

ENGENHARIA SIMULTÂNEA E PROJETO ORIENTADO PARA A MANUFATURABILIDADE E MONTAGEM DE PORTAS AUTOMOTIVAS ³

Fábio Zuchetto Krumenauer

General Motors do Brasil

Engenharia de Produto

Av Goias, 2.769

09550-051 – São Caetano do Sul, SP – Brasil

E-mail: fabio.krumenauer@gm.com

Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos

Av. Prof. Mello Moraes, 2231

05508-970 – São Paulo, SP – Brasil

E-mail: gilmar.batalha@poli.usp.br

Abstract

The increase global competition has led to immense interest in the development of new ways of increasing productivity and quality and cost reduction. It is well known fact that the costs of manufactured products are largely determined at the design stage and the manufacturability criteria are important to consider early in the design. To be able to cut life cycle costs at an early stage the following so called DFX tools have been developed and the analysis of the excellency of the product in the ambient scene is also becoming usual in the practical product design activities. In the automotive sectors, considering Europe and United States, recycling, dismantling and environmental aspects have great importance in the development of the automobile, as published in referring articles to these subjects. Criteria of assembly and manufacturability are absorbed subjects already in the project; however, in the aspect of attendance to the ambient criteria in the sector of doors manufacture, this is not applied to the most of projects.

Key words: concurrent engineering, body-in white, DFM/A, Manufacture, LCA, ULSAB, ULSAC

Resumo

O crescimento da competitividade global tem aumentado o interesse das empresas em desenvolver novas maneiras de melhorar a produtividade e qualidade de seus produtos, obtendo ainda se possível uma redução de custo nos processos de fabricação e no próprio produto. Ferramentas capazes de reduzir custos durante o ciclo de vida do produto no início do desenvolvimento do projeto, se enquadram no DFX – Projeto orientado para a excelência, e isto demonstra a preocupação das empresas em relação à todo o ciclo de vida do produto. Nos setores automotivos são considerados requerimentos os aspectos ambientais, desmontagem e reciclabilidade nos Estados Unidos e Europa. Critérios de desmontagem e manufaturabilidade são assuntos já absorvidos no projeto, porém aspectos de atendimento aos critérios ambientais não está plenamente difundida.

Palavras-chave: Engenharia simultânea, carroceria automotiva, DFM/A, Manufatura, LCA, ULSAB, ULSAC

³ Artigo extraído do Trabalho de Conclusão de Curso “Engenharia simultânea e Projeto Orientado para a Manufaturabilidade e Montagem de Portas Automotivas” de Fábio Zuchetto Krumenauer, apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre Profissional em Engenharia Automotiva, sob a orientação do Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha

INTRODUÇÃO

As indústrias automotivas japonesas, a partir do final da década de 80 e início da década de 90, estavam em plena expansão, ao contrário do que estava ocorrendo com a indústria americana e européia. A base para esse sucesso deve-se ao fato de que os japoneses conseguiram fazer lançamentos no mercado mais rapidamente que os concorrentes e com custos mais competitivos, utilizando de forma adequada às ferramentas de gerenciamento da qualidade total, a engenharia simultânea e as inovações dos conceitos produtivos e logísticos.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Segundo Boothroyd; Dewhurst e Knight (1994), usando-se a contabilidade tradicional de custos, o projeto representa aproximadamente, 5% do custo total de um produto, sendo que cerca de 70% do custo do produto é influenciado durante a fase de projeto, enquanto que o material, custos diretos e indiretos podem contribuir com os 30% restantes. Então, a partir da perspectiva da manufatura, menos de 30% do custo do produto podem ser afetados por iniciativas de melhorias, admitindo-se que o produto já esteja definido. Já Rozenfeld e Vega (1995 apud Omakawa, 1999, p.11) afirmam que a influência do projeto no custo do produto chega a 85%, ou seja, acima dos 70% previstos por Boothroyd; Dewhurst e Knight (1994). Portanto, baseando-se nas duas fontes citadas anteriormente, conclui-se que o projeto do produto exerce uma enorme influência na competitividade da empresa, principalmente no que se refere aos custos do produto.

