

PROJETO ORIENTADO PARA MONTAGEM: APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DFA (DESIGN FOR ASSEMBLY) EM TAMPAS DE COMBUSTÍVEL DE UM VEÍCULO AUTOMOTIVO

Alisson Alves Sarmiento, alisson.sarmiento@gmail.com¹

Cleber Alves Sarmiento, cleber.sarmiento@gmail.com²

Rodrigo Lima Stoeterau, rodrigo.stoeterau@poli.usp.br³

Marco Stipkovic Filho, mstip@uol.com.br³

Gilmar Ferreira Batalha, gilmar.batalha@poli.usp.br³

^{1, 2, 3} Laboratório de Engenharia de Fabricação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Depto de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos - Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508.970 - São Paulo - SP - BRASIL.

^{1, 2} Fone 00 55 11 4234-8862 / ² Fone 00 55 11 3091-6025 / ³ Fone 00 55 11 3091-5763.

Resumo: Este artigo apresenta um estudo de caso para a aplicação da ferramenta DFA (Design for Assembly) no desenvolvimento de uma tampa de combustível em um veículo automotivo de produção corrente. A metodologia de Lucas foi utilizada no estudo apresentado e pode ser aplicada tanto na fase de desenvolvimento de novos produtos como na redução do número de componentes de um determinado produto existente. Um breve histórico e o embasamento científico da metodologia também são mostrados. No estudo apresentado, a aplicação do DFA propiciou uma redução de 10% no custo do produto, 5% no custo do ferramental e também a simplificação do produto, sem a perda de função e valor agregado.

Palavras-chave: Processo de fabricação. Desenvolvimento de Produtos, Projeto para Montagem, DFA,

1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de determinados produtos, um dos principais objetivos da engenharia é o de projetar e lançar algo que satisfaça ao cliente. Existem vários fatores que somados compõem o nível de satisfação do cliente, e dentre os quais a qualidade pode ser considerada como o mais relevante. O lançamento de um produto com ótima qualidade pode não representar uma garantia de sucesso nas vendas, uma vez que outros fatores como custo, facilidade de utilização e respeito ao meio ambiente também são considerados pelo cliente em sua tomada de decisão. Pensando nesses fatores, várias ferramentas têm sido desenvolvidas no intuito de atingir as necessidades dos clientes (ROZENFELD et al., 2006). Questões fundamentais, tais como a redução do tempo de desenvolvimento, a melhoria da qualidade, a consideração de impactos ambientais, e a redução do tempo de montagem e/ou de manutenção são elementos preponderantes para transformar uma idéia em um produto de sucesso. Para auxiliar no processo de desenvolvimento de produtos, diversos pesquisadores têm publicado estudos referentes às questões-chaves que guiam os projetos a atingir objetivos específicos (LE POCHAT, 2005).

Nestes estudos são apresentadas técnicas de projeto orientado denominadas como *DFX (Design for X)*. O termo “X” é utilizado de forma genérica para representar as várias ferramentas de projeto, tais como: *Design for Assembly (DFA)*, *Design for Manufacturing (DFM)*, *Design for Environment (DFE)*, *Design for Quality (DFQ)*, *Design for Service (DFS)* e *Design for Disassembly (DFD)*, entre outras. Neste trabalho será abordada com maior ênfase a técnica DFA.

2. DEFINIÇÕES DA FERRAMENTA DE PROJETO ORIENTADO PARA MONTAGEM - DFA

A técnica DFA tem por objetivo racionalizar a etapa de montagem por meio da facilidade de montagem, da redução do número de peças, do tempo de montagem, das ambigüidades e inconsistências. A análise é realizada através da separação da função, forma, material e montagem de cada um dos componentes constituintes, desenvolvendo-se, assim, um produto comparativamente mais simples e funcional.

A técnica DFA deve ser utilizada em conjunto com as outras ferramentas, pois muitas vezes, a simplificação da montagem implica na alteração das características geométricas e dimensionais de componentes, o que podem torná-los mais complexos do ponto de vista de fabricação. Uma solução de compromisso entre montagem (DFA) e fabricação (DFM) deve ser alcançada de forma que a solução ótima para um não inviabilize a outra.

O uso do DFA traz importantes benefícios ao produto final, tais como: melhoria em sua qualidade, redução do número total de peças, simplificação do processo de montagem e do produto, padronização, modularização, confiabilidade, significativa redução de custos de produção e incentivo ao trabalho em equipes multidisciplinares (engenharia simultânea).

3. FASES DO PROJETO DO PRODUTO

O processo de desenvolvimento de produtos pode ser considerado como um “conjunto de atividades envolvendo quase todos os departamentos da empresa que tem como objetivo, a transformação de necessidades de mercado em produtos ou serviços economicamente viáveis” (KAMINSKI, 2000). O desenvolvimento de produtos é uma atividade, a qual tanto influencia quanto sofre influências dos fatores econômicos, culturais, sociais, tecnológicos e políticos da comunidade a que se destina, mudando hábitos, costumes e, até mesmo, gerando novas necessidades. Neste sentido, o desenvolvimento de produtos deve considerar todo o ciclo de projeto, fabricação, produção e consumo. Deste modo, é proposta a divisão do processo de desenvolvimento do produto em sete etapas, que vão desde a busca das necessidades de mercado até o descarte final do produto, conforme apresentado a seguir:

