



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM
CONCEITO DE CAPÔ AUTOMOTIVO DE AÇO ATRAVÉS
DO DESIGN FOR SIX SIGMA

FERNANDO AVELAR RESENDE

Belo Horizonte, 11 de junho de 2018

Fernando Avelar Resende

**METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM
CONCEITO DE CAPÔ AUTOMOTIVO DE AÇO ATRAVÉS
DO DESIGN FOR SIX SIGMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Engenharia de Manufatura e Materiais

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense
(Universidade Federal de Minas Gerais)

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2018

R433m

Resende, Fernando Avelar.

Metodologia para desenvolvimento de um conceito de capô automotivo de aço através do Design for Six Sigma [manuscrito] / Fernando Avelar Resende. – 2018.

91 f., enc.: il.

Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 86-91.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Metodologia - Teses.
I. Bracarense, Alexandre Queiroz, 1959-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA
Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Universitário
31270-901 - Belo Horizonte - MG
Tel: +55 31 3409.5145
E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

**"METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM CONCEITO
DE CAPÔ AUTOMOTIVO DE AÇO ATRAVÉS DO DESIGN FOR SIX
SIGMA"**

FERNANDO AVELAR RESENDE

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**ENGENHARIA DE MANUFATURA E MATERIAIS**".

Dissertação aprovada no dia 11 de junho de 2018.

Por:



Prof. Alexandre Queiroz Bracarense
Orientador - Departamento de Engenharia Mecânica/ UFMG



Dr. Alexandre Martins Barros
Instituto SENAI de Inovação em Engenharia de Superfícies



Prof. Alessandra Lopes Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Este trabalho é dedicado às pessoas que me fizeram chegar aqui:
meu pai, minha mãe e minhas irmãs.

AGRADECIMENTOS

Há, sem dúvida, um sem-número de pessoas a quem devo agradecer por ter chegado até esse ponto. Com minha conhecida memória ruim para nomes, é bem possível que me esqueça de alguém. Não me levem a mal, não foi por querer.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus pelas oportunidades que se me apresentaram na vida, pela chance de ter me graduado em um curso que gosto muito e, agora (esperançosamente), ter um mestrado nele. Isso é para poucos, e eu sei que devo agradecer a Deus pela oportunidade e por tudo.

Não posso me esquecer das pessoas que me acompanharam por toda minha vida, e sem as quais dificilmente seria o que sou e estaria aqui neste ponto. Obrigado, Papai, Mamãe, Luisa e Clara. Não há palavras para dizer o quanto sou grato a vocês, nem tinta no mundo para imprimir tantos agradecimentos.

Não me esqueço também de D. Clélia e D. Ivone, respectivamente (e eternamente) Vovó e Titia. Essas duas vêm me ajudando em tudo o que podem desde o longínquo pré-escolar (saudades E.E. Delfim Moreira...), e terão para sempre minha gratidão.

Tio Rogério e Tia Maria Helena. Meu primo Xande. Eu sequer teria me graduado sem sua ajuda. Repito aqui os agradecimentos do meu TG, já que eles continuam muito válidos.

Ao professor Alexandre Bracarense, meu orientador, agradeço pela oportunidade de trabalhar com um dos maiores pesquisadores de soldagem no mundo (ainda que nada haja de soldagem nessa monografia). Agradeço pela lembrança quando precisou indicar um aluno para o projeto da Fiat, e pelas sucessivas ajudas e reuniões ao longo do percurso.

Peço licença para mudar o idioma, para agradecer ao meu supervisor na Fiat, o “pai” desse projeto DFSS. Mr. Gibbs, there is no way I could've done it without your help and guidance. Some students can complain about their supervisors, but that's definitely not my case. Thank you very much for your help, time, effort and dedication. Thank you for introducing me to the DFSS approach. Thank you for introducing me to the Closures Team. Thank you for getting me at Gate 5 every Wednesday and Friday, while I had no badge to access FCA. Thank you for your patience. Thank you.

Na língua de Camões, agradeço à FCA USA, nominalmente ao Sr. Cris Michalowski, e aos demais, em seu nome.

Agradeço às pessoas na FCA LATAM, especialmente à equipe de Partes Móveis. Rodrigo Lopes, meu supervisor após o retorno do Gibbs aos EUA, extremamente zeloso,

competente, solícito e disposto a ajudar (vê-se que não tive problemas com meus supervisores). Leandro (mais ainda, pela carona), Wesley, Anderson (Dog), Marlyson (melhor referente técnico), Wesley Lourenço, Heider, Dalison, Carla, Leo, Luís, Saulo, Jéssica, Marcelinho, Widey, Marcelo (BJ), e outros. Obrigado também ao chefe deles todos, pela colaboração, Guilherme Sette.

Agradecimentos aos companheiros que fiz durante o mestrado. Pessoal incrível do Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação da UFMG. Aqui certamente vão faltar nomes, mas vou tentar assim mesmo: Andrés (el chicharrón de Colombia, gracias totales), Sheron (Teoria do S), Luana, Dani, Marcelo, Gedael, Nilo, Gabriel, Pedro, Carol, Carol (são duas mesmo, não escrevi errado não), Luciano, Etiene, Renata, Matheusão, Matheuzin, Bruno Cota (você vai lá hoje?), Diego, Diogo, etc.

Pelo apoio financeiro, agradeço à Fiat Chrysler Automóveis, que não apenas me concedeu um bolsa, mas garantiu meu acesso às suas dependências, recursos de informática, almoço e transporte. Investir no Brasil e na formação de seus cientistas não é algo corriqueiro, especialmente em um cenário de crise. Por isso, o meu obrigado especial.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, especialmente à Marina. Obrigado.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

“Our plans miscarry because they have no aim. When a man does not know what harbor he is making for, no wind is the right wind.”

Seneca, 4 A.C – 65 D.C *in* (MADER, 2003).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
NOMENCLATURA.....	14
RESUMO	15
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Contexto do trabalho	17
1.2 O cenário brasileiro: uma sucinta descrição do mercado nacional.....	17
1.3 Descrição do problema a ser abordado.....	18
1.4 Objetivo do trabalho	23
1.5 Justificativa para a execução do trabalho	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1 Em busca da eficiência: redução de peso em veículos automotores	24
2.2 Em busca da qualidade: as metodologias Seis Sigma	29
3 METODOLOGIA	38
3.1 Medição e comparação da eficiência de peso.....	38
3.2 Desenvolvimento do conceito de capô – DFSS	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 Avaliação da eficiência de peso dos capôs	61
4.2 Design for Six Sigma.....	70
5 CONCLUSÕES.....	82
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
ABSTRACT	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Influência da maior exigência dos consumidores no peso dos automóveis.	22
FIGURA 3.1: Exemplo de capô - Fiat Linea 1.6 Emotion 2013 (versão para o mercado europeu).	39
FIGURA 3.2: Vista explodida do capô do veículo Fiat Linea 1.6 Emotion 2013 (versão para o mercado europeu).	39
FIGURA 3.3: Exemplo das geometrias internas de um capô do Grupo FCA.	40
FIGURA 3.4: O conceito de WSR para um capô automotivo.	41
FIGURA 3.5: Vista superior do capô do veículo Chery QQ 2010.	42
FIGURA 3.6: Vistas frontal e lateral do capô do veículo Chery QQ 2010.	43
FIGURA 3.7: Definição da escala da imagem.	44
FIGURA 3.8: Traçado do contorno do capô.	45
FIGURA 3.9: Exemplo de resultado de uma medição de área.	45
FIGURA 3.10: Metodologia DFSS IDD: Entregas da Fase Identificar.	48
FIGURA 3.11: Metodologia DFSS IDD: Entregas da Fase Definir.	48
FIGURA 3.12: Metodologia DFSS IDD: Roteiro das tarefas da Fase Definir.	51
FIGURA 3.13: Metodologia DFSS IDD: Processo de mapeamento das VOCs para FRs.	51
FIGURA 3.14: Etapas para elaboração dos critérios comparativos a partir dos Requisitos de Engenharia.	53
FIGURA 3.15: Exemplo esquemático da matriz de resultados da Seleção de Conceitos de Pugh.	56
FIGURA 3.16: Exemplo de conversão dos resultados da Seleção de Conceitos de Pugh.	57
FIGURA 3.17: Exemplo de correlação entre critérios da Seleção de Conceitos de Pugh e elementos do capô.	57
FIGURA 3.18: Exemplo esquemático da correlação entre a Análise de Pugh e os elementos em escopo.	58
FIGURA 3.19: Metodologia empregada para o desenvolvimento do conceito de capô.	60
FIGURA 4.1: Vistas superior e inferior do Smart ForTwo.	63
FIGURA 4.2: Vistas superior e inferior do Tesla Modelo X.	65
FIGURA 4.3: Vistas superior e inferior do Fiat Palio.	66
FIGURA 4.4: Vistas superior e inferior do Honda HR-V.	68
FIGURA 4.5: Partes do capô dentro do escopo do projeto DFSS.	71
FIGURA 4.6: Vozes do Cliente, e sua importância, para um capô automotivo.	72
FIGURA 4.7: As seis Vozes do Cliente mais importantes para um capô automotivo.	72
FIGURA 4.8: Os sete Requisitos de Engenharia mais importantes para um capô automotivo.	73
FIGURA 4.9: Casa da Qualidade I; correlação entre Vozes e Métricas.	74
FIGURA 4.10: Os cinco Requisitos Funcionais mais importantes para um capô automotivo.	75
FIGURA 4.11: Casa da Qualidade II; correlação entre Métricas e Funções Básicas.	75
FIGURA 4.12: Lista final de critérios desenvolvidos.	77
FIGURA 4.13: Resultados da Seleção de Conceitos de Pugh.	78

FIGURA 4.14: Correlação entre os critérios da Análise de Pugh e os elementos em escopo do capô.....	79
FIGURA 4.15: Resultados Numéricos da Seleção de Conceitos de Pugh.	80
FIGURA 4.16: Desempenho dos elementos dos capôs na Seleção de Conceitos de Pugh.	80
FIGURA 4.17: Descrição do conceito de capô automotivo proposto.	81

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1: Comparação internacional do tipo de combustível usado pela frota de veículos novos.	18
GRÁFICO 1.2: Evolução da frota de veículos no Brasil, por tipo de combustível.....	19
GRÁFICO 1.3: Fontes de energia para o setor de transportes rodoviários.	20
GRÁFICO 1.4: Consumo de energia durante o ciclo de vida de um veículo.....	21
GRÁFICO 2.1: Evolução do uso de material em veículos automotores.	28
GRÁFICO 4.1: Valores de WSR de cinco veículos vendidos no mercado nacional.	69

LISTA DE TABELAS E QUADROS

QUADRO 1.1 Consumo de energia na economia brasileira, de 2006 a 2010 (10^3 tep).....	19
QUADRO 1.2 Consumo de energia na economia brasileira, de 2011 a 2015 (10^3 tep).....	20
QUADRO 2.1 Propriedades físicas de Mg, Al e Fe.....	26
QUADRO 2.2 Entregas e atividades básicas das etapas do processo DMAIC.....	34
QUADRO 3.1 Limites de comprimento das categorias veiculares.....	46
QUADRO 4.1 Cinco melhores WSR para veículos do grupo NFA.....	62
QUADRO 4.2 Propriedades do capô do veículo Smart ForTwo.....	63
QUADRO 4.3 Cinco melhores WSR para veículos do grupo SMH.....	64
QUADRO 4.4 Propriedades do capô do veículo Testa Modelo X.....	64
QUADRO 4.5 Cinco melhores WSR para veículos do grupo OFV.....	65
QUADRO 4.6 Propriedades do capô do veículo Fiat Palio.....	66
QUADRO 4.7 Cinco melhores WSR para veículos do grupo SMHB.....	67
QUADRO 4.8 Propriedades do capô do veículo Honda HR-V.....	67
QUADRO 4.9 Valores de WSR de cinco capôs vendidos no mercado nacional, das categorias A e B.....	69
QUADRO 4.10 Contribuição dos engenheiros projetistas na criação dos critérios comparativos.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Método de Análise Hierárquica (<i>Analytical Hierarchy Process</i>)
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CSF	Fatores Críticos de Sucesso (<i>Critical Success Factors</i>)
CTQ	Crítico para a Qualidade (<i>Critical to Quality</i>)
DFSS	<i>Design for Six Sigma</i>
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar
FCA	Fiat Chrysler Automóveis
FR	Requisitos Funcionais (<i>Functional Requirements</i>)
GE	General Eletric SA
HOQ	Casa da Qualidade (<i>House of Quality</i>)
HSS	Aço de alta resistência (<i>High Strenght Steel</i>)
IMAGEJ	<i>Image Processing and Analysis in Java</i> (programa computacional)
INOVAR AUTO	Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores
JIT	<i>Just in Time</i>
LATAM	América Latina
MAIC	Medir, Analisar, Melhorar e Controlar
OICA	Organização Internacional da Indústria Automobilística
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PPGMEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
QFD	Desdobramento da Função Qualidade (<i>Quality Function Deployment</i>)
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TRIZ	Teoria da Solução Inventiva de Problemas (<i>Teória Rechénia Izobretátelskih Zadátchi</i>)
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
US	Estados Unidos da América
VOC	Voz do Cliente (<i>Voice of the Customer</i>)
WSR	Razão da massa (ou peso) pela área (<i>Weight to Size Ratio</i>)

NOMENCLATURA

F_r	Força total de resistência ao rolamento [N]
F_{rol}	Força de resistência à rolagem [N]
F_{ace}	Força de resistência à aceleração [N]
F_{aer}	Força de arrasto aerodinâmico [N]
f	Coefficiente de resistência ao rolamento [adimensional]
m	Massa do veículo [kg]
g	Aceleração da gravidade [m/s ²]
I_{pm}	Inércia das partes móveis [kg]
a	Aceleração do veículo [m/s ²]
C_d	Coefficiente de arrasto aerodinâmico [adimensional]
ρ_{ar}	Densidade do ar [kg/m ³]
v	Velocidade do veículo [m/s]
A	Área frontal do veículo [m ²]
σ	Desvio padrão [adimensional]
WSR	Razão da massa de um componente pela sua área [kg/m ²] (vide também abreviaturas)
DE	Desempenho do elemento [adimensional]
$NC_{critério}$	Nível de correlação de um elemento do capô com cada um dos critérios da análise de Pugh [adimensional]
$RP_{critério}$	Resultado da análise de Pugh de um conceito para cada um dos critérios da análise de Pugh [adimensional]

RESUMO

A frota mundial de veículos automotores tem crescido de maneira constante com o passar dos anos. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), entre 2010 e 2013 o número de veículos registrados aumentou 16%. A frota veicular brasileira atingiu a marca de 27 milhões de veículos em 2012, e esses números não param de aumentar. Para contrabalancear os efeitos negativos do aumento da frota, a indústria tem buscado formas de aumentar a eficiência dos automóveis, de forma a cumprir os requisitos legais de emissão e consumo de combustível. Não obstante, o aumento da eficiência dos veículos não pode ocorrer às expensas da satisfação do cliente. No competitivo mercado automobilístico atual, é especialmente importante que as empresas consigam atender adequadamente as expectativas de seus clientes. Existem diferentes abordagens que permitem atingir esse objetivo, dentre as quais destaca-se o *Design for Six Sigma* (DFSS). Nesse sentido, foi implementada na planta de Betim da FCA uma metodologia de aferição e comparação da eficiência de uso de material nos capôs automotivos, também chamada de eficiência de peso. Com o auxílio de informações disponíveis no banco de dados A2MAC1 (www.a2mac1.com) e utilizando o *software* de código aberto IMAGEJ, foram determinadas as eficiências de um conjunto de veículos da FCA e da concorrência. As informações adquiridas com a realização dessa análise permitiram determinar o grau de desenvolvimento dos veículos FCA frente aos seus concorrentes, bem como definir metas de redução de peso alinhadas com a realidade do mercado. Tais metas foram consideradas durante a execução do projeto DFSS. A metodologia DFSS é uma abordagem de uso amplo na indústria automotiva internacional que objetiva auxiliar os engenheiros em sua missão de projetar produtos, processos e serviços do zero de maneira econômica e simples de forma a atender às expectativas dos clientes. Ao executar os procedimentos prescritos nesse método, garante-se que os Requisitos do Cliente sejam sempre mantidos em vista da Equipe de Projeto. Na execução dos métodos propostos, a primeira ação tomada é a definição dos Requisitos do Cliente, chamados Voz do Cliente (VOC). As Vozes foram retiradas de projetos DFSS que já haviam sido executados na planta de Detroit (EUA) da FCA. Clientes brasileiros foram entrevistados por e-mail para determinação da importância de cada uma das Vozes. Em seguida, as Vozes foram traduzidas em métricas de engenharia, chamados Requisitos de Engenharia ou Críticos para a Qualidade (CTQ). Tratam-se de medidas físicas, que podem ser adequadamente mensuradas, que devem se

relacionar com as Vozes (“como posso medir o que meu cliente quer da minha peça?”). Os CTQs mais importantes foram utilizados como critérios comparativos de diferentes conceitos de capô. A eles foram adicionadas contribuições feitas pela Equipe de Projeto sobre maneiras de comparar conceitos de capô. Esses critérios foram utilizados na Seleção de Conceitos de Pugh para comparar capôs de diferentes veículos e definir o que melhor satisfaz as expectativas do cliente. Como resultado da aplicação desse método, foi definido qual dos conceitos melhor atende o cliente tornando-se, assim, o novo conceito base de capôs automotivos.