DFM

O DFM é um conjunto de métodos e ferramentas que suportam a engenharia simultânea e que podem ser interpretados como uma estrutura de processos de engenharia simultânea e ferramentas analíticas que proporcionam aos grupos multidisciplinares de desenvolvimento de produto e processo, condições de projetar um produto que seja manufaturado adequadamente.

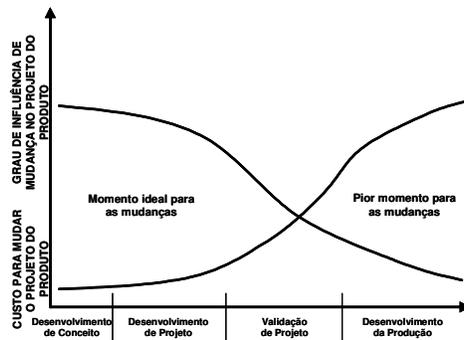


Gráfico 1. Curvas de custo e nível de influência durante o projeto.

DFA

O DFA é uma especialidade do DFM e é um método estruturado de melhoria dos componentes do produto e do seu processo de montagem. Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (1994), as duas técnicas, DFM e DFA, são aplicações essenciais no desenvolvimento do projeto, tanto que é definido como DFMA.

De acordo com Boothroyd, Dewhurst e Knight (1994), os seguintes critérios são considerados em um estudo DFA:

- Reduzir e aperfeiçoar o número e os tipos de componentes;
- Utilizar o encaixa ideal entre os componentes;
- Utilizar o conceito de montagem por camadas (de cima para baixo e da frente para trás). Montagem no sentido da gravidade;
- Minimizar os desvios de orientações dos componentes no momento da montagem;
- Eliminar a necessidade de ajustes;
- Projetar componentes de modo que sejam auto-encaixa ou fáceis de encaixar;
- Assegurar fácil acesso e visualização para montagem;
- Facilitar o manuseio dos componentes e assegurar a segurança;
- Projetar componentes que não gerem dúvidas de montagem;
- Minimizar o número de ferramentas para o processo.

Os benefícios na utilização do DFM e DFA são:

- Fabricação e montagem mais simplificadas;
- Melhor ergonomia para os operadores;
- Qualidade consistente e melhorada;
- Complexidade reduzida;
- Redução nos re-trabalhos, perdas e custos de garantia;
- Redução no tempo de logística;
- Redução do tempo de execução dos projetos;
- Redução dos problemas de produção;
- Redução no custo do produto e investimento.

DFX

A implementação do DFA e DFM trouxe enormes benefícios, como por exemplo, a simplificação do produto, redução do custo de fabricação e montagem, melhoria da qualidade e redução do prazo de desenvolvimento e lançamento do produto. Mais recentemente, esforços para reduzir o custo total do ciclo de vida do produto através da inovação do projeto estão se tornando uma parte essencial da indústria manufatureira atual (Kuo; Huang; Zhang, 2001).

Avaliação do ciclo de vida do produto

A figura 1 (Kaminski, 2000), mostra o ciclo básico de fluxo de materiais de um produto e que poderá ser utilizado como exemplo de ciclo de vida de um produto genérico, fluxo tal que está baseado em quatro grandes fases: produção, distribuição, consumo e recuperação.

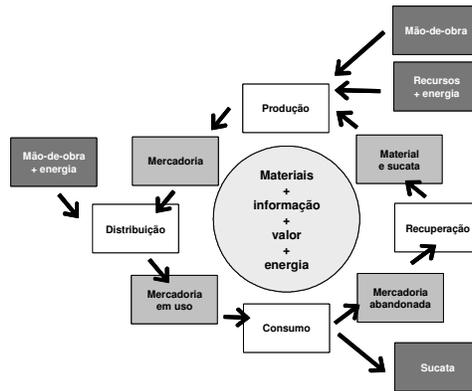


Figura 1. Ciclo de produção e consumo (Kaminski, 2000).

De acordo com Figueiredo e Jacovelli (2006), da mesma forma que uma boa manufatura pressupõe uma boa montagem, projetar o ciclo de vida do produto é algo mais abrangente e complexo, que envolve não só planejar, durante o projeto, a excelência da sua fabricação, mas também identificar suas mais importantes fontes de impactos ambientais e o correspondente perfil de consumo de recurso de todo o ciclo de vida, ou seja, do berço ao túmulo (figura 2).



