de peças plásticas por parte da indústria, através de conceitos os quais sejam de fácil entendimento e aplicação para todos os envolvidos.

Com esse objetivo é que a Engenharia Simultânea (CE) e Projeto Orientado para a Manufatura (DFM) e a Montagem (DFA) vêm à tona: são eles alguns dos norteadores que podem levar a um projeto ser mais rápido, barato e principalmente mais preparado a ser aceito por todas as áreas da cadeia de produção e que será instrumento de exploração neste presente projeto de pesquisa acadêmica.

1.2 Justificativas

Em geral o desenvolvimento de peças plásticas e de seus respectivos moldes são uma soma de vários fatores que se complementam: o objetivo e as condições de utilização da peça, suas características físico-químicas, as restrições de investimento e de maquinário disponível, forma e detalhamento e outros mais.

Ainda, a incumbência de analisar, definir e projetar a peça e seu molde passam por diversas áreas dentro de uma empresa, sendo que em não raros os casos o conceito de peça é responsabilidade de uma área, a fabricação do molde é de outra

e assim ocorrendo com os demais parâmetros de qualidade, custo, produção e outros. É importante salientar que essa condição pode ser uma força geradora de erros, os quais são visíveis a todos apenas na peça final, a qual uma vez fabricada não permite mais ajustes significativos no molde.

Considerando-se tal, acredita-se ser de muito interesse que se tenha possibilidade de aplicação de uma metodologia que possa aumentar o grau de acerto do projeto da peça, acelerar o tempo de desenvolvimento e reduzir custos através da concomitância da execução das tarefas e de um nível mais alto de sinergia entre os envolvidos no projeto, aumentando assim o grau de satisfação do cliente final (mercado consumidor) e da cadeia produtiva da peça.

Este trabalho visa proporcionar uma visão da experiência obtida através da análise do estudo de caso específico do desenvolvimento de um componente em plástico injetado para a linha branca (fogões) que exemplifica a utilização dos conceitos de Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem e de Engenharia Simultânea da análise dos pontos da cadeia produtiva, observação e identificação possíveis oportunidades da melhoria da qualidade das informações circuladas entre os diversos elos interdisciplinares da cadeia de desenvolvimento.

1.3 Metodologia de pesquisa

Como é de conhecimento público, existem diversas metodologias de abordagem científica para a pesquisa. No caso da presente proposta será utilizada a análise pelo método do Estudo de Caso pois essa sistemática é a que de forma mais abrangente se apresenta no tratamento das variáveis tais como a possibilidade de validação do modelo através da real aplicação ao conceito de desenvolvimento de processo e produto, disponibilidade de acervo para comparação entre metodologias, acompanhamento de todas as fases da concepção da peça e de seu molde e verificação da eficiência e eficácia do modelo através de valores finais palpáveis e definíveis.

1.4 Objetivos

Contatando-se o cenário, as condições e problemas expostos, apresentam-se os objetivos aos quais este trabalho se destina.

1.4.1 Objetivo geral

Tem-se como objetivo geral um estudo de caso sobre a aplicação dos conceitos de Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem e de Engenharia Simultânea na concepção de peças plásticas e seus respectivos moldes, relacionando conceitos de Projeto Orientado ao Produto, Projeto Assistido, Gerenciamento de Projetos e Engenharia Simultânea. Tenciona-se também a análise do caso a luz da bibliografia, onde tomará lugar uma discussão sobre a probidade das atitudes tomadas durante o desenvolvimento.

1.4.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos deste estudo:

- a. a revisão da literatura sobre Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem e de Engenharia Simultânea, projeto assistido e assuntos relacionados;
- b. o estudo sobre a metodologia DFM/DFA e CE e sua aplicação para o projeto de produto e processo de um componente plástico aplicado como suporte interno para puxadores de fogões;
- c. a análise dos conceitos empregados durante o desenvolvimento do componente, através da coleta de informações relacionadas ao tempo de produto em linha de montagem, custo final obtido, cronoanálise e informações sobre o

processo de concepção do item em si, tais como duração do desenvolvimento, custos agregados e tempo para a viabilização do componente;

a verificação da aplicação da metodologia alternativa de projeto e produto, baseada nas facilidades oferecidas pelo Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem e pela Engenharia Simultânea, que refletirão uma realidade aplicável à cadeia produtiva de fogões;

d. A aplicação dos conceitos propostos no desenvolvimento de um suporte interno para o(s) puxador (es) de fogões (estudo de caso), mostrando o resultado palpável ao final.

1.5 Estrutura da dissertação

O estudo sob forma de dissertação aqui apresentado está dividido em capítulos de forma a melhorar o entendimento.

Inicia-se com uma introdução e visão geral do ambiente em qual se insere e pretende ser desenvolvida e que se constitui do capítulo 1.

Segue-se a esse uma abordagem da Metodologia Científica aplicada, sendo esse o capítulo 2.

Subseqüentemente, já no capítulo 3, é realizada uma revisão na literatura encontrada sobre o que já se delineou sobre o Projeto Orientado para Manufatura e Montagem, tendo também atenção aos itens referentes à Engenharia Simultânea, Projeto Assistido e Gerenciamento de Projetos

No capítulo 4 é considerada a aplicação dos conceitos de DFM/DFM no caso real – será mostrado como foi desenvolvida a peça, a delimitação das interfaces, o cerceamento das variáveis de execução, a abordagem sistêmica das responsabilidades e o tratamento da informação.

Já no capítulo 5 tem-se a análise da proposta e do estudo propriamente dito, mostrando-se de uma forma mais específica o embasamento teórico sobre a aplicabilidade do DFM/DFM na concepção de um novo componente, analisando de uma forma mais profunda a teoria estudada. Uma vez vista a proposta, serão

mostrados os resultados do desenvolvimento como processo (custos, demais dados do desenvolvimento do componente e duração do desenvolvimento em si) e também relativos ao componente expressos como tempo sobre a linha de montagem, custo final da peça, número de operações na linha, necessidade de operadores e outras características da peça e do molde.

O capítulo 6 mostrará considerações finais e recomendações de estudo posteriores do assunto. Finalmente e como fechamento, serão apresentadas as referências bibliográficas consultadas durante a pesquisa.

2 METODOLOGIA CIENTÍFICA

2.1 Visão geral

THIOLLENT e SOARES (1998) atestaram que o todo o conhecimento científico é construído. Num campo científico bem definido o conceitual e o construto teórico podem ser considerados como um objeto. Conforme BACHELARD (1970) a principal função da construção de um objeto é a ruptura entre o que é conhecimento científico do que é senso comum. Citando SEVERINO (2002) e também DEMO (1998), todo trabalho científico tem por objetivo intrínseco o desenvolvimento de um raciocínio lógico e visa através desse demonstrar através de argumentos a solução para um problema proposto.

Ao nível mais aplicado, a metodologia lida com a avaliação de técnicas de pesquisa e com a geração ou a experimentação de novos métodos, é considerada como modo de conduzir a pesquisa. Ainda conforme HOLANDA e RICCIO (1997) diferentes abordagens para resolução de problemas suscitam diferentes estratégias metodológicas. Não obstante, em qualquer tipo de estudo pode se valer de métodos quantitativos e qualitativos. Nos modelos quantitativos procura-se realizar inferências, geralmente, com base em amostras. Nas pesquisas qualitativas procura-se fazer análise de profundidade e as inferências têm como referência a própria teoria.

Com tais pressupostos é possível concluir que uma metodologia um fator facilitador para a execução de uma tarefa de pesquisa: uma metodologia é, pois, a união dos pressupostos básicos para que o pesquisador possa iniciar e continuar seu trabalho investigatório, permitindo que tome decisões e formule hipóteses, teste a validade de métodos e chegue a conclusões sistemáticas e cientificamente embasadas.

Ainda segundo DEMO (2000), metodologia é uma preocupação instrumental. Trata das formas de se fazer ciência, cuida dos procedimentos, das ferramentas, dos caminhos. A finalidade da ciência é tratar a realidade teórica e prática. Para se atingir tal finalidade, colocam-se vários caminhos, a metodologia é somente a direção para se chegar lá.

Com base nesse raciocínio, conclui-se que vários são as metodologias e métodos para a pesquisa: caminhos diferentes, válidos, porém não mais ajustadamente adequados a cada tipo de projeto de pesquisa – cabe ao pesquisador a definição do método que mais se ajusta à sua realidade.

Segundo ALEX (2003), há uma gama enorme de métodos que podem ser adotados, exemplos como os descritos a seguir:

- a. método indutivo: possibilita o desenvolvimento de enunciados gerais sobre as observações acumuladas de casos específicos ou proposições que possam ter validades universais;
- b. método dedutivo: procura transformar enunciados complexos e universais em particulares. A conclusão sempre resultará em uma ou várias premissas, fundamentando-se no raciocínio dedutivo;
- c. método cartesiano: tendo como ponto de partida a universalidade da razão;
- d. método dialético: significa debate, forma de discutir;
- e. método de transferência por analogia: um fenômeno é examinado com as considerações e do ponto de vista de um fenômeno diferente;
- f. método da prolongação: certas limitações são impostas para que elas possam ser excedidas, levando as novas limitações, e assim por diante;
- g. método da dicotomia: defrontando determinado problema, são perguntadas uma série de questões que podem ser respondidas com um sim ou não;
- h. método morfológico: determinação de grupos de elementos que podem ser parte de um conceito morfológico ou de uma máquina;
- i. método de pesquisa experimental: faz o teste das hipóteses através de um experimento controlado em laboratório ou no próprio campo, há total intervenção do pesquisador;

j. método *survey* (pesquisa): tem por objetivo a coleta de dados por entrevistas ou questionários, não há intervenção do pesquisador, é utilizado em diversos tipos de pesquisa;

k. método de pesquisa participante: dá-se a abordagem principal através do qualitativo, da observação direta e entrevistas.

Ainda segundo ALEX (2003), a metodologia de pesquisa deve possuir um estudo descritivo dos aspectos gerais e amplos do contexto a ser verificado e as abordagens podem ser de natureza qualitativa ou quantitativa. Esta visa quantificar opiniões, as formas de coleta de informações, assim como o emprego de recursos e técnicas estatísticas.

A abordagem qualitativa difere da quantitativa pelo fato de não empregar dados estatísticos como centro do processo de análise de um problema. Há vários tipos de pesquisas para obtenção de dados, como: pesquisa bibliográfica; levantamento documental; pesquisa teórica, aplicada e de campo; pesquisa de motivação e atitudes; pesquisa sobre propaganda; pesquisa de produto; pesquisa sobre vendas; pesquisa de mercado; pesquisa descritiva; pesquisa exploratória.

Os métodos de pesquisa são mais restritos, porém, são fundamentais para dar embasamento à produção científica, para direcionar e estruturar o trabalho.

2.1.1 Metodologias de pesquisa – tipologia

Conforme a orientação da pesquisa científica em curso, o pesquisador poderá optar por uma ou outra metodologia. Essa idéia é conformada por NAKANO e FLEURY (1996), os quais afirmam que na Engenharia de Produção utilizam-se amplamente os métodos de pesquisa quantitativos, principalmente nos estudos organizacionais, entretanto convém relacionar os principais métodos de pesquisa utilizados. Tais seguem, conforme tabela 1.

Tabela 1: Métodos de pesquisa e instrumentos

Método	Abordagem	Instrumento
Experimental	Qualitativo	Experimentação
Survey (pesquisa)	Quantitativo	Questionários, pesquisas
Estudo de Caso (case study)	Qualitativo	Entrevistas, análise, outras
Pesquisa-Participante	Qualitativo	Observação direta
Pesquisa-Ação	Qualitativo	Observação direta, participação

Fonte: NAKANO e FLEURY (1996) – adaptado

2.1.2 Contribuição no uso de metodologias e técnicas no desenvolvimento

De acordo com CASTRO (2005) ainda é necessário saber a contribuição construída pelo material científico gerado pela pesquisa realizada. BAXTER (1998) *apud* OLIVEIRA (2005), os melhores projetistas do futuro serão multifuncionais e se sentirão à vontade discutindo pesquisa de mercado. O fato mais importante é ter conhecimentos básicos e metodológicos para desenvolvimento de novos produtos, para coordenar as atividades de projeto. Os conhecimentos específicos poderão ser obtidos com outros profissionais dentro da própria empresa ou consultores externos. Ainda nessa linha de raciocínio, LAKATOS e MARCONI (1983) é iminente prática e deve estimular os pesquisadores para que busquem motivações para encontrar respostas às suas dúvidas através de um método aceito e definido. Concomitantemente, referindo-nos a uma Academia de Ciência e, como tal, as respostas dadas às dúvidas primeiras devem ser buscadas através do rigor científico e apresentadas através das normas acadêmicas vigentes.

2.1.3 O estudo de caso como metodologia de pesquisa

Segundo ALEX (2003), a importância do emprego de metodologias de projeto para o desenvolvimento de produtos possibilita um estudo descritivo dos aspectos gerais do contexto a serem analisados e as abordagens que devem ser motivadas nas atividades do projeto. Ainda conforme TELLIS (1997), o estudo de caso pode ser um

gerador técnicas e padrões para estudo para analisar como os resultados da pesquisa podem ser transcritos para o uso. Para YIN (2001) os estudos de caso usam uma situação real como fundamento de pesquisa – e mesmo que a situação seja diversa, o método de análise é similar. Finalmente, segundo GOODE e HATT (1976), *apud* BRESSAN (2002), o método do estudo de caso não é uma técnica específica, mas sim um meio de organizar dados sociais preservando o caráter unitário do objeto social estudado.

Na presente pesquisa será utilizada a teoria do Estudo de Caso, descrita segundo CHIZZOTTI (1991, 2002) pode ser composta por três fases:

- a. seleção e delimitação do caso: a escolha de um tema de estudo que será abordado deve merecer investigação;
- b. o trabalho de campo refere-se às informações coletadas podendo ser realizadas por entrevistas, documentos, entre outros, para reunir e organizar um conjunto comprobatório de informações;
- c. a organização e redação do relatório, resumo dos documentos, textos, notas, entre outros, devem ser arquivados para que sejam comprovadas as descrições do estudo de caso. A forma de escrever o relatório pode ser no modo narrativo, analítico, ser ilustrado, filmado, fotografado ou representado. A finalidade principal da pesquisa é apresentar os aspectos relevantes que fazem parte do problema;

Os Estudos de Caso, em geral são usados para vivenciar uma situação, momento ou conjuntura, devido ao fato que descrevem com clareza a formatação de um problema e seu desenvolvimento. Ainda, retrata o modo como a teoria é aplicada na coleta de dados, na definição do projeto da pesquisa e nos seus resultados. Para GIL (2002), na aplicação de um estudo de caso algumas etapas devem ser seguidas:

- a. formulação do problema: não é fácil de se realizar, pois sendo a fase inicial requer pesquisa e reflexão profunda das várias fontes bibliográficas;

- b. definição da unidade-caso (ou situação-caso): refere-se a um indivíduo que está num determinado contexto. Contudo o conceito unidade-caso ampliou-se para uma família, grupo social, organização, uma comunidade, nação ou uma cultura inteira;
- c. determinação do número de casos: pode existir um único ou múltiplos casos;
- d. elaboração do protocolo: é importante por conter a coleta de dados e definir como será realizada a sua aplicação sendo considerada uma eficiente forma de melhorar a confiabilidade do estudo de caso;
- e. coleta de dados: é considerada no Estudo de Caso a mais completa de todos os delineamentos, pois utiliza entrevistas, documentos e outros meios para adquirir as informações desejadas referente ao assunto em questão;
- f. avaliação e análise dos dados: por permitir várias fontes para coleta das informações é possível encontrar dificuldades para a realização da análise e interpretação, é aconselhável estar atento à preservação dos dados colhidos;
- g. preparação do relatório: pela flexibilidade considerada do Estudo de Caso em relação aos outros modelos de pesquisa, a forma de redigir o relatório também é menos formal, podendo ser estruturado de diversas maneiras.

Considerando-se o cabedal adquirido pela bibliografia e referenciais sobre o Estudo de Caso, será possível realizar uma pesquisa mais acurada e controlada em cronogramas e acompanhamentos, e, visualizando o horizonte final da obra resumir o que foi retido do estudo realizado.

2.1.4 Análise final sobre a metodologia empregada

Utilizando-se o que foi revisto pela literatura até o ponto atual, considera-se possível uma definição inicial de uma metodologia de abordagem para o presente estudo baseada na utilização de DFM/DFA e de conhecimentos de Projeto de Produto para

a concepção do processo, componente e produto final para um sustentáculo plástico.

Esse estudo será feito em forma de um minucioso estudo de caso de forma dirigida à necessidade de mercado e abordará todas as etapas do ciclo de vida da peça – a análise de forma e utilização, análise de valor, concepção da peça componente, o projeto e análise do macho e da cavidade, a aplicação da peça no produto, testes de vida e análise final do ciclo de vida da peça.

Busca-se que o estudo do caso dessa peça tenha seu direcionamento (drive) focado em demonstrar o valor agregado do Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem (DFM/DFA) e em conjunto trazer à realidade uma eficiente e econômica alternativa para um conjunto atual de aço estampado e arremates em plástico composto por seis sólidos que deverá resistir a severas condições de temperatura e tração, garantindo sua funcionalidade e a segurança do produto e do montador e ainda ser fabricado por um molde barato e de baixa manutenção que permita o máximo de peças produzidas com o menor ciclo possível.

Finalmente, esse estudo de caso visa demonstrar vantagens do DFM/DFA para tal todos os pontos da cadeia de projeto e produção, bem como de pós-vendas serão envolvidos de modo a que todas as “vozes” que têm influência sobre o produto final e o componente estejam em plena anuência com o que for definido e fabricado.

2.2 Abordagem final deste capítulo

Nesse capítulo foram revistas as definições e os conceitos sobre pesquisa e conceituação de métodos científicos de análise e obtenção de informação científica. Também foram abordados mais detalhadamente o método do estudo de caso e sua contribuição como metodologia de análise. Finalmente foi realizada uma breve análise sobre a validade dessa como forma de obtenção de dados para a pesquisa.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Introdução

No presente capítulo tenciona-se abordar os tópicos introdutórios sobre a conceituação teórica do Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem, revisar de forma diligenciada a literatura revista, parametrizar e contextualizar conceitos, demonstrar o que foi retido junto ao material pesquisado e ao final do capítulo expor um breve resumo do que se pode observar de mais importante para o decurso da pesquisa.

3.2 Projeto Orientado para a Manufatura e Montagem – Introdução e Definição

A concepção de produtos é uma tarefa complexa e também é de múltipla responsabilidade – desde a visão conceitual do produto até a montagem final diversas são as necessidades e as interdisciplinaridades que se fazem necessárias – conforme CANGIOLINI (2003); PEREIRA (2000) *apud* FERREIRA *et al.* (2002) e SACHELLI (2005), em um sistema de visão multidisciplinar de projeto e manufatura, todos os pontos de vista devem ser considerados como interdependentes. Disso, a opinião e a acordância de certos parâmetros devem ser decididas de forma a que exista a possibilidade de toda a cadeia produtiva exprimir suas necessidades e limitações de forma clara e inteligível a todos os que serão ou provedores de serviço/projeto (etapas anteriores) ou recebedores de serviço/projeto (etapas posteriores).

Dessa necessidade de opinião e de acordância é que são resultantes uma grande parte das falhas encontradas nos projetos de produto – uma conseqüência direta da desagregação de forças causada por interesses conflitantes e distintos na concepção de um produto.

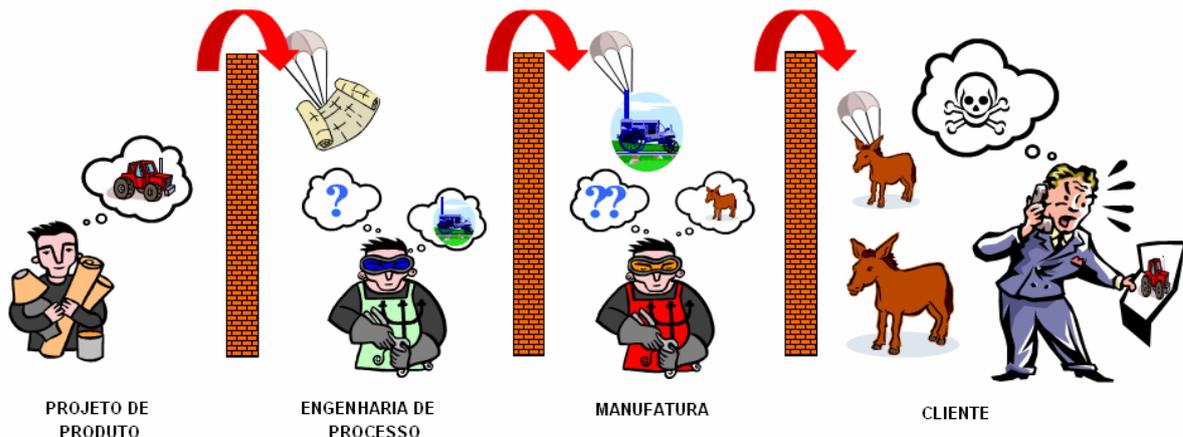
Em resposta a essa desagregação de forças é que surge em primeiro plano o *DFM/DFA – Design For Manufacturing and Assembly* – acrônimo na língua inglesa para Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem – uma técnica de projeto que reflete e leva em consideração as conseqüências das decisões tomadas durante

a fase conceitual nos processos finais de fabricação e montagem de um produto ou conjunto de partes de forma a realimentá-la.

Essa técnica, conforme FERREIRA e TOLEDO (2000), é a voz da manufatura e da montagem, com o objetivo de elaborar projeto e processo da forma mais adequada possível às especificações de projeto de produto e restrições de produção, sendo que num processo de desenvolvimento é essa voz a ser ouvida para que a engenharia do processo seja feita através das condições da manufatura. Segundo BUSS *et al.* (2001), o DFM/DFA permite que se traga para a área de projeto as considerações relativas à montagem de produtos. Finalmente, segundo FAGADE e KAZMER (1998) são benefícios mais significantes do DFM/DFA a redução de custos causada pelo menor número de partes a serem montadas (ou fabricadas) e o encorajamento do trabalho em equipe entre o projeto e a manufatura, melhorando a confiabilidade do produto devido à redução da probabilidade de falha de um sistema devido à falha de um componente ou peça.

Considerando a literatura pode-se resumir o objetivo e com isso simplificar o entendimento do DFM/DFA da seguinte forma: um projeto não pode ser uma ação individual e despreziosa de um ou outro departamento, pessoa ou grupo em uma corporação responsável pela execução de um produto, bem ou serviço, mas deve sim ser uma ação coletiva e compromissada, onde todos participam e expõe suas necessidades e onde a manufatura e a montagem têm voz forte e ativa para impor as restrições necessárias do que é possível fazer dentro das restrições de possibilidade, tempo, custo e maquinário disponíveis e com isso oferecer suporte para a construção de um produto que é direcionado a atingir os níveis de custo e de produção esperados, sem que as eventuais falhas de conceito e interpretação fujam do conceito original definido pelo responsável pela solicitação do projeto de produto. Um exemplo das conseqüências de uma falta de comunicação e compromisso pode ser exemplificada conforme a alegoria vista na figura 1, onde as barreiras de comunicação impedem que o produto seja obtido conforme aquilo que se projetava fazer.

Figura 1: Alegoria sobre as conseqüências desastrosas da falta de comunicação durante um desenvolvimento de produto



Fonte: o autor

3.3 Projeto orientado para a manufatura e montagem – Aplicação

Segundo BOOTHROYD (1994) *apud* PEREIRA e MANKE (2001), estima-se que 50% do custo da manufatura estão diretamente relacionados com a montagem – grandes investimentos são necessários para a automatização da manufatura, quando seria muitas vezes mais econômico reprojeter o produto de modo a facilitar os processos posteriores. Investimentos de altos valores em automação, maquinário e *lay-out*, treinamentos de montadores e controle de linhas são necessários pois normalmente as peças concebidas pelos responsáveis pelo projeto de produto são complexas demais e compostas por diversas partes menores ou subconjuntos os quais exigem manipulação e operações seqüenciais para a sua construção - condições que poderiam ser minoradas desde que existissem projetos mais amigáveis à manufatura e a montagem, comunicação mais eficiente entre todos os envolvidos no projeto e produção, uma visão mais clara do projeto e manufatura e uma sinergia entre todos os responsáveis pelo conceito, desenvolvimento, concepção e fabricação de um produto (cf. MANISCALCO (2005); PASMANN(2003)).

Disso é importante salientar alguns itens a serem considerados para uma abordagem inicial do processo de desenvolvimento de produto: o primeiro deles é que um bom projeto aumenta consideravelmente a chance de sucesso de um produto – por razões bastante lógicas um projeto bem concebido levará a um produto provavelmente melhor. Contudo esse conceito aparentemente óbvio nem

sempre fica claro ao projetista: na busca de uma solução mais adequada possível, dentre de suas limitações de tempo, investimentos e também de conhecimento pessoal e desconsiderando a necessária troca de informações com as demais áreas envolvidas na obtenção final do produto, não são raros os casos onde não apenas o projeto se torna complexo demais para ser executado com êxito, mas também não se tem a medida exata do que esse irá constituir quando produto acabado ou como esse produto será produzido em escala serial. O projetista do produto recai nesse caso em não saber como projetar de forma eficiente um conceito, apenas se prende ao produto em si e a teoria agregada a essa atividade; Como resposta a esse primeiro caso o DFM/DFA aparece como um recurso bastante interessante quando ao considerar a manufatura do produto não como apenas o resultado final de um desenvolvimento, mas sim como o início dele, o projetista pode simultaneamente conceber produto e a processo de fabricação com uma chance muito menor de erro GE THERMOPLASTICS (1998).

Ainda, o DFM/DFA contribui sobremaneira facilitando a sinergia entre as partes, pois pode também ser usado durante o desenvolvimento visando a otimização e adequação aos meios de montagem e inspeção, conforme BRALLA (1986), mais simplesmente permitindo que o projeto seja adequado não só apenas ao projetista do produto, mas também às demais áreas que o cercam e que corroboram nas etapas posteriores à execução do produto.

Posteriormente ainda existe o fator projeto amigável a manufatura: esse termo significa de forma simples um projeto de produto que permite fácil ou pelo menos mais fácil fabricação. Essa idéia em princípio pode parecer impactante quando observada sem uma análise do ponto de vista da manufatura, mas tem seu significado: um projeto não necessariamente chega a uma solução de produto terminado por um caminho único – várias soluções permitem à sua própria moda resolver uma idéia que está sendo concebida para se converter em algo palpável. Contudo, algumas soluções que aparentemente são equivalentes recaem em situações de processo fabril distintas e consideravelmente mais complexas que outras – como exemplo didático pode-se mencionar a obtenção de um tubo de aço a partir da costura (solda) de uma placa fina calandrada ou da usinagem de precisão de um tarugo sólido: ambos os processos recaem em um produto final em conformidade com o que foi definido pelo projetista, mas um deles é extremamente mais complexo pelo ponto de vista operacional da manufatura que outro – seja esse

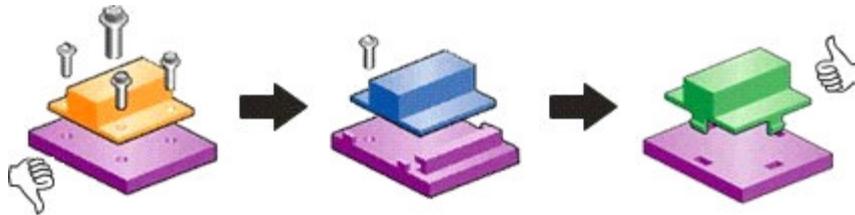
complexidade atribuída aos equipamentos, às necessidades de aumento e especificidade de operações ou ainda pelo tempo consumido ou necessidade de operador com treinamento especial.