- Identificação de uma oportunidade, onde as áreas de Marketing conseguem identificar uma oportunidade de negócio, que permita a inserção ou continuidade da empresa dentro de um segmento de mercado.
- Estudo da viabilidade: é a segunda fase do desenvolvimento. Esta etapa é a responsável por determinar os possíveis riscos e as possíveis alternativas para a solução do problema.
- Conceituação do produto, onde é identificado o maior número possível de necessidades explícitas e implícitas e sua transformação requisitos e especificações metas para o produto;
- Projeto funcional: durante esta etapa, os responsáveis devem gerar e escolher soluções, e especificar a melhor alternativa para atingir as especificações metas até o ponto de pré detalhamento;
- Projeto executivo: desenvolvimento completo do produto. Nesta fase, o produto é projetado e testado conforme as especificações da área de engenharia do produto. Este período de desenvolvimento ainda é propício para a realização de pequenas alterações sem grandes prejuízos econômicos. Contudo, o projeto pode ainda ser vetado por diversos motivos como, por exemplo, caso o produto não seja manufaturável;
- Planejamento da produção / execução: esta fase elabora o planejamento da produção, incluindo a compra de todos os equipamentos e dispositivos necessários, a determinação dos processos de montagem, avalia a qualificação dos fornecedores e da mão-de-obra etc.
- Planejamento da disponibilidade ao cliente: esta etapa tem como objetivo planejar como o produto irá chegar até o cliente. Cabe ao projetista definir a embalagem, o transporte e a divulgação do produto;
- Planejamento do consumo ou utilização do produto: o projetista deve também prever como o produto será utilizado ou consumido. O produto deve ser de fácil manutenção, alta confiabilidade, oferecer a segurança necessária etc. Informações de campo são extremamente valiosas para que o produto possa ser melhorado;
- Planejamento do abandono do produto: o produto deve ser descartado por duas razões: a obsolescência técnica ou desgaste. O caso ideal acontece quando a obsolescência técnica e o desgaste ocorrem ao mesmo tempo. Para isso, o projetista deve utilizar uma tecnologia adequada para reduzir a velocidade de obsolescência, e projetar para que a vida útil coincida com o tempo de utilização.

4. APLICAÇÃO DO DFA NO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Segundo BOOTHROYD (1994), o DFA deve ser utilizado, com maior ênfase, no início da fase do projeto conceitual (aqui eu discorde, o DFA deve ser aplicado na fase de Detalhamento de Projeto. O projeto conceitual visa transformar as necessidade dos clientes em requisitos do produto e gerar as especificações metas. Algumas especificações tais como facilidade de montagem e facilidade de fabricação, orientam da necessidade de aplicação de DFA e DFM no detalhamento.), pois, nesta etapa, os custos de modificações são relativamente mais baixos e o tempo de duração do projeto pode ser reduzido, disponibilizando-se, assim, o produto mais rapidamente para o mercado, e com um preço significativamente menor. É importante ressaltar também a importância da qualidade nesta fase do projeto, pois implementá-la em um produto já desenvolvido é, em geral, algo mais difícil. A Figura 1 ilustra a aplicação do DFA no projeto conceitual com o objetivo de se reduzir o tempo e o custo de desenvolvimento.

Pode-se observar que estas técnicas, quando aplicadas já na fase de concepção e detalhamento, fazem com que o ciclo retorne à fase do projeto conceitual, já que as sugestões para simplificação da estrutura do produto, e para materiais e processos mais econômicos, ainda são mais simples.

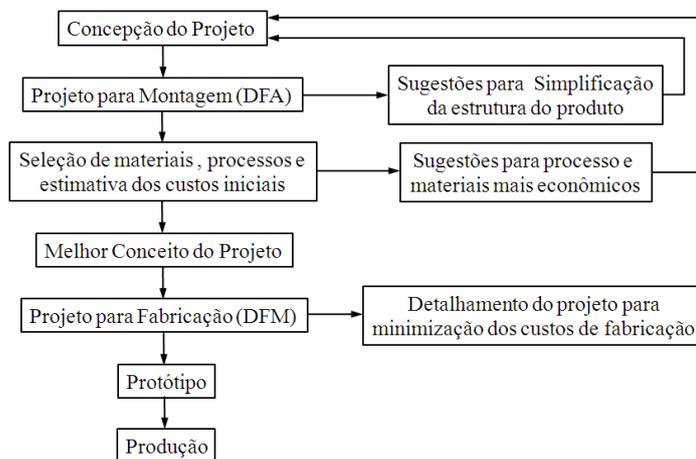


Figura 1. Estrutura da aplicação do DFA/DFM no processo de projeto. Fonte: Boothroyd (1994)

Durante o projeto conceitual, as técnicas de DFA são utilizadas para avaliar quais das concepções alternativas são viáveis para serem detalhadas no projeto preliminar. Deve-se dar atenção à informação sobre manufatura, material, produto e montagem.

A Figura 2 compara o desenvolvimento do produto com e sem a aplicação do DFA, ilustrando que a aplicação do DFA no início do projeto reduz o tempo total do seu desenvolvimento.