Palavras Chaves: Design for Six Sigma; redução de peso; capô automotivo; closures; eficiência energética.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do trabalho

Em Abril de 2012, o governo brasileiro anunciou a criação de um novo regime automotivo nacional. Chamado INOVAR AUTO, ele objetivou aumentar a competitividade, a tecnologia e a segurança dos carros produzidos e vendidos no Brasil por meio do investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), inovação, engenharia local, tecnologia industrial básica, capacitação de fornecedores, produção nacional, conteúdo nacional e eficiência energética entre 2012 e 2017 (FERREIRA FILHO et al., 2013).

O programa INOVAR AUTO incentivou o relacionamento entre universidades e montadoras. Dentro desse conceito, surgiu o Programa de Residência Tecnológica para Engenheiros, que tem como objetivo a pesquisa e o estímulo a inovação através da parceria com estudantes bolsistas, nível mestrado, com dedicação exclusiva ao tema, para atuar junto aos profissionais de engenharia no desenvolvimento de pesquisas em temas no portfólio de projetos correntes da Fiat Chrysler Automóveis (FCA) (SOUZA; BRACARENSE; MASSARANI, 2016).

O presente trabalho foi executado no âmbito de um dos projetos que surgiram dessa parceria entre a FCA e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), essa representada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC).

1.2 O cenário brasileiro: uma sucinta descrição do mercado nacional

A indústria automobilística brasileira é um dos setores industriais de maior relevância no país, com produção expressiva, em que pese a recente crise de vendas que o setor atravessa. Segundo dados da Anfavea (2018), 1.856.096 veículos foram licenciados em 2017, 261.073 deles veículos do Grupo FCA.

Quanto ao porte dos veículos, o mercado nacional de veículos automotores é dominado por carros pequenos, com carrocerias com tanto dois quanto três volumes – *hatchbaks* e sedans, respectivamente.

O “peso em ordem de marcha” médio dos veículos nacionais (na realidade, uma medida de massa) vendidos em 2013 foi de 1.106kg (POSADA; FAÇANHA, 2015). Dentre os carros vendidos em 2017, 34,5% possuíam motor com cilindrada de até 1.000cm³ (ANFAVEA, 2018).

No GRÁFICO 1.1, é possível ver uma comparação sobre o combustível utilizado pela frota brasileira com o usado em outros países e blocos econômicos. É possível ver que a grande maioria dos veículos lançados no Brasil tem motor flexível, ou seja, apto a funcionar com etanol e gasolina misturados em qualquer proporção.

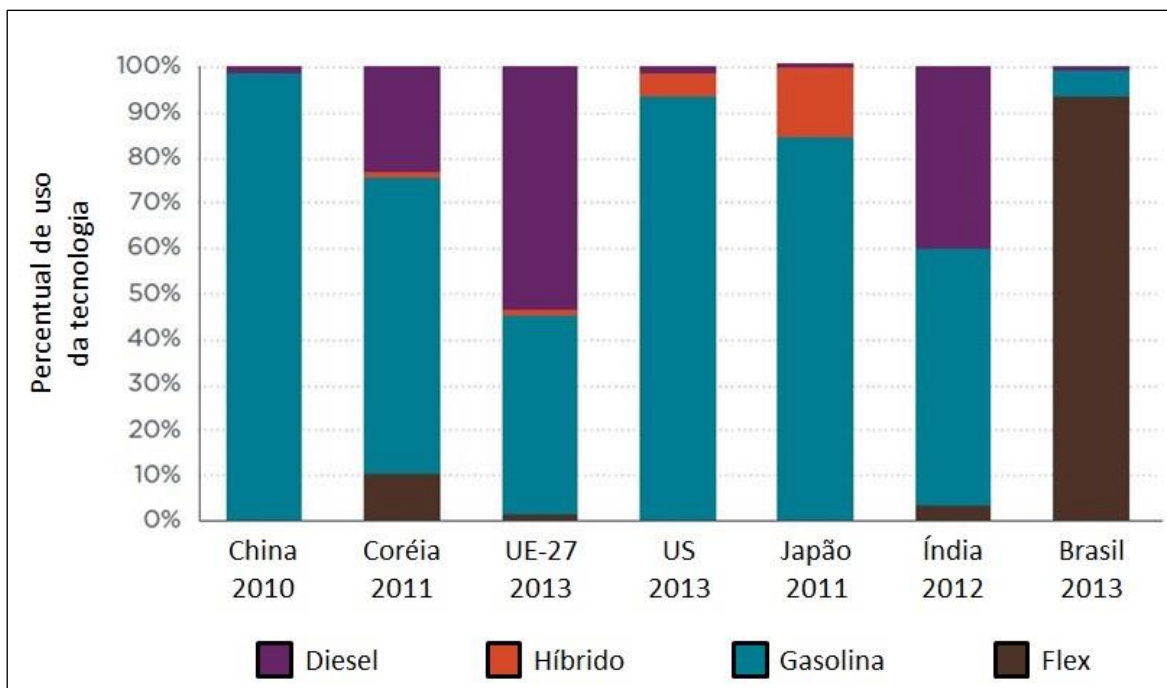


GRÁFICO 1.1: Comparação internacional do tipo de combustível usado pela frota de veículos novos.
 FONTE: Traduzido de Posada e Façanha (2015).

1.3 Descrição do problema a ser abordado

Em todo o planeta, a frota de automóveis tem aumentado ao longo dos anos. Dados da Organização Internacional da Indústria Automobilística (OICA) mostram que, em 2015, a quantidade mundial de veículos em uso superou a marca de 1,3 bilhões de carros, ou 182 veículos para cada mil habitantes (INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS, 2017). Segundo a Organização Mundial da Saúde (2015), entre 2010 e 2013 o número de veículos registrados aumentou em 16%.

O mesmo acontece no Brasil. No GRÁFICO 1.2 vê-se a evolução da frota de automóveis no país, classificados por tipo de combustível. Os dados indicam que o Brasil não está alheio à tendência global de aumento do número de veículos em uso. Nota-se, ainda, que grande parte dos automóveis em circulação foi projetada para funcionar utilizando combustíveis fósseis.

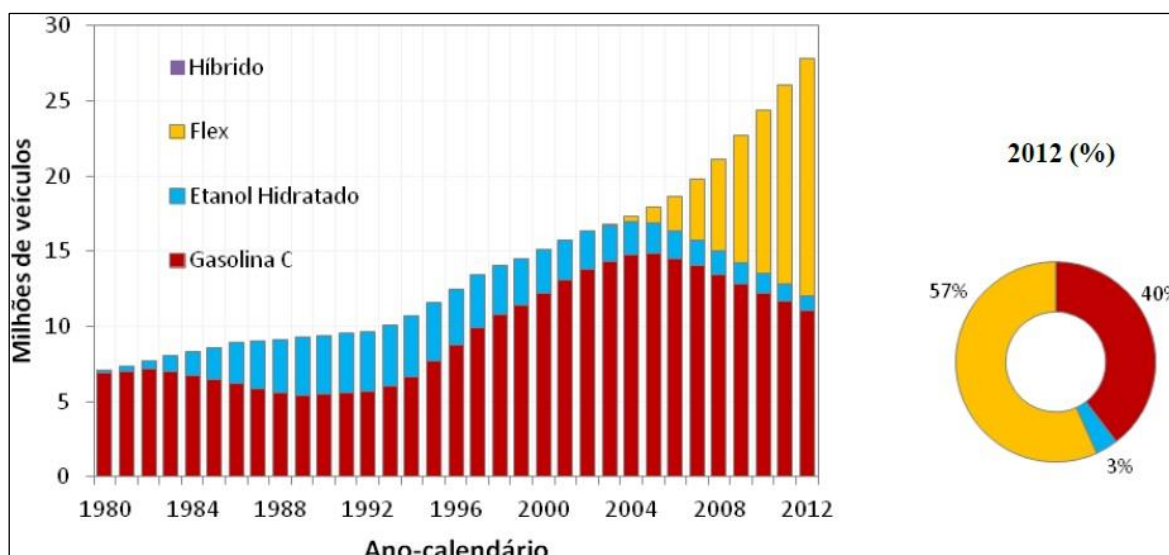


GRÁFICO 1.2: Evolução da frota de veículos no Brasil, por tipo de combustível.
 FONTE: Brasil (2013).

O aumento do número de veículos em uso no Brasil traz consigo uma série de implicações. No QUADRO 1.1 e no QUADRO 1.2, apresenta-se a evolução do uso de energia no país, em milhares de toneladas equivalentes de petróleo (10^3 tep). Nota-se que houve um aumento do gasto de energia no setor de transportes, sobretudo o de transportes rodoviários (veículos de passeio, comerciais leves e veículos pesados), quando comparado com o gasto total de energia da economia brasileira.

QUADRO 1.1
 Consumo de energia na economia brasileira, de 2006 a 2010 (10^3 tep).

Ano Base	2006	2007	2008	2009	2010
Consumo final	202.534	215.197	226.215	220.732	241.194
Transportes total	53.630	58.019	62.829	63.041	69.720
Rodoviário	49.067	52.892	57.370	57.683	63.963
Ferrovário	1.040	1.115	1.149	1.125	1.135
Aéreo	2.435	2.674	2.857	2.874	3.241
Hidroviário	1.088	1.338	1.452	1.359	1.380
Percentual rodoviário	24%	25%	25%	26%	27%

FONTE: Adaptado de Brasil (2016).

QUADRO 1.2
Consumo de energia na economia brasileira, de 2011 a 2015 (10^3 tep)

Ano Base	2011	2012	2013	2014	2015
Consumo final	245.860	253.037	260.218	265.774	260.684
Transportes total	73.989	79.027	83.152	86.315	84.037
Rodoviário	67.896	72.721	77.007	79.945	78.267
Ferrovário	1.148	1.190	1.181	1.176	1.148
Aéreo	3.623	3.820	3.667	3.709	3.658
Hidroviário	1.323	1.297	1.298	1.485	965
Percentual rodoviário	28%	29%	30%	30%	30%

FONTE: Adaptado de Brasil (2016).

De toda a energia consumida pelo setor de transportes rodoviários no Brasil, cerca de 80% é advinda de fontes não renováveis (derivados do petróleo). Adicionalmente, o emprego de veículos movidos por tecnologias menos poluentes, como os elétricos ou híbridos, praticamente inexistente (BRASIL, 2016). No GRÁFICO 1.3, mostra-se o percentual de uso de cada uma das fontes de energia utilizadas por esse setor.

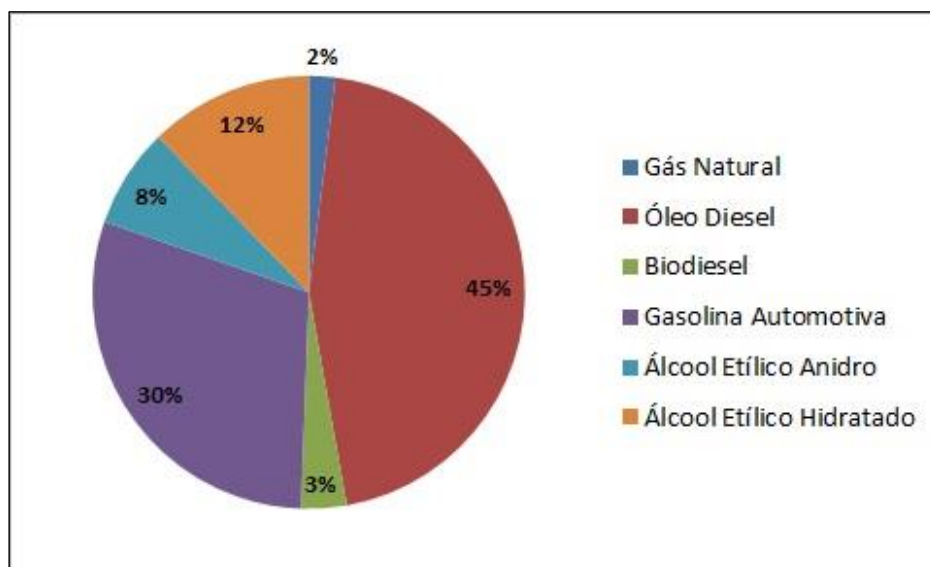


GRÁFICO 1.3: Fontes de energia para o setor de transportes rodoviários.

FONTE: Elaborado pelo autor com dados de Brasil (2016).

A combinação do aumento do número de veículos em uso no Brasil em conjunto com o emprego de fontes de energia majoritariamente não renováveis e poluentes pode trazer consequências nefastas ao meio ambiente. Estima-se que 16% das emissões de CO_2 decorrentes da atividade humana no mundo venham do setor de transportes rodoviários (INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS, 2010). Dados dos Estados Unidos, que representam melhor as

condições de países industrializados, mostram que, em 2015, 27% das emissões de gases de efeito estufa vieram desse setor (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2017). Por esse motivo, as restrições às emissões automotivas têm aumentado com o passar dos anos, de forma a reduzir a emissão de gases de efeito estufa, como o CO₂, e com isso compensar o efeito negativo advindo do aumento da frota.

No Brasil, está em vigor o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que estabelece limites de emissão para veículos novos. Os limites aceitáveis estão cada vez mais restritivos, acompanhando a tendência mundial. Para além da limitação à emissão de gases poluentes, o programa INOVAR AUTO obrigou ainda as montadoras a melhorarem a eficiência média de seus veículos em no mínimo 12,1%, com relação aos níveis médios de 2012, até Outubro de 2017 (FAÇANHA, 2013).

Dessa forma, todo esse arcabouço jurídico tem levado as montadoras de automóveis a desenvolver veículos cada vez mais eficientes, com isso cumprindo as exigências legais de emissão de gases de exaustão e economia de combustível. Como mostrado no GRÁFICO 1.4, a energia total que um veículo usa durante seu ciclo de vida é determinada essencialmente pelo combustível consumido durante seu uso. Logo, para aumentar a eficiência dos veículos, é necessário melhorar seus números de consumo.

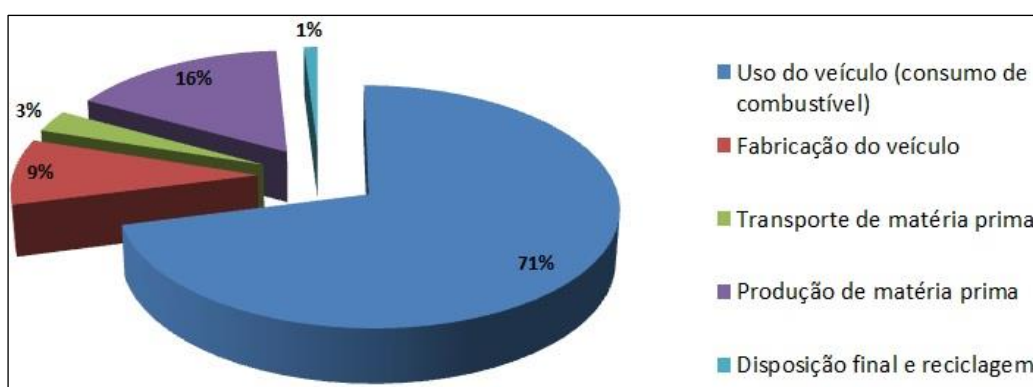


GRÁFICO 1.4: Consumo de energia durante o ciclo de vida de um veículo.

FONTE: Adaptado de Jambor e Beyer (1997).

Segundo Cheah (2010), há vários métodos que podem ser utilizados para alcançar os objetivos de redução do consumo de veículos, que geralmente caem em uma de cinco categorias principais. Dentre elas, destaca-se a redução de peso.

Em termos físicos, reduzir o peso de um carro faz com que diminuam as forças inerciais que o motor tem que superar quando o veículo é acelerado. Dessa forma, o trabalho total requerido para mover o carro é reduzido (CHEAH, 2010).