Esse tipo de situação precisa ser analisada com bastante critério: no dia-a-dia do projetista ele vai com a experiência absorvendo soluções para o projeto e aprende com a vivência de desenvolvimentos anteriores – contudo nem sempre esse conhecimento adquirido permite que o projetista tenha uma visão ampla da estrutura fabril que é responsável pelas demais etapas da execução do projeto e também não garante que ele irá prover soluções que serão particularmente adequadas para todas as áreas envolvidas (BOOTHROYD, 1992).

São normais divergências entre projeto e execução, contudo tais divergências não podem em hipótese alguma impedir o processo de desenvolvimento ou gerar conflitos tais que de alguma forma retardem ou impossibilitem o correto atendimento aos tempos e custos previstos para o processo de desenvolvimento do novo produto, para tanto existe premente necessidade de que se tenha um projeto amigável à manufatura. Tal projeto amigável é definido como um projeto que permite pelo menos um cadenciamento regular entre as operações executadas, montagens simples e intuitivas, normalmente projetadas para serem simétricas e a prova de erros operacionais (operações “*poka-yoke*”), que não exige ferramental e automatizações fora do padrão disponível àquela linha de montagem e que é ergonômico ao montador. Esse tipo de projeto amigável exige a integração dos engenheiros de processos e produtos nas fases iniciais de análise do projeto de produto, visando a obtenção de geometrias e a definição de materiais que simplifiquem os processos de fabricação e de montagem, conforme PEREIRA e MANKE (2001).

Cita-se como exemplo a montagem de uma peça de fechamento onde é necessário que se tenha fixação de uma tampa sobre uma placa de apoio (base), conforme a figura 2, de BOOTHROYD e DEWHURST (1990) *apud* CATAPAN (2003). É possível realizar o intento do projetista através de várias soluções – parafusos, encaixes, “clicks” e até por travamento químico, contudo dentre essas existe uma considerada melhor para a manufatura que é normalmente a mais simples, ou seja, a que requer menos itens agregados, menor necessidade de mão de obra e menor número de operações.

Figura 2: Melhoria no conceito de montagem



Fonte: Boothroyd e Dewhurst (1990) *apud* Catapan (2005)

Respondendo ao segundo item o DFM/DFA também se apresenta vantajoso: uma vez que sejam envolvidas a manufatura e as demais áreas que estão na cadeia produtiva dificuldades de interpretação, transcrições de informação e de busca de um projeto que seja mais adequado ao processo fabril podem ser minimizadas e com isso ganham-se qualidade e produtividade e reduz-se o custo (DEWHURST, 2005).

Conclui-se desse dois fatores que existe destaque em uma comunicação eficiente e num trabalho coordenado entre os times. Conforme MANISCALCO *et al.* (2005) existe muito maior chance de sucesso em um produto quando o projetista permite que o encarregado da concepção do processo de manufatura do item esteja particularmente próximo e seja co-responsável pelo sucesso do produto.

Por conta disso é necessário que se observe o último item da análise inicial que é a melhoria da comunicação e da informação trafegada entre todos os processos e indivíduos compromissados com a execução do projeto: é de responsabilidade do projetista que exista o estímulo à participação em todas as ases do projeto, particularmente no início, sendo essa fundamental para que haja consenso sobre os parâmetros básicos necessários evitando. Desse modo, tomadas as decisões básicas de modo consensual, o projeto transcorre de forma mais fluída entre as áreas, reduz-se o tempo de desenvolvimento pela proximidade maior com a produção, pela orientação decisiva e maior sensibilidade da atividade de P&D às necessidades do mercado evitando assim aumento de custos e dilatação não desejada dos prazos - FLORENZANO (1999)

Contudo, nem sempre existe sinergia entre as partes – citando HUANG (1996), as razões tais como a crescente complexidade das tecnologias incorporadas aos diversos produtos, as pressões por prazos colocadas nos projetistas para que esses

coloquem produtos em linha, a máxima “nós projetamos, vocês fabricam” de alguns desenvolvedores, e a crescente sofisticação das técnicas de manufatura invalidam a idéia bastante simples de que quem projeta deveria se preocupar com os problemas de manufatura e ser colaborativo com essa.

Tal falta de sinergia pode-se revelar pernicioso: especifica-se uma peça para uma função para a qual não é adequada, num produto onde essa peça não possibilita a montagem, refletindo uma falha na fabricação que se traduz num problema de qualidade. Exemplos reais desse tipo de desagregação são abundantes na indústria e certamente podem ser lembrados à mancha: a necessidade de um bom projeto é item premente para uma boa manufatura – que nada mais é que a tradução para realidade de um conceito tangível de idéias.

Vê-se então que existe vantagem real na aplicabilidade de um produto com projeto mais enxuto, por motivos bem claros: BOOTHROYD *et al.* (1994) afirma que a redução de peças as montagens mais simples são a chave para uma montagem mais elegante, mais econômica, com melhor aproveitamento dos recursos.

Analisando o conceito referente ao terceiro e último item da análise inicial, o DFM/DFA é bastante inteligível e simples: produtos melhores e mais baratos são aqueles em que projeto e manufatura trabalham juntas e envolvendo as demais áreas de empresa (qualidade, engenharia de processo) para a concepção de componentes mais fáceis de fabricar e em menor número, através da aglomeração de funcionalidades. Entretanto, de modo a que esse conceito aparentemente trivial seja realmente compreendido e aplicado, essa técnica será abordada de modo a ser mais bem compreendida analisada perante as necessidades que a conceberam e também à luz de uma breve revisão histórica.

3.3.1 Uma breve revisão histórica

Historicamente, principalmente durante a Idade Média e antes de Revolução Industrial, considerava-se atividade da manufatura exclusivamente a fabricação de peças e produtos simples e de baixa especificidade. Não havia uma definição específica do que era a atividade de projetos e o que era exclusivamente processo fabril – existia apenas o artesão que era responsável pela concepção do produto, viabilização da fabricação artesanal ou semi-automatizada do mesmo, busca de

materiais e aquisição das matérias-primas e comercialização do produto acabado: nessa concepção de negócio, a produção de larga escala não existia, bem como também não existiam a necessidade de criação de produtos sob a demanda de mercado nem grandes variações de modelo ou estética do que era produzido.

Nessa época não havia falha de comunicação entre as fases do projeto produtivo: sendo que todas as fases de obtenção do bem estavam concentradas em muito poucas pessoas, isso quando não era o caso de concentração de todas as atividades em um único indivíduo (vide figura 3), o produto era forçosamente desenvolvido para a sua manufatura e dentro das limitações de tempo e recursos por esse delimitados.

Figura 3: Artesão medieval desenvolvendo e montando seu produto



Fonte: Vitruvius (http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/imagens/324_02.jpg)

Nota: último acesso válido em 01.07.06

Com o advento da Era Industrial, principalmente durante todo o século XIX e início do século XX, teve início o processo de produção seriada de bens e com isso o processo de desenvolvimento de produto e o de produção começaram a ser considerados como atividades separadas. Contudo ainda a essa época ainda não existia claramente um processo de produção: apenas em torno de 1900 com o advento de Henry Ford e sua filosofia de trabalho é que se constituiu a linha de montagem aproximadamente da forma que é vista nos dias de hoje. Ainda, mesmo com essa evolução no ambiente fabril, ainda o desenvolvimento de produto em si estava vinculado ao processo produtivo e não se afastava muito desse – a própria Ford Motor Company que introduziu em 1913 a linha de montagem seriada após o advento de mercado do Ford T em 1908, continuou montando aproximadamente da mesma forma o modelo inicial do produto até 19 anos depois, mantendo as mesmas

peças, mesma estética e inclusive a mesma cor: a máxima de Henry Ford referente ao seu produto era “você pode comprar um automóvel de qualquer cor, desde que esse seja preto” – referência ao modelo T que só era disponível originalmente nessa cor. (THE HENRY FORD, 2006)

Com o passar do tempo e com a evolução das necessidades, houve um gradual afastamento da área responsável pela concepção do produto da que era responsável por sua obtenção – na Segunda Guerra Mundial a necessidade cada vez maior de produção em larga escala e curto espaço de tempo de equipamentos voltados para o combate tais como aviões, tanques e outros veículos, solidificou a necessidade de uma linha de produção ágil que seguisse um projeto que fora concebido em outro local e que fosse ao mínimo dependente desse.

Subseqüentemente no período pós-guerra e também logo depois durante a Guerra Fria, o afastamento entre a área de projeto e a área de manufatura ficou mais evidente. Eram comuns os casos de produtos tais como aviões, automóveis e tratores serem concebidos em um país e terem seu local de montagem em outro (eg.: aviões modelo F-15J/F-15DJ, concebidos pela empresa americana McDonnell-Douglas na década de 70 para ao mercado americano e posteriormente montados sob licença na década de 80 no Japão pela Mitsubishi). Com a exportação de equipamento militar das superpotências para os seus aliados ficou comum a situação onde o projeto e tecnologia de um produto eram concebidos longe do local de montagem e consumo – sem contudo que houvesse plena compatibilidade entre o projeto e a fábrica em que esse seria construído. Não raras as vezes, projetos deixavam de ser seguidos à risca pois não havia tecnologia nem recursos nos países onde esses seriam utilizados e também não havia flexibilidade por parte da concepção do produto de modo que houvesse forma do projeto ser adaptado ou ao menos discutido.

Finalmente com a globalização e a migração da fabricação de produtos de consumo para os países ditos “de baixo custo” (países onde os recursos, principalmente a mão-de-obra, são muito mais baratos que nos países ditos “desenvolvidos” – citam-se como exemplo a China, a Índia, países da América Latina e do Leste Europeu) ficou mais evidente ainda o afastamento do projetista e o montador – o capital intelectual responsável pela atividade de criação do produto estava normalmente bastante longe da área fabril e barreiras como a distância, a língua e a necessidade

de manter o projetista concebendo produtos e não cuidando de sua produção levou a que se constituísse a dificuldade de obtenção de produtos próximos a seu projeto. Essa dificuldade em obter bens próximos ao que fora projetado, seja pelas necessidades de adaptação que esse requeriam durante a execução ou mais simplesmente pela baixa qualidade do produto obtido, é que se começou o processo de reaproximação entre desenvolvimento de produto e área fabril. Mais consciente dos recursos limitados das plantas executoras do projeto, o desenvolvimento de produto começou a buscar soluções mais fáceis de serem montadas e que permitissem o menor consumo de recursos. Aliado essa situação de limitação fabril, ainda existia uma forte competição por custos, e projetos com menor número de operações e peças foram cada vez mais o foco dos novos desenvolvimentos.

3.3.2 Projeto Orientado para a Manufatura – DFM

Dentro de uma grande corporação atual a divisão do trabalho é necessária: vários setores, cada qual responsável por uma atividade específica e normalmente única, colaboram em conjunto para a criação, produção, comercialização e assistência técnica de um bem.

Dessas, existe uma área chamada comumente de desenvolvimento de produtos que é responsável pela conceituação, cálculo e “engenharia” da peça em questão e que é quem faz todas as análises necessárias e que as compila, normalmente através de desenhos e especificações e que repassa esses dados a outras áreas que fabricam as ferramentas necessárias, calculam cadenciamento de linhas, colocam o ferramental em funcionamento e que também executam o produto conforme as especificações necessárias.

Nessa forma de análise se encontram lacunas: são raras as empresas em que um bom projetista também tem conhecimento de manufatura e de montagem e que sabe das limitações impostas pela linha fabril que lhe é disponível, sendo raras as vezes em que ao projetista do produto está claro o que esse pode ou não pode fazer.

Segundo DEWHURST (2005) é necessário reduzir os custos da manufatura através do reprojetado das partes de modo que exista comprometimento com a manufatura, montagem e até desmontagem do produto.

Esse conceito chama a necessidade de se saber por parte do projeto como funciona e quais são as restrições de maquinário que se tem – normalmente, no caso de injeção plástica como é o foco deste trabalho – saber quais são as máquinas, os materiais, os ciclos de trabalho, o custo dos moldes de seu *set-up* e como essas grandezas influenciam no projeto e concepção do produto, ou seja, conhecer integralmente o regime de trabalho e as limitações impostas pela manufatura no que tange ao real processo de fabricação e/ou montagem.

Ainda segundo DEWHURST (2005), uma grande parte da redução de custos pode ser obtida quase que exclusivamente com o reprojeto – a mesma peça pode ser fabricada em um ciclo de máquina ou em dois. A mesma peça pode ser produzida por um processo ou por mais do que um apenas considerando o projeto da peça – extensa é a literatura que menciona casos de sucesso onde houve re-engenharia da peça proporcionando real redução de custos no processo.

Utilizando os exemplos citados por HUANG (1996), verificam-se que várias empresas que adotaram o DFM/DFA como filosofia de mudança nos projetos tiveram resultados bastante encorajadores. Citam-se entre esses resultados conforme os itens 3.3.2.1, 3.3.2.2, 3.3.2.3 e 3.3.2.4.

3.3.2.1 O caso da GE Automotive

SORGE (1994) *apud* HUANG (1996) comenta que em 1992 a GE Automotive desenvolveu times que trabalhavam com o DFM focando custos, novos negócios, qualidade e aumento da capacidade, trabalhando de forma a que as equipes tivessem seus resultados definidos para longo prazo.

No início de 1993 a GE investiu cerca de US\$ 200.000,00 em infra-estrutura (computadores, softwares e local para desmontagem dos veículos), sendo que os primeiros frutos do trabalho já estavam sendo sentidos em 1993. Tais foram:

- A montagem de uma lâmpada de teto utilizando o DFM/DFA e reduziu o número de componentes de 67 para 42 – redução de custo de mão-de-obra de US\$ 11,81 para 6,96 e de custo final (menor número de peças) de \$ 19,79 para 13,90, por produto.

- Na parte estrutural de um painel de instrumentos o número de peças conectadas passou de 178 para 107 e o número de operações de montagem passou de 245 para 172, trazendo o custo de US\$ 13,51 para \$ 9,46.
- O número de partes de uma porta dianteira caiu de 327 para 307 e o de operações de 696 para 522 – redução de custo de 29,21%.
- No pedal do acelerador a redução foi de 92% no custo, alterando o número de peças de 13 para 2 e o de montagens de 24 também para 2.

No total a GE Automotive tinha em 1993 um total de 21 projetos em curso, com um horizonte de 3 anos para a conclusão dos mesmos, com uma economia estimada na ordem de 20 milhões de dólares.

3.3.2.2 O exemplo da Motorola

Ainda citando BRANAN (1991) *apud* HUANG (1996) tem-se o exemplo da Motorola, a qual buscava a qualidade de seu produto Handie-Talkie™ dentro do conceito de seis sigma. Pensando com esse conceito, a empresa optou pelo DFM e o DFA melhorando a fabricação de seus componentes para que esses propiciassem uma montagem mais confiável e enxuta.

A equipe responsável pela re-conceituação do produto admitiu que um projeto mais eficiente diminuiria os custos finais, o que seria obtido através de uma montagem mais rápida e eficiente e com isso a qualidade esperada seria atingida.

Para tanto, análises criteriosas, *benchmarking* e estudos foram aplicados tanto em seus próprios produtos (*best practices*) como nos da concorrência. O resultados podem ser observados na tabela 2.

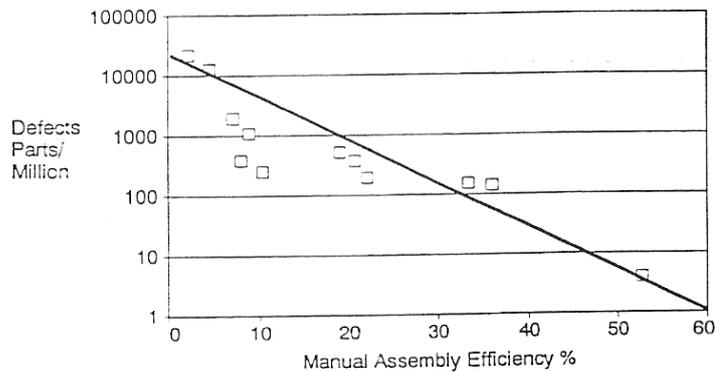
Tabela 2: Redesign na Motorola

	Projeto Antigo	Novo Projeto	Melhoria (%)
Eficiência da Montagem (%)	4	36	800
Tempo de montagem [s]	2742	354	87
Partes montadas	217	47	78
Fixações	72	0	100

Fonte: Huang, 1996, adaptado de BURKE e CARLSON (1990)

Com tais melhorias foram atingidas as metas de qualidade propostas, as quais seguem no gráfico apresentado na figura 4.

Figura 4: Correlação de eficiência de montagem de produto



Fonte: Motorola, 1996

3.3.2.3 A experiência da HP

COLUCCI (1994) *apud* HUANG (1996) citou também a experiência vitoriosa da HP (Hewlett-Packard) com o DFM aliado ao conceito de engenharia simultânea – a meta era o desenvolvimento de multímetro (medidor de grandezas elétricas) com valor de venda na ordem os US\$ 1.000,00 e com performance compatível com instrumentos de US\$ 3.000 a 5.000,00. Tal instrumento foi designado por 34401A.

O saldo foi uma montagem enxuta – completa alteração na conexão de entrada e uma construção desprovida de parafusos, resultado de uma redução de itens no multímetro de 45 para 18 e uma finalização do produto em 6 minutos, contrários aos 20 antes do DFM.

3.3.2.4 O *mouse* Digital

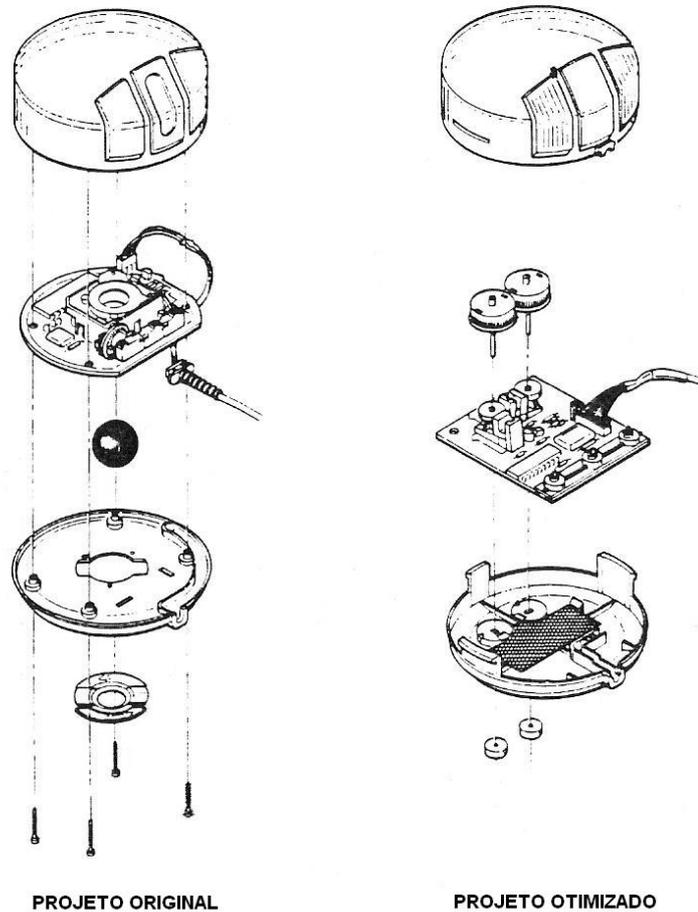
HUANG (1996) cita ainda um outro caso ilustraivo de destaque: a concepção de um *mouse* óptico para uso em computadores desenvolvido pela Digital Equipment Corporation, o qual se encontra em resumo esquemático na figura 2, onde à esquerda se encontra o projeto original, construído com leitores de posicionamento tradicionais acionados por rolagem de esfera (construção tipo esfera enclausurada) e à direita o novo projeto desenvolvido para o funcionamento com comparadores de posicionamento digitais (construção tipo reflexiva).

A busca de uma melhora em tempos de operação, custos de montagem, custo do material e número de peças levou a equipe da Digital à busca de alternativas em seus produtos em linha e nos seus concorrentes – resultando na mudança completa do produto de um sistema de esfera enclausurada para um sistema óptico integral, reduzindo de 130 para 15 segundos o tempo de montagem. Ainda, um conceito *snap-fit* substituiu todos os parafusos, deixando ainda mais rápida a montagem e declinando o número de ajustes de processo de oito para nenhum.

A empresa Digital ainda conseguiu reduzir o seu número de operações internas de montagem de 83 no produto antigo para 54 com a nova concepção – todas essas mudanças somadas reduziram o tempo de construção do produto de 592 para 277 segundos, uma economia que significa mais de dois produtos produzidos no mesmo tempo, ou 113% a mais de capacidade produtiva! Finalmente a Digital, animada com os resultados obtidos com o produto, aplicou o conceito de DFM para todo o processo produtivo, incluindo a criação de um novo para o ferramental do produto - processo que demorou 18 semanas, tempo que segundo os executivos dessa empresa era anteriormente gasto apenas com a construção dos moldes.

Tais exemplos encorajam uma avaliação e estudo mais criterioso da ferramenta DFM e também trazem a estreita relação entre essa – responsável direta pelas melhorias na manufatura – e a ferramenta DFA, à qual se atribuem melhorias da montagem.

Figura 5: Antigo (à esquerda) e novo projeto do *mouse* Digital



Fonte: Huang, 1996 adaptado de Digital (1990)

A conclusão obtida já era esperada, pois sendo que em geral uma linha conta tanto com a fabricação como com a montagem de partes, é bastante crível que uma construção mais enxuta depende de uma melhor manufaturabilidade dos itens que compõe o produto. Esses por sua vez se forem mais facilmente montáveis permitirão uma eficiência global maior.

3.3.3 Projeto Orientado para a Montagem – DFA

Observando-se o Projeto Orientado para a Manufatura (DFM), verifica-se a sua intrínseca ligação com as necessidades de montagem e agrupamento entre diferentes componentes e estruturas. Esse conceito, aparentemente claro e bem

definido, leva a que de uma forma bastante tênue quanto aos limites, seja evocada outra forma de condução de projetos, a qual é chamada de DFA – Projeto Orientado para a Montagem.

Segundo BOOTHROYD (2001), a crescente sofisticação do uso de moldagem de injetados é uma das principais ferramentas na batalha para produzir estruturas elegantes com reduzido número de peças.

Mas o que isso significa? Qual são as reais vantagens da redução de peças na linha de montagem? As respostas a esses questionamentos vêm de forma simples: a diminuição do número de peças em uma montagem significa menor especialização da mão-de-obra, menor custo com estoques, redução da chance de troca de partes por outras, minimização de paradas de linha por peças faltantes, *design* elegante e funcional, melhor aproveitamento dos recursos, eficiência de linha e muitos outros fatores mais – fatores os quais se complementam e se aproximam com o conceito de DFM.

Usando um exemplo ilustrativo comentado por BEALL (1997) é possível consolidar diversas peças e componentes (plásticos ou não) em uma única peça de plástico injetado, muito mais complexa é verdade, mas vantajosa considerando-se o número de montagens que essa pode eliminar. E em se considerando que é possível (mesmo que não seja tão trivial e barato) injetar em plástico praticamente qualquer peça, mesmo com geometria extremamente detalhada e complexa, vê-se vantagem em primeira análise de substituir conjuntos por peças únicas.

Reforçando esse conceito, GAUTHIER *et al.* (2000) mostraram que é possível através da redução de peças não só poupar custos, mas garantir a maior confiabilidade de uma peça crítica, considerando a redução do número de componentes (ou seja, menor chance de uma parte estar defeituosa ou estar erroneamente montada) e a facilidade de montagem (maior probabilidade de montagens corretas por menor número de interações).

Finalmente, através do que foi estudado por DEWHURST (2000) citado por MANISCALCO (2005) a consolidação de partes ainda possui vantagens mais: a eficiência do processo o qual transfere para a manufatura da peça a precisão da montagem – fazendo assim que o que anteriormente se esperava ser montado, seja consolidado de forma única e “natural” em uma única injeção plástica de um ou vários materiais, o tempo de linha seja mais otimizado, pois os subconjuntos são menores (ou seja, são compostos de mais peças individuais integradas), a menor

necessidade de especialização da linha – o que é um fator relevante, pois significa uma maior capacidade de flexibilização do chão-de-fábrica, tirando o engessamento e diminuindo os investimentos necessários para uma migração para outro ramo ou outro item na linha e finalmente permitindo que a os itens tenham maior reciclabilidade ao serem descartados, pois suas partes são compostas por um único material plástico injetado ou por um conjunto de plásticos razoavelmente similares.

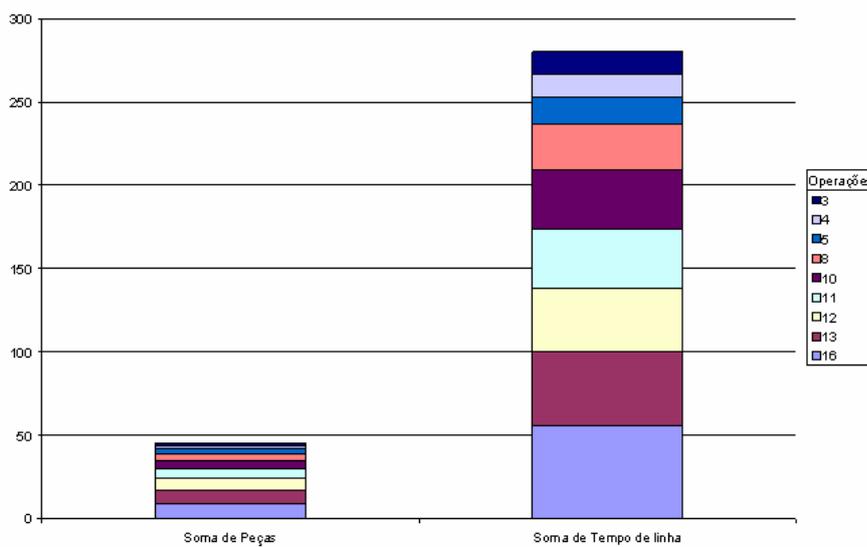
A possibilidade de integração de peças na montagem começa a ser bastante vantajosa caso se considere primeiramente o fator custo: normalmente existe uma cadeia produtiva agregada a cada componente que se coloca em linha para a produção do item final. Cada cadeia dessas agrega abaixo dela um custo específico de produção e/ou montagem, impostos, estoques, matéria-prima direta, mão-de-obra e outros e normalmente não é produzido por quem está agregando a peça ao seu produto. Nessa condição o aumento do custo do item final é imperativo haja vista que existe uma ordem natural de crescimento de custos quanto maior o número de passagens da cadeia produtiva – não só apenas pela necessidade de repasse do custo, mas também pela colocação de margens de lucro e impostos que são agregados a cada passagem de um item para o produto final a que se destina.

Também se considera necessário mencionar que existem custos intermediários de estoque – cada item a mais custa quando entra em estoque quer seja para que seja ordenado, separado e inspecionado, quer seja por paradas de linha que sua falta ou não-conformidade acarretam ou ainda pelo próprio custo da manutenção de um estoque mínimo de segurança. Esses custos devem ser dissolvidos no valor final do bem produzido e considerando uma proporção direta nesses custos conclui-se que o maior número de peças acarreta um maior custo final agregado.