Figura 2. Abrangência de abordagens de projeto (Figueiredo e Jacovelli, 2003).

DFE

O DFE é uma ferramenta da Ecologia Industrial que leva em consideração todos os aspectos do ambiente em cada etapa do processo do desenvolvimento de um produto. Esforça-se assim em reduzir o tanto quanto possível, o impacto no ambiente desse produto durante o seu ciclo de vida, desde sua fabricação até seu descarte. Isso somente será possível, aliando-se os resultados que são obtidos da análise do LCA com as experiências profissionais dos engenheiros e projetistas (Addouche, 2003).

Conforme Hockerts et al. (1998), em termos gerais, espera-se que o DFE atenda os seguintes critérios:

- Forneça resultados significativos baseados em dados de LCI e em descrições simplificadas do produto;
- Seja amigável e não exija conhecimentos específicos em LCA dos usuários (Engenharia, Projeto, P&D ou Marketing);
- Promova ambiente favorável para troca de conhecimentos e idéias entre membros da organização;
- Seja adequado de acordo com a necessidade de cada empresa para que cada uma possa estabelecer metas e resultados;
- Mostre parâmetros indicadores do final de vida do produto.

DFD

Segundo Desai e Mital (2003), no contexto da engenharia, a desmontagem pode ser definida como o processo organizado de desmontar um produto sistematicamente montado (conjunto de componentes). Os produtos podem ser desmontados para permitir a manutenção, facilitar a instalação inicial, o reparo e a modificação em campo ou em uso e promover a valorização dos componentes e materiais no fim de sua vida útil como a atividade de re-uso, re-manufatura e reciclagem.

Segundo Duarte (1997), os benefícios mais evidentes do DFD são:

- Componentes de maior importância podem ser recuperados;
- Melhor separação dos metais, agora sem contaminação;
- Partes desmontáveis de não metálicos podem ser reprocessadas.

O gráfico 2 mostra as curvas de custos e benefícios da reciclagem e custos de desmontagem conforme há aumento da taxa de desmontagem do produto. Ilustra também o ponto ótimo para essa situação.

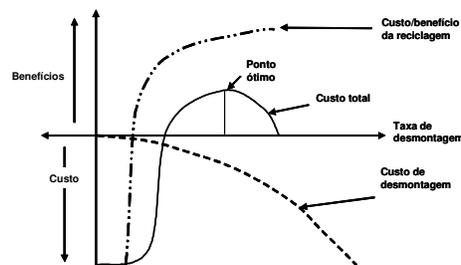


Gráfico 2. Determinação do ponto ótimo para o planejamento da reciclagem e desmontagem do produto (Addouche, 2003).

DFR

No cenário europeu, segundo Addouche (2003), a recuperação e reciclagem do aço são atividades que geram rendimentos significativos. Nos países industriais, mais de 70% do aço dos bens de

consumo que chegam ao final de vida é recuperado totalmente. Somente na França, mais de 18 milhões de toneladas de aço são produzidas por ano. Em 1993, o equivalente a 60% da produção relativa ao ano (10,3 milhões de toneladas) pôde ser coletado.

A tabela 1 relaciona o conteúdo em massa dos principais componentes e materiais do automóvel produzido no Brasil. Observa-se que os metais são preponderantes em relação aos outros materiais e, portanto, possuem grande importância no ciclo de reciclagem automóvel.

Tabela 1. Conteúdo relativo da composição em massa de cada componente e material do automóvel (Unilivre, 2005).

Componentes/Materiais	Composição mássica relativa no carro
Metais	82,48%
Pneus	4,25%
Vidros	3,35%
Não-metálicos	2,96%
Plásticos	1,68%
Borracha	1,42%
Bateria	1,29%
Espuma	1,29%
Chicote elétrico	0,52%
Óleos	0,41%
Tecidos	0,35%

PROCESSOS DE JUNÇÃO

A indústria automotiva emprega atualmente diversos tipos de processos de soldagem para a união de painéis estampados com o objetivo de compor os conjuntos que constituirão a estrutura da carroceria do veículo, assim como dos demais componentes como as portas de acesso dos passageiros e de acesso aos compartimentos do motor e do porta-malas.