No entanto, a redução do peso dos automóveis não é uma tarefa trivial. À medida em que as exigências de redução de consumo aumentam, crescem também as exigências dos consumidores com relação à segurança, conforto e desempenho dos carros. Atualmente, mesmo os veículos mais simples oferecem equipamentos como ar condicionado e direção hidráulica. Além disso, consumidores têm dado cada vez mais importância à segurança dos automóveis. Tudo isso requer chassis mais rígidos e motores e transmissões mais fortes para manter o desempenho inalterado, e com isso também se faz necessária a presença de tanques de combustível com maior capacidade. Por fim, em um círculo vicioso, tudo acaba requerendo chassis cada vez mais rígidos (e pesados), conforme esquematizado na FIGURA 1.1. Dessa forma, a cada novo modelo lançado, a tendência é que os carros se tornem mais pesados (CARLE; BLOUNT, 1999).

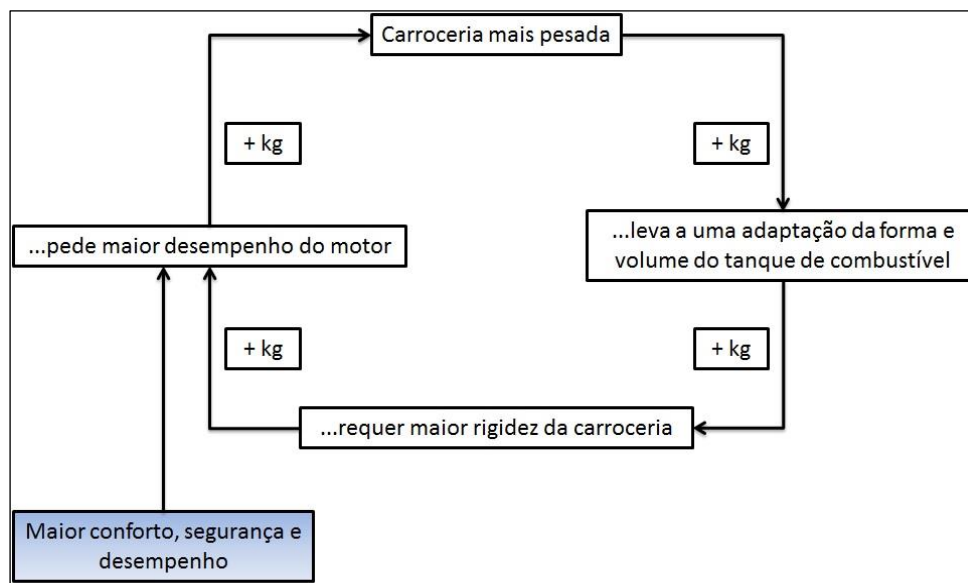


FIGURA 1.1: Influência da maior exigência dos consumidores no peso dos automóveis.
 FONTE: Adaptado de Carle e Blount (1999).

No mundo atual, satisfazer as necessidades dos clientes é uma obrigação para as empresas que pretendem ser líderes de mercado em seus segmentos. No entanto, torna-se necessário conciliar as exigências dos mesmos com a necessidade de redução do peso do automóvel. O desafio que surge é manter a qualidade do produto, garantindo atendimento às expectativas dos consumidores, e ao mesmo tempo reduzir o peso dos veículos.

O uso da metodologia Seis Sigma como uma maneira de atender às necessidades do cliente e melhorar a qualidade do produto é amplamente difundido entre as montadoras (CHOWDHURY, 2003). Essa metodologia vem ajudando empresas a melhorar a qualidade de seus veículos, afetando diretamente seus lucros (DICKINSON,

2006). Pesquisas anteriores na área indicaram que o método Seis Sigma é de fato uma maneira eficaz de melhorar a qualidade do produto e resolver problemas existentes, embora possua algumas limitações (MAST; LOKKERBOL, 2012).

Todavia, o uso da abordagem Seis Sigma só é capaz de levar as empresas até certo ponto. Companhias que têm usado o Seis Sigma há algum tempo lançaram abordagens mais proativas para assegurar a qualidade do produto, comumente conhecidas como *Design for Six Sigma* (DFSS) (CHOWDHURY, 2003; DICKINSON, 2006).

Enquanto o método Seis Sigma almeja a melhoria do desempenho através da redução do número de defeitos em uma peça/componente já existente, o DFSS é uma abordagem para projetar produtos, processos e serviços do zero de maneira econômica e simples de forma a atender às expectativas dos clientes (SHAHIN, 2008). A ideia é ajudar os engenheiros a desenvolver projetos que atendam aos requisitos dos clientes desde o início do ciclo de desenvolvimento de um produto para, assim, evitar problemas e retrabalhos posteriores (DICKINSON, 2006).

1.4 Objetivo do trabalho

O objetivo desse trabalho é apresentar a metodologia concebida e empregada para desenvolvimento de um conceito de capô automotivo de aço que melhor satisfaça as expectativas que o cliente tem para tal componente e que, ainda, seja mais leve do que o atual, através da utilização da metodologia *Design for Six Sigma* (DFSS).

1.5 Justificativa para a execução do trabalho

O presente trabalho foi executado para assegurar que os novos projetos de capôs automotivos do grupo FCA possam melhor atender as expectativas que o cliente possui para esse componente. Além disso, sua realização permitiu identificar oportunidades de redução de peso nesse componente bem como conhecer o nível de desenvolvimento dos projetos atuais da FCA frente aos seus concorrentes. Ao colaborar com o aumento de qualidade e com a redução do peso do produto, a execução do projeto traz ganhos para a empresa, na forma de economia, geração de conhecimento e ganhos competitivos; e para o conjunto da sociedade, na forma da redução das emissões de gases de efeito estufa e melhoria na qualidade final do produto ofertado no mercado brasileiro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Em busca da eficiência: redução de peso em veículos automotores

A busca pela maior eficiência dos veículos automotores é uma realidade na indústria automotiva nacional e mundial. Como citado, há várias possibilidades para perseguir esse objetivo, que normalmente caem em uma dentre as categorias a seguir (CHEAH, 2010):

- Melhorias no motor: aumento da razão entre o trabalho realizado pelo motor e a energia fornecida ao mesmo na forma de combustível.
- Melhorias na transmissão: acréscimo da eficiência com a qual a potência do motor é transmitida para os eixos do carro.
- Redução das perdas parasitas: utilização de tecnologias como carregamento regenerativo de baterias para minimizar perdas em acessórios como ventilador de refrigerador, alternador e bomba de água.
- Uso de conjuntos motopropulsores (*powertrains*) alternativos: substituir os motores à combustão por alternativas mais eficientes, como os veículos híbridos.
- Redução da carga de resistência à rolagem: atenuação das forças inerciais (relacionadas ao peso) e das resistências (arrasto aerodinâmico, resistência ao rolamento dos pneus, etc.) encontradas nos veículos.

A redução do peso dos veículos ou do seu tamanho cai na última categoria dessa lista. Para entender o impacto da diminuição do peso de um automóvel na redução do seu consumo de combustível, considera-se que as forças de resistência ao deslocamento de um veículo que se move em via plana são estas (KÜHLWEIN, 2016):

- Resistência à rolagem;
- Resistência à aceleração (forças inerciais);
- Resistência aerodinâmica.

Matematicamente, a resistência total se equaciona da seguinte forma (KÜHLWEIN, 2016):

$$F_r = F_{rol} + F_{ace} + F_{aer} = (f \cdot mg) + [(m + I_{pm}) \cdot a] + \left(\frac{1}{2} C_d \cdot \rho_{ar} \cdot v^2 \cdot A\right) \quad (2.1)$$

A partir da análise da EQ. (2.1) pode-se ver como a redução da massa do carro pode diminuir o consumo do mesmo, uma vez que nota-se que há impacto direto na redução da força de resistência à rolagem e nas forças de aceleração (CHEAH, 2010).

As estimativas do efeito prático da redução de peso no consumo de um carro variam. Dados empíricos, considerando o consumo de combustível e o chamado “peso em ordem de marcha” dos veículos à venda no mercado norte-americano entre 2006 e 2008, mostram que cada 100 kg de redução de peso nos carros reduz o consumo de combustível em 0,53 L/100km. Se forem considerados apenas os automóveis (desprezando-se assim dados de veículos comerciais leves), cada 10% de redução de peso em um automóvel leva à uma redução no consumo de combustível de 5,6% (CHEAH, 2010). Em veículos Daimler-Benz, 100 kg de redução de peso diminuem o consumo entre 0,2 e 0,4 L/100km (JAMBOR; BEYER, 1997). Cui et al. (2011) encontram que 57 kg de redução de peso pode melhorar o consumo de combustível de 0,09 a 0,21 km/L.

Como regra geral, pode-se adotar que 50% do peso de um veículo esteja distribuído nos sistemas motopropulsores (motor e transmissão), ao passo que os outros 50% correspondem ao corpo do carro. O uso cada vez maior de materiais mais leves do que o aço no motor traz um potencial de redução de peso de cerca de 1 a 2% em relação ao peso global dos veículos. Se aplicados na carroceria, o potencial de redução de peso aumenta para cerca de 6%. Com isso, as montadoras têm concentrado esforços em desenvolver conceitos mais leves de carrocerias automotivas (JAMBOR; BEYER, 1997).

A redução no peso das estruturas que compõem a carroceria dos automóveis pode ser atingida através do emprego de estratégias de projeto inovadoras, direcionadas desde o princípio para a redução de peso (ex.: componentes fabricados de chapas com parede fina), e ainda pelo uso de materiais mais leves, tais como alumínio e magnésio (HIRSCH; AL-SAMMAN, 2013).

No QUADRO 2.1, apresentam-se as propriedades físicas do magnésio, do alumínio e do ferro (representativo para as propriedades do aço). Nota-se que o magnésio é o metal de engenharia com menor densidade, sendo cerca de 35% mais leve do que o alumínio e mais de quatro vezes mais leve do que o aço (KULEKCI, 2007).

QUADRO 2.1
Propriedades físicas de Mg, Al e Fe.

Propriedade	Magnésio	Alumínio	Ferro
Estrutura cristalina	HC	CFC	CCC
Densidade à 20°C (g/cm ³)	1,74	2,70	7,86
Exp. térmica (x10 ⁶ °C ⁻¹)	25,2	23,6	11,7
Módulo de Young [GPa]	44,1	68,9	206,8
Resistência à tração [MPa]	240	320	350
Ponto de fusão [°C]	650	660	1.536

FONTE: Kulekci (2007).

O uso do alumínio como matéria prima para fabricação de partes de automóveis mais leves é uma prática que vem sendo utilizada há muito tempo. Um exemplo do passado é o Mercedes-Benz 230SL de 1963. Esse veículo possuía o frame interno das suas portas inteiramente feito de alumínio forjado, que propiciava uma redução de aproximadamente 5 kg na massa total da peça quando comparado com uma estrutura semelhante feita em aço (JAMBOR; BEYER, 1997).

O alumínio possui características que tornam favorável o seu uso em automóveis, como o fato de que a resistência de chapas e de perfis extrudados feitos de alumínio é aproximadamente a mesma de seus equivalentes em aço (CARLE; BLOUNT, 1999). Também pode-se destacar a boa absorção de energia propiciada pelo alumínio (que pode ser até 50% maior do que a do aço (JAMBOR; BEYER, 1997)), útil em situações de colisão, e ainda sua resistência à corrosão (HIRSCH; AL-SAMMAN, 2013).

A rigidez do alumínio, no entanto, normalmente se constitui de um empecilho ao seu uso. Em parte pelo fato de que o módulo de Young do alumínio é um terço do valor encontrado para aços, peças feitas de alumínio tendem a apresentar uma deformação elástica mais apreciável do que o encontrado em peças de aço. Isso deve ser contornado por meio do projeto adequado do componente, através do uso de maiores espessuras ou de reforços estruturais nos locais de maior solicitação mecânica (CARLE; BLOUNT, 1999).

A simples substituição de peças feitas em aço por outras feitas em alumínio, no entanto, não é uma solução adequada, uma vez que esse estilo de modificação não permite que seja explorado todo o potencial de redução de peso decorrente do uso desse material. Faz-se necessário o desenvolvimento de um conceito de projeto que desde seu nascimento seja pensado para extrair as máximas potencialidades do alumínio, como, por exemplo, as várias formas nas quais ele pode ser produzido (estampagem, extrusão, forjamento, fundição) e as diversas ligas metálicas de alumínio que podem ser utilizadas.

O magnésio também vem sendo utilizado como material automotivo há décadas. A Porsche foi pioneira no seu uso ao trabalhar com o motor feito com esse material em 1928 (KULEKCI, 2007). Estima-se que o uso médio de magnésio em carros fabricados nos Estados Unidos tenha aumentado de 0,1% (1,8 kg) em 1995 para 0,2% (4,5 kg) em 2007. Prevê-se que, em 2020, o seu uso crescerá para cerca de 15% (227 kg) (KIANI et al., 2014).

Assim como o alumínio, o magnésio também possui características que o tornam muito adequado a ser utilizado no setor automotivo, como o seu baixo peso específico (vide QUADRO 2.1). Além disso, ele apresenta boa ductilidade, melhores características de ruído e amortecimento do que o alumínio e excelente capacidade de ser produzido por fundição (KULEKCI, 2007).

De fato, a maior parte da produção de peças de magnésio para a indústria automotiva tem sido feita por processos de moldagem em estado líquido ou semissólido. Processos de fundição se destacam por sua alta produtividade e sua capacidade de prover aos projetistas a possibilidade de redução adicional de custo e de peso através de estratégias de projeto adequadas (HIRSCH; AL-SAMMAN, 2013).

As desvantagens do seu uso incluem a alta reatividade desse metal em estado líquido, propriedades inferiores às do alumínio no que tange à fadiga e fluência, alta susceptibilidade à corrosão galvânica e risco de explosão do metal, sobretudo em operação de usinagem para acabamento (KULEKCI, 2007). Destacam-se, ainda, sua limitada conformabilidade e sua forte anisotropia, especialmente à temperaturas menores do que 200°C, o que se apresenta como uma barreira à difusão do seu uso para partes automotivas fabricadas por extrusão ou estampagem (HIRSCH; AL-SAMMAN, 2013).

Além do uso de alumínio e magnésio como método de redução de peso, outras estratégias também vêm sendo empregadas.

Pesquisas indicam que o uso de aço de alta resistência, que permite utilizar espessuras menores do que as usualmente empregadas, é uma boa opção para conseguir redução de peso nos automóveis, embora a redução de peso alcançada por esse método não seja tão grande quanto a obtida pelo uso de alumínio e magnésio (LI et al., 2003; ZHANG et al., 2006).

No GRÁFICO 2.1, mostra-se a tendência do uso de materiais nos veículos produzidos. É possível notar que a pesquisa e desenvolvimento de novos tipos de aços reviveu seu uso nas carrocerias automotivas (MAYYAS et al., 2011). Em tempos recentes,

aços HSS têm sido os mais empregados com o objetivo de reduzir o peso das carrocerias automotivas (LI et al., 2003).