A agregação de peças em subconjuntos já existentes ainda é vantajosa pela vantagem real de ganho em tempo de linha de montagem. O montador a cada nova peça que precisa agregar a um produto tem que, pelo menos, ter a peça em mãos – recaindo novamente no custo de estoques – ter ferramental para agregação dessa peça ou pelo menos manipulá-la de modo a que se adicione ao produto final, trazê-la para o produto e no caso de uma falha na montagem ou no item desfazer todas as operações e dar seguimento ao seu trabalho. Considerando as figura 6 e 7, tem-se uma comparação de agregação de peças *versus* o tempo de linha de montagem. Os valores são referenciais e baseados medições de operações realizadas em linha de montagem, sendo que no primeiro caso existem um total de quarenta e oito peças

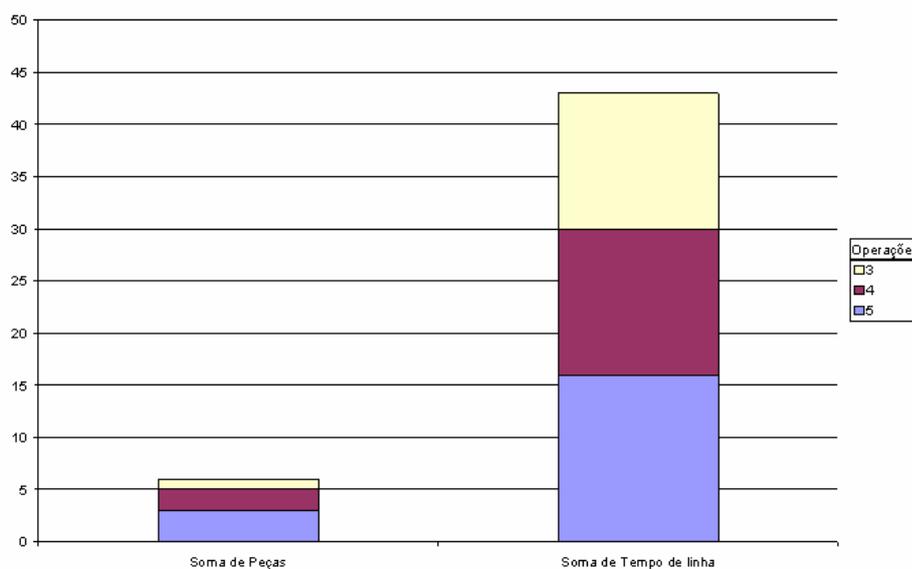
agregadas no produto e dezesseis operações individuais de agregação, resultando num tempo total de linha de aproximadamente duzentos e oitenta segundos. No segundo caso existem apenas seis peças as quais necessitam de apenas cinco operações e que recaem num tempo de linha menor que quarenta e cinco segundos.

Figura 6: Soma de tempos de linha para 48 componentes



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Figura 7: Soma de tempos de linha para 6 componentes



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Considerada a condição de redução do tempo causada pela diminuição do número de operações, a minimização do número de componentes para a manufatura ainda apresenta ainda mais uma vantagem: a possibilidade de redução do quadro de pessoal e/ou do investimento em automatização através da diminuição de necessidade de operações intermediárias – operações que não produzem resultado final, mas que se eliminadas não permitem condições de passagem de um processo ao próximo e de operações diretas – as que produzem resultado final para o produto. A diminuição dos quadros operacionais e da automatização colabora diretamente o decréscimo no custo do produto final acabado através da minimização dos custos fixos envolvidos no funcionamento da planta.

Finalmente, aliado aos itens já mencionados e como última vantagem elencada a diminuição do número de itens agregados recai em montagens mais simples – e montagens mais simples diminuem a possibilidade de erro durante a execução do produto. A subconjuntos complexos levam a processos de agregação intermediários - mais lentos e mais sujeitos à falhas que causam atrasos no cadenciamento do processo fabril ou as muito indesejadas interrupções na linha de montagem. Ainda, a diminuição do número de componentes também permite que exista menor chance de falta de itens – numa proporção lógica e direta – durante o decorrer da montagem ou que se tenha uma colocação errônea de componentes quando as operações intermediárias que permitem uma montagem aparentemente completa e correta mascaram a funcionalidade do subconjunto o qual pode parecer montado e completo, contudo não é funcional.

É importante salientar que existem riscos na agregação (ou mais propriamente consolidação) de peças – erros de projeto e de concepção podem resultar em falhas não contornáveis e perdas de grande valor: uma parte erroneamente consolidada não permitirá adaptações e se essa ainda for um item plástico poderá ocorrer que se a falha estiver concentrada no molde o processo de reparo pode ser de tal forma custoso que não compensará os valores ganhos com a consolidação das partes (DEWHURST, 2005).

Contudo e por todos os itens de vantagem expostos apresenta-se ainda muito atrativa a consolidação de peças desde que a mesma seja procedida de forma consciente: o responsável pelo projeto do produto deve ter claro em seu estudo que ele deve oferecer à manufatura um projeto bem resolvido e compatível com as expectativas dessa, ao passo que à manufatura cabe informar de forma clara,

objetiva e direta quais são suas limitações e necessidades: em suma, para que se obtenham os resultados esperados é necessário que o responsável pelo desenvolvimento o chegue a uma solução de projeto que foi suficientemente discutido em com a manufatura que se torne de tal forma simples não permita falhas causadas pela má interpretação.

Consideradas as vantagens e as condições de análise, é interessante mostrar exemplos de casos de sucesso onde houve vantagem competitiva quando da eliminação e consolidação de peças e onde o projeto foi focado em criar produtos que pudessem apresentar real vantagem de montagem e uso do DFA. Seguem-se exemplos.

3.3.3.1 O AH64 APACHE – McDonnell-Douglas (Boeing)

Dentre os vários produtos que recebem especial atenção dos desenvolvedores, a indústria aeroespacial ocupa lugar de destaque por diversos motivos: o primeiro deles é a necessidade extrema de segurança durante sua operação de vôo. Considerando que um avião, helicóptero ou míssil decola e leva consigo pelo menos suas estrutura de vôo, combustível e seu sistema de propulsão e que a carga paga (valor em unidades de massa referente a quanto da aeronave pode ser utilizada para carregamento de carga) diminui com o aumento do peso próprio, é extremamente vantajoso diminuir o número de peças visando com isso a diminuição do peso final do produto.

Ainda considere-se que a indústria aeroespacial possui os veículos com maior necessidade de recursos para funcionamento entre todos os existentes no mercado – recursos esses que dependem de equipamentos delicados e complexos e que precisam de alto grau de confiabilidade e que devem de ser corretamente intertravados de modo a que uma falha em um sistema não influencie outro. Além dessas condições de contorno, existe a necessidade de preservar as vidas e os investimentos feitos na aeronave: via de regra uma aeronave é um produto de custo muito alto e as vidas que essa aeronave transporta são inestimáveis.

Considerando tais condições, existe ainda mais um fator que é de especial atenção: as aeronaves são produtos compostos de muitos componentes, algumas vezes

chegando na casa de milhões de itens individuais – uma condição assim permite que existam maiores possibilidades para uma falha específica a qual precisa ser primeiramente encontrada e posteriormente reparada, o que no caso da necessidade de uma reposição de peças incorrerá na busca dentro de um estoque de tamanho bastante apreciável, o qual tem um custo vultoso e que sempre estará sujeito à falta de um ou outro componente, justamente devido ao seu tamanho.

HERRERA (1997) comentou o caso de aplicação dos conceitos de projeto orientado à manufatura e à montagem no helicóptero de ataque AH-64 (Longbow) – esse helicóptero é uma arma poderosa dedicada à superioridade aérea no teatro de operações e também ao combate terra-ar e que tem como equipe de bordo operacional dois tripulantes: um piloto e um operador de armas que também é o copiloto e navegador. Esses tripulantes têm uma disposição alinhada, sendo que o canhoneiro (operador de armas) situa-se atrás do piloto e um pouco acima desse. Nessa condição são necessários dois painéis de controle, sendo que cada um deles possui a maioria dos instrumentos em duplicidade e o painel do operador de armas ainda possui informações extras sobre as condições de funcionamento dos dispositivos de ataque, operação dos sistemas de defesa, visão noturna (IR) e sistemas de navegação tanto do próprio AH-64 como dos mísseis que esse pode disparar.

A aplicação do DFM/DFA, com especial ênfase no projeto para a montagem (DFA), resultou em melhorias bastante significativas na montagem desses painéis de instrumentos figuras 8 e 9, onde se vê o AH64 montado e ainda em trabalho de análise, redução do número de peças, que são consequência direta da melhoria da aplicação dos conceitos de DFA/DFM no projeto e resultaram em menor estoque de peças de reposição e aumento da carga paga na aeronave (através da diminuição de massa total de 3,00 para 2,74kg), dados resumidos conforme a tabela 3. Também como resultado dessa melhoria de projeto houve considerável redução do número de horas na montagem e instalação – itens que permitiram uma solução final mais barata (demonstrada através de uma redução de custos da ordem de 74%), mais simples e conseqüentemente com um tempo de fabricação menor.

Figura 8: Painel do piloto do AH-64 Apache montado



Fonte: Site Helispot (<http://www.helispot.com/photos/01130.html>)

Nota: último acesso válido em 09.07.06

Figura 9: Painel do piloto do AH-64 Apache desmontado (em análise)



Fonte: Herrera (1997) - Boothroyd Dewhurst Inc (<http://www.dfma/news/Herrera.htm>)

Nota: último acesso válido em 14.07.06

Tabela 3: Reprojeto do painel do AH-64

	Projeto Original	Após o uso do DFA
Número de peças	74	9
Tempo de fabricação [h]	305	20
Tempo de montagem / instalação	149 / 153	8 / 153
Tempo total [h]	697	181
Peso [kg]	3	2,74

Fonte: Herrera (1997)

Do considerado, pode-se concluir que existe a vantagem econômica direta na redução do número de peças – com as vantagens da obtenção de um projeto mais elegante e rápido para montagem e instalação e de um processo mais rápido e produtivo.

3.3.3.2 O C-17 GLOBEMASTER (MD-17) – Boeing

Ainda utilizando como exemplo a indústria aeroespacial PORTER (2004) *apud* LESSER e SANFORD (2003) mencionaram o caso de mais uma aplicação do DFM/DFA no que foi melhoria de custo, tempo de montagem e redução de partes realizada no sistema de aterrisagem (especificamente no trem de pouso) do cargueiro militar de alta capacidade C-17 Globemaster (chamado de MD-17 para aplicação civil) da BOEING, considerada globalmente como sendo a maior e mais importante empresa do ramo aeroespacial civil e militar.

O trem de pouso é um sistema consideravelmente complexo e de extrema importância na operação de qualquer avião, principalmente no caso de cargueiros de alta capacidade – tanto que é uma peça cuja resistência e solicitação mecânicas devem ser suficientes para em casos extremos suportar o peso de toda a aeronave em condição de máxima carga em curva descendente durante a aterrisagem e deve permanecer pelo período de vida útil do avião sem falhas, fissuras ou perda de peças – pode-se tomar uma noção de tal complexidade considerando o fato de que os pneus a ele atrelados irão suportar uma aceleração que os fará sair do repouso e em um muito curto espaço de tempo atingir a velocidade de descida da aeronave e nesse espaço de tempo saírem de uma condição onde não lhes é aplicada carga nenhuma para uma condição tal que irão suportar todo o peso da aeronave, carga embarcada e também o impacto causado pela energia cinética acumulada durante o voo.

No caso do C-17, avião cargueiro que pode decolar carregado com até 265 toneladas considerando peso próprio mais carga (segundo informações referenciadas da fabricante (cita-se BOEING, 2003-2006)) e destinado à aplicação militar onde é necessário que o avião seja suficientemente preparado para aterrisar em pistas curtas, por vezes em más condições e dessas decolar carregado, o sistema do trem

de pouso deve ser um item robusto, simples e de manutenção fácil, principalmente em zonas de conflito armado.

Usando esse entorno, foi feito um estudo aprofundado de DFA no sistema de aterrissagem: segundo MCDONELL-DOUGLAS (1997) *apud* PORTER (2004) desse estudo foram os seguintes resultados obtidos conforme a tabela 4 e figura 10.

Tabela 4: DFA/DFM no C-17 Globemaster

	Projeto original	Solução proposta com o uso de DFM/DFA
Partes funcionais	72	2
Itens de fixação	1.720	35

Fonte: Porter (2004) *apud* Lesser e Sanford (2003)

Figura 10: Visão do C-17 Globemaster



Fonte: Enders *at al* (2000)

Nota-se desse desenvolvimento clara melhoria no sistema, o qual ficou muito mais simples e economizou a mão-de-obra de fixação e o custo direto das peças que foram reduzidas em 98%, valor bastante significativo.

Expostos tais exemplos fica bastante visível a possibilidade de ganho através da redução direta de peças – o significado direto dessa melhoria pode ser transcrito pelo aumento da produtividade, ganho nos processos e principalmente economia direta de custos com mão-de-obra e material direto.

3.3.4 A melhoria do processo produtivo

Desses exemplos retirados de condições reais de aplicação é possível concluir de forma bastante segura que existem relações entre um projeto orientado para a manufatura e outro desenvolvido para a montagem – baseado em ambos, pode-se construir um conceito sólido sobre o que é projeto orientado para a manufatura e montagem e aplicá-lo em projetos reais e fazer dessa prática algo semelhante a uma filosofia de trabalho com a finalidade da melhoria do processo produtivo.

Baseado nesse conceito é necessário que se defina uma sistemática para justificar qual é a real contribuição do projeto na melhoria dos processos produtivos: segundo SIVALOGANATHAN *et al.* (2001) a correta modelagem de um produto é necessário transportar a informação do produto ao processo e modelar o produto para que esse seja compatível com o modelo de processo a que ele se destina – dessa forma consegue-se otimizar o produto e preparar um processo para que esse seja mais eficiente, quer seja por automatização ou por melhoria do processo produtivo como consequência de uma alteração inerente ao processo.

Outrossim é importante salientar que existe sensível melhora na condição de manufaturabilidade quando é possível garantir uma montagem mais enxuta e previamente preparada – quando um novo desenvolvimento já leva em consideração as restrições impostas pelo processo produtivo existe maior chance de acerto e são diminuídas as falhas iniciais que normalmente são comuns no lançamento de um projeto e há muito menor necessidade de que ajustes de última hora e imprevistos possam mitigar a data e os custos esperados para um novo produto.

Contudo, essa condição de lançamento de produto com o mínimo de falhas não é algo que pode ser conseguido sem necessidade de uma grande interação entre todos os envolvidos no projeto: desde a concepção do produto até o pós-venda, passando normalmente pela engenharia (“projeto”) do processo, pela checagem da qualidade, logística, aquisição de matéria-prima todos devem estar plenamente conscientes e comprometidos com os requisitos de projeto e processo. Para tanto é necessário que sejam conhecidas as variáveis que são diretamente influentes nas condições de contorno que determinam os requisitos de aceitabilidade.

Normalmente tais variáveis são individualizadas para cada departamento ou responsável: requisitos de projeto de produto são normalmente aceitos como exclusivos da engenharia de produto, critérios de processabilidade, tempo de linha e

cadenciamento são responsabilidade da manufatura e do processo, matéria-prima deve ser adquirida por compras e inspecionada pela qualidade e assim sucessivamente.

Contudo essa visão – mencionando CANGIOLIERI (2004) – pode ser simplificada e as variáveis desconhecidas podem ser melhoradas utilizando alguns dos conceitos que são integrantes do processo de desenvolvimento orientado à manufatura e à montagem e que proporcionam uma melhor interatividade entre as áreas envolvidas – esses são a divisão da informação e o compartilhamento de variáveis comuns e também a transcrição de variáveis similares.

A divisão da informações se explica pela própria definição: para que um processo tenha sucesso é imprescindível que haja conhecimento, acordo e principalmente pleno entendimento do que são variáveis e requisitos a serem controlados e verificados, ou seja, ao saberem das informações de forma equalizada e garantidamente única todos os envolvidos evitarão a busca de dados intermediários e minimizarão a chance de mal-entendidos que podem sobremaneira comprometer o controle do desenvolvimento e causar propagação nos erros devido à decisões tomadas sobre dados inverídicos.

Já o processo de divisão de variáveis comuns carece de uma análise mais profunda: esse significa dar a possibilidade de controle e simplificação das atividades através de uma análise criteriosa de cada item do projeto para que possam ser identificados quais desses levam a informações comuns.

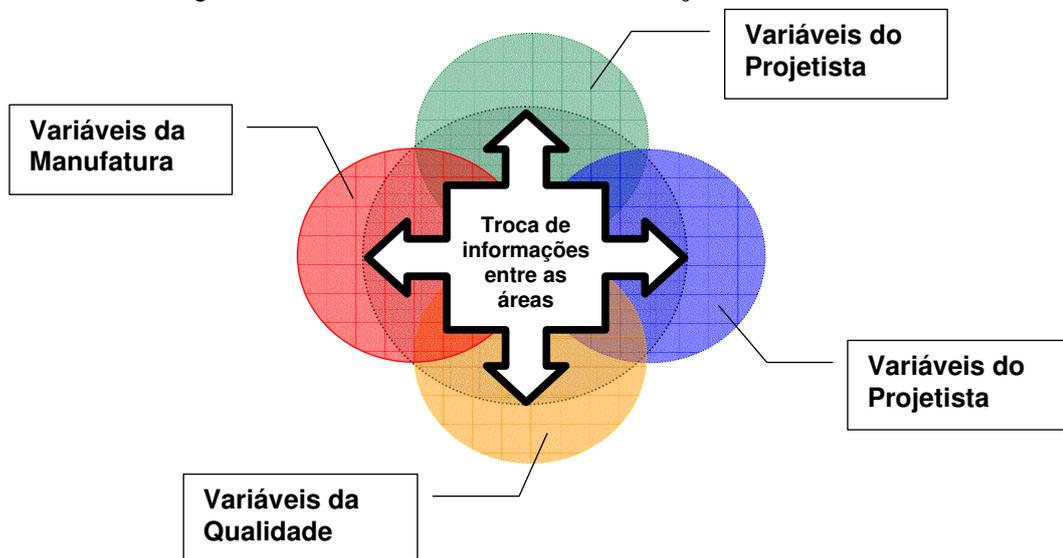
Tomando os conceitos de engenharia simultânea adota-se aqui como forma de explicação a necessidade de entendimento das variáveis de modo a que essas possuam controles únicos e encadeados de tal forma que essas possam ter sua redundância eliminada e com isso haja redução de tarefas repetidas proporcionando maior enfoque às variáveis que devem ser tratadas de forma mais atenta ou que sejam únicas e portanto de responsabilidade exclusiva (SÁ, 2003).

Exemplifica-se tal condição através de um processo de desenvolvimento de um molde para injeção de plásticos. O projetista da peça (produto) final tem seu foco de concentração nas características da aplicação do desenvolvimento e na moldabilidade do item. Dessa forma, sua concentração está nas características do material e nos dados funcionais. Ao projetista do molde a forma da peça é essencial (informação obtida do projeto do produto) e também nos sistemas auxiliares. Já o fabricante do molde precisa da forma do macho e da cavidade (advindos do projeto

do molde e geradas pelo projeto da peça) de modo a conseguir verificar a usinagem da peça, suas características de construção, a colocação efetiva dos subsistemas e outros.

De uma forma visual é possível mostrar as variáveis comuns e mapeá-las – para tanto é necessário apenas que se conheça de forma suficiente o processo e que haja comunicação suficiente entre as partes de modo a que essas possam apontar em conjunto quais são essas variáveis. Para uma maior inteligibilidade do item pode-se recorrer às figuras, que demonstram em primeiro plano a intercambiabilidade de informações (figura 11) e após essa o exemplo mencionado e posteriormente (figura 12).

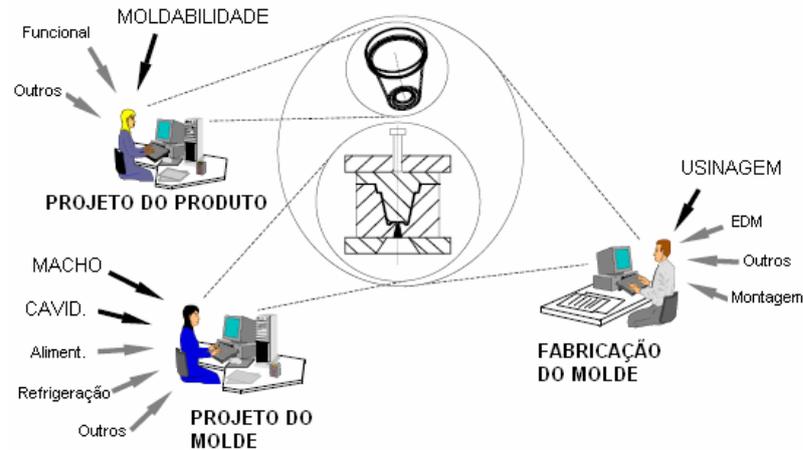
Figura 11: Intercambiabilidade das informações entre as áreas



Fonte: o autor

Finalmente existe ainda o último item a considerar que é a transcrição de informações similares – informações que são em primeira análise diferentes, mas que podem ser interpretadas de forma a gerarem dados comuns a mais de um requisito, ou seja, é possível através de uma simples interpretação chegar a expressá-las de uma forma que seja útil e simultânea a mais de um responsável. Em uma notação bastante simplista as variáveis comuns devem ser apenas compartilhadas, ao passo que as informações transcritas precisam de “tradução” antes do compartilhamento

Figura 12: Exemplo mencionado



Fonte: CANGIOLIERI (2004), adaptado pelo autor.

Assim utilizando outra alegoria é possível expressar as variáveis transcritas da seguinte forma: para o projetista da peça injetada a forma do produto pode ser descrita por um modelo tridimensional. Tal modelo pode ser utilizado pelo projetista do molde, o qual se valerá da geometria para definir como será projetada a cavidade e como essa será fechada pelo macho. Para o projetista do molde o objetivo é a definição da abertura e do fechamento do mesmo, contudo ele se vale do projeto da peça para definir como e onde esse fechamento será definido (exemplo conforme CANGIOLIERI, 2004).

Dando fechamento o item de melhoria do processo pela melhoria do projeto, pode-se afirmar resumidamente que um produto será mais manufaturável e conseqüentemente mais produtivo se ao ser realizado o desenvolvimento desse item se tenha conhecimento, entendimento, anuência e comprometimento de todos os departamentos ou indivíduos responsabilizados pelas variáveis de controle que esse desenvolvimento irá ter, e que sendo as variáveis conhecidas essas possam ser resumidas em itens de análise comum ou agrupadas em conjuntos de informações similares.

3.4 Projeto de produtos e processos

KUMAR *et al.* (2000) comentam que corporações que “dirigem seus mercados” são aquelas que oferecem produtos que parecem sofrer constante melhoria e mudança

para sempre se apresentarem como novos aos seus mercados - esse raciocínio leva à necessidade de criação, inovação e ajuste do negócio de modo a garantir a sobrevivência dessas empresas. A necessidade de criação de produtos e seus respectivos processos é a forma pela qual se obtém novos negócios e é o caminho pelo qual a produção ao mercado e nele tenta se manter pelo máximo tempo possível.

Em constante busca pela inovação é que existem os processos de projeto – atende-se o mercado com um produto e prepara-se o lançamento de seu sucessor de modo a que sempre o mercado se mantenha consumindo.

Entendendo essa necessidade, MARSHALL (1997) dividiu um processo de projeto (ou ainda de “projetação”) em três grandes fases – a conceitual, a análise da exeqüibilidade e a implementação, ressaltando que a ocorrência simultânea dos trabalhos de projeto deve enfatizar a boa comunicação entre as áreas e que é extremamente importante que os times sejam multidisciplinares. Ainda, ressalta que deve haver *feedback* e comprometimento de uma etapa com a sua posterior.

Segundo CANGIOLIERI (2005), o desenvolvimento de novos produtos é uma atividade complexa, envolvendo diversos interesses: os consumidores desejam inovação, melhores produtos e preços razoáveis. Os vendedores desejam vantagens competitivas. Os engenheiros de produção desejam simplicidade na fabricação e facilidade na montagem, ao passo que os designers tencionam experimentar novos materiais, processos e soluções.

Conforme CAPUCHO *et al.* (1997) é comum que surjam problemas na fase inicial de um projeto – erros na interpretação dos dados de entrada que acabam se estendendo e atingindo etapas superiores. Ainda existem outros efeitos indesejáveis causados por falta de informação ou ainda por falha na comunicação entre as partes envolvidas, causando conflitos que retardam o projeto.

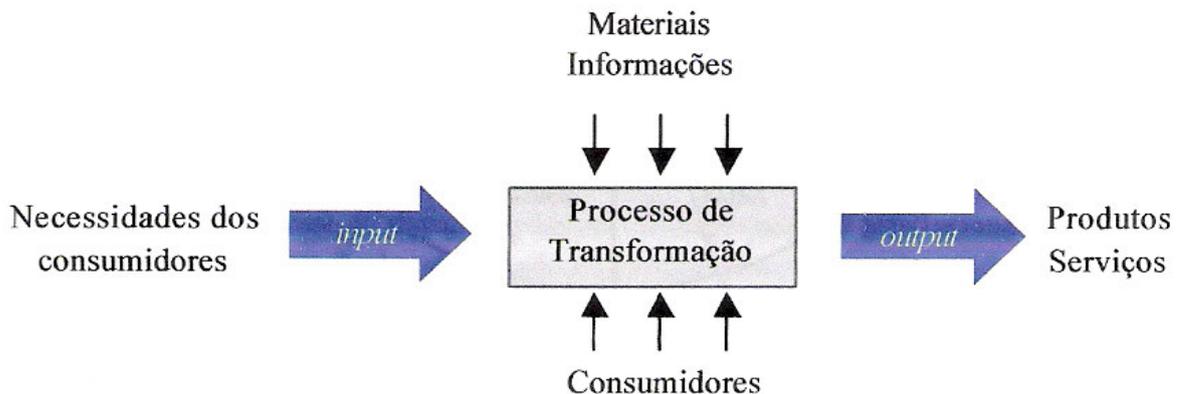
Nesse contexto conflitante de posicionamentos e necessidades ainda existem outros fatores limitantes: investimentos, prazos, limitações de capacidade de máquinas e espaço físico e logística.

Cabe então a pergunta: existe uma correta condição de desenvolvimento que permita a minimização das falhas e o máximo retorno financeiro em um período o mais curto possível com qualidade total e satisfação do cliente?

3.4.1 Projeto de um produto

Em resposta à pergunta do item anterior SLACK *et al.* (1997) *apud* GALDAMÉZ *et al.* (2001) afirmam que o desenvolvimento de produtos tem como principal objetivo satisfazer as necessidades atuais e futuras dos consumidores. Conforme CRAWFORD e MATHEWS (2001) *apud* SACHELLI (2005) essa afirmação coloca o consumidor num papel de destaque, o qual lhe é devido considerando que é ele que irá arcar com o preço do produto desenvolvido e terá o poder de julgamento, traduzido na forma de compra ou de recusa do que foi projetado e fabricado, pois fazer o produto apenas não é o bastante. Com isso, a busca de informação sobre o que “realmente o consumidor deseja, necessita e almeja” é vital. Observe-se a figura 13.

Figura 13: Modelo geral de um processo ou sistema



Fonte: Galdaméz, 2001

CLARK e FUJIMOTO (1991) *apud* FERREIRA e TOLEDO (2000) transcrevem o projeto do produto como composto por cinco etapas: geração e escolha do conceito do produto, planejamento do produto, engenharia de produto e testes, engenharia de processo e produção piloto.