Soldagem

Segundo Batalha (2003), a soldagem é a união de materiais na zona de soldagem mediante o emprego de calor e/ou forças com ou sem material de adição. Pode ser facilitada através do emprego de materiais auxiliares, como por exemplo, gases de proteção, pós ou pastas de soldagem. A energia necessária para a soldagem é fornecida externamente.

As vantagens dos processos de soldagem são:

- Maior uniformidade do material base com o cordão de solda;
- Menores exigências de limpeza das superfícies;
- Menor exigência na tolerância da junção;
- Resistência do material de base pode ser atingida no cordão de solda;
- Sem envelhecimento.

Solda a ponto

Na solda a ponto, após a aplicação da força no eletrodo, aciona-se a corrente de soldagem de tal modo que no ponto onde as peças estão sendo tocadas pelo eletrodo surge uma resistência elétrica do contato, provocando o aquecimento da peça até a temperatura de fusão. Surgindo, então, um ponto de união com a forma elipsóide de uma lente, o ponto de solda. Após a soldagem, a corrente elétrica é interrompida e só após a solidificação do ponto de solda, o eletrodo é retirado, removendo-se a pressão. Neste processo, trabalha-se em geral com correntes elevadas (até $100kA$), tensões relativamente pequenas (até $20V$) e tempos de soldagem os mais curtos possíveis (da ordem de dezenas de segundos).

Solda a laser

A soldagem a laser é empregada como um processo de junção alternativo no qual se pode obter maior resistência no ponto da solda, há menor zona termicamente afetada, o que implica em menor distorção térmica; o cordão de solda é mais estreito, que reduz o tempo para o trabalho de acabamento da solda; possibilita a automação seqüencial do trabalho de soldagem e é possível utilizar em locais em que se tem acesso a somente um dos lados das superfícies a serem soldadas como, por exemplo, em tubos.

As principais características da soldagem a laser por condução térmica, segundo Batalha (2003), são:

- Velocidade de avanço comparativamente menor;
- Maior espectro de energia ($= Potência/Velocidade$);
- Seção do cordão de solda em forma de meio círculo com largura do cordão com aproximadamente $2mm$ de profundidade;
- Contorno externo e raiz do cordão e solda muito uniforme;
- Junção por soldagem apenas de materiais com uma camada de óxido de baixo ponto de fusão.

As principais características da soldagem a laser profunda, segundo Batalha (2003), são:

- Elevada velocidade de avanço;
- Menor espectro de energia;
- Menor distorção da peça;
- Maior razão *profundidade / largura de cordão* (em comparação à soldagem por condução);
- Contorno superior e raiz do cordão de solda muito uniformes.

Junção por conformação

A junção por conformação em chapas, tubos e perfis pode ser classificada em dobras, extrusão com parcela de corte ou sem parcela de corte.

A junção por conformação possui dois tipos de subdivisões: segundo a formação dos elementos de junção, chamadas de junção por conformação com e sem parcela de corte ou segundo a cinemática das partes da ferramenta, chamadas de junção por conformação em etapa única ou em etapas múltiplas.

PROGRAMA ULSAB

O programa de Conceitos Avançados de Veículo ULSAB (*Ultra Light Steel Auto Body - Advanced Vehicle Concepts*) teve foco no desenvolvimento de aplicações de aço para veículos a partir de 2004. O conceito ULSAB-AVC revolucionou os tipos de aço normalmente aplicados em arquiteturas de veículos, assim como a redução do seu consumo desenho de veículos. Em sua execução, os conceitos foram desenvolvidos para a Classe C Européia ou, também chamada de Classe Golf, e para a Classe Média Norte Americana que é o alvo do programa PNGV, também referenciada como veículos da Classe PNGV. Entretanto, a estrutura do chassi do veículo emprega uma grade avançada de aço, que fornece intensificada resistência com excelente conformação de peças. O chassi veículo ULSAB-AVC usa 100% de aço da grade de alta resistência, dos quais mais de 80% são Aços Avançados de Alta Resistência (*Advanced High Strength Steel – AHSS*). Esses aços são combinados com as mais avançadas tecnologias de manufatura e junção para alcançar o desenho estrutural eficiente e atingir aspectos de segurança encontrados nos conceitos ULSAB-AVC. A chave para alcançar os objetivos do programa foi reunir antecipadamente os requerimentos de impacto com aço de 2004, alcançando o delicado balanço de eficiência de massa sem comprometer a segurança.