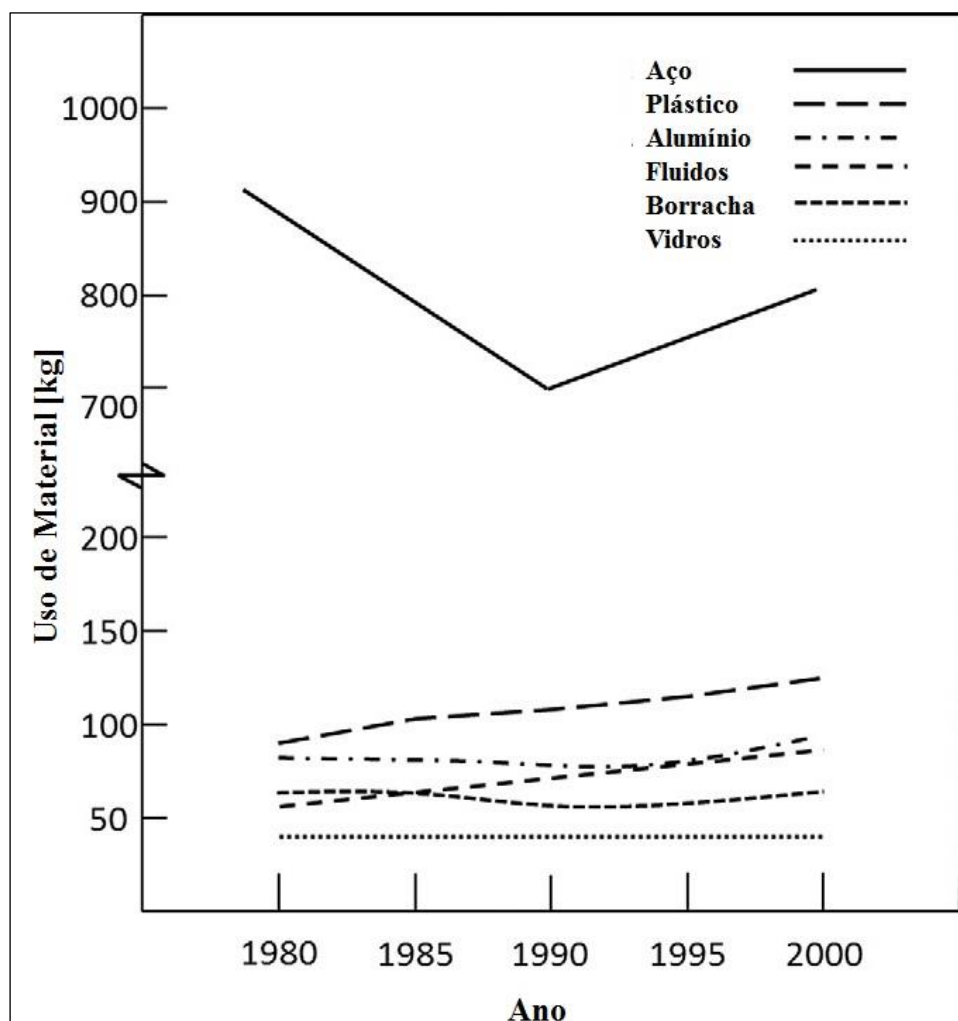


GRÁFICO 2.1: Evolução do uso de material em veículos automotores.

FONTE: Traduzido de Mayyas et al. (2011).

Alterações de geometria são também uma importante ferramenta de redução de peso, uma vez que isso permite que seja alterada a resistência mecânica de uma parte do carro sem que seja necessário mudar o material empregado. São exemplos de alterações de geometria o emprego de chapas mais finas com nervuras reforçadoras, ou o uso de chapas planas em substituição à chapas curvadas, de forma a minimizar os esforços de flexão à que a parte está sujeita (JAMBOR; BEYER, 1997).

O uso de *taylor-welded blanks* é também uma estratégia empregada desde a década de 80 na indústria automobilística. Foi primeiramente aplicado para superar as limitações de largura das bobinas de aço usadas para fabricação dos estampos que compõem o veículo. Em seguida, foram utilizadas como uma maneira de fazer com que as

áreas de maior solicitação mecânica não mais ditassem a espessura de toda a chapa, uma vez que tornou-se possível a adição de material apenas às áreas necessárias (PALLETT; LARK, 2001).

As estratégias mais recentes de redução de peso empregam o conceito de carroceria multimaterial, no qual mais de um material é utilizado em diferentes partes da carroceria. Isso propicia uma otimização no processo de seleção de materiais dos componentes estruturais, com vistas à melhoria de desempenho e redução de custos. As estratégias de seleção dos materiais são diversas, podendo considerar fatores como capacidade de suportar impactos (CUI et al., 2011), facilidade de reciclagem (SAKUNDARINI et al., 2013), percepções do cliente (MAYYAS et al., 2011) e mesmo o custo total do ciclo de vida do carro, considerando fabricação, uso e descarte final do veículo (WITIK et al., 2011).

2.2 Em busca da qualidade: as metodologias Seis Sigma

A busca pela qualidade de produtos e serviços é uma jornada que vem sendo percorrida há muito tempo, e que já se valeu de diferentes estratégias: Desdobramento da Função Qualidade (QFD), *Total Quality Management* (TQM), e, sem dúvida, os numerosos trabalhos de Joseph Juran, apenas para exemplificar. As metodologias Seis Sigma nada mais são do que abordagens relativamente recentes para um problema antigo: como melhorar a qualidade do produto e/ou serviço que é oferecido?

Responder a essa pergunta é o objetivo maior da Engenharia da Qualidade, definida por Wu e Wu (2000) da seguinte forma:

Engenharia da qualidade é uma série de abordagens que objetiva prever e prevenir os problemas que podem ocorrer, no mercado, após um produto ser vendido e usado pelos seus consumidores sob várias condições ambientais e de uso, durante todo o ciclo de vida de um certo produto (WU; WU, 2000, p. 1, tradução minha).

Considerando a definição apresentada, pode-se dizer que as metodologias Seis Sigma são abordagens que se incluem dentro do campo Engenharia da Qualidade. Tais técnicas se popularizaram em meados da década de 1990, especialmente após terem sido implementadas com sucesso na GE. Mais de 50.000 projetos seis sigma foram iniciados no ano de 2002 nessa empresa (TAGUCHI; CHOWDHURY; WU, 2004).

No Brasil, o interesse por essa metodologia é cada vez maior. A pioneira na implementação do Seis Sigma com tecnologia nacional foi o Grupo Brasmotor, que obteve retorno financeiro superior a R\$20.000.000,00 já em 1999 (WERKEMA, 2004).

Werkema (2004) ressalta ainda as duas vertentes principais dessa metodologia, que focam, respetivamente, na melhoria da qualidade de um produto e/ou serviço e no planeamento da qualidade de um novo produto e/ou serviço: o Seis Sigma (ou DMAIC) e o *Design for Six Sigma* (DFSS). As definições, os antecedentes e uma breve contextualização histórica de tais métodos são apresentados nas subseções a seguir.

2.2.1 A Trilogia da Qualidade

Avocada como sendo a base sobre a qual se desenvolveram as vertentes Seis Sigma (DMAIC) e *Design for Six Sigma* (DFSS), a Trilogia da Qualidade, mais conhecida como Trilogia de Juran, foi desenvolvida pelo engenheiro eletricitista romeno Joseph Moses Juran, famoso por seus inúmeros trabalhos sobre controle de qualidade de processos (GODFREY; KENETT, 2007).

A Trilogia de Juran é, em alguma medida, baseada na sua crença de que toda e qualquer melhoria na qualidade dos produtos e processos só ocorre através de projetos especificamente criados com esse fim, e de nenhuma outra forma (LUCAS, 2002). Ela foi desenvolvida como uma abordagem universal que permite sua implementação em todas as áreas de uma empresa, independentemente de seu tamanho e complexidade, com o objetivo de guiar os procedimentos internos de Gestão da Qualidade (guiando, dessa forma, os projetos de melhoria da qualidade) (JURAN, 1986).

Juran (1986) afirma que o conceito básico da Trilogia da Qualidade é que a Gestão da Qualidade consiste de três processos básicos:

- Planejamento da qualidade;
- Controle da qualidade;
- Melhoria da qualidade.

Sobre esses processos básicos, o autor afirma:

Cada um desses processos é universal, executado segundo uma sequência invariável de atividades [...]. Além disso, esses processos universais são correlacionados de uma maneira que nós podemos apresentar na forma de um simples diagrama (JURAN, 1986, p. 20, tradução minha).

Uma descrição da Trilogia da Qualidade pode ser encontrada nos trabalhos de Juran (1986) e Godfrey e Kenett (2007). Esses trazem ainda um estudo do impacto dos trabalhos de Joseph Juran no campo da Engenharia da Qualidade.

2.2.2 Desdobramento da Função Qualidade (QFD)

Segundo Sullivan (1986 apud CHAN; WU, 2002, p. 463, tradução minha): “[o método Desdobramento da Função Qualidade (QFD)] é um conceito geral que fornece os meios para a tradução dos requisitos do cliente em requisitos técnicos apropriados, em cada etapa do desenvolvimento e da produção do produto”.

De acordo com Chan e Wu (2002), a metodologia QFD foi criada no Japão, no início da década de 1970, pelo professor Joji [Yoji] Akao. Sua evolução se deu a partir de um número de diferentes iniciativas, cujos principais objetivos eram melhorar a qualidade do projeto e definir os pontos críticos de controle de qualidade antes mesmo do início da produção.

O método QFD é orientado para o cliente, podendo ser considerado como uma abordagem estruturada para permitir a inovação no projeto de novos produtos. O uso do método permite que os requisitos do cliente sejam traduzidos em requisitos de engenharia, relacionando as demandas do mercado com especificações de peças, de processo e, por fim, com o próprio planejamento do processo produtivo (GOVERS, 1996).

Sobre as características metodológicas do QFD, Cheng (2003) afirma:

[...] quanto ao tipo de problema de interesse, o QFD pode ser considerado como um método que trata dos problemas de desenvolvimento de produto do tipo bem-definido ou bem-estruturado (o oposto seria problemas mal-definidos e mal-estruturados). Isso se deve ao fato de, ao se iniciar um estudo de QFD, haver normalmente um esforço consciente de delinear claramente quais são os objetivos a serem alcançados por aquele projeto específico de desenvolvimento de produto. [...] Com relação ao objeto de interesse, QFD se focaliza primordialmente na lógica de estruturação e raciocínio dos indivíduos sobre dois recursos principais para desenvolvimento de produto: informação e trabalho. A lógica de estruturação e raciocínio consiste de o porquê, o que (sic), e como a informação dever (sic) ser coletada, processada e distribuída, e por quê, o que (sic), e como o trabalho deve ser estruturado, alocado e executado. (CHENG, 2003, p. 7, grifos do autor)

Embora seja aplicado principalmente como uma forma de assegurar a qualidade de novos produtos, se reporta também o seu uso em processos menos tangíveis,

como o setor de serviços e o desenvolvimento de *softwares* (CHENG, 2003). No Brasil, o QFD é empregado desde a década de 1990 nos serviços de saúde, conforme relatado por Radharamanan e Godoy (1996) e por Matsuda, Évora e Boan (1998).

O QFD continua ainda hoje a ser aplicado, sozinho ou em conjunto com outros métodos, em vários tipos de problemas. Lima Junior et al. (2018) aplicaram o método QFD para priorizar ações de gestão de resíduos eletroeletrônicos em um centro universitário; Pillon, Silva e Almeida (2017) o utilizaram para definir e priorizar requisitos de projeto para o desenvolvimento de jogos digitais para idosos; Reis et al. (2017) empregaram o QFD para incrementar a qualidade de postes de concreto utilizados na transmissão de energia elétrica; Luz (2017) propõe um modelo conceitual de emprego da metodologia QFD em conjunto com a metodologia de tomada de decisão *fuzzy* ANP, para definir e priorizar requisitos de projeto de novos produtos de defesa; Yazdani et al. (2017) também combinaram o uso do QFD com metodologias de tomada de decisão a partir de múltiplos critérios, para seleção de fornecedores que não apenas atendam os requisitos do cliente como também adotem uma postura ambientalmente responsável; por fim, Torres et al. (2018) apresentam a junção do QFD com o método *World Café* para auxiliar o processo de aquisição das vozes do cliente.

2.2.3 O Seis Sigma

A letra grega sigma (σ) é internacionalmente usada como um símbolo de desvio padrão, uma medida estatística de variação em torno de uma média. Para uma distribuição normal, a probabilidade de um evento estar dentro de um intervalo de $\pm 6\sigma$ em torno da média é de 99,99966%. Um processo ou produto com desempenho Seis Sigma é virtualmente livre de erros, uma vez que a taxa de defeitos desse processo seria de apenas 3,4 ocorrências por milhão de unidades (YANG; EI-HAIK, 2008).

Estudos no campo indicam que há pelo menos quatro definições de Seis Sigma quando se trata da metodologia industrial (TJAHJONO et al., 2010). Uma das mais usadas é apresentada a seguir.

Seis Sigma é uma metodologia que fornece aos negócios as ferramentas para melhorar a capacidade de seus processos empresariais. [...] No Seis Sigma, o propósito da melhoria do processo é aumentar o desempenho e diminuir a variação do desempenho. Isso [...] levará à redução de defeitos e melhoria nos lucros, na moral dos funcionários, na qualidade dos produtos e, eventualmente, à excelência nos negócios (YANG; EI-HAIK, 2008, p.21, tradução minha).

Segundo Chowdhury (2003), o emprego da metodologia Seis Sigma tem como foco a eliminação de erros, desperdício e retrabalho. Na indústria, enquanto boa parte dos programas adotados se concentra na produção de mais produtos, aumento do volume de produção, desenvolvimento de conceitos vívidos de *marketing*, etc. (o que poderia ser chamado de uma abordagem “agressiva”, de “ataque”), o Seis Sigma foca em fazer muitas das coisas que uma empresa já faz, mas fazê-las melhor, com menos erros (foco em “defesa”).

O Seis Sigma foi desenvolvido na Motorola na década de 1980. Harry (1998) relata que o então presidente dessa empresa, Bob Galvin, desafiou sua equipe a melhorar em dez vezes o desempenho da companhia ao longo dos cinco anos subsequentes. Enquanto os executivos da empresa se dedicaram a encontrar maneiras de reduzir perdas, um engenheiro chamado Bill Smith resolveu estudar a correlação entre as ocorrências registradas em um produto durante o seu uso e o nível de reparos nele executados durante sua fabricação. Em 1985, Smith concluiu que quando determinado produto era identificado como defeituoso durante a produção, sofrendo posterior reparo, frequentemente outros defeitos apareciam durante o uso do produto, já nas mãos do consumidor final. Por outro lado, se a produção do produto tivesse sido livre de erros, raramente surgiam outros defeitos. O desafio passou a ser, portanto, reduzir o nível de defeitos dos processos produtivos, de forma a reduzir as falhas dos produtos.

Alguns autores afirmam que o Seis Sigma foi construído a partir do método *Total Quality Management* (TQM), tornando-se dele uma extensão (BRADY; ALLEN, 2006). A metodologia original desenvolvida se chama MAIC, iniciais das suas etapas: Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (TJAHJONO et al., 2010). Algum tempo mais tarde, desenvolveu-se na GE o método DMAIC, onde D significa Definir (SHAHIN, 2008). Godfrey e Kenett (2007) afirmam que a metodologia DMAIC se trata, na verdade, do processo de Melhoria da Qualidade da Trilogia de Juran.

A GE, onde nasceu o DMAIC, é uma das empresas que mais contribuíram para a difusão do Seis Sigma. Desde a década de 1980, a empresa já vinha buscando melhorias em seus processos através da adoção de vários diferentes programas. Em 1995, seu então presidente, Jack Welch, decidiu que as abordagens não estavam produzindo resultados suficientes e embarcou no Seis Sigma, adaptando o método desenvolvido na Motorola. Os bons resultados na companhia serviram de vitrine para a metodologia, o que levou à sua rápida disseminação entre empresas norte-americanas (HENDERSON; EVANS, 2000).

Sobre o DMAIC e a abrangência de seu uso, Prata et al. (2004) nos dizem:

Quando a maioria das pessoas refere-se ao seis sigma estão na verdade referindo-se à metodologia DMAIC. Esta metodologia deve ser usada quando um produto ou processo que já existe na empresa está em desacordo com as especificações do cliente ou o desempenho do processo não está adequado (PRATA et al., 2004, p. 2).

Cada uma das etapas da abordagem DMAIC possui entregas específicas atreladas a ela. O leitor é encorajado a encontrar essas informações nos trabalhos de Harry (1998), Henderson e Evans (2000), Brady e Allen (2006), Yang e EI-Haik (2008), Chakravorty (2009), Tjahjono et al. (2010) e Mast e Lokkerbol (2012). No QUADRO 2.2, apresenta-se um resumo das entregas de cada fase do DMAIC.

QUADRO 2.2
Entregas e atividades básicas das etapas do processo DMAIC.

Definir	Seleção do Problema e Análise de Benefícios Identificar e mapear processos relevantes Identificar os <i>stakeholders</i> Determinar e priorizar necessidades e requisitos do cliente Criar o <i>business case</i> do projeto
Medir	Tradução do problema em uma forma mensurável, e medição da situação atual; definição refinada dos objetivos Selecionar um ou mais CTQs Determinar as definições operacionais para os CTQs e seus requisitos Validar os sistemas de medição dos CTQs Avaliar a capacidade e desempenho atuais do processo Definir objetivos
Analisar	Identificação dos fatores de influência e das causas que determinam o comportamento dos CTQs Identificar potenciais fatores de influência Selecionar os fatores de influência vitais
Melhorar	Projeto e implementação de ajustes no processo para melhoria do desempenho dos CTQs Quantificar relações entre Xs e CTQs Projetar ações para modificar o processo ou as configurações dos fatores de influência de forma a otimizar os CTQs Conduzir testes piloto das ações de melhoria
Controlar	Verificação empírica dos resultados do projeto e ajuste do sistema de gerenciamento e controle do processo para assegurar que as melhorias sejam sustentáveis Determinar o novo desempenho do processo Implementar planos de controle

FONTE: traduzido de Mast e Lokkerbol (2012), com informações de Koning e Mast (2006).