Na primeira das cinco etapas, geração e escolha do conceito do produto, informações obtidas sobre as necessidades dos clientes, informações sobre os concorrentes, assim como dados a respeito dos riscos tecnológicos, oportunidades oferecidas pelo mercado e padrões e regras do ambiente são reunidas e formam o que é chamado de definição do produto. Nessa fase citando novamente GALDAMÉZ

et al. (2001) o departamento de *marketing* desempenha um papel importante na captação das informações (*inputs*), cabendo aos projetistas a função de processá-las ou transformá-las em materiais e informações adequadas.

Contudo, apenas a correta noção dos desejos do consumidor é insuficiente: FERRARI e TOLEDO (2001) são claros ao afirmar que o conhecimento em si não é suficiente: ele precisa ser transmitido de forma inteligível e aplicado de forma prática e clara isenta de erros. Tal conceito ainda é reforçado por DALGLEISH *et al.* (2000) que afirmam que um importante nível de comunicação é fundamental para a evolução do projeto. A comunicação deve ser rápida e bidirecional, abrangendo todos os grupos envolvidos. Todos os esclarecimentos, bem como as alterações deveriam percorrer entre os grupos de forma clara, concisa e instantânea.

Subseqüentemente vem a segunda etapa: o conceito do produto é traduzido em premissas mais concretas como estilo, *layout* e escolha e determinação dos componentes do produto, assim como os custos começam a serem especificados através do que foi planejado e concebido.

Novamente levando em conta o afirmado anteriormente é imperativo que haja real compreensão dos anseios do consumidor e se a fase anterior realmente traduzido de forma adequada para o conceito do produto que está em desenvolvimento.

Na terceira etapa, a engenharia do produto propriamente dita, As informações geradas nas primeiras fases transforma-se em desenhos e normas, ou seja, em projetos específicos que detalham o produto com suas dimensões e características reais. São realizadas construções de protótipos com o objetivo de avaliar o conceito do produto.

Posteriormente, vem a fase da engenharia do processo propriamente dita: aqui as informações sobre o projeto do produto são transformadas em informações relativas ao projeto do processo, materializando dos fatores de produção como máquinas, ferramentas, métodos de trabalho e perfil de mão-de-obra. Sistemas de CAD/CAE/CAM são considerados muito úteis e a aplicação do DFM/DFA permite que a engenharia do processo seja feita a partir da “voz da manufatura”.

Finalmente, como última fase do desenvolvimento, inicia-se a produção simulando as condições normais de operação da fábrica de forma a produzir os primeiros exemplares do produto para teste e realizar os ajustes finais no processo de fabricação. Normalmente pequenos ajustes relativos à compatibilização entre produto e processo estão sendo decorridas, mas considera-se que a menos de

melhorias posteriores que otimizem o processo, já existe um modelo de produção definido para o desenvolvimento realizado: como o processo de desenvolvimento de produto tem suas atividades baseadas em um ciclo de projetar-construir-testar, suas atividades típicas estarão sempre sujeitas a constantes alterações e por esse motivo as etapas do processo devem sempre se interagir para que não haja grandes retrabalhos.

Tem-se durante o desenvolvimento duas situações iniciais distintas: a primeira referente ao início do processo de desenvolvimento – quando esse é dado e a partir de que parâmetros pode se afirmar que existe real desenvolvimento e como pode ser avaliada sua evolução e com isso mensurar se os objetivos serão atingidos. A segunda situação inicial é a correta análise do processo de modo a que se tenha entendimento pleno de quais são as etapas que devem ser vencidas para que se passe de um patamar a outro e quais são as interfaces que existem e que delimitam as responsabilidades intrínsecas de cada envolvido no processo. Essa abordagem deve ser revista de forma cuidadosa de modo a que se compreenda completamente o processo e ambas as situações possam ser tratadas de modo que sejam obtidas respostas complementares para ambas.

Analisando a situação onde se trata o desenvolvimento em si e suas etapas o processo de concepção e criação de produtos e serviços é o resultado de necessidades e desejos de um mercado consumidor. Esse mercado consumidor constituído ou potencial é quem determina de uma forma na maioria das vezes não muito clara onde um produto deve estar situado e como deverá ser ou parecer. Esse mercado determina através de tendências e fatores de análise indiretos ainda qual é o valor esperado de um produto (valoração direta – resposta ao questionamento “quanto se pagaria por tal produto, serviço ou item”), qual será sua potencialidade de venda (da mesma forma seria a resposta a “quantos serão vendidos?”) e quando ele deverá estar disponível ao consumo (“quando será a entrada do no mercado item”).

A partir desses dados será delineado o produto. Citando novamente a literatura, existe uma fase de desenvolvimento conceitual onde deve ser esboçado o produto e suas condições de contorno – e é nesse desenvolvimento inicial que deve ser delimitado o grau de interação entre as áreas e suas interfaces.

O processo de desenvolvimento do produto deve passar por uma fase de transformação – nesse estágio intermediário existe já trazido da fase inicial de

delineamento um pré-projeto ou ao menos uma idéia mais clara de quando, como e por qual quanto se espera vender um bem (serviço, produto ou qualquer outra forma de desenvolvimento que agregue valor a uma matéria-prima). Essa agregação de valor é norteada pela perscrutação inicial do desejo e necessidade do mercado consumidor e é conseguida através da adição de informações e de processos produtivos transformatórios à matéria-prima.

É nessa fase que o processo produtivo tem sua fase mais crítica no que se refere a investimentos, aplicação de recursos, fabricação de maquinário ou ferramental e demais necessidades que se convertem em agregação de valor direto ou indireto no produto final. No caso de um produto de engenharia (como é o caso do item abordado para o presente estudo) é nessa fase em que se provêem os recursos que serão utilizados e que se define qual é o real método de transformação que levará a idéia inicial ao produto final. Nessa fase é que as informações de requisitos devem ser claras, as definições de responsabilidades muito bem definidas e principalmente as características e padrões de contorno fechadas e convertidas em ações de decisão: nessa fase erros ainda são mais facilmente contornados e ajustes ainda estão próximos e podem ser realizados sem grande detrimento do produto e prazo finais.

É possível mostrar através de dados registrados e de pesquisas de campo que os custos agregados para uma mudança (seja essa de qual tipo for) em um produto serão cada vez maiores quanto mais próximo do final do desenvolvimento do produto essas se fizerem necessárias – ou seja, uma mudança de conceito, um novo *feature*, um erro de interpretação ou projeto que precise ser recuperado será tanto mais caro e demorado quanto mais próximo do prazo final do desenvolvimento, ou seja, quanto mais “próximo” do consumidor esse estiver.

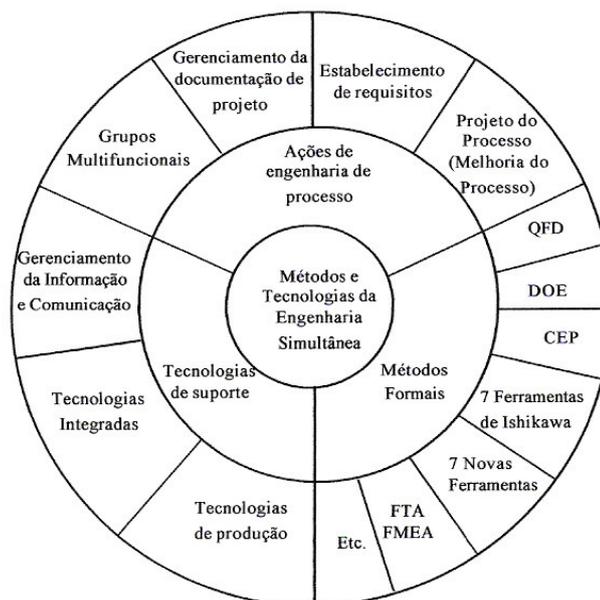
Por exemplo, pode se considerar a construção de uma ferramenta para injeção de plásticos na qual foi necessária a inclusão de um novo ponto de fixação na peça – se essa mudança ocorre durante a fase conceitual a mudança demanda apenas de algumas horas de redesenho e análise. Se essa necessidade de alteração foi descoberta durante a usinagem do molde a alteração passa a necessitar de um reprojeto da ferramenta que no mínimo exigirá mais horas e custos para a fabricação e dependendo do caso pode recair em uma alteração de tal forma profunda que exija um novo molde completo. Finalmente se esse reprojeto ocorrer já na fase de produção o impacto poderá até influenciar o produto já concebido – o que pode

acarretar em uma mudança a tal ponto custosa que não permitirá que o produto seja alterado ou até mesmo acarretando a inutilização do componente e do novo conceito.

Finalizando, ainda existe a fase final do desenvolvimento onde bens (produtos, serviços) são disponibilizados ao mercado consumidor – isso significa que a partir desse ponto serão os bens estarão em contato direto com o consumidor e que não há mais condições e influenciar diretamente no projeto – definições tomadas durante o projeto, sejam essas corretas ou não, estarão a partir desse momento sendo executadas pela manufatura ou prestação do serviço e a portanto diretamente visíveis ao mercado consumidor. Erros e necessidades de mudança a partir desse ponto contam com a variável que é o consumidor e por ele passam – qualquer atividade que exija alteração será baseada em uma ampla divulgação ao público e exporá sobremaneira a equipe de desenvolvimento (*eg.*: operações de *recall* da indústria automobilística).

A Engenharia Simultânea aqui é vista como uma filosofia aplicada durante todo o processo de desenvolvimento e o paralelismo das atividades deve acontecer desde o início e se estender até que se atinja a produção propriamente dita (linha seriada). É possível aclarar o conceito de paralelismo e simultaneidade das atividades conforme RAWELIFFE *et al.* citado por CORREA Jr *et al.* (1997) *apud* GALDAMÉZ *et al.* (2000). Vide figura 14.

Figura 14: Concorrência de atividades num desenvolvimento



3.4.2 Projeto de um processo

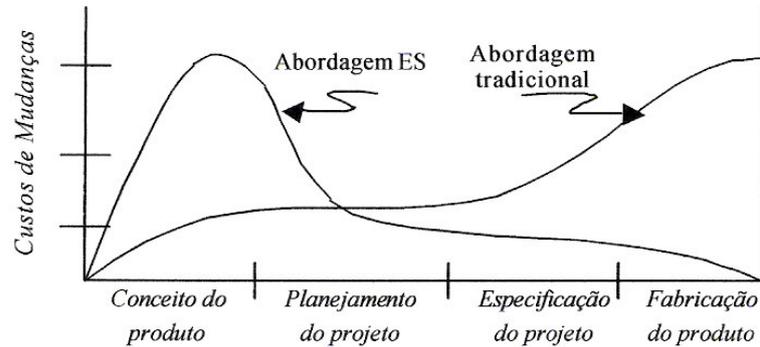
Uma vez definido o que se espera de um produto (primeira-segunda fase do desenvolvimento), é conveniente iniciar paralelamente a preparação da estrutura da fábrica: conceber maquinário, *lay-out* fabril, treinamento de pessoas, espaço em fábrica entre outros são a base para a garantia de sucesso do produto. A ocorrência da simultaneidade entre produto e processo é deveras importante, pois permitirá que sejam levantadas necessidades de adaptações no projeto, investimentos em maquinário, restrições de capacidade produtiva que refletirão em variações de custo no produto entre outras informações.

Conforme CANGIOLIERI (2005) em geral o projeto determina a manufaturabilidade dos produtos e não a fábrica, independentemente de quanto sofisticada ela possa ser. De fato, quanto mais sofisticada a fábrica for, maior será a sua dependência da metodologia de projeto orientado para a manufatura.

Atualmente a boa manufaturabilidade dos produtos está sendo requerida mais do que a de compatibilidade de fábrica: isso se deve ao fato que no ambiente competitivo está se colocando intensa pressão para baixar os custos, aumentar a qualidade, diminuir o tempo de lançamento do produto no mercado, entre outros - dessa forma o sucesso está em fabricar produtos que foram projetados baseados na sua máxima capacidade de manufaturabilidade. Produtos com projeto desenvolvido em conjunto com as informações do processo ganham agilidade, sendo mais "fáceis" de serem fabricados – mais baratos e conseqüentemente mais competitivos.

Em acordância com HARTLEY e OKAMOTO (1992) também é de importância analisar que uma vez investido o valor da preparação da fábrica para o novo produto, quaisquer mudanças serão progressivamente mais dispendiosas quanto mais próximo o evento da mudança for da produção normal, conforme figura 15, adaptada por GALDAMÉZ *et al.* (2001).

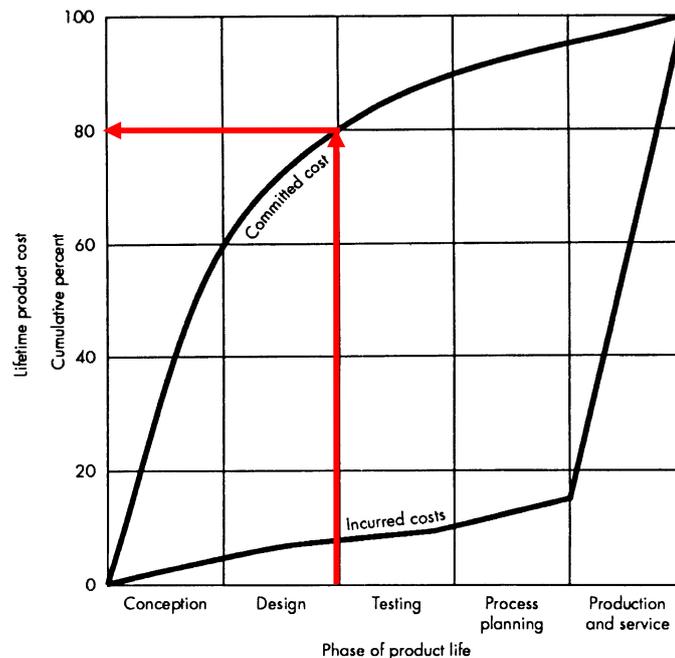
Figura 15: Custo de modificação de produto



Fonte: HARTLEY e OKAMOTO, 1992, adaptado por Galdaméz *et al.* (2001)

Ainda segundo ANDERSON (1990) *apud* CANGIOLIERI (2005) o projeto do produto propriamente dito consome 8% do custo total do orçamento do projeto. Todavia, aproximadamente 80% do custo total do ciclo de vida do produto com ilustrado na figura 16. O projeto determina a manufacturabilidade e também é quem determinará uma significativa parte da introdução e do custo de produção (80% do produto). Uma vez que este custo foi alocado será muito difícil removê-lo.

Figura 16: Custos de desenvolvimento – processo e produto



Fonte: ANDERSON, 1990 *apud* CANGIOLIERI (2005)

3.5 Resumo do capítulo

Nesse capítulo foi abordado um apanhado sobre a literatura pesquisada sobre os conceitos e definições de Projeto Orientado à Manufatura e Projeto para a Montagem (DFM/DFA), bem como foram analisados exemplos práticos da utilização dessa metodologia na otimização do projeto para obtenção de vantagens referentes à custos, redução de peças e simplificação de montagens. Também foi foco desse capítulo a melhoria do processo produtivo através da organização das tarefas de forma multidisciplinar, a concomitância de tarefas e a divisão das informações, bem como a análise participativa de todos os envolvidos num desenvolvimento. Finalmente o capítulo abordou o projeto de um produto e também de um processo, definindo características e inserindo a visão de DFM/DFA nesses projetos.

4 APLICAÇÃO DO DFM/DFA EM UMA PEÇA DA LINHA BRANCA

4.1 Introdução

O presente capítulo destina-se a demonstrar a aplicação do DFM/DFA concomitantemente abordado com a Engenharia Simultânea como ferramenta de desenvolvimento para agregação de valor, diminuição da incerteza, aumento da agilidade e manufaturabilidade no projeto e processo de obtenção de uma peça de engenharia utilizada na linha de produção de fogões de uma multinacional da área de eletrodomésticos. Neste capítulo também serão demonstradas as etapas realizadas, interfaces e colaborações de um projeto de componente baseado no DFM/DFA e posteriormente será realizada a análise da extrapolabilidade do conceito para demais projetos de partes e/ou peças, bem como será apresentada de forma mais profunda a abordagem dada ao processo de desenvolvimento de produto orientado a manufatura e montagem, detalhando a metodologia apresentada.

4.2 O mercado da linha branca

A linha de fogões de uma multinacional sueca com fábricas no Brasil possui produtos voltados para as classes A e B – produtos considerados específicos para um mercado de maior poder aquisitivo onde o preço não é o principal fator de decisão, ficando o *design*, os detalhes de forma e visuais, a praticidade no uso e os *features* como sendo os diferenciais dirigidos aos consumidores e procurados pelos compradores-revendedores. De uma forma mais simples, considera-se esse produto como um bem que é adquirido não apenas pelo seu preço, mas também pela garantia que o consumidor pressupõe ter de um produto que é confiável, bonito e acima dos demais, durável.

Tais características levam o produto a ser considerado *high-end* – condição na qual são elevados os padrões exigíveis de acabamento e funcionais e onde também se consideram como importantes os detalhes visuais e estéticos, assim como o alto

nível do acabamento na montagem – e condição também na qual o consumidor sabe que paga mais por um produto de um diferenciado e com um padrão de refino mais alto.

É exatamente essa exigência de padrão elevado que leva ao principal desafio para o desenvolvimento de novos itens para essa classe de produtos – uma necessidade tão específica de qualidade exige que sejam projetados componentes e subconjuntos compatíveis com o que se espera da família de eletrodomésticos onde serão os montados os mesmos: um projeto de item que permita a máxima produtividade através de soluções que auxiliem a produção desde sua entrada em linha, sem, contudo agregar itens que possam ferir o visual e a estética aparente do produto ou acrescentar itens de mais baixa confiabilidade.

Outrossim, ainda é intenção dessa empresa possuir um fogão que seja não apenas completo e com diferenciais únicos de mercado, mas também que ele seja o mais barato possível dentro da faixa de público que tenciona atingir, que seja econômico, poupe ao máximo os recursos naturais para sua fabricação e operação, que seja manufaturável em alta escala, altamente confiável e que quando seja necessário seja simples de reparar.

Dessa busca surgiu uma possibilidade de alteração nos conjuntos de fixação dos puxadores das portas do(s) forno(s) de subconjuntos montados de aço estampado e polímeros termofixos e termoplásticos por uma peça única e polivalente composta apenas de polímero termofixo injetado. É dessa alteração onde se buscou o uso do DFM/DFA que trata o presente estudo de caso.

4.3 Condições gerais de contorno para o caso de estudo

Uma peça de engenharia deve ser adaptada ao meio onde será aplicada: deve ser o mais enxuta, completa e flexível possível para sobreviver nesse meio e se inserir nele com sucesso. Com base nessas premissas e em se considerando o mercado de extrema competição onde se encontra indústria de bens de consumo duráveis, qualquer redução de custo por menor que pareça deve ser levada em consideração e estudada com afinco de modo a, pelo menos e na pior hipótese, produzir uma

resposta embasada e concisa sobre sua possibilidade de aplicação mesmo que essa seja negativa.

Ainda existem mais fatores que corroboram com essa afirmativa: uma redução de custo considerada pequena num produto pode ser convertida em apreciável soma desde que se considerem os volumes de produção agregados ao dia-a-dia de uma indústria de grande porte, onde a repetibilidade de um produto chega a milhares ou milhões de unidades/ano. São exemplos casos tais em que se eliminou itens de baixíssimo custo individual agregados como rebites ou parafusos, que no compito geral de produção massificada permitiram reduções de custo tão apreciáveis que foram determinantes para o resultado de uma empresa durante anos: tome-se, por exemplo, os grandes fabricantes de placas eletrônicas para computadores que optaram por encaixes e interferências ao invés de parafusos que eram agregados como fixações de sub-conjuntos: os parafusos, além do custo próprio, necessitavam de automatização exclusiva para cada modelo que se encontrava na linha montagem durante a produção, o que para o mercado sempre cambiante da informática se tornava um custo agregado de valor considerável.

Forçosamente ainda vêm à tona outro fator: um produto complexo tal como um refrigerador, lavadora ou fogão exige para cada componente agregado pelo menos uma operação de montagem, custos de estoque e transporte dessas peças, movimentações internas e outros, portanto qualquer eliminação de valores mesmo considerados indiretos e não colocados diretamente sobre o preço dos componentes é em princípio vantajosa, mesmo que a mesma pareça imperceptível em primeira análise.

Ainda existe mais a considerar: toda operação de montagem e agregação de itens passa por uma necessidade mínima de infra-estrutura, desde um local na planta fabril onde a peça será agregada, incluindo o ferramental e o posto de trabalho ou de automatização para esse componente, tudo gera e agrega custo. Tome-se como exemplo a simples operação de fixação da logomarca do fabricante em uma linha de montagem de automóveis: além do item em si, são custos agregados a infra-estrutura de fábrica (posto de colocação, ferramental e gabaritos, tempo em linha para essa operação), custos indiretos não-exclusivos tais como iluminação, água, impostos e demais agregados, os sub-itens de montagem, parafusos, rebites, adesivos ou outros, o valor da mão-de-obra ou a depreciação do equipamento

automatizado de colocação e os valores indiretos de estoque, cadenciamento de linha de montagem, custos financeiros, rejeições por parte da qualidade e eventuais paradas de linha causadas pela falta de algum dos itens mencionados. Do exposto, pode-se argumentar que o fator custo é muito importante para a análise de uma mudança, porém não justifica plenamente a troca de um componente ou a eliminação de um item já consagrado em linha.

Existem outros fatores de decisão: o primeiro deles é o fato que existe sempre certa relutância em alterar um projeto já consagrado e cuja confiabilidade já está comprovada em campo. Essa condição é especialmente importante em produtos onde o custo final ao consumidor não é a principal hora da compra; tome-se como exemplo um fabricante de turbinas para aviação, itens cujo custo individual é da ordem de centenas de milhares de dólares. Lá a eliminação de um rebite ou parafuso ou a troca de um material por outro é extremamente delicada, pois no caso de um erro pode existir grande comprometimento da qualidade de um produto que em funcionamento não pode falhar e o custo que está sendo reduzido não consegue compensar uma eventual parada no funcionamento.

Essa visão é de especial interesse no caso da linha branca: os produtos eletrodomésticos de maior porte tais como refrigeradores, fogões e lavadoras, são itens que devem manter estabilidade durante o uso e que devem ter uma vida operacional especialmente longa, pois se espera deles que cheguem ao final de sua vida útil funcional antes de serem substituídos por outros: ao contrário da indústria automobilística o senso comum afirma que um eletrodoméstico não será substituído por um modelo de outro ano de fabricação ou por um modelo com diferenciais de conforto assim que esse for disponível ao mercado e que se tenha recursos para fazê-lo.

Ainda, existe mais uma condição que faz do eletrodoméstico um produto que deve ter sua vida útil longa e confiável: o valor de um produto eletrodoméstico é na maioria das vezes bastante significativo perante o poder aquisitivo médio de uma população e isso faz com que se exija dele tal confiabilidade que justifique o investimento nele aplicado. Não é incomum que o consumidor final esteja pagando o produto que adquiriu durante e muitas vezes depois do encerramento da garantia oferecida pelo fabricante, e nesse caso é garantidamente esperado pelo consumidor que o produto não falhe durante esses tempo.

Aliado a esse fator existe ainda outro: o consumidor não é treinado a usar um eletrodoméstico e nem precisa de habilitação que o permita garantir o bom uso de desse – o manual do usuário do eletrodoméstico é fornecido, mas ao contrário do uso de um veículo automotor, não é exigido que se conheça o produto e se preste um exame que qualifique o usuário a ser assumidamente competente no uso do produto – nem que ele tenha lido (ou até mesmo que saiba ler) o manual de instruções.

Assim é adicionada mais uma variável importante: além de uma alta confiabilidade, um componente destinado ao uso na linha branca exige também a adaptabilidade e robustez para resistir inclusive ao mau uso, inabilidade ou desconhecimento do usuário. Não raros também são os casos onde o eletrodoméstico se encontra em condições inapropriadas ou mesmo adversas ao seu funcionamento e onde os componentes têm que apresentar segurança de projeto para que possam funcionar inclusive em situações para as quais não foram necessariamente projetados para.

Finalmente, existe o fator necessidade de não existência de falha: durante um defeito apresentado por um eletrodoméstico existe influência direta e imediata na qualidade de vida do consumidor e sua família: trazendo novamente a indústria automobilística como padrão de comparação, a falha ou mal-funcionamento do automóvel da família, quando esse é disponível, causa sim transtornos – esses na maioria contornáveis imediatamente através da busca de alternativas de transporte tais como a rede de ônibus e táxis. No caso da falha de um refrigerador familiar existe um impacto imediato e que não é tão facilmente contornado (guardadas as devidas proporções) – não existem conservadores de alimentos ou aparelhos de cocção de aluguel ou temporários de eficiência mais alta e que permitam uso sem maiores problemas, o que agrava a valorização dada pelo consumidor à falha.

Com essas condições de contorno é que se apresenta o atual campo desta pesquisa: o estudo da aplicabilidade do DFM/DFA no projeto e produção de uma peça robusta e resistente, que seja barata e de fácil manufatura, confiável e de montagem rápida, simples e que proporcione a vantagem logística de ser facilmente obtida de mais de um fornecedor, que tenha sua tecnologia de confecção dominada e amplamente conhecida e que caso necessário proporcione fácil reparo para o serviço autorizado. Ainda, é foco da pesquisa a definição de um molde resistente e adaptável, econômico e passível de operação com baixas pressões de injeção e que tenha seu custo e tempo de projeto e execução os mais reduzidos possíveis.

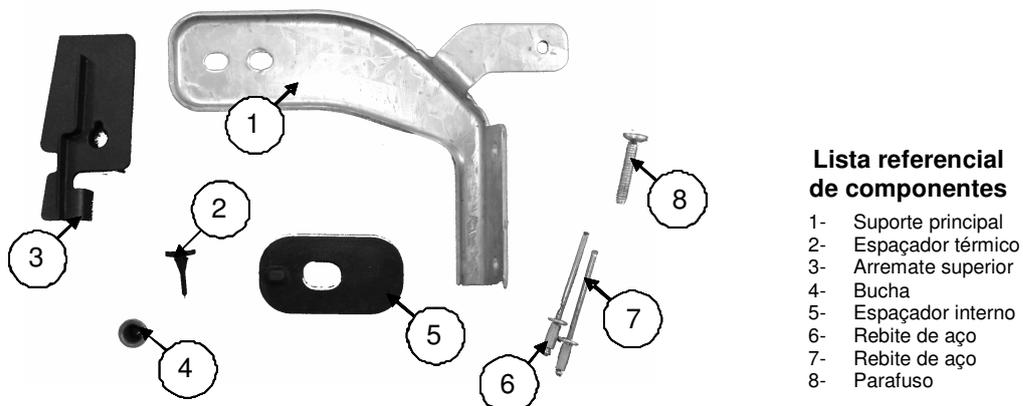
4.4 Desenvolvimento do componente

Seguindo o que foi demonstrado e em acórdância com o que foi definido na revisão da literatura já apresentada, é interessante saber o que se pretendia do processo de desenvolvimento do componente e onde ele começou, bem como suas interfaces e passagens de modo a que as ações sejam reportadas assim como ocorreram.

4.4.1 Início do desenvolvimento

Como qualquer projeto de desenvolvimento a idéia que o gera supre ou deveria suprir uma necessidade de mercado definida, situação que também se aplica na condição do presente estudo de caso. Como já mencionado, o desenvolvimento que se esperava era o de um componente que pudesse, numa forma economicamente viável e com garantia de bom funcionamento, substituir o subconjunto de fixação dos puxadores tubulares que permitem a abertura e fechamento da(s) porta(s) do(s) forno(s). Demonstra-se o ponto de aplicação desse subconjunto, de modo a melhorar a compreensão ao leitor na figura 18. Ainda, o detalhe do subconjunto em sua concepção original é mostrado na figura 17.