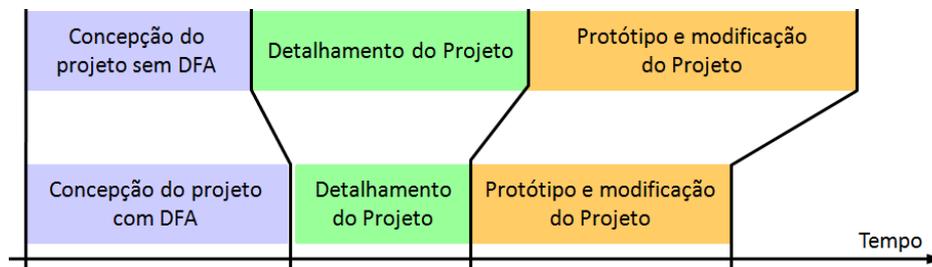


Figura 2. Redução de tempo de desenvolvimento de um produto com a aplicação do DFA no início do projeto. Fonte: Boothroyd et al (1994) – Modificado

Pode-se notar ainda, ao se observar a Figura 2, que o desenvolvimento onde se aplica a ferramenta DFA exige um tempo comparativamente maior na concepção do projeto, compensado pelo tempo total de desenvolvimento, que acaba sendo menor do que em um projeto onde não se aplica a ferramenta. O uso do DFA propicia também uma redução significativa nos custos de projeto, que se dá, basicamente, devido à redução do número de peças, simplificação do projeto e redução do número de modificações em ferramental e produto.

Os trabalhos de MATAYOSHI (2007) e KRUMENAUER ET AL. (2008) reforçam o consenso de que o projeto processo de desenvolvimento de produto (design) influencia mais do que qualquer outro fator no custo de produção de um novo produto (Figura 3).

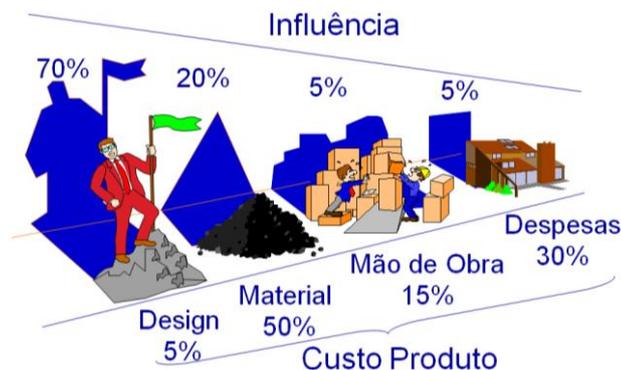


Figura 3. Importância relativa das etapas de projeto no custo do projeto. Fonte: Iawa (2009)

Por sua vez, a Figura 4 ilustra a influência das etapas do processo no custo do produto.



Figura 4. Curvas de custo para o nível de influência durante o ciclo do projeto. Fonte: Matayoshi (2006).

5. MÉTODO DE DFA COM REGRAS APLICADAS

Para realizar uma análise de DFA utiliza-se um método, de forma que a partir da estrutura de seu conjunto de regras e princípios básicos, tal método irá ajudar os projetistas a identificarem problemas a fim de gerar soluções para melhoria de cada componente do produto. Existem alguns métodos de DFA desenvolvidos por pesquisadores, empresas, centros de pesquisa e universidades, sendo que o Método de Lucas será explorado nesse artigo.

Os três principais métodos sistemáticos (já bastante discutidos na literatura) são descritos a seguir:

- Método Hitachi: “The Hitachi Assemblability Evaluation Method (AEM)”;
- Método de Boothroyd e Dewhurst: “The Boothroyd – Dewhurst DFA Evaluation Method”;
- Método de Lucas DFA: “The Lucas DFA Evaluation Method”.

O software de DFA utilizado na modelagem do estudo de caso proposto nesse artigo tem como base o método de Lucas. Por esse motivo o método de Lucas foi escolhido.

5.1 Método de Lucas

Os procedimentos realizados no método Lucas DFA foram desenvolvidos na Universidade de Hull, na Inglaterra, em conjunto com o Instituto Lucas Engineering. Os embasamentos desta técnica advêm das mesmas pesquisas utilizadas e desenvolvidas por BOOTHROYD & DEWHURST (1994). Ambos têm as duas mesmas importantes características (LEANEY & WITTENBERG, 1992 apud ESKILANDER, 2001):

- Reduzir o número de peças;
- Analisar a geometria da peça para o processo de montagem.

As análises do Método DFA Lucas são realizadas a partir de um diagrama de seqüência de montagens (“*assembly sequence flowchart*” - ASF), diagrama que consiste em aplicar pontos de penalidade a problemas de montagem advindos do projeto. Estas penalidades são utilizadas para calcular três índices de montabilidade chamados de medidores de desempenho (“*measures of performance*” - MOPs). Assim, são realizadas três análises, onde cada uma irá gerar um destes índices (ESKILANDER, 2001):