Embora tenha havido um interesse significativo pelo Seis Sigma, o processo tem suas limitações. Por exemplo, embora o Seis Sigma seja frequentemente descrito como um método de resolução de problemas, já foi identificado que uma de suas limitações mais importantes é justamente a sua metodologia para o diagnóstico das causas do problema, considerada pouco eficiente, já que os procedimentos para a sua identificação são apresentados como uma coleção de técnicas incoerentes e pouco estruturadas (MAST; LOKKERBOL, 2012).

Näslund (2008) declarou acreditar que o Seis Sigma estava fadado a seguir o caminho de outros “fenômenos da moda” e desaparecer, por compartilhar, essencialmente, a mesma abordagem fundamental com outros procedimentos já existentes, tais como *Just In Time* (JIT) e *Total Quality Management* (TQM). Mesma preocupação já estava expressa no trabalho de Senapati (2004), que afirma que o Seis Sigma é um processo de melhoria contínua como qualquer outro.

Não obstante tais críticas, é importante ressaltar que o desenvolvimento do método se seguiu nos anos subsequentes, sendo hoje amplamente difundido, sobretudo na forma *lean* Seis Sigma, descrita por Pepper e Spedding (2010).

Além disso, há uma crescente preocupação com falhas na implementação do Seis Sigma, apesar da grande variedade existente de guias para sua efetivação. Numerosos autores – Antony e Banuelas (2002), Kwak e Anbari (2006), Chakravorty (2009), Brun (2011) – abordaram este problema, e várias metodologias de implementação e Fatores Críticos de Sucesso (CSF) foram identificados.

A maior de todas as desvantagens, no entanto, parece ser a aparente incapacidade da técnica em mudar ativamente um processo ou produto de seu nível atual de desempenho para um nível Seis Sigma. De acordo com Shahin (2008), as empresas perceberam que, quando atingem o nível cinco sigma, a única maneira de progredir é redesenhar seus produtos, processos e serviços. Isso levou ao desenvolvimento do *Design for Six Sigma* (CHOWDHURY, 2003).

2.2.4 Design for Six Sigma (DFSS)

Dickinson (2006) assim define essa metodologia:

Design for Six Sigma (DFSS) é um processo sistemático de concepção de projetos destinado a produzir produtos robustos que atendam às expectativas do cliente. A robustez é definida aqui como o desempenho do produto que é insensível à variação, tanto na manufatura quanto no ambiente da sua aplicação (DICKINSON, 2006, p. 1, tradução minha).

O DFSS foi desenvolvido para ajudar os engenheiros a projetar seus produtos corretamente já na primeira tentativa, evitando, assim, problemas de qualidade após o lançamento do produto (DICKINSON, 2006). Isso é feito antecipando os efeitos das vulnerabilidades conceituais e operacionais no projeto (YANG; EI-HAIK, 2008). O DFSS é composto de ferramentas estatísticas abrangentes que são usadas para prever e melhorar a qualidade antes de construir um protótipo (SHAHIN, 2008).

Mader (2003) afirma que o DFSS não se destina a substituir os procedimentos de projeto atuais de uma organização. Em vez disso, ele deve ser usado como uma estrutura auxiliar, no nível macro – portanto mais abrangente, para definição de entregas intermediárias no desenvolvimento do projeto e critérios de desempenho para os procedimentos já em vigor.

Embora o Seis Sigma e o DFSS compartilhem as mesmas raízes, tratam-se de metodologias diferentes que devem ser aplicadas a diferentes situações. O Seis Sigma é reativo, pois se concentra na eliminação de erros em processos, produtos ou serviços existentes. O DFSS é mais agressivo, pois pretende ajudar a projetar um processo, produto ou serviço que atinja o nível de desempenho seis sigma desde o início (SHAHIN, 2008).

A escolha de qual metodologia implementar em cada empresa tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores, mas o ponto de transição ideal entre elas não é claro. Métodos de tomada de decisão a partir da análise de vários critérios, como o *Analytical Hierarchy Process* (AHP), têm sido utilizados com sucesso para auxiliar a identificar o limiar de uso de cada metodologia (BAÑUELAS; ANTONY, 2004).

Ao passo que o Seis Sigma é amplamente reconhecido por seu acrônimo DMAIC, o DFSS tem sido adotado em uma miríade de abordagens que resultaram em várias nomenclaturas. Segundo Shahin (2008), estas são algumas delas:

- Definir, Medir, Analisar, Projetar e Verificar (DMADV);

- Identificar, Projetar, Otimizar e Validar (IDOV);
- Definir, Iniciar, Projetar, Executar e Manter (DIDES);
- Inventar, Inovar, Desenvolver, Otimizar e Verificar (IIDOV);
- Desenvolvimento de conceito, Desenvolvimento de projeto, Otimização, Verificação e Certificação (CDOV);
- Definir, Caracterizar, Otimizar e Verificar (DCOV);
- Identificar, Projetar, Avaliar, Assegurar, Escalar (IDEAS);
- Identificar, Definir, Desenvolver, Otimizar, Verificar (IDDOV).

Independentemente do método empregado, o uso do DFSS possui sempre os mesmos objetivos iniciais, quais sejam: assegurar a qualidade do produto e o atendimento às necessidades dos clientes. No entanto, essas diferentes abordagens do DFSS possuem cada qual suas especificidades e, via de regra, as entregas intermediárias são distintas. O leitor é novamente encorajado a buscar maiores informações sobre esse tópico, sendo sugeridos para isso os trabalhos de Shahin (2008) e Watson e Deyong (2010).

3 METODOLOGIA

As atividades desempenhadas no escopo do presente trabalho podem ser divididas em duas etapas distintas:

- Estudo comparativo da eficiência de peso, ou eficiência de uso de material, dos capôs de veículos FCA e concorrentes;
- Emprego do DFSS como uma ferramenta auxiliar no desenvolvimento de um conceito de capô automotivo, visando melhoria da qualidade e redução de peso do componente.

Essas etapas foram executadas para atingir os objetivos propostos para este trabalho, indicados na subseção 1.4, quais sejam desenvolver um conceito de capô automotivo que melhor atenda as expectativas dos clientes e que seja mais leve.

O conhecimento gerado durante a avaliação da eficiência de peso dos capôs foi utilizado para entender o panorama atual do mercado nacional e para determinação do desempenho corrente dos veículos FCA frente aos seus competidores. Os resultados guiaram a definição dos objetivos de peso para os novos capôs, adotado como uma restrição no Projeto DFSS que se seguiu.

Todos os procedimentos realizados são apresentados nas subseções a seguir.

3.1 Medição e comparação da eficiência de peso

3.1.1 O componente em tela: o capô automotivo

O capô automotivo é uma estrutura usualmente metálica localizada na parte anterior dos veículos com motor dianteiro. Esse componente pertence ao grupo de peças cujo projeto é responsabilidade da Engenharia Carroceria, subgrupo Partes Móveis (ou *Closures*, por seu nome em inglês). Um exemplo está mostrado na FIGURA 3.1.



FIGURA 3.1: Exemplo de capô - Fiat Linea 1.6 Emotion 2013 (versão para o mercado europeu).
 FONTE: Banco de dados A2MAC1. Cortesia da FCA.

Uma vista explodida desse componente é mostrada na FIGURA 3.2, onde é possível notar as diferentes estruturas que se lhe afixam.

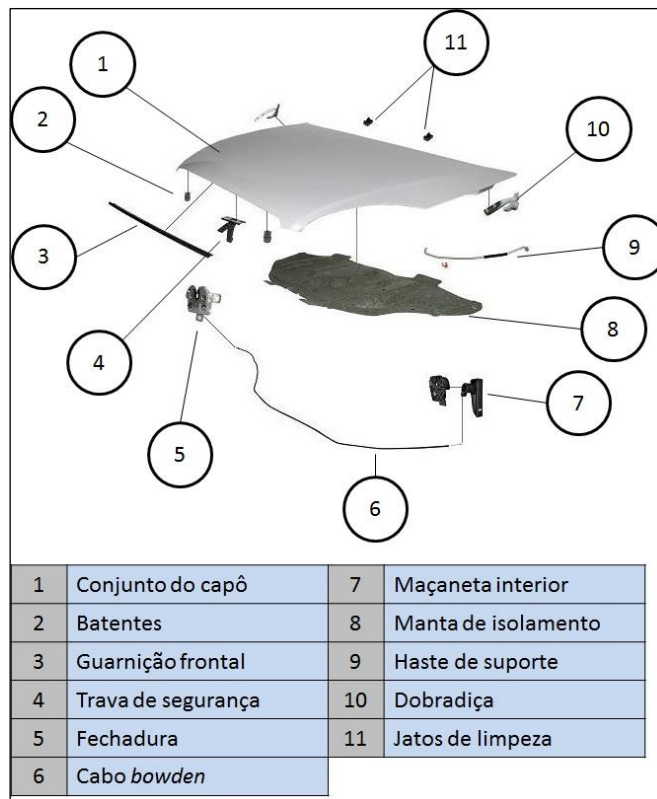


FIGURA 3.2: Vista explodida do capô do veículo Fiat Linea 1.6 Emotion 2013 (versão para o mercado europeu).
 FONTE: Elaborada pelo autor com imagem do banco de dados A2MAC1.

O “Conjunto do Capô”, item 1 na FIGURA 3.2, é na verdade um componente composto por diferentes elementos. Será este o item a ser desenvolvido no presente trabalho. Uma geometria interna típica está mostrada na FIGURA 3.3.

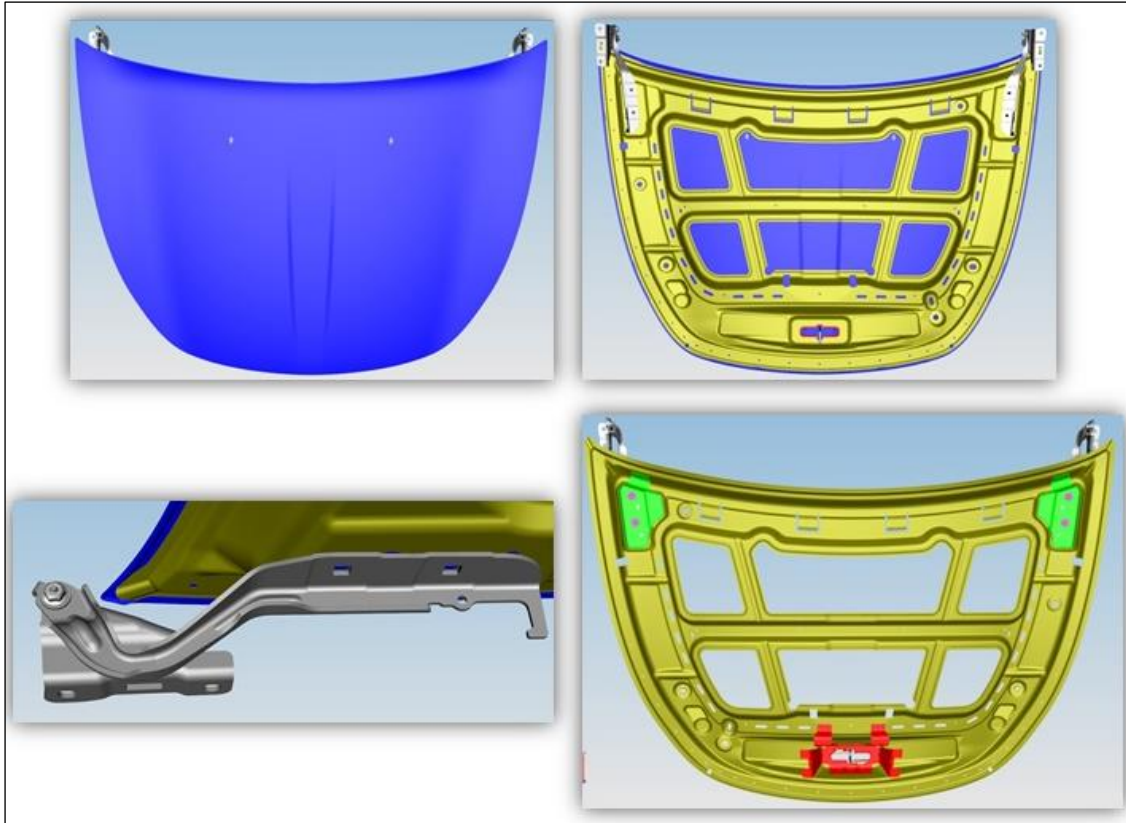


FIGURA 3.3: Exemplo das geometrias internas de um capô do Grupo FCA.
FONTE: Cortesia da FCA LATAM

Um capô tem quatro funções prioritárias:

- Suportar a si próprio e aos demais componentes nele afixados de forma rígida;
- Proteger o motor de elementos externos, como estilhaços;
- Possuir uma zona de deformação controlada, em caso de acidentes;
- Proteger o pedestre em caso de atropelamento.

Todas essas funções são realizadas pela estrutura metálica mostrada na FIGURA 3.3. Os elementos que foram desenvolvidos serão apresentados na Subseção 4.2.1.2.

3.1.2 Definição de WSR

Como explicitado, existe atualmente grande pressão para reduzir o peso dos veículos, de forma a auxiliar as montadoras de automóveis a atingir suas metas de redução de consumo de combustível e eficiência energética.

Embora existam diversas formas de realizar essa redução de peso, em todas é necessário que haja uma métrica que permita comparar diferentes projetos, bem como avaliar o desempenho dos produtos desenvolvidos em comparação com seus concorrentes no mercado.

Dessa forma, define-se o parâmetro WSR (do inglês *weight to size ratio*) como sendo a razão entre a massa de um determinado componente e sua área envoltória superficial – vide EQ. (3.1).

$$WSR = \frac{m_{parte}}{A_{parte}} \quad (3.1)$$

A definição desse parâmetro é propícia, uma vez que ele permite mensurar a eficiência de uso de material em diferentes partes automotivas. Valores pequenos de WSR indicam que a peça pode cobrir uma grande área sem ser muito pesada, ao passo que valores grandes mostram o oposto.

Na FIGURA 3.4, ilustra-se esquematicamente o conceito de WSR para um capô, bem como as variáveis envolvidas na sua determinação.

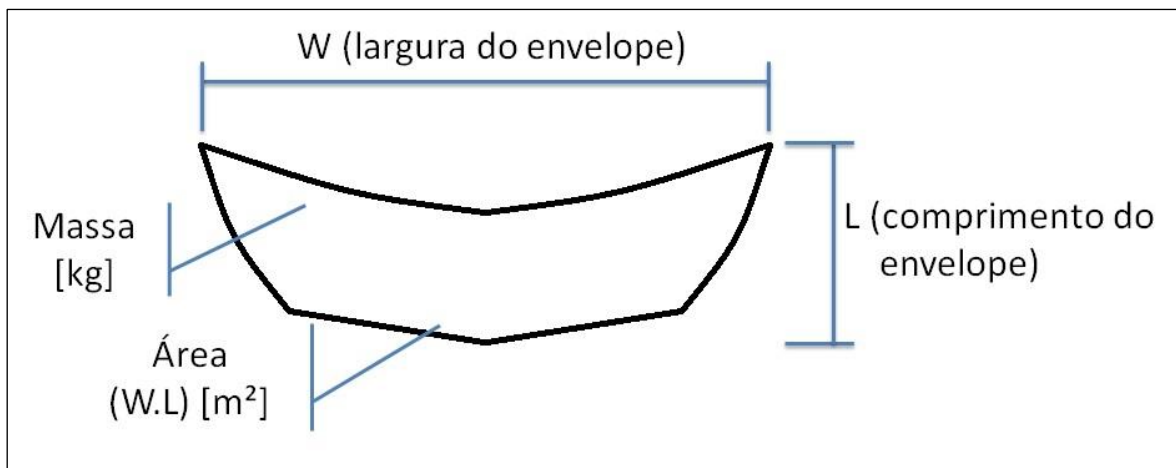


FIGURA 3.4: O conceito de WSR para um capô automotivo.

FONTE: Elaborada pelo autor.

3.1.3 Medição do WSR

Neste trabalho, foi implementada na planta de Betim-MG da FCA uma metodologia de avaliação e comparação do WSR para o sistema de *closures* de um automóvel, baseado em informações obtidas do banco de dados A2MAC1 (www.a2mac1.com). Dita metodologia foi adaptada do que é atualmente empregado na planta de Detroit (EUA) da FCA, tendo sido utilizada para avaliação da eficiência de peso dos capôs automotivos.