O veículo conceito Classe PNGV resultante obteve massa inferior a 1000kg e teve a capacidade de alcançar uma taxa de 5 estrelas em segurança (veja tabela 2). Ele também alcançou o objetivo de consumo de combustível PNGV, alcançando 68 milhas por galão (equivalente a 28,9 km/l) em um ciclo americano combinado de direção (*U.S. Driving Cycle*). O conceito AVC não pode custar mais para ser produzido se comparado com a mesma família de *sedans* para um alto volume de 225.000 unidades por ano. Os dados de referência indicam que o preço de venda dos veículos ULSAB-AVC da Classe PNGV pode ser menor que o preço de venda dos veículos correntes da mesma classe.

Tabela 2 – Comparativo em segurança, custo e consumo de combustível.

Taxa potencial de segurança:		
	Classe C	Classe PNGV
US-NCAP	***** ou *****	*****
US-SINCAP	*****	*****
Euro-NCAP	*****	*****
Estimativa de custos:		
	Classe C	Classe PNGV
Taxa de custo de manufaturar a 225.000 unidades/ano	US\$ 9.000 a US\$ 10.200	
Consumo de combustível:		
	Classe C	Classe PNGV
Ciclo europeu de direção (NEDC 2000)	4,4 L/100 km (gasolina) 3,2 L/100km (diesel)	4,5 L/100 km (gasolina) 3,4 L/100 km (diesel)
Ciclo americano de direção (Estr. e cidade combinados)	53 mpg (gasolina) 73 mpg (diesel)	52 mpg (gasolina) 68 mpg (diesel)

Processos de Manufatura

Na estrutura da carroceria e fechamentos combinados, os estampados permanecem como o processo dominante, e podem ser utilizados como um processo alternativo ao processo de hidroconformação de chapas, que totaliza 13% da massa total das peças. O uso de tubos representa aproximadamente 16% da massa total.

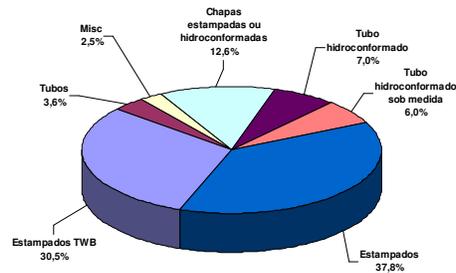


Gráfico 3 – Processos de manufatura na estrutura da carroceria e fechamentos combinados (ULSAB-AVC Classe PNGV)

Estampagem

A estampagem é o processo de manufatura dominante usado para fazer peças estruturais em aço na indústria automotiva. ULSAB-AVC usa 78% da massa da estrutura da carroceria em peças estampadas. Essa gama de peças compreende complicados *blanks* sob medida, como o Painel lateral externo dos veículos, até peças de estampagem simples, como o *crossmember* ou o *dash*. ULSAB-AVC demonstra que esse processo continua sendo a base da indústria, mesmo com o crescimento do uso de grades de aço mais complexas.

Blanks soldados sob medida

Quando a estrutura de carroceria do ULSAB original foi introduzida em 1998, ela havia sido desenhada para ter vantagem em 45% de TWBs na sua massa. Essa tendência tem continuado em 2002 com a introdução das soluções ULSAB-AVC. O desenho ULSAB-AVC incorpora extensivo uso de TWBs, utilizando experiências anteriores adquiridas do programa ULSAB. Por exemplo, o princípio do desenho do painel lateral externo do veículo Classe PNGV usa um layout de *blank* similar ao que é utilizado no ULSAB, mas ele especifica AHSS para algumas áreas.

Tabela 3 – Peças TWB no ULSAB-AVC

Descrição	No. de peças em blanks	Massa (kg)	
		Classe C	Classe PNGV
Painel Lateral Externo LE/LD	3 ou 5	15,6	20,8
Caixa de Roda Interno LE/LD	4	2,9	3
Assoalho traseiro	4	12,6	16
Reforço traseiro LE/LD	2	3,9	4,6
Rocker Interno LE/LD	2	4,2	4,3
Reforço interno da coluna B LE/LD	2	5,4	-
Extensão Externa do Assoalho traseiro LE/LD	2	-	1,3
Massa total das peças TWB		76,6	84
Massa total da Estrutura da Carroceria		202	218

Tubos

A estrutura da carroceria e o fechamento do ULSAB-AVC foram desenvolvidos utilizando uma gama de aços tubulares hidroconformados ou para serem usados como tubos com perfis pré-definidos.