Figura 17: Concepção inicial do subconjunto suporte-puxador

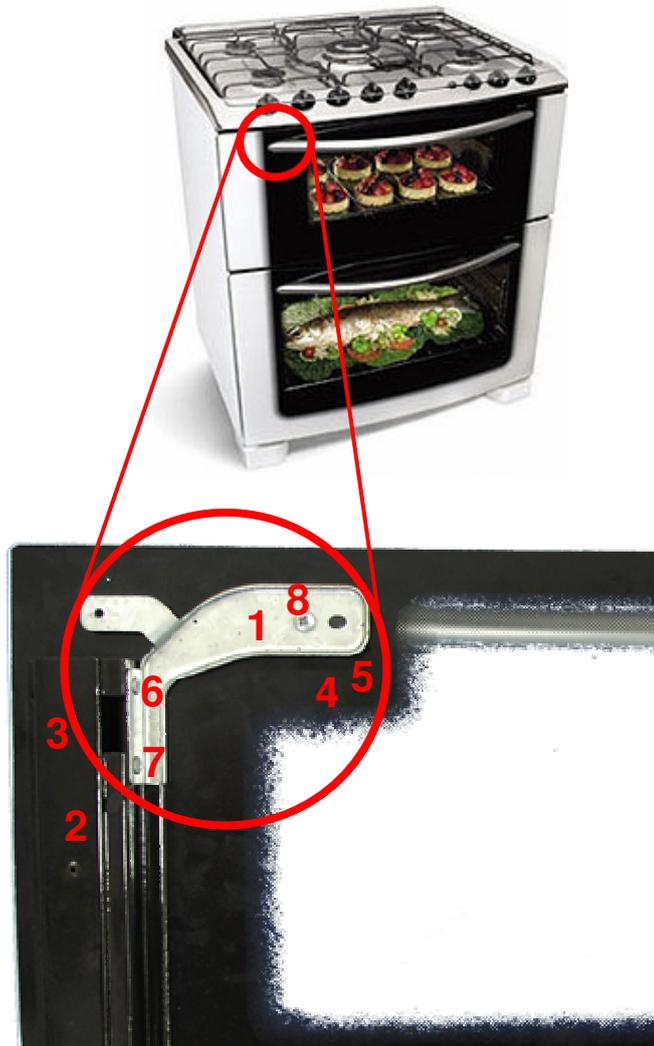


Lista referencial de componentes

- 1- Suporte principal
- 2- Espaçador térmico
- 3- Arremate superior
- 4- Bucha
- 5- Espaçador interno
- 6- Rebite de aço
- 7- Rebite de aço
- 8- Parafuso

Fonte: Indústria multinacional

Figura 18: Aplicação da solução original (à esquerda) e aplicação da primeira proposta usando DFM/DFA (à direita)



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Tal subconjunto é funcional e completamente definido, tendo suas partes integrando a lista de materiais do produto e atende completamente os pré-requisitos de qualidade e processo para os quais foi projetado. Contudo, pode-se notar que essa solução é complexa, dependente de vários componentes – que exige que para uma correta montagem não haja supressão de nenhum desses – e que necessita de várias operações de acoplamento, colocação e que também exige do montador habilidade e treinamento devido à complexa cadeia de operações seqüenciais.

Desses inconvenientes surgiu uma oportunidade de desenvolvimento de uma nova solução: como já mencionado essa deveria ter ao menos a mesma confiabilidade da configuração atual e também deveria ter um custo, quando componente, que fosse

mais atrativo que o conjunto e ainda deveria ter o número de operações de montagem de tal forma baixo que justificasse a mudança. Com esses pressupostos e focalizando principalmente o último, foi necessário o envolvimento premente da manufatura – e com isso foi decidido pela equipe de projeto em formação (formada ainda apenas engenharia de produto e manufatura) que poderia existir uma possibilidade de utilização da ferramenta DFM/DFA, haja vista que para a construção do novo componente seria necessário o envolvimento de vários departamentos, desde a cadeia de fornecimento de suprimentos até a inspeção final da qualidade, passando por engenharia de processo, de produto e outras áreas, envolvendo a empresa como um todo.

Contudo, o primeiro percalço seria a utilização de uma ferramenta nova: pouco tinha conhecimento da existência do DFM/DFA, nenhum tinha conhecimento sólido de conceitos e atributos que seriam necessários para o cumprimento da tarefa. Disso, foi necessária uma primeira condição de trabalho, que era o estudo diligente dos conceitos e a multiplicação desse conhecimento entre os colegas. Para tanto, o autor, que era o envolvido pela engenharia de produto foi incumbido de absorver os conceitos multiplicá-los entre os colegas numa tônica formal, mas mesmo assim voltada para o objetivo prático, não à teoria. Uma vez que esse processo poderia ser um pouco mais lento do que o desejado, foi considerada a hipótese de início do desenvolvimento sem toda a teoria, iniciando assim uma abordagem direta do assunto através dos conceitos iniciais de foco em redução de peças, melhoria e aceleração dos processos de linha de montagem e troca conjunta de informações.

Ainda, contava-se com uma idéia inicial de desenvolvimento de autoria exclusiva da engenharia de produto, a qual não foi levada a cabo por motivo exclusivo de falta de um responsável direto pelo processo que era considerado complexo demais para que fosse centralizado em uma só pessoa. Contudo, tal peça inicial era de grande valia, pois já tinha em si os contornos de um desenvolvimento o qual poderia ser melhorado e atingir os objetivos propostos de início.

4.4.1.2 A quebra do paradigma

Ao iniciar o desenvolvimento do componente o primeiro ponto a ser abordado foi uma quebra de paradigma: a solução que se apresentava como nova era baseada

em plástico injetado – uma situação incomum para a parte interna do produto onde existe contato direto com alta temperatura, combustão direta, gases e agentes graxos em suspensão e também esforços mecânicos constantes advindos da parte externa, onde se situa mais um fator complicante que é o contato direto com o vidro, contrabalançando a solução já implementada e vitoriosa que era uma mescla de metal e termofixos projetados para alta temperatura.

Ainda, existia outra necessidade: a de justificar uma troca de um sistema crítico para o produto de uma condição já consagrada e estabilizada por uma nova cujas inovações teóricas poderiam ser menos interessantes que o risco de implementá-las – condição que não era atrativa quando se considerava apenas o item como sendo puramente plástico e o subconjunto predecessor sendo metálico.

Para tanto, deveria existir uma prova inicial que o termoplástico a ser utilizado era de alta confiabilidade e seria adequado ao ambiente hostil no qual seria inserido. Ainda, além dessa condição, era necessário também mostra aos responsáveis pelo produto e para o corpo gerencial que já existia precedência desse tipo de solução aplicada em produtos similares ou em condições mais hostis.

4.4.1.3 A busca do material ideal

Ainda sem o envolvimento das demais áreas e sem caracterizar um projeto de componente (e portanto sem o uso da ferramenta DFM/DFA propriamente dita) foi iniciado o processo de busca de materiais que possuísem características mínimas para serem candidatos à aplicação: essas matérias-primas termoplásticas deveriam ter conjuntamente uma suportabilidade em regime contínuo para altas temperaturas da ordem de 300 °C, resistência mecânica suficiente para permitir uma aplicação de forças axiais acima de 65N por mais de 100.000 ciclos de funcionamento, alta moldabilidade, resistência mecânica a choques térmicos e também um custo atrativo que fosse comparável ao aço.

Devido à complexidade das características solicitadas do material, houve necessidade de envolvimento de fabricantes tradicionais, os quais já eram fornecedores consagrados, de modo que esses buscassem em seus respectivos portfólios alguma matéria-prima candidata e também o início do envolvimento de outras áreas no processo de desenvolvimento, o qual começava a ser caracterizado:

era necessário agora a participação da engenharia de processo, a qual diria o que esperava da matéria-prima para que pudesse dimensionar o tipo de molde e a injetora que seria utilizada dentro daquelas que eram disponíveis e também da área de suprimentos, a qual seria necessária para a barganha de preços e na solicitação de amostras para testes iniciais.

4.4.2 Criação de uma matriz decisória para aplicação dos conceitos de DFM/DFA

Como o desenvolvimento foi caracterizado e começou a necessitar efetivamente do envolvimento de outros departamentos, caracterizando assim a primeira ação de aplicação do DFM/DFA no projeto, foi pensada a construção de uma matriz de decisões a qual seria utilizada para a divisão da informação, tomada conjunta de decisões e análise das propostas geradas pelo grupo e levantadas pela manufatura. Nessa fase do desenvolvimento do componente é que se compôs a equipes que seria responsável por levar a contento todas as tarefas para que se tivesse um projeto concluído ao final do processo. A correta composição das equipes e a multidisciplinariedade de cada uma dessas seria fator decisivo para que se tivesse uma condição de sucesso e de máximo aproveitamento de recursos. Ainda a coordenação de tarefas entre equipes multidisciplinares colaboraria de forma definitiva para que houvesse eficiência na realização das tarefas e se permitisse que essas fossem simultaneamente executadas satisfatoriamente: No processo de concepção e criação de um componente foi necessário que se tivesse interação e cooperação entre todos os envolvidos – desde quem conceberia o projeto do componente em si até que iria inspecioná-lo no recebimento de materiais ou agregá-lo a um subconjunto maior. Sabendo disso é importante que desde o início houvesse a acordância entre as partes e que elas soubessem desde o princípio o que devem fazer, como e quando.

Para tanto foi necessária uma matriz de decisão que mostrasse como podem ser resolvidos eventuais conflitos entre os departamentos, áreas ou times que participam do projeto – e que também permitisse que a informação fosse devidamente compartilhada e que nenhum detalhe relevante fosse perdido ou negligenciado durante o

processo de criação, desenvolvimento e execução do produto ou componente. A presente matriz de decisão foi definida conforme a tabela 5.

Tabela 5: Matriz decisória

QUEM?	O QUE?	COMO?	QUANDO?
Engenharia de Produto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Projeto da solução 2. Acompanhamento do produto 3. Desenhos 4. Geometria 5. Definição de parâmetros de aceitação 6. Análise de valor 7. Início da mudança 8. Definição do material 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Com base nos problemas da Manufatura 2. Verificando todas as fases com todos em reuniões de "follow-up" 3. Elaborando desenhos 4. Com base na peça projetada 5. Em conjunto com a Qualidade 6. Com Suprimentos 7. Consensando a solução com o Grupo 8. Pesquisa com fornecedor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Após discussão com a Manufatura 2. Após as reuniões 3. Depois da definição da peça 4. Imediatamente após a análise da necessidade 5. Após discussão com a Qualidade 6. Após definições de material e molde 7. A partir do OK do grupo 8. Imediatamente após a análise da necessidade
Engenharia Industrial	<ol style="list-style-type: none"> 9. Projeto do molde 10. Acompanhamento da construção do molde 11. Definição de parâmetros de processo 12. Preparação da linha 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Com base no projeto da Eng.de Produto 10. Verificando com o fornecedor do molde. 11. Elaborando os parâmetros de linha e postos de trabalho 12. Ajustando a linha para os novos postos e processos 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Após discussão com a Eng.de Produto 10. Durante o projeto do molde 11. Depois da definição da peça 12. Imediatamente após a definição da peça
Manufatura	<ol style="list-style-type: none"> 13. Definição da peça 14. Definição das dificuldades 15. Cartas de processo 16. Ajuste da linha 17. Ajuste na proposta 18. Lote piloto 19. Produção massiva 	<ol style="list-style-type: none"> 13. Relatando as necessidades à Eng.de Produto 14. Verificando em linha de montagem restrições da peça antiga e da nova peça 15. Verificando a nova peça e suas características 16. Implementando as mudanças propostas pela 	<ol style="list-style-type: none"> 13. Após discussão com a Eng.de Produto 14. Após as reuniões 15. Depois da definição da peça 16. Imediatamente após a definição da peça 17. Após a implantação das mudanças da Eng.Industrial 18. Depois da compra de peças suficientes por

		Eng.Industrial 17. Corrigindo a proposta da Eng.de Produto 18. Fabricando o lote piloto 19. Produção final	Suprimentos 19. Ao final do projeto
Suprimentos	20. Contato com fornecedores 21. Cotações 22. Aquisição de amostras 23. Aquisição do lote piloto 24. Aquisição de peças para a produção massiva	20. Abrindo o canal com os fornecedores 21. Pedindo cotações baseadas em desenhos e peças 22. Solicitando protótipos 23. Solicitando lote piloto 24. Solicitando peças para produção massiva	20. Após discussão com a Eng.de Produto e Eng.Industrial 21. Quando a Eng.de Produto e/ou Eng.Industrial solicitarem 22. Depois da definição da peça 23. Após OK da Manufatura 24. Ao término do projeto
Qualidade	25. Aceite da solução 26. Acompanhamento do produto 27. Verificação dos desenhos 28. Testes de Qualificação e de Produção 29. Auditoria em fornecedores 30. Inspeção rotineira	25. Com base na solução de projeto 26. Verificando todas as fases com todos em reuniões de "follow-up" 27. Verificando os desenhos 28. Realizando testes de norma e de análise 29. Auditando efetivamente o fornecedor 30. Inspeccionando lotes de produção	25. Após discussão com o Grupo 26. Após as reuniões 27. Depois da definição dos desenhos e da peça 28. Após amostras / lotes 29. Após o aceite da solução 30. A partir da conclusão do projeto
Logística	31. Armazenando peças 32. Transportando peças 33. Programando as compras massivas	31. Alocando espaço em fábrica 32. Retirando peças no fornecedor e trazendo para a fábrica 33. Tornando itens 34 e 35 rotineiros	31. Após acordo com a Manufatura 32. Depois da aquisição das peças por Suprimentos 33. Após o término do projeto e definição de Suprimentos

Confirmando a literatura existe possibilidade de ganho quando o grupo age de forma conjunta – o desenvolvimento como sendo uma ação de coletiva precisa que se tenham informações claras de quando, como e por quem decisões serão tomadas, e

ainda segundo a literatura já revista às informações no início de um projeto estão normalmente dispersas e em grande parte dos casos são imprecisas ou não são de conhecimento de toda a equipe. Considerando tal hipótese, uma ao iniciar um novo projeto existe premente necessidade de dividir de forma eficiente a informação – e para esse caso comprova-se que é de especial relevância a presença de uma matriz de decisões que seja capaz de dividir as variáveis iniciais e transformá-las em ações que permitam que se tenham respostas e que essas sejam mais corretamente implementadas e que tenham o menor nível de erro agregado ao processo de desenvolvimento do item durante suas fases.

4.4.3 Desenvolvimento utilizando o DFM/DFA

4.4.3.1 Conceito de DFM/DFA

Segundo as escolas tradicionais o desenvolvimento de um projeto é uma ação coletiva, porém serial – uma atividade é realizada assim que outra é concluída, sem que exista necessariamente uma interação direta entre as áreas e uma concomitância nas atividades. Essa serialidade nas atividades na maioria dos casos cerceia as variáveis e define que cada tarefa deverá ser efetivada apenas após o término da anterior, diminuindo em muito a velocidade do projeto

Considerando a necessidade exposta, se fez necessário analisar coletivamente alguns pontos de vista que são vinculados diretamente ao modo operativo da Manufatura, caracterizando assim o DFM/DFA: em primeiro lugar era de especial importância a capacidade de inserção do item na linha produtiva de forma a que essa seja o mais simples, rápida e intuitiva possível à agregação desse componente na estrutura do produto – dessa forma soluções de componentes que possuíssem várias operações intermediárias ou sub-montagens, montagens manuais, excessivas repetições de uso ou troca de ferramental, peças dissimilares para produtos de mesma concepção, dificuldades ergonômicas (tais como peças pequenas demais, peças soltas, linhas rápidas demais ou outros), processos de montagem não intuitivos ou em casos extremos não naturais são itens que desabonariam a concepção e aplicação do componente. Ainda como ponto de análise da manufatura

quanto ao projeto é também importante à possibilidade de garantir que o item pudesse ser montado de forma a que erros na criação de subconjuntos, faltas de correto encaixe, conexão ou vinculação de itens, falhas causadas por imperícia ou condição adversa ao montador e dificuldades inerentes ao projeto e/ou a complexidade do componente ou do sub-conjunto pudessem ser evitados e com isso retrabalhos não acontecessem mantendo a produtividade da linha o mais alta possível.

Analisando ainda outras condições que influenciariam a concepção do componente pelas variáveis da manufatura seria necessário mencionar que existem ainda outros fatores de processabilidade e também manufaturabilidade do item – esses totalmente independentes do projeto do componente, mas que diretamente influenciam na sua aplicabilidade e, portanto influenciam também no seu projeto – fatores esses tais como padrão de ferramentas ou sub-componentes de uso diário (ex.: uso de um único tamanho ou tipo de parafuso ou de ferramenta de aperto) ou ainda outros fatores indiretos que são a forma de trabalho do montador, sua condição de atenção e colaboração.

Disso, foi analisada a solução inicial, com o enfoque primário de exclusivamente conseguir que a manufatura – mais precisamente a linha de montagem – fosse atendida por uma solução que lhe aprovesse. Ainda não havia definição de um material próprio, contudo essa condição era mais contornável que uma falha estrutural de projeto que levasse a não haver condições suficientes de montagem.

Essa solução demonstrou aparentes vantagens imediatas: a troca de conjunto de seis sólidos formados por um suporte de aço estampado, uma tampa-arremate de material termoplástico, um anteparo de elastômero termofixo, uma bucha usinada em aço, um pino de fixação em material termoplástico e um “fim-de-curso” de elastômero, todos esses fixados por um parafuso e dois rebites de aço por uma peça única, fixada com um parafuso, um pino centralizador que emerge da própria peça e um rebite de alumínio.

Essa troca foi aventada dentro do grupo e demonstrou as seguintes vantagens em uma primeira análise:

- a) sensível redução de custos;
- b) ganho significativo em facilidade e tempo de montagem;

- c) reparo da peça em campo mais rápido e confiável;
- d) intercambiabilidade entre modelos durante o reparo;
- e) maior facilidade na administração de estoques devida à redução no número de peças;
- f) menor uso de recursos naturais e total reciclabilidade do item;

Entretanto, essa era a visão prévia restrita à necessidade de um material apropriado. O que se objetivava a partir era demonstrar a aplicação do Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem (DFM/DFA) e dos conceitos de Engenharia Simultânea de modo que a substituição fosse possível e vantajosa para todos os envolvidos no ciclo de vida da peça e do produto final e isso já era tenuemente possível, contudo o material que suportaria essa condição ainda era a principal incógnita.

4.4.3.2 Caracterização do uso da ferramenta

Para a colocação dos conceitos de DFM/DFA em prática, era inicialmente necessário que fosse constituída uma equipe multidisciplinar (item que foi abordado mais detalhadamente no item 4.4.2), com representação efetiva da manufatura e que pudesse trabalhar em conjunto para todas as tomadas de decisão. Tal requisito foi realizado através de reuniões presenciais, áudio/vídeo-conferências e principalmente muita correspondência eletrônica.

4.4.4 Concepção do componente, premissas e definições de objetivo

4.4.4.1 Método BOOTHROYD-DEWHURST e o cálculo no número mínimo de peças

Um componente é diretamente ligado à sua forma e aplicação dentro do contexto ao qual foi inserido. Disso, e em se considerando que existem diversas soluções para cada condição de problema de aplicação, deve-se buscar sempre a máxima otimização do conjunto que se pretende implementar.

Para tanto, existem métodos que permitem que se minimize o número de componentes envolvidos em cada montagem verificando a necessidade real de cada um desses de forma isolada. Dentre esses pode ser citado o método Boothroyd-Dewhurst, (BOOTHROYD (1998); GE PLASTICS (2002)) o qual consiste em aplicar três simples questões as quais verificam a necessidade real de um componente. Tais questões permitem que se avalie a interação do componente com seu meio de entorno, o que significa de forma simples comparar a peça com seu ambiente de modo a levantar a real necessidade dessa ser um componente exclusivo e não parte integrante de outro componente adjacente ou de um subconjunto maior.

Tal definição ainda considera apenas o conceito de componente isolado, salvaguardando-se de análises sobre e critérios de decisão sobre o que é ou não é parte, conjunto ou produto, não criando assim análises de composição que discutam a existência de um entorno externo e sua validade como produto (ou mais simplesmente o método apenas discute a necessidade de uma peça num entorno, não discutindo se esse entorno é em si um produto ou se é necessário ou não).

O método é discutido através da formulação de três simples perguntas:

1. A parte, componente ou peça em análise tem movimentos relativos ao seu entorno?
2. A parte, componente ou peça em análise exige um material diferenciado para sua função/funcionalidade?
3. A parte, componente ou peça em análise precisa precisa ser desmontada/retirada para o reparo de alguma outra?

A primeira pergunta analisa a necessidade de movimento relativo: partes integralizadas não possuirão (por hipótese) deslocamentos, torções ou giros individuais para cada item. Disso, e se existe necessidade que haja algum movimento específico essa peça deve ser mantida individual no conjunto ao qual se agrega.

Já a segunda pergunta verifica a necessidade de características especiais para o material componente como diferencial característico da peça, ou seja, exprime se há ou não a opção por integrar a peça no mesmo material e se essa condição permitirá

para o conjunto a mesma performance face aos requisitos de operação que uma peça diferenciada do conjunto teria. Por exemplo didático, pode-se considerar a integração do cabo de uma panela ao corpo estampado: a operação quanto ao movimento do cabo (1º questionamento) e ao processo de fabricação poderiam ser de alguma forma atendidas, mas a condutibilidade térmica do metal utilizado no corpo da panela seria um fator de piora de performance caso esse também fosse utilizado no cabo.

Finalmente a última pergunta se concentra no acesso para reparo. A solução de um produto deve ser relativa a todo o conjunto e também a toda vida útil do mesmo ou de uma forma mais fácil, é necessário projetar o produto também para quando esse for reparado. Assim, considera-se que é necessário que se acessem peças que estão dentro de conjuntos que por sua vez podem estar ainda dentro de outros conjuntos maiores, portanto o acesso às partes internas deve ser fácil e garantido, pois caso contrário peças defeituosas forçariam a troca do conjunto inteiro. Após a análise das perguntas, pode-se considerar que uma solução de projeto que tenha o “não” como resposta pode ser otimizada com a retirada desse item individual através da sua integração ao entorno que a contém.

Para o componente em análise no estudo de caso que se apresenta, foram feitas as análises que determinariam o número mínimo de peças que eram necessárias para o correto funcionamento do conjunto com base na metodologia apresentada por Boothroyd e Dewhurst.

Em primeira análise, foi respondido pelo grupo de projeto qual eram os movimentos relativos que as peças teriam umas em relação às outras e cada uma com seu entorno. Dessa análise, foi possível concluir que nenhuma peça necessariamente tinha que apresentar algum movimento relativo sobre outra. Dessa conclusão, considerou-se que a peça poderia ser única e apenas como questão de segurança seriam mantidas as fixações de um rebite e de um parafuso (os quais cogitou-se substituir por pinos e encaixes que seriam incorporados aos conjunto). O resultado da primeira pergunta feita para cada parte individual foi ‘não’ e com isso pode-se passar para o próximo questionamento.

Respondendo a segunda pergunta, foram analisados os materiais. Também foi possível concluir que não existia uma necessidade específica que diferenciação dos materiais para nenhuma peça em especial, desde que o material substituto utilizado atendesse aos critérios mínimos de resistência mecânica e térmica que foram

exigidos de cada peça do conjunto. Também para essa pergunta feita individualmente para cada parte obteve-se 'não' para todas as peças, restando apenas a última pergunta para a determinação do número de componentes individuais mínimos.

Finalmente, analisou-se a necessidade de acesso para reparo. Considerou-se que não existia necessidade específica de acesso a nenhuma parte e que no caso de uma falha a troca do conjunto era não só mais vantajosa como amplamente recomendada pela qualidade e pelo pós-venda.

Com essa conclusão, chegou-se ao número mínimo de uma peça, que era a soma das funcionalidades individuais de todas as outras, e decidiu-se por consenso manter duas das três fixações por requisito de segurança.

4.4.4.2 O material apropriado

Sendo a matéria-prima a principal incógnita, seria dever procurar essa de forma especialmente diligente de modo a que o processo continuasse adiante. Todas as suposições de custos e melhorias eram baseadas em termoplásticos similares usados em outras partes menos requisitadas do fogão em análise e não se sabia ao certo se esses materiais poderiam ao menos proporcionar parte das características necessárias. Tentando que essa incógnita fosse dirimida, ainda estavam sendo consultados os fornecedores de materiais compatíveis – os quais surgiram finalmente com três opções de matéria-prima que cumpriram com os requisitos mínimos que se eram necessários e que atendiam às projeções de custo iniciais.

Assim apontadas as matérias-primas candidatas, testes foram iniciados. Com a colaboração da qualidade, a qual ficou incumbida pela matriz de decisões pelos testes e análises químicas. Depois da realização dos testes, foi definida uma matéria-prima mais apropriada e que era a melhor resposta para a função custo – uma poliamida com carga de fibras de vidro de maior comprimento, a qual teria a resistência ao calor próxima do valor ideal sendo apenas um pouco menor, resistência mecânica compatível com o requisito especificado e também boa processabilidade para a injeção com máquinas de menor porte (até 300ton).