Em primeiro lugar, com base em uma lista de veículos de interesse, procedeu-se à coleta de informações acerca dos capôs. Para cada veículo na lista, foram recolhidas as informações de peso da estrutura e dimensões externas dos capôs, bem como copiou-se do sistema as fotografias dos mesmos (vistas de topo, frontal e lateral).

Utilizando o *software* de código aberto IMAGEJ (imagej.nih.gov/ij), foi possível a medição da área do capô. Esse programa permite que sejam realizadas uma série de medidas em imagens, desde que seja definida uma escala apropriada.

Para ilustrar o procedimento realizado, e facilitar sua compreensão, o mesmo será apresentado por meio de um exemplo prático.

O capô do veículo Chery QQ 2010 é mostrado na FIGURA 3.5 e na FIGURA 3.6, vistas superior, frontal e lateral. As vistas frontal e lateral indicam, ainda, as dimensões externas da peça.



FIGURA 3.5: Vista superior do capô do veículo Chery QQ 2010.
FONTE: Banco de dados A2MAC1. Cortesia da FCA.

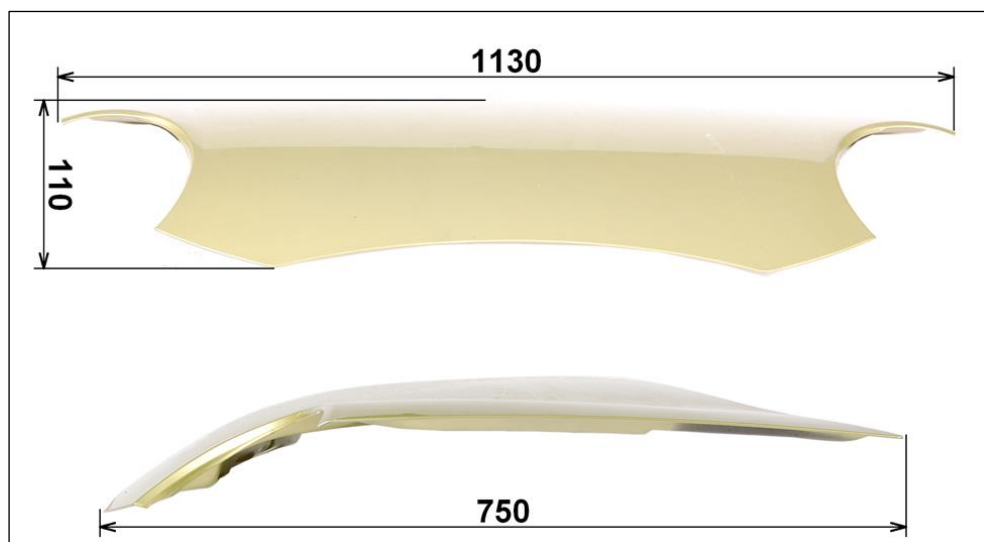


FIGURA 3.6: Vistas frontal e lateral do capô do veículo Chery QQ 2010.
FONTE: Banco de dados A2MAC1. Cortesia da FCA.

Em primeiro lugar, deve ser feita a definição da escala. O eixo horizontal (X) deve ser calibrado primeiro, normalmente correspondendo à largura do capô. Uma linha reta de comprimento conhecido deve ser desenhada ao longo do eixo X. O comprimento da linha deve ser fornecido ao programa, que usa essa informação para definir a escala da imagem (expressa em pixel/distância).

Na sequência, o eixo vertical (Y) deve ser calibrado. Para fazer isso, uma linha reta vertical de comprimento conhecido deve ser desenhada sobre a imagem. Uma vez que a escala da foto já foi definida, o *software* é capaz de medir o comprimento dessa linha. O valor medido deve ser comparado com o valor real conhecido. A razão entre o valor real e o valor medido pelo programa fornecem a "Razão de aspecto" da imagem, que deve ser informada ao *software*.

De posse dessas informações, o *software* pode calcular distâncias e áreas na imagem. A definição da escala está ilustrada na FIGURA 3.7.

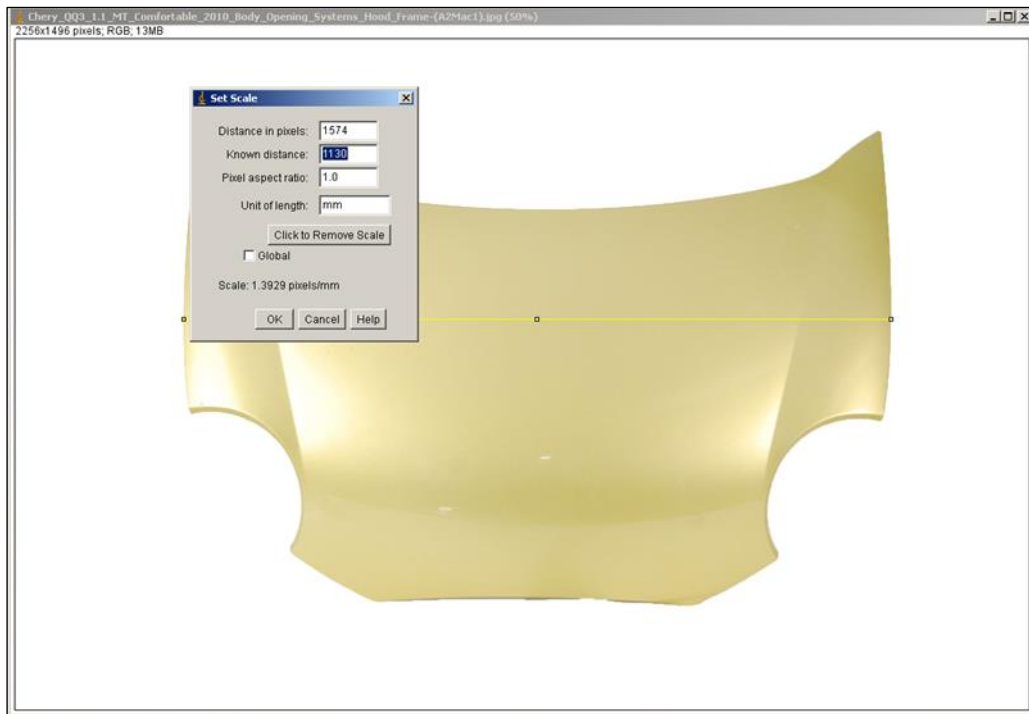


FIGURA 3.7: Definição da escala da imagem.
FONTE: Elaborada pelo autor.

Há que se ressaltar que o que se deseja medir é a área superficial de envoltória do capô, e não sua área projetada. Assim, nas situações em que se identifique que o capô possua sua estrutura demasiado curvada, as dimensões da envoltória (largura e comprimento) devem ser medidas para que sejam fornecidas ao programa como parâmetros de entrada quando da definição da escala da vista superior do capô. A determinação dessas dimensões deve ser feita utilizando basicamente a mesma metodologia já descrita. Abre-se uma vista que mostre a curva que se deseja medir, define-se a escala utilizando uma dimensão conhecida e mede-se o comprimento da curva usando o IMAGEJ.

Para o veículo indicado, o comprimento do capô considerando a sua curvatura foi medido em 788 mm, um aumento de cerca de 5% em relação ao seu comprimento informado no A2MAC1 (750 mm).

Posteriormente, utilizando a ferramenta que melhor se adeque ao gosto do usuário, o contorno da área de interesse na imagem deve ser traçado. Uma vez que o contorno esteja definido, a área do capô pode ser calculada (vide FIGURA 3.8 e FIGURA 3.9).

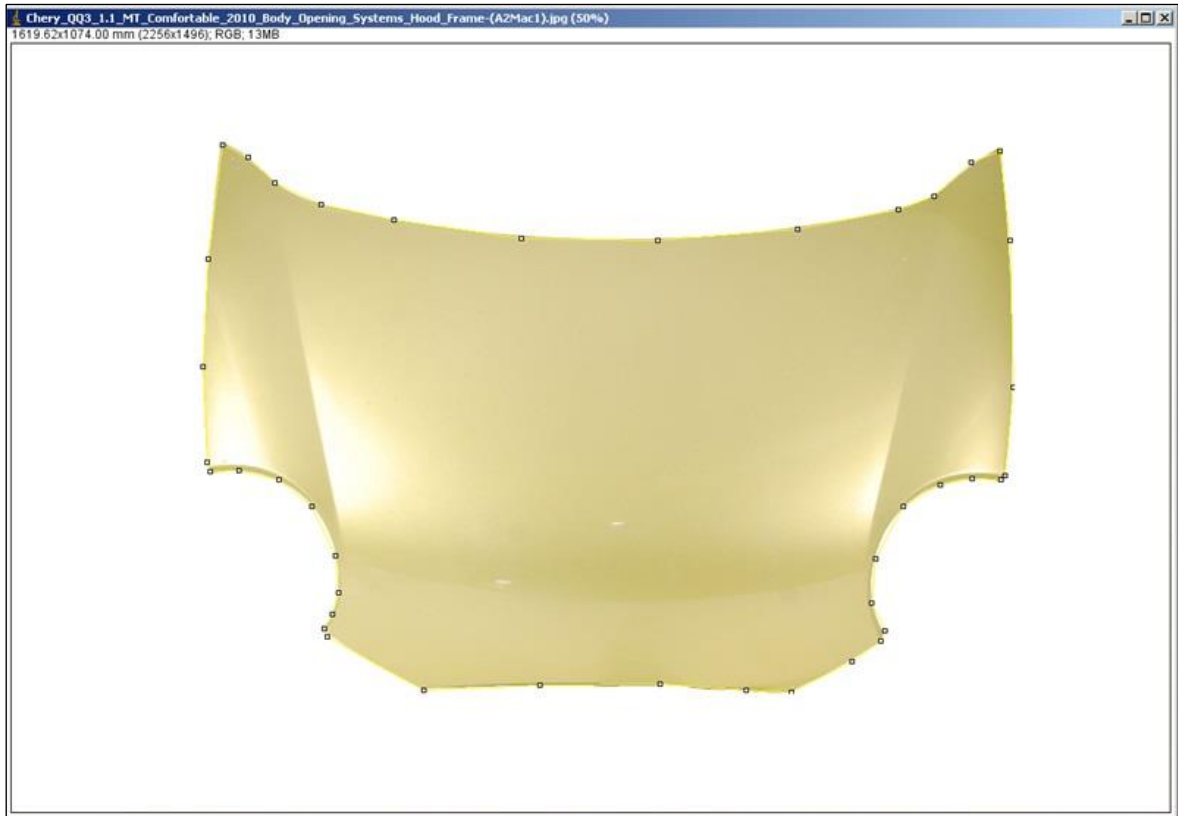


FIGURA 3.8: Traçado do contorno do capô.

FONTE: Elaborada pelo autor.

	Area	Mean	Min	Max
1	634693.739	192.023	118	255

FIGURA 3.9: Exemplo de resultado de uma medição de área.

FONTE: Elaborada pelo autor.

Uma vez que tenham sido medidas as áreas dos capôs, é possível o cálculo do WSR dos mesmos. Para isso, conforme a definição apresentada pela EQ. (3.1), basta que seja calculada a razão entre a massa do capô e sua área superficial medida.

Como o escopo de veículos cujos capôs tiveram sua eficiência avaliada por esta metodologia é amplo, para fins de comparação foram aplicados filtros de forma a criar

subcategorias que permitiram uma avaliação mais precisa do grau de desenvolvimento dos capôs dos veículos FCA. Estas foram as quatro subdivisões criadas:

- NFA: Inclui todos os veículos avaliados.
- SMH: Inclui os veículos cujos capôs são feitos de aço.
- OFV: Inclui os veículos FCA LATAM (vendidos no mercado brasileiro).
- SMHB: Inclui os veículos da categoria B cujos capôs são feitos de aço.

A classificação “categoria B”, mencionada acima, tem relação com o tamanho dos veículos. No QUADRO 3.1, a definição dos limites de comprimento de cada categoria é apresentada.

QUADRO 3.1
Limites de comprimento das categorias veiculares.

Carroceria	Categoria				
	A	B	C	D	E
Sedan	-	< 4400 mm	< 4700 mm	< 4900 mm	> 4900 mm
Hatch	< 3700 mm	< 4200 mm	< 4500 mm	< 4900 mm	> 4900 mm

FONTE: Elaborado pelo autor.

A comparação entre os diferentes veículos foi realizada de maneira direta, confrontando-se os valores calculados de WSR. Quanto menores os valores de WSR, mais eficientes são os capôs, e melhores colocados são os veículos.

Ressalta-se que o fato de que as massas dos capôs estarem ponderadas pelas suas áreas é o que permite a comparação de veículos de diferentes tamanhos. Simplesmente comparar as massas sem considerar as diferenças de tamanho não é uma abordagem razoável para fins de avaliação do grau de desenvolvimento dos produtos.

O resultado obtido com essa comparação permitiu a determinação de metas para o valor de WSR dos futuros capôs de veículos FCA que são realistas e alinhadas ao cenário corrente do mercado nacional.

3.2 Desenvolvimento do conceito de capô – DFSS

O desenvolvimento do novo conceito de capô seguiu os procedimentos preconizados pela metodologia *Design for Six Sigma* (DFSS) utilizada na planta de Detroit da FCA. Por tal abordagem, os projetos DFSS são compostos de cinco fases bem definidas:

- Identificar;
- Definir;
- Desenvolver;
- Otimizar;
- Verificar.

O nome das cinco fases batiza o método, chamado IDDOV. Ressalta-se que esse não foi o único criado desde o surgimento do DFSS, conforme já apontado na Subseção 2.2.4, tendo sido aqui escolhido por já ser utilizado dentro do grupo FCA. Segundo Watson e Deyong (2010), essa abordagem apareceu pela primeira vez na literatura científica em 2002, e sua origem é incerta.

Para o desenvolvimento de um novo conceito de capô, não foi necessário executar todas as cinco fases do projeto DFSS IDDOV. Bastou para tanto a execução das três primeiras (IDD), uma vez que as duas últimas fases (OV) se destinam a otimizar um conceito proposto e não a desenvolvê-lo. A otimização do conceito não está no escopo do presente trabalho.

As tarefas realizadas neste trabalho estão indicadas nas seções que se seguem. Elas se baseiam em um manual de execução de projetos DFSS (ASI CONSULTING GROUP, 2008), cortesia da FCA US.

Os métodos aqui utilizados podem ser separados em dois grupos: um é composto por ferramentas que compõem a abordagem tradicional do DFSS; o outro consiste em etapas desenvolvidas a partir de modificações do DFSS original, que foram feitas para garantir o cumprimento dos objetivos deste trabalho.

Nesta seção, a abordagem original do DFSS e a modificação proposta serão identificadas claramente, para que o leitor possa discernir facilmente o que já é utilizado na indústria das modificações feitas no procedimento original.

3.2.1 DFSS IDD – Fase Identificar

Na Fase Identificar, elaborou-se o planejamento geral do projeto, com definição do cronograma, *stakeholders*, e do escopo. Nessa etapa, os objetivos e as entregas do projeto foram definidos e a equipe que desempenhou as atividades foi formada.

É, em suma, um estágio no qual decisões são tomadas e informações iniciais são coletadas. Ao fim da Fase Identificar, o Líder de Projeto obtém uma visão geral de todas as tarefas que devem ser executadas. As informações que normalmente são coletadas

e/ou definidas durante esse estágio do projeto estão indicadas na FIGURA 3.10. Todas foram definidas neste trabalho.

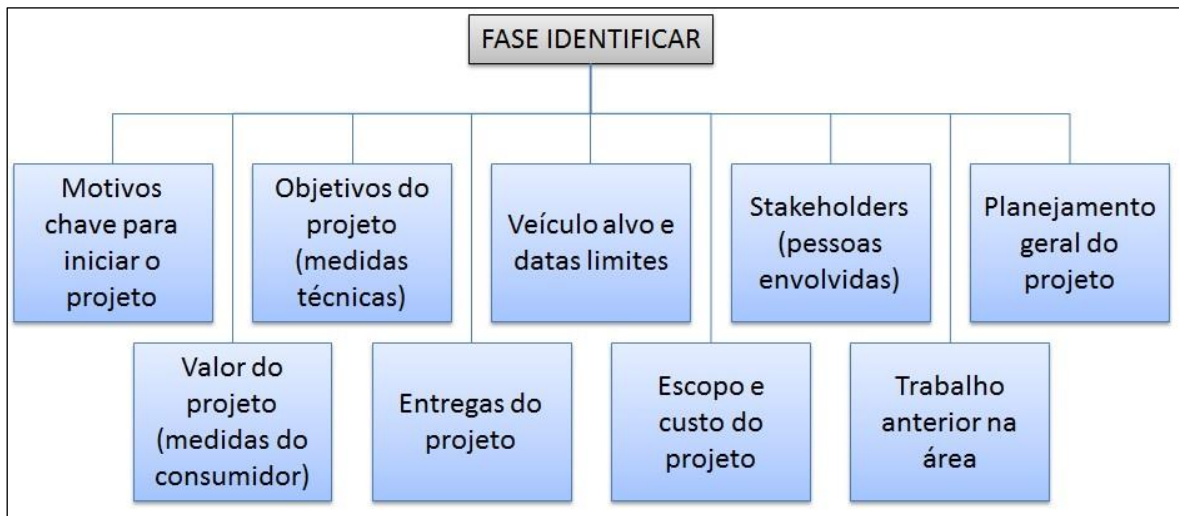


FIGURA 3.10: Metodologia DFSS IDD: Entregas da Fase Identificar.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

3.2.2 DFSS IDD – Fase Definir

Em um projeto DFSS IDD, duas etapas compõem a Fase Definir: QFD Fase I e QFD Fase II, onde QFD significa Desdobramento da Função Qualidade (do inglês *Quality Function Deployment*). As principais entregas dessa fase são mostradas na FIGURA 3.11.