Tabela 4 – Aplicações de tubos no ULSAB-AVC

Descrição	Classe C	Classe PNGV
Longarinas da carroceria	4 tubos	4 tubos
Crossmembers da carroceria	3 tubos	4 tubos
Painel de instrumentos	3 tubos	3 tubos
Subframe dianteiro	1 tubo	1 tubo
Estrutura dos bancos dianteiros	8 tubos	8 tubos
Suspensão traseira	3 tubos	3 tubos
Portas	8 tubos	16 tubos
Porta traseira	1 tubo	-
Total	31 tubos	39 tubos

Material dos tubos

Todos os tubos do ULSAB-AVC são fabricados de aço em bobina com conformação contínua e processo de solda a laser ou solda ultra-sônica. Em geral, o processo de manufatura dos tubos aumenta a resistência e reduz o alongamento quando conformados em formas circulares, retangulares ou octogonais. A quantidade de trabalho a frio tende a aumentar como o diâmetro do tubo tende a diminuir. Entretanto, o processo de conformação pode ser desenhado para minimizar a quantidade de trabalho a frio e manter o alongamento disponível no tubo para subsequente operação de manufatura como curvatura ou hidroconformação.

Hidroconformação das chapas

O processo de Hidromecânico Ativo de Hidroconformação de chapas (AHM) foi explorado e aplicado ao painel do teto do ULSAB original. Então, no projeto ULSAB, o processo AHM foi desenvolvido assim como aplicado para os painéis externos das portas. Isso processo emergente ajudou a desenvolver maior extensão na área central do painel, para ter vantagem da habilidade de trabalho do aço durante o processo de manufatura e, portanto, obter a resistência de deformação requerida na medição. O processo AHM reduz o custo de ferramental, pois somente o macho precisa ser construído. A ferramenta fêmea é substituída por um processo hidráulico pressurizado. Nesse processo, após o carregamento do *blank* na prensa e a aplicação da pressão no suporte da ferramenta, o *blank* é pressurizado com um fluido hidráulico, para conformar o *blank* na área plana central do painel. Então, a ferramenta macho entra em contato com o *blank* e dá a forma final ao painel. Outra vantagem desse processo é que somente uma das faces do painel tem contato com o ferramental, pois o outro lado entra em contato com uma membrana flexível que separa o *blank* do fluido hidráulico, o que mantém excelente qualidade de superfície.

Junção das peças para a Montagem

As tecnologias de soldagem do ULSAB-AVC foram MIG, a ponto e laser convencional. Montagens com solda a laser possibilitam testado desempenho estrutural e a habilidade de solda onde somente um dos lados dos componentes está acessível, como a solda de tubos. Essa tecnologia tornou-se essencial com a incorporação de peças tubulares hidroconformadas ou outras seções fechadas.

O processo de ligação adesiva também foi aplicado para unir o conjunto do túnel ao conjunto do assoalho, e para unir o conjunto da lateral interna da carroceria ao conjunto do assoalho.

Tabela 5 – Tecnologias de junção da estrutura da carroceria do ULSAB-AVC

Descrição	Classe C	Classe PNGV
Solda Laser	114 m	100 m
Solda Ponto	723	814
União adesiva	1,6 m	1,6 m
Solda MIG	< 1 m	< 1 m

PROGRAMA ULSAC

Os objetivos do programa *Ultra Light Steel Auto Closure* (ULSAC) foram de definir o estado-da-arte dos processos de fechamento de portas, para desenvolver conceitos de fechamento leves que são estruturalmente sólidos com custos adequados e para construir e testar um conceito de fechamento representativo para validação de todos os conceitos desenvolvidos na Fase de Conceitual.

Para alcançar esses objetivos, o programa foi estruturado em duas fases:

- Fase Conceitual – estudos de trabalhos;
- Fase de Validação – manufatura de protótipos para demonstração.