Resolvida a situação da matéria-prima para a injeção, chegou-se ao ponto onde era necessário definir as premissas para o desenvolvimento – era necessário novamente

o parecer da manufatura para que essa pudesse explicitar quais eram as dificuldades que tinha em processo e montagem de modo a que fosse levantada a geometria mais compatível para a manufaturabilidade do componente injetado e a melhor condição de substituição de peças de modo a que essa fosse surtir real efeito através do aumento da produtividade da linha. Dessas premissas, a manufatura elencou suas maiores restrições de forma a que fossem seguidas como guia na concepção da peça. Foram as seguintes:

- a) o subconjunto é formado de oito peças dissimilares, tomando grande tempo da linha e exigindo um posto de montagem à parte que demanda quatro postos de trabalho;
- b) a bucha de passagem é um fator de montagem crítico;
- c) o empenamento das peças causa dificuldade na montagem;
- d) as peças são pequenas e de difícil manipulação
- e) não existem encaixes para o arremate superior, o que faz com que essa peça caia durante a pré-montagem;
- f) a colocação do pino-trava é complicada pela geometria da peça e exige duas peças separadas;
- g) havia abaulamento no vidro onde era fixado o suporte e esse abaulamento causava impossibilitava a montagem do suporte principal em aço, pois o vidro poderia ser trincado quando do aperto do conjunto;

Analisadas uma a uma, delinearam-se os requisitos de resposta da geometria inicial que seria apresentada para críticas da manufatura. As respostas para cada item foram assim definidas:

- a) o subconjunto seria integrado em uma peça principal que substituiria seis das oito peças iniciais, deixando apenas as fixações de um dos rebites (pois o outro seria substituído por um pino centralizador) e o parafuso de fixação. O suporte principal, a bucha, o arremate superior, um espaçador térmico, o espaçador interno e um dos rebites passariam a ser uma peça injetada única, facilitando assim a montagem e o armazenamento dos componentes;
- b) a bucha de passagem seria integralizada na peça principal, não mais necessitando de agregação durante o processo de montagem;
- c) o empenamento das peças e também dos componentes nas quais essas seriam fixadas seria contornado através de uma solução de montagem que permitisse o múltiplo perpendicularismo entre as superfícies: usando o pino centralizador incorporado à nova peça (que substituiu um dos rebites de aço) e deixando o furo para o outro rebite sem o fechamento lateral – também com isso facilitando a construção do molde o qual não necessitaria de gavetas – foi aproveitada a estabilidade do processo de injeção, o qual é capaz de produzir peças com alta repetibilidade. Disso foi definido que à parte do novo componente que substituiria o arremate superior seria dotada de uma reentrância que encaixaria na coluna de fixação da porta (onde os rebites fixam a peça lateralmente) e a parte do componente de substituiria a bucha atravessaria perpendicularmente a face da porta de vidro (fixando assim a peça no outro eixo), impedindo tanto o empenamento do conjunto como garantindo uma montagem à prova de erros;
- d) considerou-se fazer uma peça única. Peças menores como a bucha e o espaçador térmico seriam agregadas o corpo principal do componente de modo a não precisarem de manipulação;
- e) os encaixes foram providenciados com a intenção de fixar todo o conjunto e não apenas a peça arremate superior – principalmente porque sendo uma peça agregada tal arremate por definição não mais cairia – contudo, o desenvolvimento foi aproveitado pela área da qualidade (a qual era parte do grupo de desenvolvimento a também a qual a solução proposta foi submetida) para a eliminação de uma potencial não conformidade que era o esmagamento da gaxeta de vedação interna

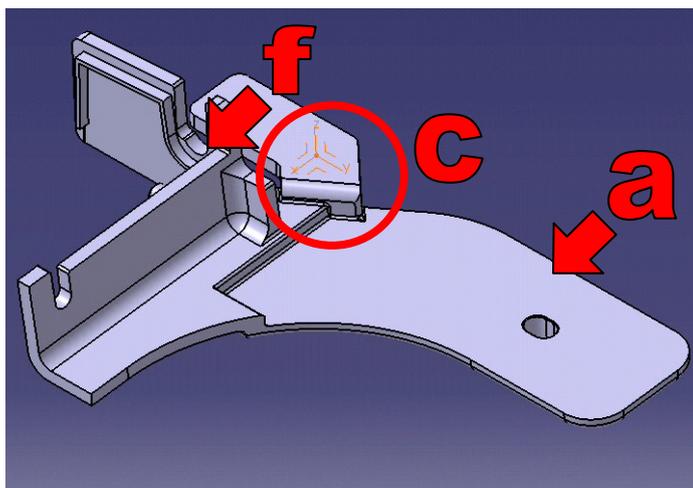
pela ponta do arremate superior – ponta essa presente na peça original e devidamente chanfrada na proposta de solução;

f) A presença do pino-trava era um requisito do projeto – esse pino era colocado dentro de um furo no arremate superior e tinha como função fixar a parte superior do vidro interno de modo a que esse pudesse ser retirado para a limpeza. Contudo, esse pino-trava para ser eficiente necessitaria de uma orientação direita-esquerda de modo a que fosse funcional, contudo, a peça não era identificada como tal, cabendo ao operador decidir através da tentativa e erro qual era o lado correto. Tal condição ainda era piorada pois o arremate superior original era frágil e o furo que tinha para a passagem do pino era muito justo, permitindo pouca chance de erro. Com a implementação do novo componente foi decidido alargar o furo e deixar a geometria da peça permitir a montagem de qualquer pino (a orientação direita-esquerda passou a ser substituída pelo travamento da cabeça do pino). Ainda com essa decisão e visando um molde mais facilmente construído, foi deixado também vazada a lateral do furo;

g) finalmente foi dada tratativa ao abaulamento do vidro da porta, permitindo maior flexibilidade da peça. Foi necessária uma consulta ao fornecedor da matéria-prima para verificar se o termoplástico fornecido teria alguma flexibilidade e se não ficaria mais rígido com o passar dos ciclos de funcionamento do produto. Em resposta foi adicionado mais um componente à formulação do material (termoplástico sintético de TPU a 3%) e foi garantida a deformação para ajuste ao vidro sem perda das características de resistência mecânica;

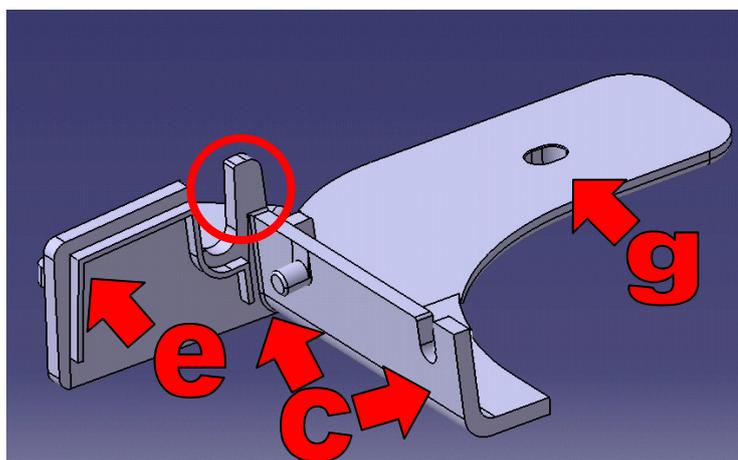
Apresentou-se a manufatura uma concepção tridimensional (modelagem 3D) a proposta inicial, sendo que foram destacados os pontos de interesse da manufatura conforme indicações. Tais modelos são os que se encontram nas figuras 19, 20 e 21.

Figura 19: Primeira vista da peça



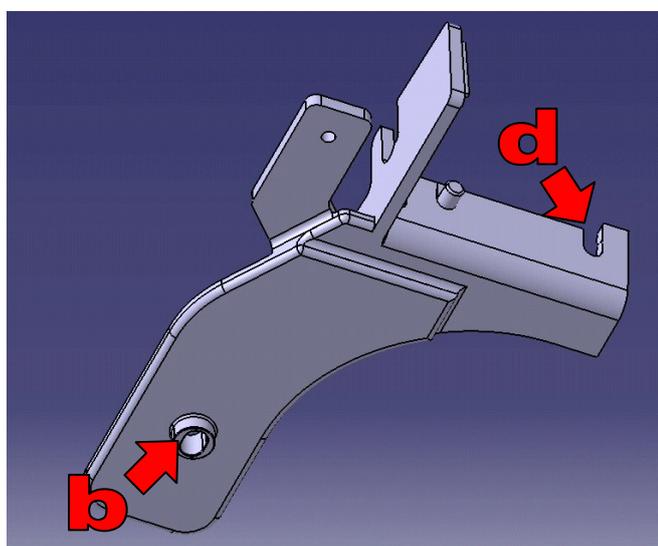
Fonte: o autor

Figura 20: Segunda vista da peça



Fonte: o autor

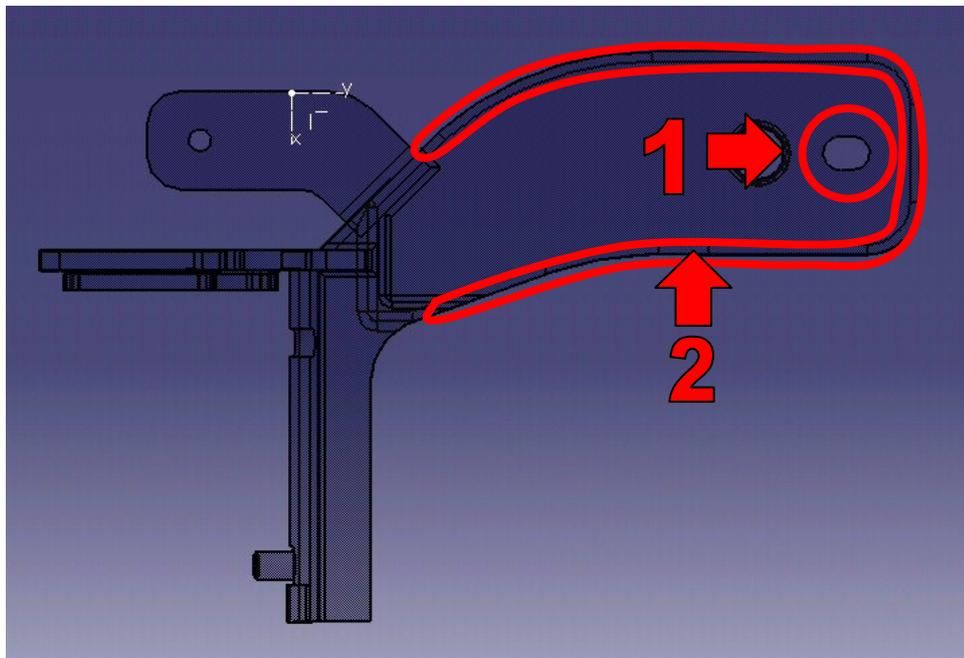
Figura 21: Terceira vista da peça



Fonte: o autor

Analisando a primeira proposta, a manufatura ainda solicitou pequenos ajustes de projeto. Essas seriam a inclusão de um furo a mais, que é destinado ao modelo de maior capacidade do(s) forno(s) e a melhoria na superfície interna do corpo principal, que antes era sólida e que foi solicitada que fosse afinada e tivesse sua altura original transformada em uma nervura de contorno. Essa mudanças foram solicitadas tendo em vista a necessidade do operado de 1) ter uma peça única para os produtos de menor e maior capacidade e 2) obter uma face mais facilmente manipulável – o operador usaria a nervura como apoio para segurar a peça. A peça passou a ter o aspecto da figura 22. Destacam-se as mudanças em vermelho.

Figura 22: Segunda versão do novo componente



Fonte: o autor

Após a apresentação da segunda peça, a manufatura considerou a mesma satisfatória e a fabricação de protótipos pode ser iniciada. Os protótipos teriam como objetivo os testes iniciais de montagem (que a manufatura deveria conduzir de modo a verificar em primeira instância se o projeto fora corretamente seguido e se essa concepção teórica daria o resultado esperado e posteriormente para a realização de uma cronoanálise da nova montagem para verificação da efetividade da mudança no que se referia a redução de tempo de linha e também pela melhoria da montagem devido ao menor número de peças) e testes da qualidade (que se incumbiria dos

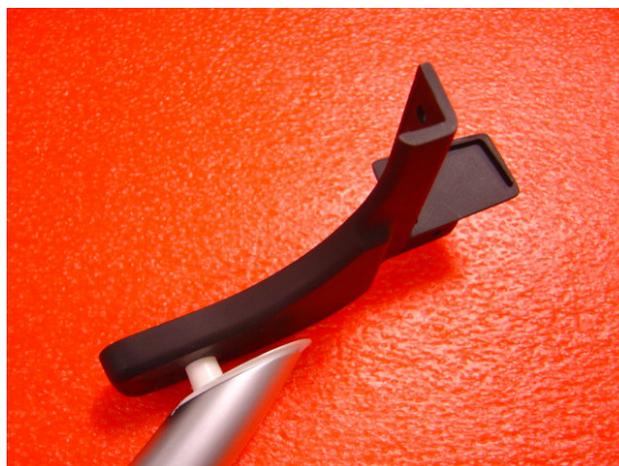
testes físicos e químicos, bem como dos testes de resistência em ciclos de alta temperatura e também de testes de confiabilidade em longo curso).

4.4.4.3 Protótipos iniciais

Considerando o pequeno volume de protótipos requisitado (50 pares de peças – 50 para peças para fixação do lado esquerdo e mais 50 para as do lado direito) e a possibilidade de falha no conceito que inutilizaria qualquer investimento em moldes, foi construído em parceria com um fornecedor de serviços de injeção um molde protótipo destinado a obter as primeiras peças.

Esse molde foi concebido rapidamente pelo fornecedor em conjunto com a engenharia de produto e a engenharia industrial, as quais definiram que o molde protótipo seria feito já em aço – não um aço específico para a fabricação de moldes de longa vida útil, mas aço comum (1020) para fabricação de peças usinadas de menor solicitação mecânica – haja vista que o molde teria uma vida útil programada para não mais do que 400 pares de peças. Ainda, como garantia adicional ficou decidido pelo grupo de projeto (nesse caso manufatura, qualidade, engenharia de produto e engenharia industrial) que o molde teria mais chance de representar o projeto conforme havia sido modelado caso existisse um padrão inicial de peça para visualização. Essa peça foi então concebida a partir do modelo 3D aprovado pela manufatura através de usinagem de resina, apresentando-se como na figura ilustrativa 23.

Figura 23: Visão da peça protótipo em sua posição de montagem



As peças prototipadas por usinagem revelaram que o conceito projetado estava satisfatório e que o molde protótipo poderia ser construído com maior segurança que peças que fossem produzidas por esse seriam representativas para testes de desenvolvimento.

4.4.4.4 Testes no componente

Uma vez que foram consideradas representativas as amostras do molde protótipo, essas puderam ser produzidas e foram iniciados os testes – testes esses que incluíram desde a simples colocação do novo componente em sua área de montagem até testes de ciclo de vida em alta temperatura que permitiriam verificar a estabilidade do material e dos acoplamentos após seqüenciais choques térmicos e solicitações mecânicas. Tais testes serão resumidos nos itens à frente.

4.4.4.4.1 Teste mecânicos na peça (não montada)

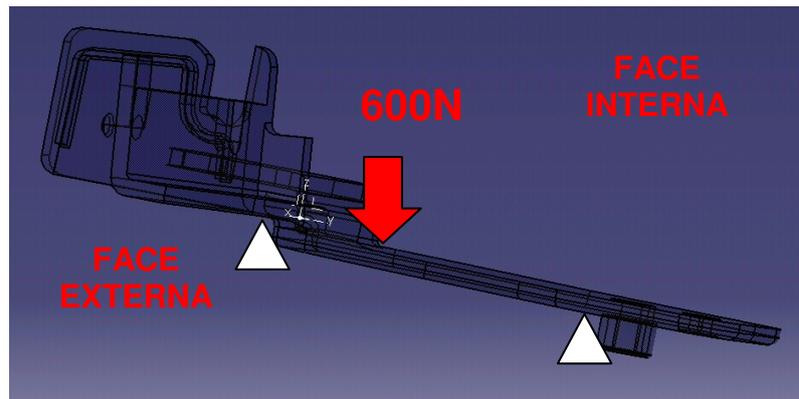
Os testes mecânicos na peça não-montada foram apenas referenciais, haja vista que a peça não seria considerada isoladamente. Mesmo assim foram feitos ensaios de ruptura por aplicação pontual de força na peça – a qual suportou em todos os testes valores acima de 600N (limite estipulado em especificação da peça). Vide figura 24 e resultado na tabela 6

Tabela 6: Resultados do ensaio

Ensaio	Requisito	Resultado
Força pontual no ponto de maior fragilidade	não há	>600N

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Figura 24: Ponto de aplicação da força no componente



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

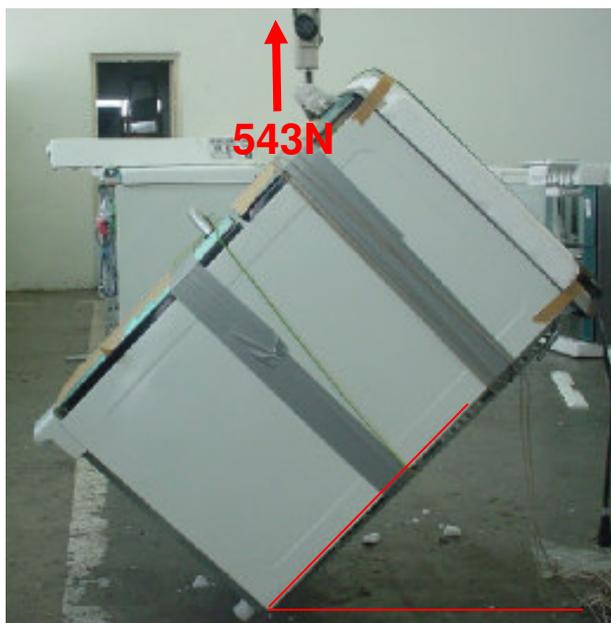
Nota: Pontos de apoio destacados como triângulos brancos

4.4.4.4.2 Teste mecânicos na peça (montada)

Considerados os testes da peça não-montada como apenas referências, os testes de interesse seriam os realizados na peça montada em sua posição de uso final. Esses eram especialmente importantes, pois determinariam se o consumidor poderia ter segurança e garantia em casos de aplicação efetiva de uma força de arrancamento no eixo vertical – como quando durante uma situação hipotética existisse a necessidade de suspender o fogão pelo puxador (*eg.*: tal como a limpeza do piso abaixo do fogão). Nesse caso, estipulou-se o peso próprio do produto montado (630N) como limite normativo – mesmo em se considerando que essa condição de suspensão caracterizaria crasso mau uso.

Mesmo considerando a hipótese de ocorrência dessa condição pouco provável, os resultados na situação extrema foram satisfatórios, sendo que no início da solicitação de forças o produto foi tracionado para cima até que seus apoios frontais perderam contato com o chão, e posteriormente até o produto ser completamente suspenso pelo puxador, sem contato algum com o solo, conforme figuras 25 e 26 resultado à tabela 7.

Figura 25: Suspensão parcial do produto pelo puxador. Nota-se que não há ruptura.



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Figura 26: Completa suspensão do produto pelo puxador



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Tabela 7: Resultados do ensaio

Ensaio	Requisito	Resultado
Tração pelo puxador	peso do produto	OK, >630N

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

4.4.4.4.3 Ciclos de funcionamento (teste de 20.000 ciclos)

Esse teste consiste em uma simulação acelerada do ciclo de abertura e fechamento da porta do forno durante a vida útil presumida do produto – com a finalidade de verificar se em um tempo maior do que o de garantia haverá desgaste significativo do produto e de suas partes. Nesse caso em especial, a presença de uma peça em termoplástico injetado requereria ainda mais minuciosamente o teste e a garantia que além da fixação ser mantida, não haveria a presença de folga entre o puxador e a face externa da porta do forno (vidro externo), pois tal folga poderia dar a sensação de insegurança e iminente ruptura e estilhaçamento do vidro.

Novamente houve aprovação plena no teste – não houve ruptura nem indícios de falha no engastamento durante o decorrer do teste, contudo foram observados desgastes menores em outros componentes. Vide figura 27 e tabela 8.

Figura 27: Teste de ciclagem de abertura e fechamento na porta do forno do produto



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Tabela 8: Ensaio de ciclo

Ensaio	Requisito	Resultado
Abertura e fechamento do forno	20.000 ciclos	OK, >20.000

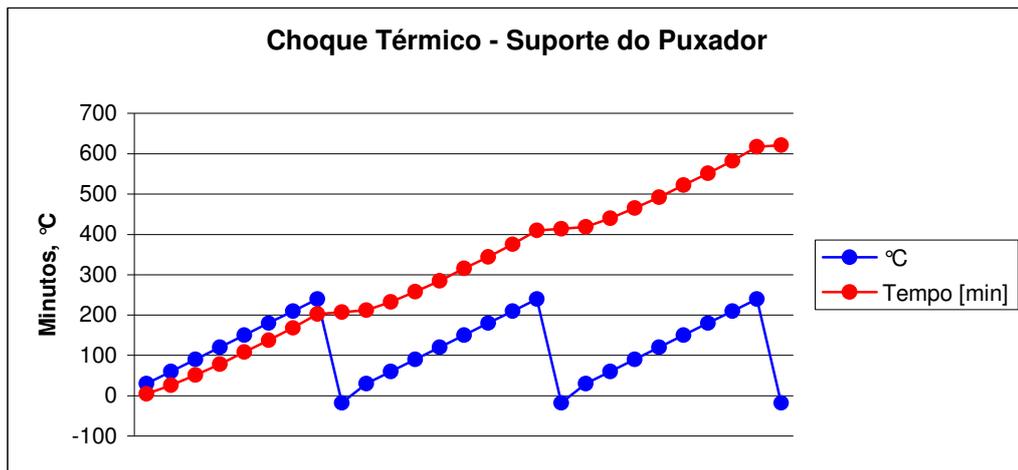
Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

4.4.4.4 Choque térmico

Dando continuidade à bateria de testes, o grupo de desenvolvimento do componente iniciou os testes de temperatura e resistência ao choque térmico. Primeiramente foi feito o teste de choque, pois o teste de temperatura era o mais longo e caso houvesse reprovação no choque térmico haveria perda de tempo.

Disso, foi realizada a seguinte condição de testes: o componente era aquecido em estufa seca até o limite de 230°C, retirado e imediatamente mergulhado em um recipiente térmico com uma solução de 70% água + 30% etanol (álcool etílico) mantida a -18°C, conforme o gráfico da figura 28.

Figura 28: Ciclo térmico ao qual o componente foi submetido



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

O critério de aprovação era o não aparecimento de fissuras ou trincas no componente, bem como o não empenamento significativo da peça. Foi aprovado nos critérios mencionados, conforme tabela 9. A mistura de 70% de água + 30% de álcool etílico não tinha especificação química – apenas de modo a garantir que a solução seria líquida para que o componente pudesse ser imerso.

Tabela 9: Resultados do ensaio

Ensaio	Requisito	Resultado
Choque térmico	sem empenamento / sem trincas / sem fissuras	OK

4.4.4.4.5 Aquecimento e funcionamento

Seguindo com a bateria de testes, o grupo de desenvolvimento deveria submeter o componente ao teste mais importante: o de funcionamento em tempo real. Nesse teste o componente seria submetida temperaturas de funcionamento conforme normatização e deveria demonstrar firmeza ao ser manipulado.

Esse resultado, conforme tabela 10 incluído também permitiu a aprovação do componente.

Tabela 10: Resultados do ensaio

Ensaio	Requisito	Resultado
Funcionamento normal em laboratório	sem observações	OK

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

4.4.4.4.6 Testes químicos de solubilização

Ainda em laboratório, foi analisado apenas por praxe, a possibilidade dos solventes comuns na atmosfera interna do forno do fogão tais como ácidos graxos (eg.: vapores de manteiga, óleos ou margarina) poderiam causar ataques químicos e degradação na peça em longos prazos. Não houve evidência de degradação, sendo que o resultado do teste foi portanto considerado aprovado.

Nesse caso ainda foi usado o registro químico do fabricante da matéria-prima como contra-prova e também nesse nada constava que desabonasse o material. Finalmente ainda encontrou-se matéria-prima similar em produtos da empresa comercializados em outros países em condições bastante próximas, o que aumentou a segurança do grupo na decisão de aprovar também esse ensaio. O resultado segue na tabela 11.

Tabela 11: Resultado do ensaio

Ensaio	Requisito	Resultado
Solubilização	sem alterações químicas	OK

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

4.4.4.4.7 Testes organolépticos (odor e gosto)

Considerando o último teste em laboratório, foi realizado o teste organoléptico duplo de odor e gosto: o ensaio consiste em verificar se a matéria-prima do novo item pode vir a deixar resíduos moleculares seus sobre outros materiais próximos – o que no caso de um componente que vai montado em contato direto com a atmosfera de um forno fechado onde existem alimentos em preparo pode vir a incluir os mesmos.

Disso, o teste de odor e gosto – verificação por voluntários do gosto e do odor que um material estranho deixa em amostras de alimento que com ele tem contato direto foi realizado. Também não houve restrições conforme informado na tabela 12, mesmo sendo o testes completamente baseado em sensibilidade pessoal.

Tabela 12: Resultado do ensaio

Ensaio	Requisito	Resultado
Odor e Gosto	pelo menos 66% dos voluntários não deveriam verificar contaminações	OK

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

4.4.4.4.8 Testes de campo – uso e transporte

Dando fechamento aos testes com o novo componente, ficaram apenas os testes de uso pelo consumidor e de transporte. O primeiro consiste em apenas distribuir o produto entre voluntários que o usarão conforme melhor lhes aprouver – de modo a que falhas de interpretação, mau uso e situações reais de uso possam ser conseguidas. O segundo por sua vez simula o transporte de peças pelo país em condições extremas de empilhamento, transporte em estradas de muito baixa qualidade e carga e descarga efetivas nas docas de clientes corporativos, para que se simule com exatidão o transporte do produto entre a fábrica e o consumidor final. Os resultados seguem conforme tabela 13. Até o momento do fechamento da presente pesquisa o teste de uso estava em curso, sem evidências de falhas.

Tabela 13: Resultado do teste

Ensaio	Requisito	Resultado
Transporte	sem alterações	OK

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

4.5 Resumo do capítulo

No presente capítulo foi analisado em detalhe o estudo de caso proposto. Iniciou-se o capítulo pela análise do contexto do desenvolvimento e histórico, demonstrou-se a necessidade, foi delineado o desenvolvimento com a ferramenta DFM/DFA e o mesmo foi justificado. Mostrou-se o enfoque em uma equipe multidisciplinar comprometida e foram demonstrados os requisitos de manufatura e montagem por parte do chão-de-fábrica. Desenvolveu-se um item baseado nas dificuldades da manufatura e o mesmo foi testado e aprovado. Finalmente foi resumo o que tange ao desenvolvimento de item, comentando os ganhos do uso da metodologia.

5 ANÁLISE DE APLICABILIDADE DO DFM/DFA EM PROJETOS DA LINHA BRANCA

5.1 Introdução

Nesse capítulo se busca mostrar a aplicabilidade do desenvolvimento voltado a produtos e processos que gerarão itens e bens de consumo acabados para a linha branca e discutir justificativas que promovam a possibilidade em extrapolar os conceitos e práticas demonstradas no estudo de caso no qual o presente trabalho é baseado para que se possam obter resultados similares, senão melhores, daqueles que foram obtidos pelo componente analisado.

5.2 Aplicabilidade do conceito

Em primeira instância é necessário analisar se existe real interesse e justificativa para a aplicação do DFM/DFA em desenvolvimento de projetos, sejam esses quaisquer e em referentes à área que forem – de uma forma bastante direta respondendo à pergunta: por que investir recursos, tempo e conhecimento na análise de um projeto de produto à luz de conceitos de projeto orientado à manufatura e à montagem? Mais ainda responder de forma clara e definitiva ao questionamento por que DFM/DFA e não outra forma de gerenciamento de projeto? Diretamente a resposta vem de várias maneiras, as quais devem ser discutidas num posicionamento bastante lúcido e detalhado de modo a que se justifique o uso do DFM/DFA com embasamento irrefutável. De tal forma, analisa-se cada item em separado para que se tenha o entendimento mais apurado de cada discussão.

5.2.1 Aplicabilidade do conceito – o fator CUSTO FINAL

Como é de praxe, o principal condicionamento a qual uma empreitada está sujeita é o custo final e por conseqüência a rentabilidade que essa irá proporcionar: um

projeto, qualquer que esse seja, poderá ter o investimento necessário desde que prove que esse investimento será retornado e que um lucro previamente acordado será obtido.

Dada essa restrição inicial, é bastante razoável imaginar que dentro de qualquer projeto é objetivo primário maximizar a função lucro e minimizar as funções investimento e custo de produção – o que significa que para um produto o valor de venda deve ser o máximo possível de modo a que o mercado absorva o item num volume ao menos igual ao esperado e no tempo igual ou aquém dimensionado na fase de análise de investimentos para que esses sejam ressarcidos, e que a partir dessa data, se possa obter real lucro sobre o produto. Ainda, espera-se que o investimento seja o mínimo possível e que as matérias-primas e mão-de-obra envolvidas diretamente no processo produtivo sejam dimensionadas para que se obtenha o menor valor possível dentro do justificável para ambas.

Tal raciocínio leva a mais uma restrição: um projeto pode ter seu investimento inicial num patamar que lhe dê viabilidade e um custo executivo dentro do cabível para que exista lucratividade, e dessa forma, possa alcançar o mercado e ter relativo sucesso. Mesmo assim existe na grande maioria das vezes a oportunidade de otimizar o produto através de ações sistematizadas de modo a que se reduzam os investimentos e os custos de projeto e produção, obtendo para um produto equivalente uma lucratividade muito mais atrativa, ou seja, produzir uma solução que atende às expectativas do mercado consumidor de uma forma mais competitiva e com menor dispêndio inicial.