Análise Funcional: todas as peças serão separadas em dois conjuntos classificados em “A” e “B”. O conjunto “A” abrigará as partes funcionais, e que são requeridas pela especificação do produto. O conjunto “B” conterá as partes que trazem apenas funções secundárias ao produto, como os elementos de fixação e os conectores. Nesta etapa, então, é calculado o índice de eficiência (um dos MOPs). O índice de eficiência deve exceder o valor de 60%, e seu cálculo (MILES & SWIFT, 1992 apud BOOTHROYD, 1994) se dá a partir da fórmula:

$$\text{Eficiência} = (A / (A + B)) * 100\% \quad (1)$$

Análise de Manuseabilidade (*feeding analysis*): esta etapa irá depender da forma de montagem, ou seja, se é manual ou automatizada. Para uma montagem manual, uma análise de manuseabilidade irá inferir um custo para o manuseio de cada peça a partir de uma tabela apropriada. No caso de montagens automatizadas, deve-se escolher uma tabela condizente com as ferramentas utilizadas. Desta forma, cada parte receberá uma soma de pontuações da tabela de manuseio, e terá seu índice próprio denominado Índice de Manuseio (*Feeding Index*). Este índice não deverá ultrapassar o valor de 1,5 e, caso isto aconteça, a peça deverá ser modificada (*redesign*). Tendo-se o índice de todas as peças pode-se calcular o outro MOP chamado de Taxa de Manuseio (*Feeding Ratio*), o qual possui um valor ideal igual a 2,5. É formulado por (MILES & SWIFT, 1992 apud BOOTHROYD, 1994):

$$\text{Feeding Ratio} = (\sum \text{Feeding Indexes}) / \text{Número de partes essenciais "A"} \quad (2)$$

Análise de Ajuste (Fitting Analysis): esta etapa utiliza o mesmo esquema de tabelas da anterior, mas irá determinar o custo relativo ao processo de inserção e ajustes na montagem de cada parte. Para montagens automatizadas é acrescentada uma análise adicional de prensão, que determina o quão fácil é a forma de segurar a peça. Novamente, cada peça terá um índice próprio, chamado de Índice de Ajuste (*Fitting Index*), que não deverá ultrapassar o valor de 1,5. Pode-se encontrar então a Taxa de Ajuste (*Fitting Ratio*), o terceiro MOP, de forma que o seu valor ideal deve ser menor ou igual a 2,5. É formulado (MILES & SWIFT, 1992 apud BOOTHROYD, 1994) por:

$$\text{Fitting Ratio} = (\sum \text{Fitting Indexes}) / \text{Número de partes essenciais "A"} \quad (3)$$

Portanto, para ocorrer um aumento no valor do índice de eficiência, os projetistas devem preocupar-se em eliminar o maior número de partes desnecessárias do conjunto "B", ou incorporá-las a outras peças. As peças do grupo "A", que geraram índices elevados, também devem ser modificadas para diminuir sua pontuação (ESKILANDER, 2001).

6. ESTUDO DE CASO

No estudo de caso proposto, a ferramenta DFA é aplicada a uma tampa metálica de combustível de um veículo automotivo em produção no Brasil. Para aplicar a ferramenta DFA, é utilizado um software que foi desenvolvido por IWAYA (2009), aplicativo este que utiliza o método de Lucas para a elaboração de suas rotinas de programação, as quais auxiliaram nas tomadas de decisões, bem como, na elaboração dos indicadores de melhoria.

6.1 Descrições do produto analisado

A tampa de acesso ao tanque de combustível (ou, simplesmente, tampa) mostrada na Figura 5 é um componente do veículo automotivo que tem a função de proteger o acesso ao tanque de combustível (posição fechada) e permitir o abastecimento de combustível (posição aberta). Atualmente, existem no mercado as tampas de combustível que são fabricadas em aço e plástico, mas, neste estudo de caso, será vista uma tampa de combustível do tipo metálica. O objetivo é eliminar o maior número possível de componentes da mesma, sem comprometer a sua função dentro do conjunto do veículo.

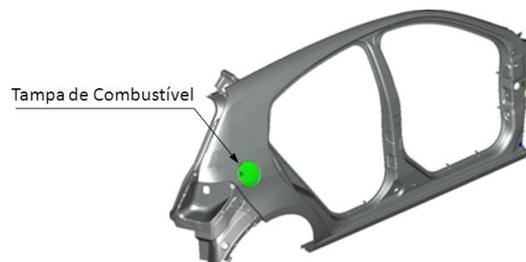


Figura 5. Localização da Tampa de Combustível em um veículo automotivo

6.2 Vista explodida da tampa de combustível antes da aplicação do DFA

A tampa de combustível estudada é composta por sete componentes, os quais são ilustrados pela Figura 6. Após esta é apresentada uma descrição de cada um dos componentes e sua função no sistema.