Fase Conceitual

A fase conceitual finalizou no verão de 1998. A busca da fase conceitual demonstrou conceitos de desenhos para todos os tipos de fechamentos: portas, painéis de cofres, tampas de porta-malas e tampas traseiras. Esses fechamentos leves:

- Mantém a desempenho estrutural;
- São até 32% mais leves que a média dos padrões de fechamento;
- São 10% mais leves que o melhor da categoria;
- Utiliza os processos de manufatura e montagem e os aços de manufatura atuais e
- Podem ser construídos sem penalidade nos custos.

Fase de validação

O consórcio da ULSAC selecionou o conceito da porta com pouca armação para validação. A fase de validação começou em novembro de 1998 e está ainda em andamento. O objetivo geral foi

construir a porta com pouca armação e testar o desempenho estrutural. As atividades do programa na fase de validação foram gerenciar os detalhes de desenho, engenharia, análise CAE assim como a otimização do desenho para manufaturabilidade e montagem. Atividades adicionais foram a seleção de fornecedores e o desenvolvimento do modelo de custo, teste e entrega do protótipo de demonstração para o consórcio da ULSAC.

Testes e resultados

Na fase de validação da ULSAC, para a estrutura da porta do ULSAC DH foi assumido um teste para validar o desenho e para selecionar o material que melhor se enquadra para a manufatura do painel externo da porta dianteira.

Dois tipos de testes foram executados:

- Teste para desempenho estrutural;
- Teste para resistência ao amassamento e conserva de óleo.

Tabela 7. Resumo dos resultados de testes estruturais

	FMVSS 214	Porta A	Porta B	Porta C	ULSAC DH
Resistência inicial ao amassamento com 6" (kN)*	? 10,01	8,55	6,18	7,33	6,18
Resistência intermediária ao amassamento com 12" (kN)*	? 15,57	7,73	11,21	13,33	11,51
Amassamento com força pico (kN)	? 31,14	15,17	25,56	24,59	38,9

* Força média

Análise econômica

Parte do programa da ULSAC foi assegurar uma análise econômica para determinar os custos efetivos de manufatura para a solução desenhada. O objetivo foi estabelecer uma estimativa confiável para o a estrutura da porta do protótipo de demonstração ULSAC utilizando as práticas da engenharia de manufatura automotiva, processos de engenharia e estimativa de custos.

Tabela 8 – Análise de custos para a estrutura de portas do protótipo de demonstração ULSAC

	ULSAC porta LD/LE	"Estado da arte" Porta genérica Porta LD/LE
Fabricação das peças	\$79	\$91
Material	\$28	\$48
Estampagem	\$15	\$16
Blank estampado sob medida	\$12	\$20
Tubo hidroformado	\$15	\$0
Peças compradas	\$9	\$7
Montagem	\$54	\$47
Custo total das portas (2)	\$133	\$138

A meta do programa ULSAC tem sido alcançada com a construção e teste da estrutura de porta do protótipo de demonstração ULSAC. O volume de massa normalizada da estrutura de porta do protótipo de demonstração ULSAC com $13,27 \text{ kg/m}^2$ é significativamente inferior ao objetivo de

15,50 kg/m². Comparado com a estrutura de porta de referência, a estrutura de porta ULSAC alcançou uma redução de massa para uma massa média normalizada $[M_N]$ na faixa de 30% a 42%.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PORTAS AUTOMOTIVAS

Os principais benefícios da utilização da Engenharia Simultânea, os conceitos do DFM e a tecnologia do programa ULSAC são:

- A redução significativa da massa em aço na estrutura da carroceria do veículo;
- A redução significativa dos custos com a produção de ferramental para estampagem;
- A economia de combustível do veículo, que está diretamente relacionada com a redução de massa;
- Ganhos em segurança através da utilização de aços de alta resistência;

As principais desvantagens estão relacionadas com os custos e investimentos iniciais, necessários para a aquisição de novas linhas de prensas para o processo de hidroconformação, novos contratos de fornecimento de aços especiais de alta resistência, processos de soldagem a laser, e demais processos tecnologicamente inovadores para a indústria automotiva brasileira.