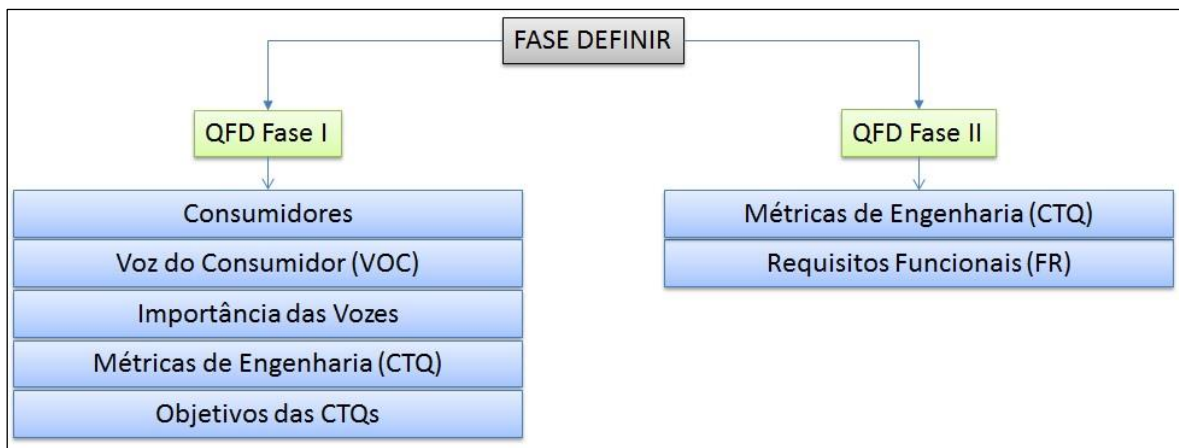


FIGURA 3.11: Metodologia DFSS IDD: Entregas da Fase Definir.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

No QFD Fase I, os clientes internos e externos são identificados e seus desejos e necessidades são determinados (Requisitos do Cliente ou Voz do Cliente – VOC). Existem muitas maneiras pelas quais isso pode ser feito: clínicas com o cliente, observação do uso real do componente, entrevistas com clientes, etc.

Os Requisitos do Cliente foram sintetizados a partir de projetos DFSS anteriormente executados na planta de Detroit da FCA (FCA US). Trinta e seis Vozes foram utilizadas neste trabalho.

Para definir a importância de cada uma das Vozes, clientes reais foram entrevistados. As entrevistas foram realizadas via e-mail, no qual foi enviado a sete consumidores a lista de VOCs e lhes foi solicitado que dessem a cada uma delas uma nota, de 1 a 5, onde 1 significa “sem importância” e 5 significa “muito importante”.

Ressalta-se que, embora a lista de Vozes do Cliente tenha sido desenvolvida nos Estados Unidos, os clientes entrevistados foram brasileiros. Dessa forma, a perspectiva do consumidor nacional foi considerada no momento da avaliação da importância de cada um das Vozes. Trata-se de procedimento importante, uma vez que as expectativas dos consumidores variam de acordo com o mercado.

As Vozes e sua importância formam a base que permite a utilização da presente metodologia. Esses dados devem ser traduzidos em métricas de engenharia, que podem ser medidas adequadamente (Requisitos de Engenharia ou Crítico para a Qualidade – CTQ).

O processo de mapeamento é direto e simples. Cada VOC deve se correlacionar a um CTQ; isso é o que garante que os requisitos do cliente serão atendidos durante o projeto do componente, já que assegura-se que haverá uma métrica específica e mensurável diretamente correlacionada a cada uma das vozes do cliente.

Em grandes empresas, geralmente há um conjunto já existente de medidas e testes para um determinado componente. Nesse caso, essa lista deve servir de base para a criação dos CTQs. Caso contrário, os membros da equipe devem desenvolvê-los.

No presente trabalho, aproveitou-se do fato de que a FCA já possui uma relação de testes realizados em capôs automotivos para criar os CTQs. Um conjunto de 42 Requisitos de Engenharia foi identificado, sendo a maioria deles testes virtuais realizados pela equipe de Análise Virtual da FCA LATAM.

Para completar o processo de mapeamento de VOCs para CTQs, é necessário montar a Casa da Qualidade I (HOQ #1), que é uma matriz que organiza as informações e ajuda a definir as metas para cada CTQ.

O principal objetivo dessa matriz é permitir que o Líder do Projeto e sua equipe identifiquem todas as correlações existentes entre CTQs e VOCs, o que possibilita que os CTQs sejam classificados em ordem de importância. Com base na importância de cada CTQ, do ponto de vista do cliente, o Líder de Projeto pode então tomar uma decisão

informada sobre os objetivos de desempenho para cada um deles, bem como, se necessário, definir quais devem ser priorizados. A montagem da HOQ #1 marca o final do QFD Fase I.

Na Fase II do QFD, os CTQs são traduzidos em Requisitos Funcionais (FR), também conhecidos como Funções Básicas, que são uma descrição neutra “do que um sistema faz” - normalmente expresso como uma sentença simples e direta (recomenda-se que siga o esquema sujeito-verbo-complemento) escrita na voz ativa.

Na definição dos Requisitos Funcionais, os CTQs mais importantes identificados na Fase I do QFD devem ser considerados. Para cada CTQ deve haver um ou mais FRs que definem como a satisfação do cliente será alcançada.

No âmbito do presente trabalho, os Requisitos Funcionais foram definidos a partir da totalidade dos CTQs. Para cada um dos testes, a equipe de projeto buscou responder: "quais funções básicas são necessárias para atingir esse CTQ?". As respostas à essa pergunta permitiram a obtenção da lista final de FRs.

Como no QFD Fase I, a importância dos CTQs e a intensidade da correlação entre o FR e o CTQ devem ser usados para determinar a importância de cada FR na satisfação geral do cliente. Para estabelecer essas relações, CTQs e FRs devem ser organizados em uma segunda Casa da Qualidade (HOQ #2), na qual as correlações existentes entre eles podem ser identificadas.

Como resultado da identificação das correlações existentes, os FRs mais importantes podem ser identificados com base no ponto de vista do cliente. Essa classificação é, em si, uma informação útil para o Grupo FCA, pois explicita com quais das funções desempenhadas pelo capô o cliente mais se importa.

O roteiro seguido durante a Fase Definir está mostrado na FIGURA 3.12. Um esquema do processo de mapeamento de VOCs para FRs pode ser visto na FIGURA 3.13.

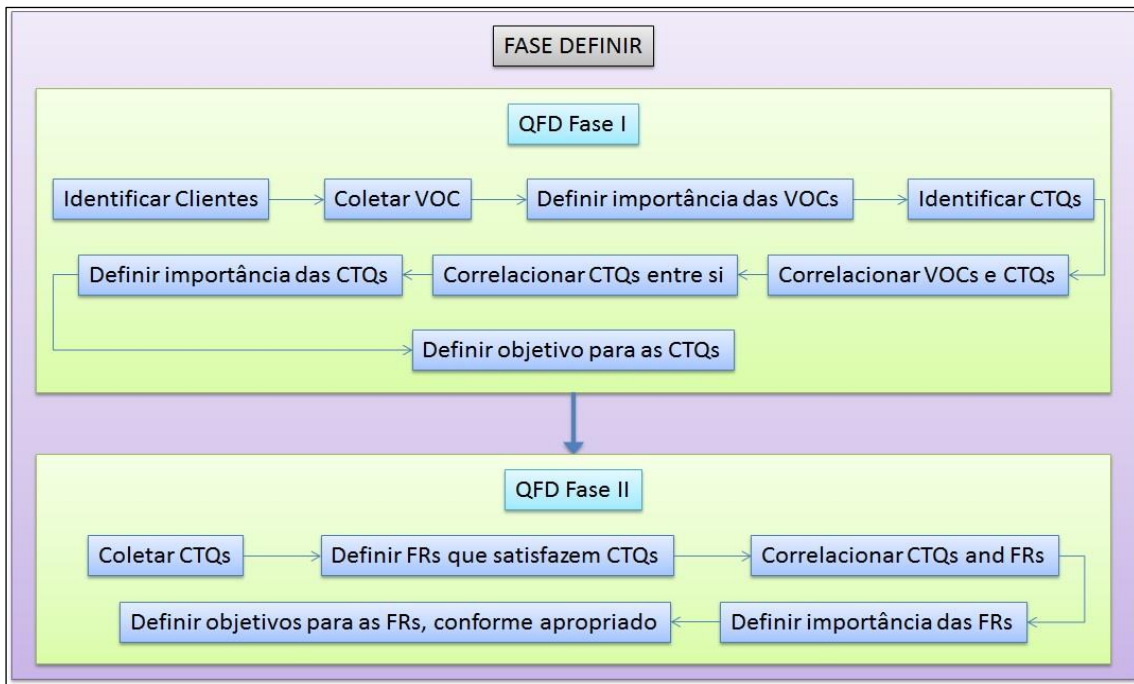


FIGURA 3.12: Metodologia DFSS IDD: Roteiro das tarefas da Fase Definir.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

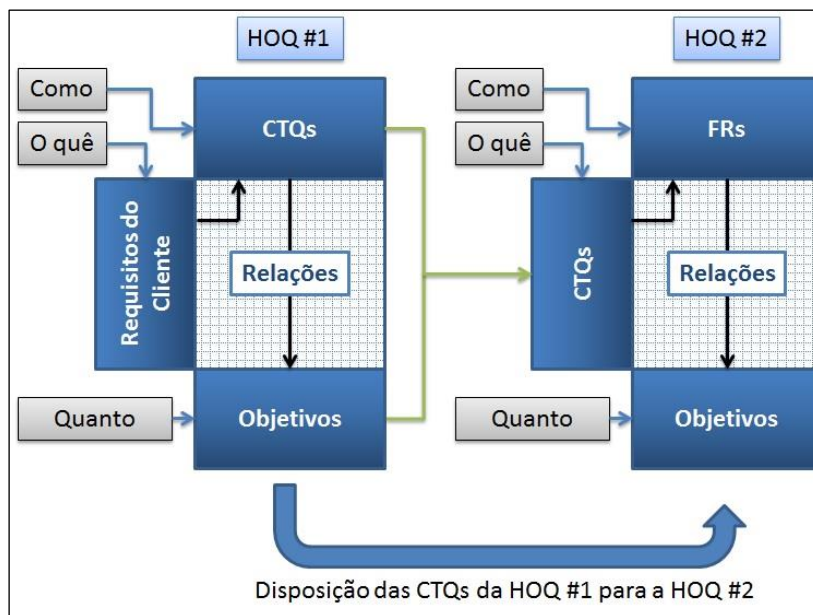


FIGURA 3.13: Metodologia DFSS IDD: Processo de mapeamento das VOCs para FRs.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

3.2.3 DFSS IDD – Fase Desenvolver

Terceira e última fase realizada durante esse trabalho, a Fase Desenvolver é a etapa na qual se elaborou o conceito proposto.

Este é um passo crítico em projetos DFSS, pois é o momento em que o projeto conceitual é finalmente elaborado. O objetivo dessa etapa é a proposição de um conceito

que não tenha “pontos fracos”. Na nomenclatura da metodologia DFSS, esses “pontos fracos” são chamados de “vulnerabilidades conceituais”.

Compõem essa fase diferentes estratégias que podem ser empregadas pelos projetistas em sua tarefa de evitar conceitos vulneráveis. *Design Axiomático*, *brainstorming*, TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas) e Seleção de Conceitos de Pugh são algumas delas.

Aqui cabe ressaltar que os procedimentos executados durante a Fase Desenvolver foram ligeiramente diferentes do usual:

Por padrão, para cada um dos Requisitos Funcionais deve-se desenvolver duas ou mais alternativas de conceitos que sejam capazes de realizar a função requerida. Esse desenvolvimento deve ser feito, preferencialmente, usando o *Design Axiomático*. O seguinte passo é a definição de critérios, obrigatoriamente relacionados ao cliente, que podem ser utilizados para comparar essas propostas. Por fim, utilizando a Seleção de Conceitos de Pugh, os conceitos são comparados e o melhor deles é identificado. Tais passos devem ser repetidos para cada um dos diferentes Requisitos Funcionais identificados durante a Fase Definir. O conceito final proposto é então um projeto híbrido formado a partir da combinação das melhores soluções para cada Função Básica.

No presente trabalho, não foram elaboradas diferentes propostas para as Funções Básicas do capô. Após a definição dos Requisitos de Engenharia (CTQs) e dos Requisitos Funcionais, utilizou-se dessas informações para a definição de uma lista inicial de critérios que pudesse ser utilizada na comparação de distintos conceitos de capô. À essa lista inicial, foram adicionadas contribuições feitas pela Equipe de Projeto. Os conceitos comparados foram capôs de veículos da concorrência e de um veículo do Grupo FCA. O conceito com melhor desempenho após realização da Seleção de Conceitos de Pugh se tornou o conceito proposto nesse trabalho.

Serão descritos, nos subitens que se seguem, os procedimentos para elaboração dos critérios e para seu uso.

3.2.3.1 Criação de Critérios

Como afirmado, o uso do DFSS pretende garantir que os Requisitos do Cliente para um determinado produto – um capô automotivo, no presente trabalho – não sejam negligenciados durante o projeto.

A correlação direta entre os Requisitos do Cliente e os critérios utilizados nesta comparação é assegurada pelo fato de que todos os critérios iniciais foram – e devem

sempre ser – derivados das HOQ #1 e HOQ #2. Ou os CTQs mais importantes ou os FRs mais importantes devem ser utilizados como critérios iniciais. A priorização dos mesmos deve ser feita de acordo com o ponto de vista do cliente. No presente trabalho, os CTQs mais importantes foram utilizados.

Além desses critérios iniciais, que se relacionam diretamente com os Requisitos do Cliente, outros também podem ser criados pela Equipe de Projeto, conforme se considere apropriado. O objetivo é ampliar a lista de critérios para incluir características desejáveis que podem ter sido negligenciadas pelo cliente, mas que são consideradas importantes pela Equipe de Projeto.

Neste trabalho, quatro engenheiros da equipe *Closures* foram entrevistados. Foi-lhes perguntado: “em sua opinião, o que deveria ser levado em consideração na comparação de diferentes conceitos de capôs?”. Suas respostas, após análise prévia para remoção de redundâncias, foram incorporadas aos critérios iniciais para formação da lista final de critérios comparativos.

O processo descrito nos parágrafos anteriores está mostrado graficamente na FIGURA 3.14.

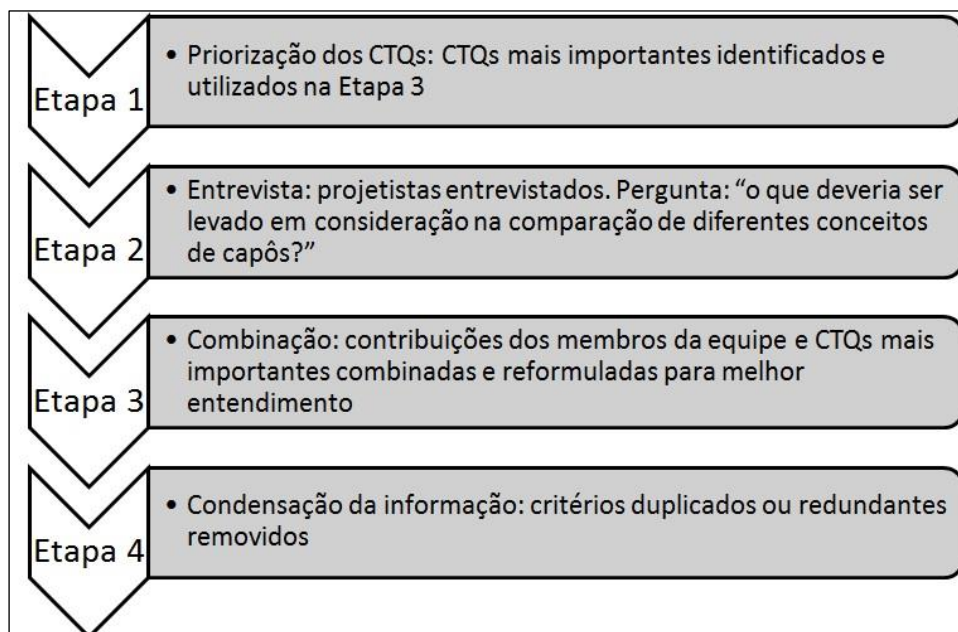


FIGURA 3.14: Etapas para elaboração dos critérios comparativos a partir dos Requisitos de Engenharia.