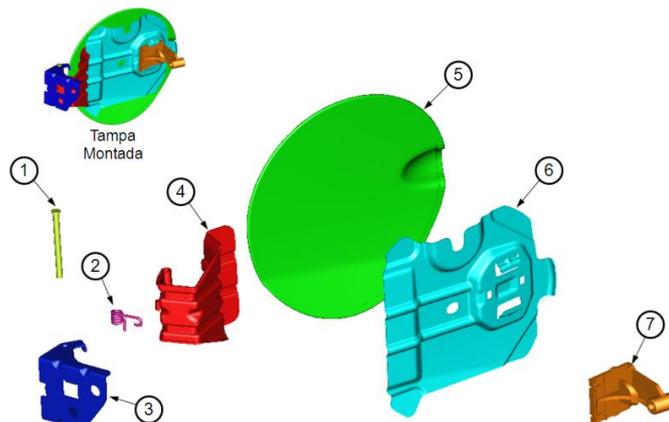


Figura 6. Vista explodida da tampa de combustível na condição inicial de projeto

- 1 – Pino Rebite: permite a rotação e fixação dos conjuntos formados pelas peças 4, 5, 6 e 7 com a peça 3;
- 2 – Mola de Torção: garante a permanência da abertura da tampa durante o abastecimento e facilita a operação de fechamento da mesma. A mola de torção é de dupla-ação, ou seja, exerce esforço na abertura e fechamento da tampa;
- 3 – Dobradiça Fixa: fixa a tampa na carroceria. A dobradiça fixa funciona como uma espécie de mancal;
- 4 – Dobradiça Móvel: une os painéis (itens 5 e 6) com o pino rebite;
- 5 – Painel Externo: Protege o acesso ao tanque de combustível (posição fechada) e permite o abastecimento de combustível (posição aberta);
- 6 – Painel Interno: reforça estruturalmente o painel externo, permite a união entre o painel externo e a dobradiça móvel, provê um alojamento para a capa do gargalho do tanque de combustível e aloja a trava plástica (peça 7);
- 7 – Trava Plástica: permite o travamento por intermédio de um atuador comandado pelo sistema elétrico do veículo (para veículos com trio-elétrico) e trava mecanicamente a tampa através da característica cilíndrica encontrada na parte superior da trava.

6.3 Aplicações do software de DFA na análise da tampa de combustível

Antes da aplicação da ferramenta de DFA é indispensável entender, através dos indicadores, a situação corrente do produto que está sendo analisado. Este entendimento advém das respostas a algumas perguntas sugeridas pelo software de DFA, as quais são baseadas, basicamente, em três grupos de análise.

Análise Funcional: visa promover uma reflexão do projetista referente às características de funcionamento do componente e, principalmente, a real necessidade funcional do componente dentro do sistema analisado. As perguntas mostradas na Figura 7 fazem parte do software de DFA e precisam ser respondidas pelo projetista. O preenchimento do questionário o ajuda a entender melhor a relação entre o componente analisado e a sua racionalização, ou seja, se há a possibilidade de comunização ou, até mesmo, de eliminação do componente. A redução do número de componentes traz importantes ganhos para a empresa fabricante do produto: rapidez e facilidade na montagem, melhor planejamento logístico, menos problemas no sistema, menor tempo requerido para validar o produto e redução de custos. As respostas referentes à análise do componente 4 (dobradiça móvel) podem ser observadas na Figura 7.

> Análise Funcional

Projeto Atual

Existe movimentos relativos entre esta parte e de todas as outras partes já analisadas?
 Sim Não

Está parte é de material diferente das demais partes já analisadas com as quais não houve movimento relativo?
 Sim Não

Esta parte é separada para permitir a sua substituição em serviços?
 Sim Não

Considerações da Especificação	Outras Opções
Está movimentação é essencial para o funcionamento do produto? <input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não	A parte deve ser separada para fornecer a movimentação necessária? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
O material diferente é essencial para o funcionamento do produto? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	A parte deve ser separada para satisfazer a necessidades de materiais diferentes? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
A substituição é essencial? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	A parte deve ser separada para permitir a substituições? <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
<input checked="" type="radio"/> Essencial <input type="radio"/> Não Essencial	



Figura 7 – Análise funcional da dobradiça móvel realizada na condição inicial da tampa

Análise de Manuseabilidade: vários aspectos de manuseio são abordados nesse grupo, dentro os quais podem ser citados: o tamanho e o peso da parte, a sua dificuldade para manuseio e orientação etc. Para cada resposta é adicionada uma pontuação ao resultado final do sistema (neste caso, a pontuação obtida, ou índice de manuseio, foi de 1,3). As respostas referentes à análise da mesma peça podem ser observadas na Figura 8.

> Análise de Manuseabilidade

Índice de Manuseio: 1.3

A - Tamanho e Peso da parte (Um dos seguintes)	B - Dificuldades de Manuseio (Todos os que se aplicam)	C - Orientação da parte (Um dos seguintes)	D - Orientação da rotação da parte (Um dos seguintes)
<input type="radio"/> Muito pequena - necessita ferramentas 1.5 <input checked="" type="radio"/> Conveniente - apenas uma mão 1 <input type="radio"/> Grande e/ou pesado necessita mais de uma mão 1.5 <input type="radio"/> Grande e/ou pesado necessita de duas pessoas ou ser içado 3	<input type="checkbox"/> Delicado 0.4 <input type="checkbox"/> Flexível 0.6 <input type="checkbox"/> Colante ou pegajoso 0.5 <input type="checkbox"/> Emaranhado 0.8 <input type="checkbox"/> Aninhamento de peças 0.7 <input type="checkbox"/> Afiado/Abrasivo 0.3 <input type="checkbox"/> Intocável 0.5 <input type="checkbox"/> Problema de pega / Escorregadio 0.2 <input checked="" type="checkbox"/> Sem dificuldades de manuseio 0	<input type="radio"/> Simétrica, sem orientação necessária 0 <input checked="" type="radio"/> Do início ao fim, fácil de ver 0.1 <input type="radio"/> Do início ao fim, não visível 0.5	<input type="radio"/> Simetria rotacional 0 <input checked="" type="radio"/> Orientação rotacional, fácil de ver 0.2 <input type="radio"/> Orientação rotacional, difícil de ver 0.4

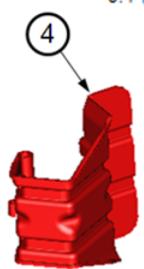


Figura 8 – Análise de manuseabilidade da dobradiça móvel realizada na condição inicial da tampa.