Com base nas limitações expostas e à luz da literatura, pode-se em uma primeira análise justificar o uso do DFM/DFA como uma ferramenta de redução de custos – exemplos práticos de sucesso, bem como o embasamento teórico que justifica a possibilidade de redução de custos através de aumento da produtividade e redução da matéria-prima e mão-de-obra, provável diminuição e mitigação das incertezas de projeto permitem que com certa segurança possa-se afirmar que existe grande possibilidade de uso do DFM/DFA para a redução de custos.

O uso do DFM/DFA e de uma correta forma de condução do processo de desenvolvimento permitem que, ao menos, haja redução de custos causada pelo maior índice de acerto do projeto, o qual é forçosamente discutido de modo a atender aos requisitos da manufatura, poupando assim custos de retrabalho e acelerando a obtenção do produto para o mercado.

Reforçando ainda o item custo de produção, pode ser considerado o DFM/DFA como uma ferramenta de valiosa na melhoria projetada do ambiente fabril de um item: buscando na fase de projeto a eficiência nos processos, a simplicidade nas montagens e uma solução de produto o mais amigável possível à manufatura se ganham eficiência e produtividade e com isso os custos com processabilidade intermediária diminuem e permitem maximização do lucro.

Ainda, há que se considerar a redução de partes e peças como vantagem – como já visto anteriormente a diminuição da quantidade de itens em linha e diretamente colocados no produto é naturalmente considerada como um grande indício de um produto mais barato. Dessa feita, é através do projeto orientado à montagem que se obtém a maximização da função lucro.

5.2.2 Aplicabilidade do conceito – o fator MINIMIZAÇÃO DE ERROS

Já foi analisada no item anterior a possibilidade de ganho de custos com a minimização dos erros durante o projeto do produto. Custos com retrabalho em ferramental, erros conceituais e produtos sem solução definida e falhas de comunicação que recaem em interesses conflitantes dentro do processo de desenvolvimento podem ser minimizados com o uso do DFM/DFA, assim como já exposto.

Contudo, existem outros fatores dependentes da minimização dos erros: o primeiro deles é a visibilidade de um erro ou falha ao consumidor. Posteriormente existem também a taxa de falhas e as operações e decisões conflitantes dentro do projeto, as quais serão analisadas individualmente.

Referindo-se ao primeiro item, visibilidade de uma falha ao consumidor, existe grande impacto no desenvolvimento e após esse – um produto ao ser adquirido é suposto como acabado e isento de falhas que comprometam seu bom desempenho ou que levem o consumidor a perceber que seu investimento pessoal naquele produto foi um erro. Qualquer falha encontrada no conceito do projeto *a posteriori* de sua entrada no mercado deve ser evitada com o máximo empenho – e nesse ponto a presença do DFM/DFA como ferramenta de discussão e envolvimento de todos os que serão responsáveis pela entrada do produto no mercado é um fator de ampliação da percepção de eventuais incongruências ou pequenas falhas na

solução do produto. A título de exemplo, um item de rejeição de produto como uma porta de automóvel que não veda e permite entrada de água pode ser percebido mais facilmente se o responsável pela inspeção de qualidade demonstrar ao projetista como se realizam os testes e o montador mostrar como a vedação é colocada no ponto de inserção.

Tomando-se como referência o item anterior existe um fator agravante na percepção da falha: os custos agregados pelo índice de rejeição (taxa de falhas) tanto internamente ao chão-de-fábrica como ao mercado. Considerando que as falhas são existentes e devem ser corrigidas sempre existe um custo agregado à correção – mesmo que seja o de uma mão-de-obra referente a um retrabalho ou uma substituição de componente sem grande valor agregado individual – e esse custo não será repassado ao consumidor final simplesmente porque esse custo existiu (de uma forma simplória: o consumidor espera o produto isento de falhas, sendo que se essas ocorrerem sistematicamente ou de forma bastante esporádica isso não será de interesse desse). Nessa lógica, espera-se sempre um produto que tenha o mínimo índice de retrabalho e retorno de campo, principalmente se for levado em conta que a ampla maioria das empresas oferece garantia sobre o que produz e que qualquer custo com a falha no mínimo irá incorrer em valores de conserto da falha, isso quando a insatisfação do cliente ou o risco a que esse foi exposto não justificarem medidas de contenção (cortesias, custos jurídicos, comprometimento da imagem).

Nesse raciocínio pode-se aproveitar o DFM/DFA como uma ferramenta de previsão de falhas – a análise coletiva de itens críticos de processo e de produto pode melhorar sensivelmente o fator rejeição e falha. Novamente através de exemplos práticos, o desenvolvimento de um item que será agregado por fixação direta (encaixe) com tolerâncias bastante apertadas pode ser muito mais assertivo de houver cooperação entre todos, de modo a que se tenha garantido pelo processo produtivo que há repetibilidade nas peças obtidas e que esse tenha capacidade suficiente para que o processo seja estável. Ainda há necessidade da cooperação da logística para que exista correta armazenagem dos itens de modo a que a estocagem não cause variação nas peças (pela temperatura, por exemplo) e da inspeção da qualidade do item para que apenas os componentes em conformidade com o que o projetista dimensionou cheguem à linha de montagem.

Finalmente observa-se o último item dessa análise parcial: as necessidades e decisões conflitantes de projeto e execução de produto. A falta de acordância entre quais são os requisitos de aceitação de um item, ou as decisões conflitantes referentes a um material ou outro que lhe é similar ou qualquer outra decisão de conflito pode ser ao extremo pernicioso – para o projeto discussões durante a fase de execução ao mínimo causam paradas de produção até que haja uma resposta final ao item de polêmica e podem causar inclusive uma indisponibilidade de produto a médio-longo prazo.

Como resposta a essa dificuldade o DFM/DFA aparece como uma ferramenta de apaziguamento: sendo que as decisões são tomadas em comum acordo e de uma forma prévia existe pouca possibilidade de que insatisfações quanto aos parâmetros de projeto se propaguem até a fase de execução.

5.2.3 Aplicabilidade do conceito – o fator REDUÇÃO DO TEMPO DE PROJETO

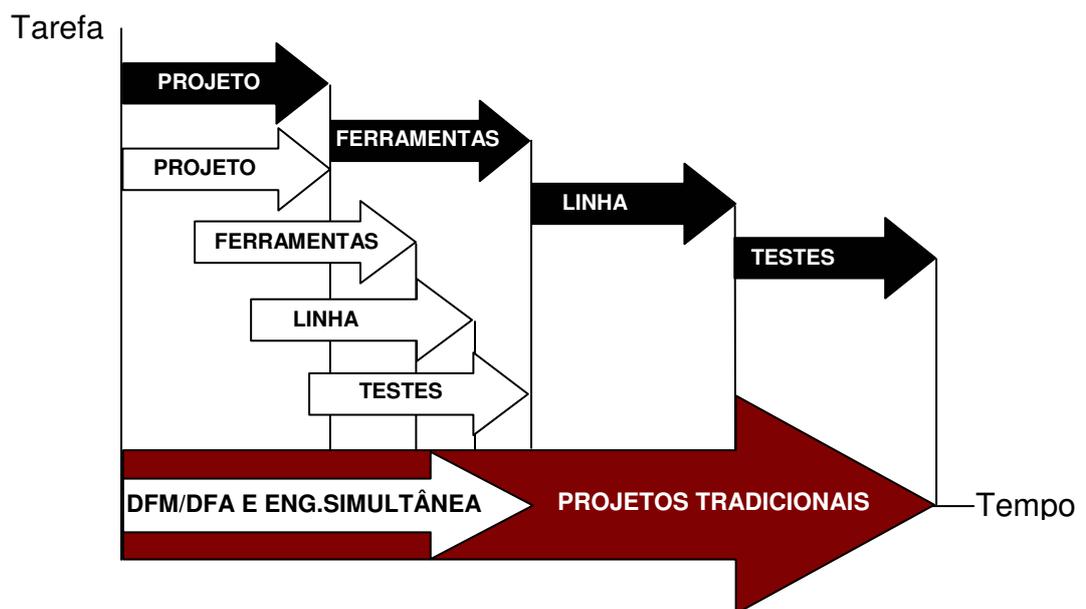
Conforme o que já foi mencionado pela literatura, existe grande necessidade de redução do tempo entre projeto e produto. Essa necessidade é uma demanda de mercado que é ávido por novos produtos e que precisa de lançamentos para se manter aquecido e comprando continuamente. Nessa condição é que o projeto de produtos para o mercado de bens duráveis deve trabalhar – obtendo bens que cheguem rapidamente ao mercado permitindo que existam renovações de portfólio disponível ao consumidor, para que esse tenha sempre a opção de investir em algum produto mercadologicamente atualizado.

Contudo, essa condição é especialmente complexa quando se opta por bens de alto valor agregado e relativa complexidade construtiva: mesmo considerando que alguns conceitos não mudam e que a tecnologia de construção de produtos está dominada na ampla maioria das vezes, sempre existem itens que deverão ser estudados com profundidade para que se atenda ao mercado. Bens complexos voltados ao mercado de massa tais como os itens da linha branca, linha marrom (eletroeletrônicos e eletroportáteis) e a itens da indústria automobilística precisam de um tempo de maturação e “projetação” que passa pelo estudo do mercado, solução do produto, construção de ferramental, testes e por fim lançamento ao mercado.

Para tanto passam por etapas que requerem análise concomitante de vários aspectos de modo que o resultado do desenvolvimento se converta em um real sucesso de vendas. Com efeito, analisando essa afirmação, pode-se concluir que o projeto forçosamente passa por várias etapas para a concretização da idéia inicial – dessas existem algumas que dependem de suas antecessoras para que possam ser realizadas e etapas que podem ser concomitantemente discutidas e concluídas independentemente do legado de informações. Exemplificando o primeiro caso, é necessário que se defina a geometria de uma peça plástica antes que seu molde seja construído, ao passo que, como exemplo do segundo caso, a linha de montagem pode ser preparada em conjunto com a área de estoque e o plano de inspeção de produto.

É nesse ponto existe a diferença conceitual entre as escolas tradicionais e que usam as novas ferramentas de projeto tais como o DFM/DFA e os conceitos de Engenharia Simultânea: ao passo que as escolas tradicionais seguem serialmente as atividades e reportam seus progressos exclusivamente ao processo posterior e à coordenação do projeto, as novas ferramentas de desenvolvimento permitem o uso da comunicação de todos os processos uns com os outros de modo a que se tenha aumento significativo da velocidade de trabalho (vide figura 29).

Figura 29: Comparação entre a duração de projetos pelas em escolas tradicionais e projetos que adotam novas ferramentas que promovem a comunicação



Posteriormente, considera-se importante mencionar mais uma característica inerente à ferramenta DFM/DFA: baseado na idéia que o projeto é concebido para a montagem e a manufatura, tende-se sempre a simplificar os produtos de modo que esses sejam mais enxutos, quer seja em número de componentes, quer seja em tempo e quantidade de processos agregados – e projetos mais simples são mais facilmente executados e mais rapidamente são concluídos.

Dessa análise apontam-se mais características positivas do uso do DFM/DFA para o desenvolvimento de projetos: a possibilidade de redução no tempo em que serão desenvolvidas as atividades através do aumento da capacidade de comunicação e, considerando também o que já foi mencionado sobre minimização de erros, obter projetos mais rápidos por não serem tão dependentes de ajustes durante as fases intermediárias. Finalmente pode-se citar como vantagem final do uso do DFM/DFA para a maior agilidade de projeto aumento da simplicidade do produto, o qual sendo mais simples será mais facilmente executado e chegará antes ao mercado.

5.2.4 Aplicabilidade do conceito – o fator REDUÇÃO DO TEMPO PARA A LINHA DE MONTAGEM

Complementando o item anterior é necessário que não apenas o projeto seja ágil: o produto em si ao ser solucionado, deve ter o mínimo tempo entre matéria-prima e item acabado: o aumento da velocidade de produção de um item conforme para que esse possa ser vendido aumenta a criação de valor de uma empresa, a qual é capaz de fazer mais no mesmo tempo.

Dessa feita os projetos devem ser definidos para que atendam à demanda de produção de tal forma que essa chegue ao seu valor economicamente ótimo, permitindo um fluxo contínuo e minimizando estoques “de ponta” (estoques de “ponta inicial” que são os de matéria-prima e os de “ponta final” que são os de produto acabado) e poupando ao máximo possível processos de fabricação e utilização de recursos. Nesse caso, projetos que possuam menor número de componentes e diminuição de processos intermediários são mais atrativos pois permitem que o ponto economicamente ótimo seja atingido com maior facilidade.

Novamente aqui se reforça a característica do DFM/DFA de redução de processos e componentes como destaques, permitindo a localização mais efetiva do ponto ótimo de fabricação.

5.2.5 Aplicabilidade do conceito – o fator MELHORIA DO PROJETO

Outro fator de destaque é a melhoria do projeto em si: como já mencionado diversas vezes é necessário que os projetos sejam o máximo otimizados dentro do cabível, por motivos que vão de custos ao uso de recursos naturais. Disso, projetos que são decididos de forma conjunta para que sejam mais “elegantes” e que permitam soluções visivelmente mais simples (usando um corolário bem-humorado “projetos que foram complexamente elaborados de forma a serem simples e não simplesmente deixados complexos”) levam, via de regra, a produtos melhores.

Também neste caso o DFM/DFA surge com vantagens, pois é uma ferramenta que tem por objetivo deixar o produto mais simples para a fabricação.

5.2.6 Demais fatores de interesse

De todo o exposto, pode-se concluir que o DFM/DFA apresenta vantagens visíveis desde que seja corretamente aplicado e que passe pelo conhecimento e comprometimento de todos os envolvidos. Outros fatores podem ainda ser apontados, tais como a melhora na capacidade de reparo de um produto, o qual é mais simples e portanto exige menor especialização por parte do reparador e também menor número de peças, diminuição dos estoques, os quais não precisam diretamente de tanto espaço haja vista que existem menos itens a serem armazenados, melhorias eventuais na qualidade a qual pode ser refletida por um projeto de produto mais inteligível e que por ser mais enxuto proporcionar melhor capacidade de auditoria de linha, fornecedores e de produto acabado e assim sucessivamente.

Como fechamento dos itens de interesse pode-se presumir que existirá sempre possibilidade de ganho através do uso do DFM/DFA quando as características inerentes ao seu conceito, tais como a melhora do processo de manufatura, a

diminuição de peças e de processos de montagem e a melhora da comunicação entre as partes de modo a que exista real preocupação com a manufatura forem aproveitadas.

Finalmente pode-se concluir que existe ganho do uso de ferramentas tais como o DFM/DFA e a Engenharia Simultânea, desde que exista real comprometimento e preocupação com a manufatura e que não se espere que a ferramenta proporcionará soluções miraculosas sem esforço e empenho de todos os envolvidos, sem exceção.

5.3 Aplicabilidade no desenvolvimento de itens e produtos da Linha Branca

Considerando o que já foi abordado, pode-se, tanto do estudo de caso abordado como das conclusões sobre aplicabilidade de que encontram resumidas nesse capítulo afirmar que o uso do DFM/DFA em projetos, inclusive para os que são de produtos e componentes para a linha branca, são plenamente viáveis e possíveis, haja vista que os projetos de bens duráveis seguem um processo similar em grande escala.

Portanto, conceitos que se aplicam à indústria aeronáutica sobre redução de peças para aumento da simplicidade de produto podem plenamente ser considerados tanto para a indústria de autopeças que fornece às montadoras como à indústria de linha branca, pois a otimização de partes móveis em um automóvel em conceito não é diferente da mesma ação em uma lavadora de roupas.

Finalmente, indústrias montadoras ou agregadoras de componentes, ou seja, as que não trabalham sob a demanda de processos contínuos tais como as indústrias de matéria-prima para alimentos, produtos químicos, plantas de produção de metais e outras cuja saída de processos final é um produto não composto de peças agregadas, podem sem distinção de tipo de produto (desde que existam processos de montagem e agregação de partes) obter vantagem em alguma área usando o DFM/DFA.

5.4 Experiência obtida com a aplicação da ferramenta

Como fomentadora do processo inicial de treinamento, também coube à Engenharia de Produto a tarefa de organizar as equipes multidisciplinares através da escolha de seus representantes e/ou da solicitação da delegação desses às áreas responsáveis, pois devido ao inicial desconhecimento das atribuições e também à falta de familiarização com a ferramenta, as áreas que seriam envolvidas não poderiam julgar quais seriam os profissionais mais habilitados ou mais direcionados para a execução do projeto de desenvolvimento.

Disso, a Engenharia de Produto foi começou com a construção da equipe solicitando à Manufatura seu representante: foi escolhido o responsável pelo processo fabril (chamado de Progressista de Linha) para que utilizando os conhecimentos desse profissional que englobavam todo o processo de manufatura e montagem do produto fogão, que era o item onde o componente em desenvolvimento com as ferramentas estava sendo aplicado, pudesse haver maior eficiência na consulta à Manufatura sobre suas necessidades e restrições.

Uma vez alocado o profissional da Manufatura, era necessário alocar a Qualidade: sendo essa a responsável pela documentação formalizada e também pela correta execução e aprovação dos itens utilizados, seria necessário que essa área fosse formalmente envolvida. Para tanto, foi solicitado que o Engenheiro da Qualidade da área de fogões fosse envolvido, e contando com esse pode-se ter a visão da Qualidade assegurada para a execução do projeto.

Seqüencialmente, era necessidade agora o envolvimento da Engenharia Industrial. Essa Engenharia seria a responsável pela fabricação da peça como item, ou seja, seria envolvida para produção do molde e do projeto do processo do componente (temperaturas de produção, ciclos de máquina, pressões de molde entre outros). Para tanto, foi solicitado ao gerente da área que delegasse um de seus comandados para a tarefa, e o mesmo alocou temporariamente um de seus analistas de processo ao qual foram delegadas as tarefas de projeto de processo e auxílio técnico de processo à Engenharia de Produto.

Posteriormente foi solicitada a participação de Suprimentos e Logística: a área de Suprimentos através de dois Compradores iria negociar o ferramental (o qual seria

projetado e adquirido pela empresa onde se produzem os fogões) e a peça (a qual seria produzida fora da fábrica com ferramental cedido em comodato, e portanto comprada). Já a Logística iria ser responsabilizada pelo correto fluxo dos materiais e também pela embalagem, entrega, início de utilização e descontinuação do item.

Finalmente seria envolvida a última área, o pós-venda o qual seria responsável pelo suporte ao consumidor e também pelo apoio à Engenharia de produto sobre as restrições de reparo e assistência técnica.

5.4.1 O processo de definição das tarefas

Durante o processo de definição de tarefas era necessário atribuir a cada membro da equipe atividades que fossem diretamente relacionadas com o conhecimento e área de atuação do profissional delegado a participar do desenvolvimento do novo componente, o que significaria obter a melhor experiência de cada profissional e com isso permitir que cada envolvido no desenvolvimento apenas fosse treinado na nova ferramenta e não na ferramenta e também na tarefa.

5.4.2 A experiência de aplicação

De forma a relatar a experiência obtida pelo grupo, considera-se a melhor forma compartilhar o histórico das atividades e durante a discorrer desse, esmiuçar detalhes que despertem maior necessidade de informação.

5.4.3 O início do desenvolvimento

Depois da definição da equipe, algumas áreas não tinham ação direta e imediata: os colaboradores da logística por exemplo, apenas participavam das reuniões ou tinham a informação sobre o *status* do projeto via correio eletrônico, pois as atividades diretas as quais desenvolveriam estavam mais à frente do projeto.

Disso, a engenharia de produto e a manufatura começaram as atividades diretas: dessa engenharia era esperado um pré-projeto que permitisse que o primeiro

conceito pudesse ser analisado. Da parte da manufatura, estavam sendo esperados os primeiros conceitos de dificuldade do processo que essa, em conjunto com a engenharia industrial, definiria como parâmetro de projeto para a engenharia de produto. Concomitantemente, a qualidade trabalhava para definição dos primeiros parâmetros de aceitabilidade do novo componente, baseado na capacidade do processo da manufatura e nos requisitos de reoperabilidade da própria linha e também nas informações do retorno de campo oferecidos pelo pessoal de pós-vendas e de análise de falhas em campo.

Durante essas definições iniciais, não havia ainda necessidade (nem possibilidade real e garantida) para envolvimento da engenharia industrial para a confecção de ferramental definitivo. Contudo, com o auxílio do fornecedor adotado por suprimentos para a fabricação definitiva da peça, foi possível confeccionar um molde protótipo, o qual serviu como conceito inicial para a fabricação das primeiras peças que permitiriam os testes de linha para checagem dos conceitos da manufatura e que estavam sendo transcritos para o projeto pela engenharia de produto.

5.4.4 Prototipagem e primeiras amostras

Após a primeira conceituação da manufatura e da engenharia de produto, foi concebido o primeiro protótipo. Tal foi construído através de processos de usinagem de resina, e não era funcional – tinha apenas a função de verificar o conceito de montagem do componente em seu entorno.

O protótipo usinado foi levado à montagem e revelou ser realmente condizente com a necessidade, contudo, ainda apresentava falhas e incompatibilidades típicas de um conceito inicial. Com esse resultado, era necessário ajustar o conceito e gerar outro protótipo, de modo a que as falhas pudessem ser corrigidas e fosse possível escolher o material que permitiria que protótipos funcionais pudessem ser construídos.

Para a construção dos protótipos funcionais era necessário ainda encontrar uma solução de material (mesmo que alternativo em primeira instância), que permitisse que fosse possível a usinagem de uma peça de testes. Com tal condição de contorno, foi solicitado a um prestador de serviços que buscasse alguma resina que

permitisse o teste sem impacto funcional considerada a temperatura. Trabalhando em caráter de pesquisa, o prestador de serviços conseguiu uma resina compatível e solicitou a ordem de produção para os protótipos funcionais, esses os quais seriam feitos não por usinagem de precisão, mas sim utilizando a tecnologia de prototipagem rápida por deposição de camadas.

Depois de algumas semanas, as peças funcionais foram enviadas e estavam prontas para testes. Durante esse tempo em que se produziam as peças de testes, a qualidade foi em busca das atividades de análise de parâmetros e de definição de ensaios – ensaios os quais haviam sido apenas conceituados para produtos da empresa que não são fabricados nem comercializados no Brasil – portanto fora do dia-a-dia do consumidor brasileiro e com parâmetros socioculturais alheios ao uso do produto no mercado interno. Para tanto, a qualidade envolveu em paralelo uma pesquisa junto a outros departamentos da qualidade da empresa no mundo e consultando-os, descobriu que o parâmetro do ensaio já existente poderia ser compatibilizado para o produto nacional sem maiores restrições.

Contornado tal problema, ficou apenas a expectativa do atendimento do requisito de projeto durante os ensaios – os quais representavam risco, haja vista que as peças protótipo poderiam não refletir as reais condições de campo e poderiam com isso melindrar os esforços até lá realizados. Felizmente os protótipos tiveram um comportamento bastante próximo ao esperado e permitiram que, mesmo consideradas as restrições inerentes às características dos materiais, os testes fossem realizados e concluídos de forma satisfatória e otimista.

5.4.5 Resultados dos testes e decisões de avanço

Uma vez que os resultados se mostraram positivos e que todos os envolvidos já estavam cientes que o projeto vingaria, era a ocasião de garantir que os requisitos de cada área participante fossem plenamente conhecidos e atendidos, ou que ao menos as restrições de aplicabilidade se tornassem conhecidas por todos os participantes do grupo e permitissem o consenso da decisão. Para tal, o componente em desenvolvimento, seus testes e as necessidades de cada área envolvida foram colocadas em discussão novamente, agora para tomada de decisão final: a partir

desse ponto, não haveria mais a oportunidade de mudança de parâmetros pois que agora qualquer alteração de processo, projeto ou de produto em si recairia em comprometimento severo de ferramental e de ações já acordadas previamente com os demais membros do grupo.

5.4.6 Testes de comissionamento e fabricação de um lote piloto

O projeto estava já definido e era a hora de compatibilizar a linha de montagem para receber o novo componente, controlar os estoques das peças que se tornavam obsoletas e com isso permitir que não remanescessem estoques ao mesmo tempo em que se previniriam faltas de material causadas por eventuais atrasos fora do controle da equipe e também de comissionar moldes para produção piloto e efetuar ordens de compra de ferramental definitivo, fabricá-lo e comissioná-lo.

Nessa condição já adiantada de projeto, e contando desde o início dos trabalhos com um fornecedor de componentes definido, a ocasião de produzir o lote piloto era chegada. Foram assim ordenados ao fornecedor um lote de 50 (cinquenta) pares de peças protótipo e esses foram colocados em linha para montagem – ação essa que concorria com a fabricação do molde definitivo.

5.4.7 Montagem dos produtos e testes de campo

Como tarefa final, era necessário rodar em linha os produtos com as alterações a serem implementadas. Tal tarefa foi realizada em um dia específico, contudo sem alarde aos operadores de linha, de modo a que esses pudessem avaliar sem prévio aviso nem pré-disposição (fosse essa contrária ou favorável) se suas necessidades transcritas pelo processista da linha haviam sido realmente atendidas em plenitude.

A montagem transcorreu de forma esperada, e os operadores de linha demonstraram satisfação com o componente do qual participaram indiretamente no desenvolvimento e verificaram que suas tarefas de montagem, encaixe e geração de subconjuntos fora reduzida e com isso a linha se tornou mais eficiente, menos cansativa e portanto mais produtiva.

Finalmente, tendo a equipe desde as primeiras reuniões sabido da necessidade exposta pela qualidade que trouxe a informação de pós-vendas que era imprescindível um teste real em campo da alteração do produto, essa tarefa foi fechada e realizada a contento, sendo que os fogões foram enviados a consumidores previamente cadastrados. Da data do fechamento da presente pesquisa os consumidores mostravam-se atendidos pelo novo componente e em nenhum caso reclamaram de algum defeito ou dificuldade por ele causado – o novo componente era de tal forma similar em funcionamento ao subconjunto anterior que muito consumidores consultados sequer notaram que houve mudança.

5.5 Resumo dos resultados do desenvolvimento

Uma vez que o componente foi aprovado em testes e poderia ser colocado em linha de montagem o grupo analisou o desenvolvimento do item em sim, conforme os resultados apresentados às tabelas 14 e 15. Considerando que era necessário comparar os resultados do desenvolvimento com a ferramenta DFM/DFA com os métodos tradicionais de análise e gerência de projeto, os dados relativos ao processo foram comparados de modo a que se tivesse uma resposta final coerente e passível de ser mensurada. Tais informações foram compiladas pelo grupo em variáveis que a manufatura considerou mais relevantes, dando assim um panorama comparativo. A escolha das variáveis foi definida baseada em estudos presentes na literatura e em grandezas que poderiam ser demonstradas pela manufatura através da cronoanálise diária e de cartas de processo.

Tabela 14: Resultados finais do processo de desenvolvimento do componente

	Projeto Original	Componente desenvolvido usando a ferramenta DFM/DFA
Número de peças (por item)	8	3
Número de operações	13	3
Fixações	3	2
Custo final (só matéria-prima)	-	Redução de 69,79%
Tempo em linha (média)	48s	13s
Operadores envolvidos	3	1
Tempo de desenvolvimento	6 semanas	14 semanas

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Nota: o tempo de desenvolvimento inclui o fato que a ferramenta era desconhecida para o grupo;

Nota: os tempos de linha foram estimados considerando os 50 pares de protótipos.