Aplicação da metodologia DFM/A

No fluxograma da figura 4, observa-se o caminho necessário para a modificação de um projeto atual, com a utilização do DFM. A figura 5 mostra a situação anterior de uma porta que utilizava o flangeamento para unir o painel externo de uma porta ao painel interno e como foi efetuada a modificação para eliminar essa operação objetivando facilitar a montagem na linha de produção.

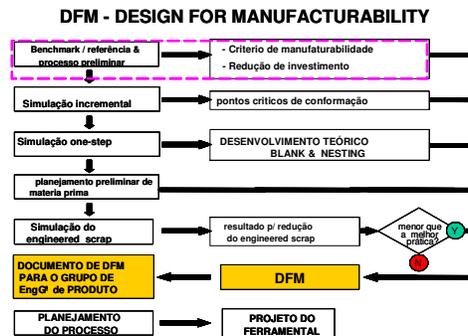


Figura 4 – Fluxograma de análise e implementação do DFM

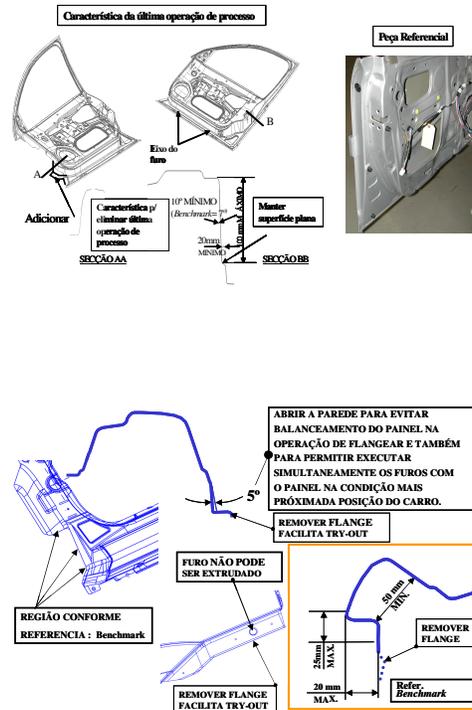


Figura 5 – Remoção do flange indicado, região da melhor referência e alteração do estilo do automóvel.

CONCLUSÕES

As propostas apresentadas tornam-se viáveis desde que a concepção de um veículo completamente novo, em sua arquitetura e desenho, contemple a implementação das tecnologias e que futuros investimentos em maquinário, ferramentas e equipamentos já estejam sendo considerados no projeto.

O mercado brasileiro está cada vez mais preocupado com a questão ambiental e a política atual de preço de combustíveis viabiliza qualquer projeto que incentive a redução no consumo de combustível.

REFERÊNCIAS

- ADDOUCHE, Sid-ali. Contribution à une démarche de conception optimisée des processus de désassemblage. 203 f. These (Grade de docteur de l'Université de Franche-Comte em Automatique et Informatique), 2003. Cap. 1, p. 1-23
- BATALHA, G. F. Processos de fabricação: Junção, soldagem e brasagem. Material auxiliar ao livro KALPAKJIAN, S. & SCHIMD, S. Manufacturing Engineering and Technology, 4 ed., Ed. Prentice Hall, 2001.
- BATALHA, G. F.; RUIZ, D. C. Estudo de um critério de modo de falha para solda a ponto por resistência.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. Introduction. Product Design for Manufacture and Assembly. New York, 1994. p. 2103-2107
- DESAI, A.; MITAL, A. Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production. International Journal of Industrial Ergonomics, Cincinnati, p. 1-17, v. 32, abril, 2003.
- DUARTE, M. D. Caracterização da Rotulagem Ambiental de Produtos. Dissertação (Mestre em Engenharia, Especialidade em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- FIGUEIREDO, P. J. M. e JACOVELLI, S. J. Projeto para montagem de máquinas-ferramentas. Revista técnica Máquinas e Metais, Aranda Editora, Ano XLII, nº 488, Setembro, 2006, p. 156-197.
- KAMINSKI, P. C. Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000. cap. 1, p. 1-15; cap. 8, p. 95-110.
- KOEHR, R. SAE Paper 2001-01-0076, ULSAC – Lightweight steel auto closures.
- MATAYOSHI, C. T. Engenharia simultânea – Estudo da influência dos requisitos de processo e ciclo de vida no desenvolvimento de peças estampadas automotivas. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), São Paulo, 2005.