Análise de ajustes: esse grupo de análise aborda aspectos referentes à facilidade de montagem do componente. Fatores como a colocação da parte e sua fixação, direção do processo, inserção, acesso e/ou visão de montagem, alinhamento e força de inserção são analisados, e uma pontuação é adicionada ao resultado final do sistema (neste caso, a pontuação obtida, ou índice de ajuste, foi de 4,1). As respostas desta análise, ainda em relação à mesma peça, são ilustradas na Figura 9.

> Análise de Ajustes

Índice de Ajuste: 4.1

A - Colocação da Parte e Fixação (Um dos seguintes)	B - Direção do Processo (Um dos seguintes)	C - Inserção (Um dos seguintes)	D - Acesso e / ou Visão (Um dos seguintes)	E - Alinhamento (Um dos seguintes)	F - Força de Inserção (Uma das seguintes)
<input type="checkbox"/> Auto-fixação 1 <input checked="" type="checkbox"/> Necessário fixar (Escolher mais 1 dos seguintes) 2 <input checked="" type="checkbox"/> Auto-encaixe (ex.: snaps) 1.3 <input type="checkbox"/> Aparafusamento 4 <input type="checkbox"/> Rebitar 4 <input type="checkbox"/> "Bending" 4	<input type="radio"/> Linha reta, de cima para baixo 0 <input checked="" type="radio"/> Linha reta, não de cima 0.1 <input type="radio"/> Não é em linha reta 1.6	<input checked="" type="radio"/> Única 0 <input type="radio"/> Múltiplas Inserções 0.7 <input type="radio"/> Múltiplas inserções simultâneas 1.2	<input checked="" type="radio"/> Direto 0 <input type="radio"/> Restrito 1.5	<input type="radio"/> Fácil de alinhar 0 <input checked="" type="radio"/> Difícil de alinhar 0.7	<input checked="" type="radio"/> Nenhuma resistência à inserção 0 <input type="radio"/> Resistência à Inserção 0.6

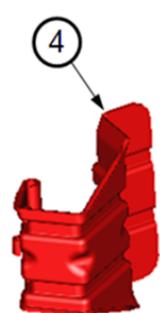


Figura 9 – Análise de ajustes realizada na condição inicial da tampa

Os índices de desempenho dos componentes da tampa de combustível antes da aplicação do DFA podem ser observados na Tabela 1. As cores indicam a aceitação do componente analisado segundo a metodologia abordada. As células em verde indicam que o índice atribuído ao componente é aceitável e as células vermelhas indicam que o índice é inaceitável.

Componente	Índice de Manuseio	Índice de Ajuste
Dobradiça Fixa	1.3	4.1
Dobradiça Móvel	1.2	4.1
Mola	3.2	8.2
Pino Rebite	1.0	7.2
Painel Externo	1.3	3.3
Painel Interno	1.3	3.3
Trava Plástica	1.2	4.0

Tabela 1 – Índices de desempenho da tampa de combustível antes da aplicação do DFA

Todas as peças pertinentes ao produto são separadas em dois conjuntos “A” e “B”, o conjunto “A” abriga as partes funcionais, e que são requeridas pela especificação do produto, e o conjunto B conterá as partes que trazem apenas funções secundárias ao mesmo. Nesta etapa é calculado o índice de eficiência, o qual deve exceder 60%. O cálculo para obtenção dos Índices de Ajuste e Manuseio pode ser observado na seção 5.1 deste artigo.

Um dos principais objetivos do DFA é desafiar o projetista a criar soluções que diminuam os índices mostrados na Tabela 1, levando-os a um valor aceitável dentro do método proposto por Lucas: o primeiro passo consiste em eliminar os componentes que não são essenciais em termos funcionais para o sistema em estudo; já o segundo, consiste em modificar os componentes essenciais, até que os indicadores alcancem um nível aceitável.

7. CRONOLOGIA DA ANÁLISE DO PRODUTO NA APLICAÇÃO DO DFA

7.1 Primeiro Passo: eliminação ou comunização de componentes não essenciais

A decisão de eliminar um componente do produto em análise é do projetista, porém o software o ajuda a tomar tal decisão com base nas questões a serem respondidas. Na tampa de combustível foram identificados dois componentes não essenciais. São eles: a mola de torção (item 2 da Figura 6) e o painel interno (item 6 da mesma figura).

As funções da mola são: garantir que a tampa permaneça aberta durante o abastecimento do veículo; e facilitar a operação de fechamento da mesma. Tais funções são possíveis porque a mola utilizada (de torção) é de dupla-ação, ou seja, exerce esforço tanto na abertura, quanto no fechamento da tampa. Em uma análise preliminar, sem a mola não seria possível manter a tampa aberta em uma condição de abastecimento do veículo. Já em uma análise mais detalhada, observou-se que uma pequena mudança no esforço de rebite do pino rebite (item 1 da Figura 6) cria um atrito entre a dobradiça fixa e dobradiça móvel, tornando assim possível a permanência da tampa aberta sem a mola.