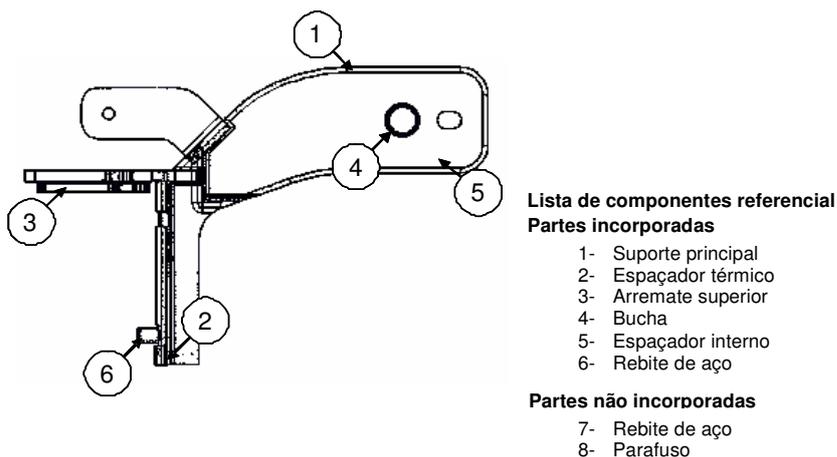
Tabela 15: Características finais do componente e do molde

	Projetado	Obtido
Cavidades do molde	8 (4 pares)	4 (2 pares)
Número de gavetas do molde	≤ 2	0
Fixações da peça no entorno	≤ 2	2
Temperatura de trabalho	$\leq 250^\circ\text{C}$	263°C
Temperatura de pico	$\leq 300^\circ\text{C}$ por 3h	313°C por 3h

Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

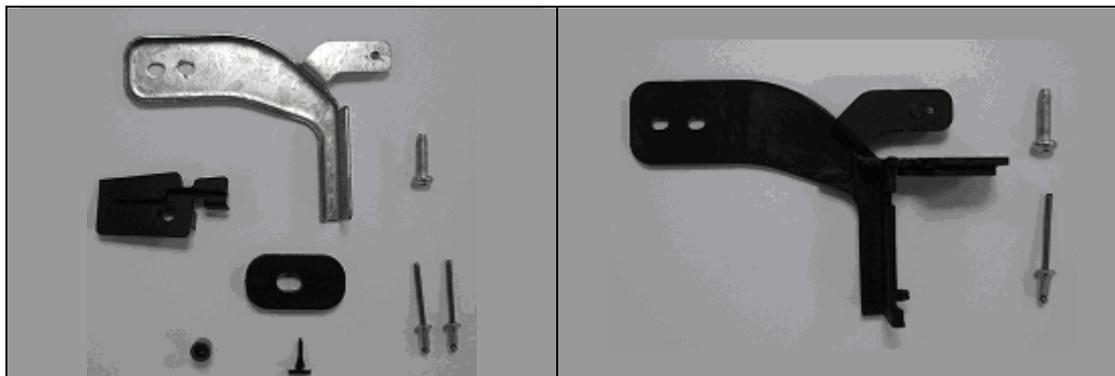
Finalmente, pode-se mostrar comparativamente o resultado do desenvolvimento aos demais colegas da empresa, sendo que o resultado final segue conforme as figuras 29, 30, 31 e 32.

Figura 30: Proposta final do subconjunto



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Figura 31: Resultado final comparativo entre a solução original (à esquerda) e a peça analisada e desenvolvida com a ferramenta DFA (à direita)



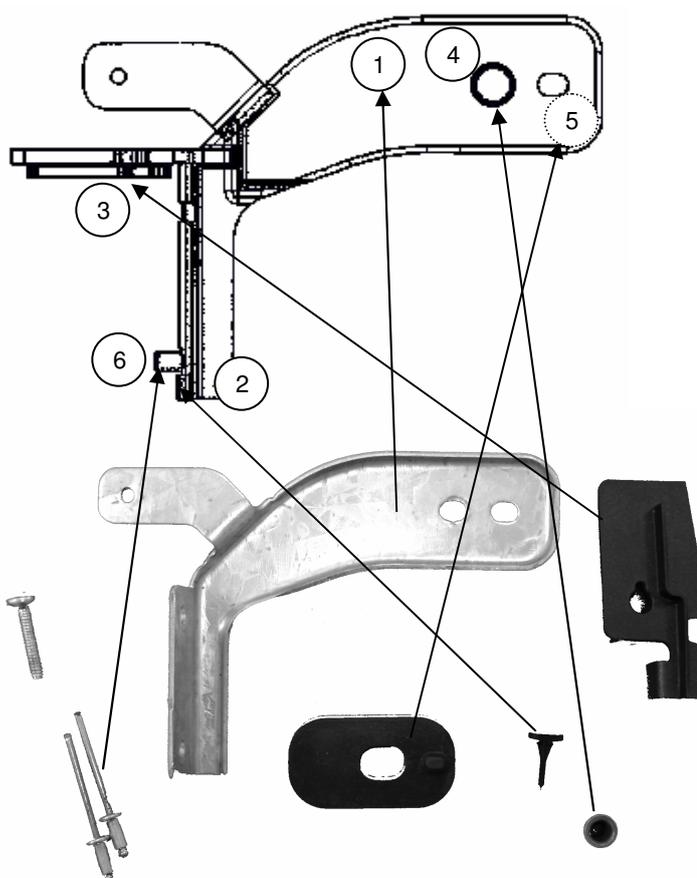
Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor.

Figura 32: Visão final ilustrativa do componente



Fonte: Electrolux do Brasil, coletado pelo autor., o autor

Figura 33: Resultado final do desenvolvimento da peça



Fonte: o autor

5.6 Comentários

Observa-se que existe aparente vantagem no uso do DFM/DFA como ferramenta: a conceituação de melhor uso de peças que se destinem ao produto final, fazendo com que essas sejam idealizadas para os processos aos quais serão submetidas e projeto dos processos para que esses sejam o mais eficientes possíveis, permitindo que exista uma aceleração no movimento da linha e com isso uma maior produtividade é uma das características que as corporações de liderança de mercado buscam com afinco.

Finalmente, a melhoria em custos, aproveitamento de recursos e mão-de-obra, melhor cadenciamento de linha e principalmente a desnecessidade de retrabalhos e discussões posteriores entre projetistas e executores leva a um real interesse pelo uso dos conceitos e oferece uma posição de destaque para ferramenta DFM/DFA.

5.7 Resumo do capítulo

No presente capítulo foram analisadas as aplicabilidades do conceito de DFM/DFA na indústria, de modo a que se obtivessem respostas pelos fatores de maior relevância tais como custo, minimização de erros, redução de tempo para o projeto, tempo de linha e melhorias de conceito, entre outros fatores. Também foi analisada a aplicabilidade dos conceitos na linha branca onde posteriormente foram analisados os fatores os quais permitiram que se chegasse às conclusões que foram expostas ao final do capítulo.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1 Introdução

Este capítulo apresenta as conclusões retiradas da pesquisa e do estudo realizado e também serão discutidas as informações e dados obtidos para a verificação da comprovação do atendimento dos objetivos específicos e do objetivo geral proposto inicialmente. Após essa comprovação será abordado o balanço final do estudo do componente e as vantagens que o desenvolvimento metodológico do mesmo acrescentou e finalmente como encerramento do trabalho de análise serão elaboradas sugestões para futuras pesquisas.

6.2 Análise dos objetivos específicos

Como primeira atitude para a análise do atingimento das propostas iniciais da pesquisa é necessário que se faça uma reflexão sobre o que era objetivado no início do trabalho de pesquisa.

Quando a decisão de iniciar a pesquisa sobre a aplicação do DFM/DFA na fabricação de um componente injetado para o mercado da linha branca, foram considerados como objetivos específicos da pesquisa sobre Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem e de Engenharia Simultânea e assuntos correlatos na aplicação para no desenvolvimento de produto e processo do componente “suporte do puxador” para a linha de fogões.

Foi também objetivo aplicar os conceitos de DFM/DFA e CE e através da coleta de informações relevantes tais como custo, tempo de linha, paradas de linha e tempo de reparo que eram inerentes ao componente e o tempo de desenvolvimento do produto, custo relativo e tempo para a viabilização do componente, itens relevantes no julgamento do próprio processo de desenvolvimento de produto.

Ainda, como último item era necessário aplicar o conhecimento obtido para a conclusão do item em si, proporcionando como demonstração final do método um componente trabalhado e pronto para a colocação em linha, que fora totalmente

desenvolvido como resultado do uso da ferramenta DFM/DFA. Seguem-se os resultados obtidos.

6.2.1 Atingimento dos objetivos de pesquisa

Consideram-se aqui como objetivos de pesquisa aqueles que são diretamente ligados ao processo de aprendizagem científica e conhecimento e aplicação de uma metodologia academicamente aceitável para o estudo direcionado. Desses, considera-se em especial o estudo do caso em si com embasamento teórico-metodológico, que propicia uma forma organizada de perscrutar um fato e dele retirar informações que permitam uma análise consistente e que também permitam a continuidade do estudo. Para confirmação do atingimento desse objetivo, considera-se interessante confrontar os resultados obtidos com a análise realizada ao capítulo 2 que se referia à metodologia científica. Nesse caso, considera-se que conforme o que foi analisado por SEVERINO (2000) também DEMO (1998), pode-se afirmar que realmente o problema proposto foi metodologicamente pesquisado e argumentos logicamente ordenados permitiram a proposta de uma solução. Ainda, analisando mais profundamente GIL (2002), houve seguimento das etapas de formulação, definição de uma unidade-caso, elaboração de um protocolo, coleta de dados, restrição do número de casos, análise e avaliação dos dados e também houve a preparação de um relatório.

Disso, pode-se inferir que, considerando-se o material apresentado, houve um estudo de caso embasado em metodologia científica e que esse estudo foi diligenciado considerando-se a praxe acadêmica – item comprovado pela presença de uma revisão da literatura e de um sumário técnico sobre o conhecimento em Projeto Orientado para a Manufatura e a Montagem (DFM/DFA) e de Engenharia Simultânea (CE).

Concluindo-se a análise, pode-se argumentar que houve real intenção de pesquisa científica e que essa foi realizada considerando-se a metodologia aceita. Contudo, pode-se também argumentar que devido ao vasto campo em que o DFM/DFA pode ser aplicado, a revisão da literatura poderia ser mais aprofundada e mais extensa e abranger mais autores.

6.2.3 Atingimento do objetivo de fabricação do componente

Como objetivo específico final do desenvolvimento de uma peça foi necessário que o estudo proporcionasse ao seu final um componente que seria resultado dos esforços da equipe e que seria responsável pela demonstração prática dos conceitos de DFM/DFA que foram difundidos durante o projeto de pesquisa como um todo. Tal objetivo foi o mais intensamente buscado, haja vista que seria uma forma tangível de apresentar o que a teoria abordou e ofereceria aos demais colegas não envolvidos na concepção-execução do componente um motivo palpável para que também tivessem interesse pela ferramenta DFM/DFA e provaria a idéia lançada conceitualmente como solução de projeto conforme apresentado por SORGE e COLUCCI citados por HUANG (1996) e aplicada também em projeto específico tal como feito por HERRERA (1997).

Pode-se afirmar com segurança que esse objetivo foi atingido. O componente foi concebido e criado, seu processo foi definido e o mesmo existe como forma de uma peça funcional que está efetivamente em campo como parte de um fogão em uso. Essa peça ainda permitiu que fossem apresentados de forma clara os principais conceitos do DFM/DFA, que podem ser resumidos pelo componente atingido, a redução de peças, de oito para três (como já afirmado), sendo que uma das fixações foi eliminada; a melhoria da comunicação, a manufatura teve voz e efetivamente mostrou suas necessidades e contribuiu com o desenvolvimento; a melhoria da manufaturabilidade, do custo e dos processos de linha, itens demonstrados anteriormente no capítulo 4.

6.2.2 Atingimento dos objetivos de análise do processo de desenvolvimento

Para análise do desenvolvimento como processo é necessário considerar o que objetivava saber do processo e com isso compará-lo com a situação obtida: era necessário saber antes de tudo o custo e o tempo de desenvolvimento do projeto desde a fase de apresentação da necessidade representada por uma aspiração ou desejo do consumidor até a finalização do processo construtivo do produto final. Conforme o que foi descrito por GALDAMÉZ *et al.* (2001) esse processo foi definido

e seguindo o processo de análise de estudo de caso mencionado por GIL (2002), houve a coleta dos dados e esses foram absorvidos e reportados.

Contudo, nesse tópico existiu cumprimento parcial do objetivo especificado: dados tais como o tempo de desenvolvimento e o custo para esse desenvolvimento ficaram subjetivos, pois não permitiram amostras suficientes para que se delineasse um padrão – foram efetivamente levantados, mas não eram mensuráveis de forma permitissem comparação, fato isso se deve a alguns fatos relevantes tais como o desconhecimento da ferramenta DFM/DFA, o conceito de desenvolvimento de apenas um componente e não de um produto ou sistema completo e também a condição de uso de uma equipe multidisciplinar que efetivamente intercalou a atividade de desenvolvimento da peça com outras atividades de relevância.

Disso, conclui-se que quanto ao atendimento ao requisito houve deficiência – essa devida ao processo de estudo do desenvolvimento de um componente através do DFM/DFA ter sido realizado pela primeira vez com o estudo de caso que foi apresentado nesta pesquisa – e também ao fato que a escolha da equipe envolvida não privilegiou os seus membros apenas com a atividade de desenvolvimento purista, portanto os dados de comparação são apenas referenciais.

Mesmo assim, pode-se concluir que a repercussão do desenvolvimento foi positiva pois realmente confirmou a literatura onde DEWHURST (2004), BOOTHROYD (1998), MANISCALCO (2005) e PORTER (2004) haviam comentado que realmente é possível reduzir custos tanto no produto em si (no caso do componente desenvolvido a redução foi superior a 67%), para o desenvolvimento (o qual permitiu um projeto de molde que economizou gavetas, itens que efetivamente agregam custo ao mesmo), ganhar agilidade na montagem (redução de peças considerável de 8 para 3, o que significa uma redução de 62,5% em número de partes agregadas por substituição, o que significa também uma redução de 20 componentes no produto final de dois fornos), melhorar a produtividade (com significativas reduções de pessoal e operações agregadas) e também permitir outros ganhos tais como projetos onde há maior comunicação entre os envolvidos e produtos com produção mais fácil.

Do exposto, e considerando que existia uma intenção de aplicação do componente pesquisado na linha de montagens da empresa onde o autor trabalha, o desenvolvimento surtiu efeito e foi a tal ponto relevante que sugestionou a gerência

da empresa a solicitar de seus comandados a análise de DFM/DFA para todos os projetos futuros da empresa.

6.3 Sugestões para seqüência da pesquisa

Ao concluir o processo de desenvolvimento e após a obtenção do componente, um balanço informal foi feito por todos os envolvidos. Dessas, considera-se importante constituir um resumo de algumas dessas e após tal análise, sugerir como continuação do projeto de pesquisa alguns itens de maior relevância.

6.3.1 Observações sobre o processo de desenvolvimento

Do balanço realizado, pode-se absorver os seguintes:

- a) a ferramenta de DFM/DFA melhora a forma de conceituar um projeto, buscando de forma metodológica uma simplicidade maior no processo e no produto em si;
- b) os projetos que escutam a manufatura parecem menos complexos à hora da execução;
- c) desenvolvimentos de conjunto tendem a causar maior conflito inicial, contudo sendo esse conflito a nível apenas de idéias e projeto perde-se muito menos tempo do que quando a discussão é realizada sobre não-conformidades e falhas já ocorridas;
- d) desenvolver com simplicidade um componente é uma tarefa mais complexa que desenvolver um projeto apenas funcional – a solução trivial pode parecer correta de início, mas pode vir a ser um fator de perda de tempo em linha depois;

- e) o desenvolvimento individual cerceado a um único projetista ou departamento é menos produtivo e acaba sendo baseado em conceitos exclusivos de projeto que nem sempre atendem às demais áreas;
- f) uma vez que o ferramental é comprometido, qualquer desenvolvimento posterior parecerá ajuste e não melhoria;
- g) a ferramenta DFM/DFA permite real redução de custos e de mão-de-obra tanto de desenvolvimento como de execução.

6.3.2 Recomendações para a continuidade do processo de pesquisa

Considerado o exposto, pode-se sugerir que o projeto de pesquisa seja melhorado e continuado de várias formas, tais como:

- a) continuando o processo de análise com a ferramenta DFM/DFA dos demais componentes da porta do fogão e do produto como um todo de modo a que essa tenha sua geometria e construção otimizadas de modo que também haja melhora em custo, manufaturabilidade nos demais componentes da porta, também aumentando o número de peças em conformidade no item final, principalmente através da eliminação do processo de adesivagem interna do vidro;
- b) expandindo o processo de análise de modo a que esse incorpore mais ferramentas tais como o QFD, o FMEA de componente e processo e também permita a adição de ferramentas de CAD-CAE-CAM tais como o FEA (*Finite Element Analysis*), o Projeto Assistido e demais ferramentas de manufatura avançada;
- c) melhorando as informações e gerando legado para que seja mais fácil a análise de custos, prazos e eficiência comparativos entre projetos com e sem a ferramenta DFM/DFA;

d) multiplicando o conhecimento do uso das ferramentas de manufatura avançada e delas tirando o máximo proveito prático para aumento da satisfação do cliente com o produto por esse adquirido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEX, V.M. **Avaliação do planejamento avançado da qualidade do produto no setor automobilístico com base na engenharia simultânea**. Curitiba, 2003. 102fl. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

BACHELARD, G. **La formation de l'esprit scientifique**. Paris: J. Vrin, 1970, adaptado para o inglês

BEALL, Glenn; **The Dangers Of Part Consolidation** Disponível em: <http://www.immnet.com/article_printable.html?article=249>. Acesso em: 13.março. 2005.

BOEING. **The Boieng Company**. Vários autores, disponível em <<http://www.boeing.com/>>, acesso em 01.06.05

BOOTHROYD, G. **Product Design For Manufacture And Assembly, Second Edition**. Nova York: Marcel Dekker Inc. 2001. 374 p.

BOOTHROYD, G., ALTING, L., **Design for Assembly and Disassembly**, Anais do CIRP, vol.41, 1992

BOOTHROYD, G., DEWHURST, P.E., KNIGHT, W., **Product Design for Manufacture and Assembly**, Marcel Dekker Inc, Nova York, 1994, 378p

BRESSAN, Flávio. **O método do estudo de caso**. São Paulo, FEA-USP, 2002

BRALLA, J. G. (1986). **Handbook of product design for manufacturing**, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA.(Disponível na EESC - USP).

BRANAN, __. **Design For X**. Inglaterra: Chapman and Hall, 1996. 488p.

BRINK, P.V.D. **Social Organizational and Technological Conditions that enable Knowledge Sharing**, Tese de Doutorado, Alemanha, 2003.

BUSS, Carla de Oliveira; CUNHA, Gilberto Dias da; LUCE; Fernando Bins. **Coordenação de equipes multidisciplinares no desenvolvimento integrado de produtos**. XXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17 a 19 de outubro de 2001, Salvador/BA.

BURKE, ____, CARLSON ____. **Design For X**. Inglaterra: Chapman and Hall, 1996. 488p.

CANCIGLIERI, Osíris; YOUNG, R.I.M. Information sharing in multiviewpoint injection moulding design and manufacturing. **International Journal of Production Research**, Inglaterra, v. 41, n. 7, p.1565-1586, 2003.

CANCIGLIERI, Osíris; YOUNG, R.I.M. **Product model Based Multiple ViewPoint Information Sharing Using Features Technology**. Feature Based Life-Cycle Modelling, Kluwer Academic Publishers, Inglaterra, p.109-128, 2001.

CANCIGLIERI, Osíris; **Design For Manufacture**. Curso de Especialização Em Engenharia da Produção – Capítulo 1, 2005.

CAPUCHO, Maurício J.O.; SILVA, Marcelo P.da; RUBIRA, Leonardo Henrique. **Engenharia Simultânea e Metodologia de Projeto**. CEFET-PR, 1997, repassado pelos autores.

CASTRO, Aldemar A. **Avaliação da qualidade da informação**. In: Castro AA. Fiat lux. Maceió: AAC; 2005.

CATAPAN, Márcio F. **Princípios Gerais de Projeto para a Montabilidade**, UFSC/NeDIP. Florianópolis, 2003.

CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 1991

CHIZZOTTI, A. **A pesquisa qualitativa em Ciências Humanas e Sociais: evolução e desafios.** Revista portuguesa de educação, abo/vol.15, número 002, Universidade do Minho, Braga, Portugal, pp 221-236, 2002

COLUCCI, _____. **Design For X.** Inglaterra: Chapman and Hall, 1996. 488p.

DALGLEISH, G.F., JARED, G.E.M., SWIFT K.G., **Design and Assembly: influencing the design process.** Journal of Eng.Design, 2000, vol. 11, número 1, 17–29

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

DEMO, Pedro. **Introdução à metodologia da ciência.** São Paulo: Atlas, 1987. 118p.

DEMO, Pedro. **Metodologia do conhecimento cinetífico.** São Paulo: Atlas, 2000. 216p.

DEWHURST, Nick; **Need to Cut Costs? Check Your Design First** Disponível em: <http://www.deskeng.com/index2.php?option=com_content&task=view&id=Itemid=0..>. Acesso em: 29.maio. 2005.

ENDERS, G. *at al*, **Modernal Commercial Aircraft**, C.Salamander Books Ltd1998-2000 - Londres, RU

FAGADE, Adekunle A.; KAZMER, David O. **Early Cost Estimation For Injection Molded Components.** University Of Massachusetts, 1998

FERRARI, Fernanda Menezes; TOLEDO, José Carlos. **Proposição e Aplicação de um Modelo para Análise da Gestão do Conhecimento no Processo de Desenvolvimento de Produto**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

FERREIRA, Cristiano Vasconcello; FORCELLINI, Fernando A.; OGLIARI, André. **SISCOI – Software de Apoio à definição de Especificações de Projeto de Componentes Injetados**. 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 25 a 27 de setembro de 2001, Florianópolis/SC.

FERREIRA, Heloisa Sousa R.; TOLEDO, José Carlos. **Metodologias e Ferramentas de Suporte à Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) na Indústria de Autopeças**. UFSCar, 2002.

FERNEDA, A.B. **Integração Metrologia, CAD e CAM: Uma Contribuição ao Estudo de Engenharia Reversa**. Dissertação de Mestrado, UFSCar, 1999.

FLORENZANO, Mariella C.. **Gestão do Desenvolvimento de Produtos: Estudo de Casos na Indústria Brasileira de Autopeças sobre Divisão de Tarefas, Capacidade e Integração Interunidades**. Dissertação de Mestrado, UFSCar, 1999.

GAUTIER, B.; DEWHURST, P.; JAPIKSE, D.. **Application of Design for Manufacture and Assembly Methodologies to Complex Aerospace Products**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000

GALDAMÉZ, Edwin Valdimir Cardoza; BRANÍCIO, Simone de A.Ramos. **Integrando os Recursos Humanos com Engenharia Simultânea** USP, 2001.

GALDAMÉZ, Edwin Valdimir Cardoza; CARPINIETTI, Luiz C. Ribeiro. **Aplicação das Técnicas de Planejamento e Análise de Experimentos no Processo de Injeção Plástica**, Revista Gestão e Produção, Fev-2003

GE THERMOPLASTICS, **Thermoplastics design guide**. Estados Unidos, _____, 1998. 35 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

HARTLEY, John R. **Engenharia Simultânea: um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998. 266p.

HELISPOT SITE disponível em <<http://www.helispot.com/photos>> Acesso em 01.07.06

HERRERA Alfredo., **Design For Manufacturing and Assembly Application on the Design of the AH64D Helicopter**: 12th International Forum on DFM/DFA, Newport, Estados Unidos, 1997.

HOLANDA, Vitor B.; RICCIO, Edson L. **A utilização da pesquisa ação para perceber e implementar sistemas de informações empresariais**. Natal, _____

HONEYWELL INC., **Design Solutions Guide** : Estados Unidos, _____, 2002. 92p.

HUANG, G.Q. **Design For X**. Inglaterra: Chapman and Hall, 1996. 488p.

IMM MAGAZINE. **Basic Elements: Simplifying Multicomponent Design**
Disponível em: <http://www.immnet.com/article_printable.html?article=2343>. Acesso em: 11.mai. 2005.

LAKATOS, E., MARCONI, M.de A., **Metodologia do Trabalho Científico: procedimentos básicos, pesquisas bibliográficas, projeto e relatórios, publicações e trabalhos científicos**. __ São Paulo, Atlas, 1983

LESSER, Gary, SANFORD, Rick, **C-17 Globemaster III Backgrounder** Boeing Integrated Defense Systems & Global Mobility Systems Communications, Boeing Inc., Fev.2006 disponível em <<http://www.boeing.com/defense-space/military/c17/docs>> , acesso em 01.06.07

MANISCALCO, Michelle. **Concept for IP Design Born of DFM/DFA** Disponível em: <http://www.immnet.com/article_printable.html?article=399>. Acesso em: 11.maio.2005.

MANISCALCO, Michelle; BOOTHROYD, G.; DEWHURST, Nick; **When Moulders Design, Success Follows** Disponível em: <http://www.immnet.com/article_printable.html?article=2533>. Acesso em: 11.maio.2005.

MARSHALL, Russell **The Holonic Product Design (HPD) - A Workbook**. Loughborough Univeristy, 1997. 35p.

MCDONELL-DOUGLAS Company, < <http://www.mdhelicopters.com/> > - Acesso em 01.06.05

NAKANO, Davi Noboru; FLEURY, Afonso C.C. **Métodos de pesquisa na engenharia de produção**. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Piracicaba, 1996. UNIMEP/ABEPRO, 1CD-ROM.

NORTON, R.L. **Projeto de máquinas, uma abordagem integrada**. 2ed, Porto Alegre: Bookman 2004

OLIVEIRA, Natã de M.; **Metodologia & Projeto**, Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Desenho Industrial, Fevereiro de 2006.

PASMAN, Gerrit-Jan; **Designing with precedents**. Tese de Doutorado: Holanda. 224p

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

PORTER, Gerrit-Jan; **Designing with precedents**. Tese de Doutorado: Holanda. 224p

PORTER, David K.; **Overview of Design for Manufacturing and Assembly**. Apresentação, Crystal Engineering Corp., 2002-2004

SÁ, Silvana R. L. de. **Projeto de Peças de Plástico Moldadas por Injeção**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2003.

SACHELLI, Carlos Maurício. **Proposta de Sistematização do processo de Desenvolvimento Integrado de Moldes de Injeção de Termoplásticos**. Proposta de Tese de Doutorado, CEFET-SC, 2005

SIVALOGANATHAN, S.,ANDREWS, P.J.T., SHAHIN, T.M.M, **Design function deployment: a tutorial introduction**, Journal of Eng.Design, 2001, vol. 2, número 1, 59–74

SORGE, __ . **Design For X**. Inglaterra: Chapman and Hall, 1996. 488p.

TEDLOW, R.S. **7 homens e os impérios que construíram**; São Paulo; FUTURA, 2002

TELLIS, W., **Introduction to Case Study**, The Qualitative Report, Volume 3, Número 2, Julho de 1997

THE HENRY FORD ON-LINE MUSEUM, **The life of Henry Ford**, <<http://www.thehenryford.org/>>, último acesso válido em 01.07.06

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 1996. 108 p.

THIOLLENT Michel, SOARES Virgínia M.S.: **The subject of interdisciplinarity in the production engineering**, Programa de Engenharia de Produção/COPPE/UFRJ, 1998

VITRUVIUS SITE disponível em <<http://www.vitruvius.com.br>>, último acesso válido em 01.07.06

YIN, Robert K. **Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.