Por sua vez, o painel interno (peça 7 da Figura 6) tem como principais funções: reforçar estruturalmente o painel externo; permitir a união entre o painel externo e a dobradiça móvel; prover um alojamento para a capa do gargalho do tanque de combustível; e alojar a trava plástica. Algumas mudanças de conceito de componente e processo foram necessárias para que a eliminação do painel interno fosse possível. O projeto da nova tampa, após a aplicação do DFA, pode ser observado na Figura 11. As mudanças que foram feitas nos componentes estão descritas abaixo:

- A dobradiça móvel (item 4 da Figura 10) foi aumentada para permitir a união direta com o painel externo (item 5 da mesma Figura);
- A espessura do painel externo (item 5) foi aumentada para suprir a nova concepção estrutural do painel interno. O flange do painel externo foi modificado de fechado para aberto, permitindo assim a utilização do processo de solda a ponto por resistência;
- A trava plástica (item 7) foi modificada para uma trava do tipo metálica;

Algumas mudanças de processo também foram necessárias para tornar possível a redução do número de peças. Estas mudanças estão descritas a seguir:

- O processo de grafagem, mais conhecido como processo de “*hemming*” (LANGE, 2006), que é a união mecânica entre o painel externo e as peças de interface, foi substituído pelo processo de solda a ponto por resistência;
- A força de rebite do pino rebite foi aumentada no intuito de se criar um atrito entre a dobradiça móvel e a dobradiça fixa.

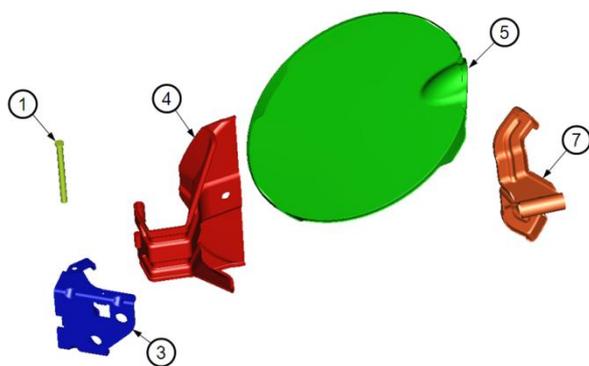


Figura 10 – Vista explodida da portinhola após a aplicação do DFA

7.2 Segundo Passo: melhoria dos processos existentes

A utilização da ferramenta de DFA requer uma responsabilidade que não é só do projetista: a área de manufatura também desempenha um papel importante na redução dos índices de manuseio e de ajuste. A Tabela 2 mostra os novos índices de desempenho referentes ao novo produto. A mola e o painel interno não são mensurados no novo conceito, pois já não fazem mais parte da tampa.

Componente	Índice de Manuseio	Índice de Ajuste
Dobradiça Fixa	1.3	3.4
Dobradiça Móvel	1.2	1.1
Mola	-	-
Pino Rebite	1.0	7.2
Painel Externo	1.3	3.3
Painel Interno	-	-
Trava Plástica	1.0	1.0

Tabela 2 – Índices de desempenho da tampa de combustível após a aplicação do DFA

Os processos de manufatura dos componentes da tampa foram aperfeiçoados:

- Na dobradiça móvel, o *Índice de Ajuste* passou de 4.1 para 1.1 devido à mudança do processo de manufatura, que passou de grafagem para soldagem;
- Na trava plástica, o *Índice de Manuseio* passou de 1.2 para 1.0, e o *Índice de Ajuste* passou de 4,0 para 1,0 o que também se deu devido à mudança do processo de manufatura, passando de montagem manual para montagem com dispositivo (solda).

7.3 Análises comparativas dos resultados

A importância da aplicação da ferramenta de DFA pode ser mais facilmente observada tomando-se, como exemplo, o produto ilustrado na Figura 11. A redução da quantidade de componentes e a melhoria nos processos de manufatura tornam o produto mais simples, leve, com menor custo e com baixa complexidade de montagem. Os resultados comparativos finais, segundo o método de Lucas, estão demonstrados nas Tabelas 3 e 4.

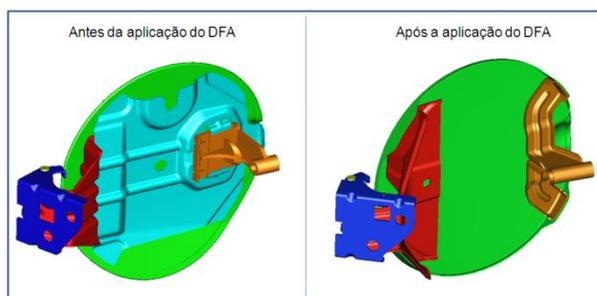


Figura 11 – Imagem comparativa entre as tampas.

Componente	Antes do DFA		Após o DFA	
	Índice de Manuseio	Índice de Ajuste	Índice de Manuseio	Índice de Ajuste
Dobradiça Fixa	1.3	4.1	1.3	3.4
Dobradiça Móvel	1.2	4.1	1.2	1.1
Mola	3.2	8.2	-	-
Pino Rebite	1.0	7.2	1.0	7.2
Painel Externo	1.3	3.3	1.3	3.3
Painel Interno	1.3	3.3	-	-
Trava Plástica	1.2	4.0	1.0	1.0

Tabela 3 – Tabela de resultados comparativos dos componentes da tampa.

	Antes do DFA	Após o DFA
Total de Peças do Sistema	7	5
Eficiência Funcional	71%	100%
Taxa de Manuseio	2.1	1.2
Taxa de Ajuste	6.8	3.2

Tabela 4 – Tabela de resultados comparativos entre as tampas.

8. CONCLUSÕES

A aplicação da ferramenta de DFA é, de fato, de grande importância durante a fase de conceituação do projeto. Uma eficiente aplicação dessa ferramenta pode reduzir, consideravelmente, os custos de ferramental, componentes e tempo de desenvolvimento. Em muitos casos, pode melhorar a qualidade do produto, se considerar que quanto menos componentes há em uma peça, menor será a incidência de problemas.

A ferramenta DFA não executa as melhorias de forma automática; a experiência do utilizador da ferramenta é, ainda, parte fundamental neste tipo de processo de análise.

No estudo de caso abordado neste trabalho, houve uma redução de 10% no custo da tampa de combustível e uma considerável melhoria na eficiência do desempenho de montagem, que passou de 71% para 100%.

Seria possível reduzir 5% no custo de ferramental se o DFA tivesse sido aplicado na fase conceitual do projeto.

A solução encontrada no estudo de caso está sendo testada para posterior implementação no veículo.

9. AGRADECIMENTOS

À General Motors dos Brasil que autorizou a divulgação desse trabalho e, em especial, a Antonio Caputo, Jorge Bersani e Edilson Marana.

Ao analista Marco Antonio Torrez Rojas e ao engenheiro Leonardo Horn Iwaya (pelo apoio na utilização do software de DFA visto neste trabalho).

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, G. F. Aplicação da metodologia DFMA – Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves. 165p. Dissertação de Mestrado, USP – EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2007.

BOOTHROYD, G.; DEWHRUST, P.; KNIGHT, W. “Product Design for Manufacture and Assembly”. 1 Ed. New York: Marcel Dekker, Inc. 1994.

BOOTHROYD, G. Product design for manufacture and assembly. Computer-aided Design, Kingston, v. 26, n. , p.505-20, 1994.

BOOTHROYD DEWRHUST INC. Design For Assembly Simplicity Pays Off. Disponível em: <http://www.dfma.com/software/dfa.htm>. Acesso em: 20 março 2009.

ESKILANDER, S. “Design for Automatic Assembly – A Method for Product Design: DFA2”, tese de doutorado, Royal Institute of Technology, Division of Assembly Systems, Stockholm, Suécia, 2001. 190pp.

IWAYA, L.H. Desenvolvimento de uma aplicação de apoio ao projeto para montagem. 100p. TCC engenharia mecânica, UDESC, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, SC, Brasil, 2009

KAMINSKY, P.C. Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000. 132p.

KRUMENAUER, F.Z.; MATAYOSHI, C.T.; SILVA, I.B.; STIPKOVIC FILHO, M.; BATALHA, G.F. Concurrent Engineering and DFMA approaches on the development of automotive panels and doors. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, v. 31, p. 690-8, 2008.

LANGE, Ch. Etude Physique et Modelisation Numerique du Procédé de Sertissage de Pièces de Carrosserie, Tese de doutorado, ENSMP, Paris, França, 2006, 38 pp.

LE POCHAT, S. Integration de l’eco-conception dans les PME: Proposition d’une méthode d’appropriation de savoir-faire pour la conception environnementale des produits. Tese de doutorado, especialidade em engenharia industrial, École Nationale Supérieure d’Arts et Métiers ENSAM - Centre de Paris, França, 2005. 289 pp.

MATAYOSHI, C. T.; BATALHA, G.F. Estudo de Influência dos requisitos de processo e ciclo de vida no desenvolvimento de peças estampadas automotivas. 24p. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – 2007.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, JC; SILVA, S L; ALLIPRANDINI, D H; SCALICE, RK. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. 1. Ed. São Paulo: Saraiva 2006. v. 1. 542 p.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

DFA (DESIGN FOR ASSEMBLY) APPLICATION: CASE STUDY OF AUTOMOTIVE FUEL FILLER DOOR

Alisson Alves Sarmento, alisson.sarmento@gmail.com¹

Cleber Alves Sarmento, cleber.sarmento@gmail.com²

Rodrigo Lima Stoeterau, rodrigo.stoeterau@poli.usp.br³

Marco Stipkovic Filho, mstip@uol.com.br³

Gilmar Ferreira Batalha, gilmar.batalha@poli.usp.br³

^{1,2,3} Laboratory of Manufacturing Engineering - Escola Politécnica – University of Sao Paulo – Dept. of Mechatronics and Mechanical Systems Engineering. Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508.970 – São Paulo – SP – BRAZIL.
Phone: ^{1,2} +55 11 4234-8862. / ³ +55 11 309-15763.

Abstract: *This article presents a case study where the DFA (Design for Assembly) technique is applied to an automotive fuel filler door of a currently produced vehicle. The Luca's methodology, which is used in this study, can be adopted not only for the development phase of new products, but also for already developed products, reducing the number of components and the costs. A brief historical report and a scientific basement of this methodology are presented. The application of this technique enabled a product cost saving of 10%, a tooling saving of 5%, and a significant product simplification without losing its original functionality.*

Palavras-chave: *Product Development Process, Design for Assembly, DFA,*