FONTE: Elaborada pelo autor.

3.2.3.2 Utilização dos critérios desenvolvidos

Ao utilizar os critérios comparativos desenvolvidos, objetiva-se encontrar o conceito de capô que melhor atende aos Requisitos do Cliente. Para tanto, uma outra ferramenta que é utilizada em projetos DFSS deve ser adaptada: a Seleção de Conceitos de Pugh.

A Seleção de Conceitos de Pugh, ou simplesmente Análise de Pugh, é um procedimento empregado para definir qual conceito, dentre os comparados, melhor atende um determinado requisito. Foi criado na década de 1990 pelo falecido professor Stuart Pugh (Universidade de Strathclyde, Escócia). O objetivo do seu uso é evidenciar os pontos mais fortes e eliminar ou melhorar os pontos mais fracos dos conceitos comparados, permitindo a seleção e síntese de uma proposta final livre de vulnerabilidades.

Para fazer uso dessa metodologia, são necessárias duas informações:

- Os conceitos que serão comparados;
- Os critérios que serão utilizados para fazer a comparação.

Conforme mencionado, neste trabalho não foram comparadas propostas para cada uma das Funções Básicas do capô, e sim para o capô como um todo. Dessa forma, os conceitos comparados foram capôs de um veículo do grupo FCA e de quatro veículos de montadoras concorrentes.

Os critérios foram desenvolvidos conforme explicado no Subseção 3.2.3.1

Na Análise de Pugh, é preciso definir o chamado Projeto DATUM, que é a base de comparação do processo, ou seja, cada um dos conceitos será comparado a ele. Normalmente, o DATUM é escolhido dentre os projetos atuais da empresa onde se está executando o projeto, para garantir que os próximos projetos serão melhores do que o atual (em termos de atendimento às expectativas do consumidor). Para este trabalho, o veículo FCA escolhido para ser o DATUM foi o recém lançado Fiat Argo.

Uma vez escolhidos os critérios e os conceitos, estes devem ser comparados, critério a critério, ao DATUM. Isso pode ser feito de duas maneiras diferentes: através da execução de testes físicos ou através de avaliação subjetiva feita por um júri técnico especializado.

Na primeira alternativa, mais aplicável se os critérios são derivados de testes físicos, os diferentes conceitos são submetidos a análises físicas, cujos resultados permitem uma comparação direta entre o desempenho de cada conceito e o do DATUM.

A segunda opção, se não houver possibilidade de realizar testes físicos nos conceitos, é a avaliação subjetiva da lista de critérios feita por um júri. Nesse caso, bem como no procedimento de teste físico já mencionado, os conceitos devem ser comparados, critério por critério, ao DATUM. Não obstante, são os membros do júri os que devem avaliar o desempenho dos conceitos, sendo os únicos responsáveis por decidir coletivamente quais deles são melhores do que o DATUM e quais são piores. É aconselhável que os jurados sejam projetistas experientes e, de preferência, funcionários que trabalhem em diferentes áreas ou em diferentes fases do projeto.

Neste trabalho, a comparação dos capôs foi feita através da avaliação por júri. Relatórios descritivos dos projetos foram elaborados e enviados aos jurados para auxiliá-los a realizar a comparação. A avaliação foi feita através de inspeção visual dos capôs listados.

Para cada um dos critérios, os conceitos foram então comparados ao DATUM e classificados em “claramente melhor” (“+”), “claramente pior” (“-”), “aproximadamente igual” (“S”) ou “informação insuficiente” (“L”), conforme seu desempenho na comparação. A classificação “informação insuficiente” foi utilizada apenas quando os jurados alegaram não ser viável avaliar um critério específico com base nas informações disponíveis.

Em seguida, os resultados da comparação foram organizados em uma tabela e, em seguida, (+)'s e (-)'s foram somados, o que permitiu que os conceitos fossem classificados. Quanto maior a quantidade de (+)'s e menor a quantidade de (-)'s, melhor o conceito. Embora não se deva considerar essa uma classificação absoluta, ela indica quais conceitos melhor satisfazem as expectativas do cliente.

Geralmente, novos conceitos são propostos considerando as melhores práticas adotadas por cada um dos conceitos que foram comparados durante a Análise de Pugh. O que ficou melhor classificado se tornará a base para o desenvolvimento de novos produtos. Essa foi a abordagem empregada neste trabalho.

3.2.3.3 Correlação entre os critérios de Pugh e os elementos do capô

A Seleção de Conceitos de Pugh, da forma como foi empregada neste trabalho, permite identificar qual dos conceitos comparados melhor atende aos requisitos do cliente. No entanto, como os conceitos foram capôs automotivos completos, há pouca informação sobre o desempenho dos elementos individuais que compõem o capô.

Para sanar esse problema, uma metodologia adicional que permite correlacionar os resultados da Análise de Pugh com os elementos do capô foi desenvolvida. Embora não seja parte do portfólio de ferramentas do DFSS, tais métodos se inspiram nele e, ainda, utilizam seus resultados extensivamente.

Após a realização da Seleção de Conceitos de Pugh, tem-se uma tabela preenchida com os resultados da comparação dos diferentes conceitos ao DATUM. Essa tabela tem uma forma como a mostrada na FIGURA 3.15.

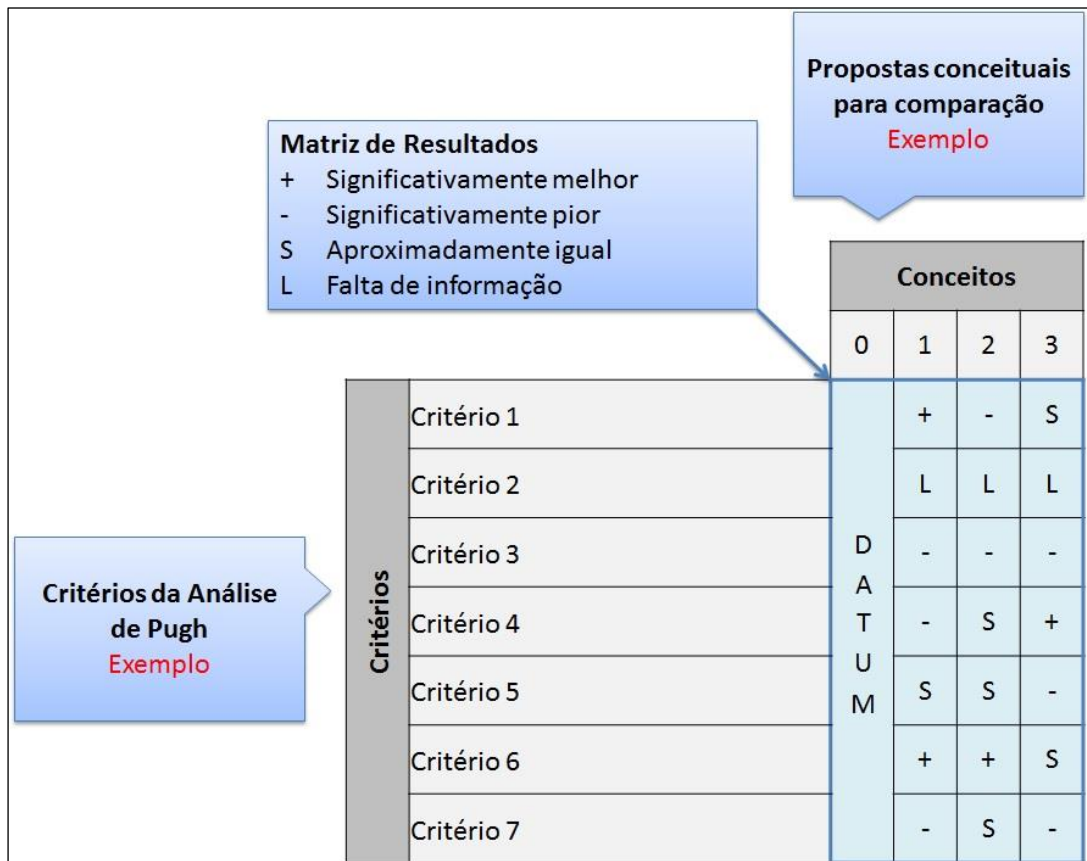


FIGURA 3.15: Exemplo esquemático da matriz de resultados da Seleção de Conceitos de Pugh.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

Após essa etapa, os resultados algébricos da comparação devem ser convertidos em resultados numéricos. Os resultados “claramente melhor”, “claramente pior”, “aproximadamente igual” e “informação insuficiente” devem ser convertidos para “3”, “-3”, “0” e “0”, respectivamente. Essa conversão está exemplificada na FIGURA 3.16.

		Conceitos					Conceitos			
		0	1	2	3		0	1	2	3
Critérios	Critério 1		+	-	S	Critérios		+3	-3	0
	Critério 2		L	L	L			0	0	0
	Critério 3	D A T U M	-	-	-			-3	-3	-3
	Critério 4		-	S	+			-3	0	+3
	Critério 5		S	S	-			0	0	-3
	Critério 6		+	+	S			+3	+3	0
	Critério 7		-	S	-			-3	0	-3

FIGURA 3.16: Exemplo de conversão dos resultados da Seleção de Conceitos de Pugh.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

Em seguida, é preciso tomar os elementos do capô que estão dentro do escopo do projeto e correlacioná-los aos critérios desenvolvidos. O processo de mapeamento é basicamente o mesmo já empregado na Casa da Qualidade I e II (QFD Fase I e QFD Fase II), e consiste em estabelecer o grau de correlação entre critérios e elementos. Exemplificase o procedimento de correlação na FIGURA 3.17.

		Elementos do capô em escopo Exemplo				
		Elemento do capô 1	Elemento do capô 2	Elemento do capô 3	Elemento do capô 4	Elemento do capô 5
Critérios da Análise de Pugh Exemplo	Elementos em escopo					
	Critérios					
	Critério 1	1		9		1
	Critério 2		3			
	Critério 3				9	
	Critério 4	3				1
Critério 5				3		
Critério 6		9				

Matriz de Correlação
 9: correlação forte
 3: correlação média
 1: correlação fraca

FIGURA 3.17: Exemplo de correlação entre critérios da Seleção de Conceitos de Pugh e elementos do capô.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

Por fim, para determinação do desempenho final de cada elemento, é necessário combinar essas informações. Isso foi feito através da soma dos produtos da intensidade de cada correlação pelo resultado numérico da Análise de Pugh, para cada um dos critérios elencados, o que é matematicamente expresso pela EQ. (3.2).

$$DE = \sum_{critérios=1}^n (NC_{critério} \times RP_{critério}) \tag{3.2}$$

De maneira esquemática, a correlação entre os resultados da Seleção de Conceitos de Pugh e os vários elementos que formam o capô está mostrada na FIGURA 3.18.

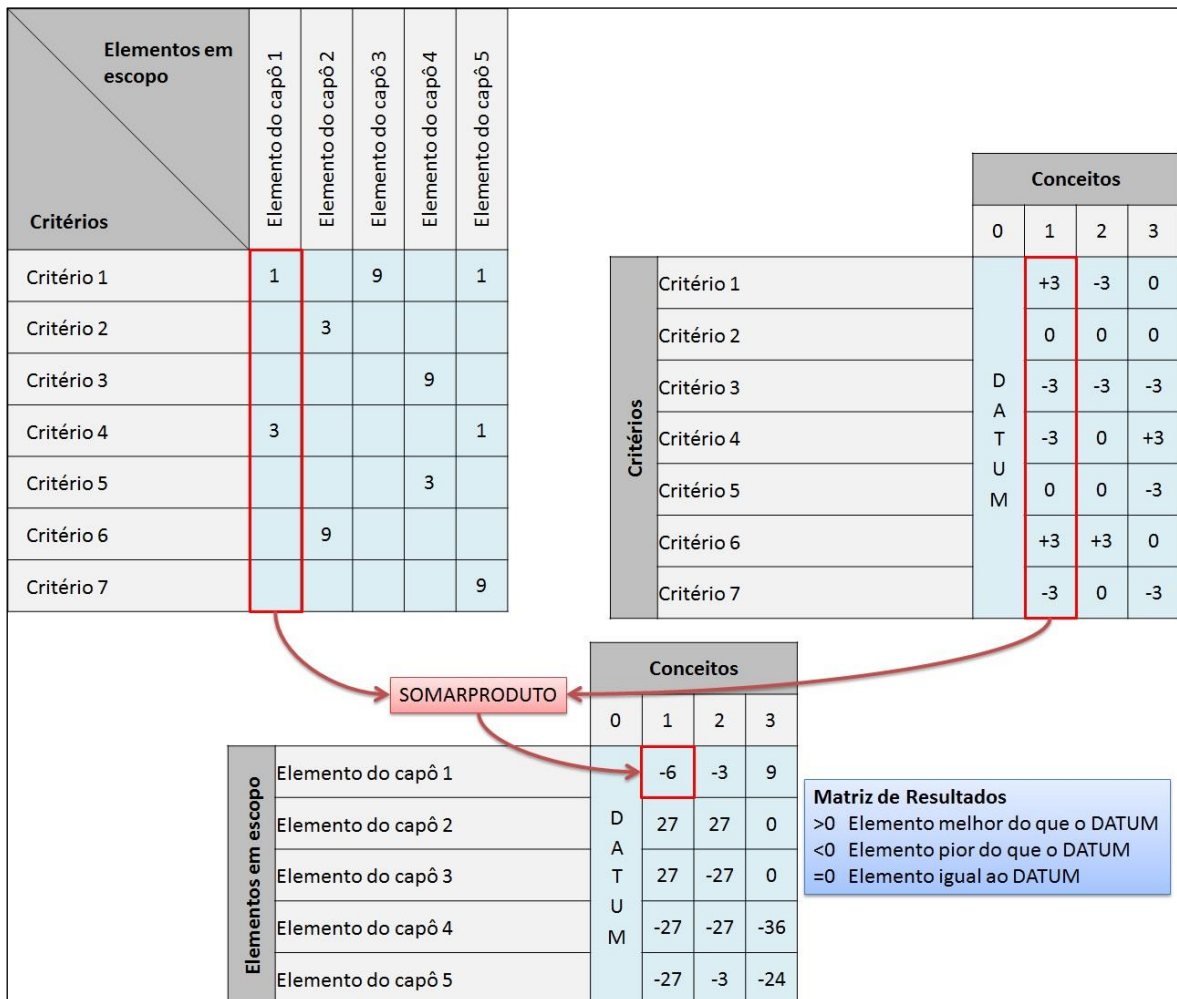


FIGURA 3.18: Exemplo esquemático da correlação entre a Análise de Pugh e os elementos em escopo.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

3.2.3.4 Proposição do novo conceito do capô

O novo conceito de capô automotivo foi proposto tendo como base os resultados da Seleção de Conceitos de Pugh e sua correlação com os elementos que constituem esse componente.

Como mencionado na Subseção 3.2.3.2, posteriormente à comparação dos conceitos escolhidos, é necessário montar uma tabela com os resultados da análise. A quantidade de avaliações positivas (+), negativas (-) e de equivalência (S) devem ser então somadas, de forma a permitir que seja elaborada uma classificação dos conceitos, no qual aquele com maior número de avaliações positivas e menor número de avaliações negativas é apontado como o melhor.

O conceito “vencedor” dessa “disputa” deve se tornar a base para o desenvolvimento de novos projetos, uma vez que ele é o que melhor atende aos critérios elegidos para guiar a comparação.

Adicionalmente, os métodos descritos na Subseção 3.2.3.3 permitem descobrir o desempenho dos componentes que integram o capô automotivo, no que toca ao atendimento às expectativas dos clientes. Dessa forma, é possível a proposição de um “projeto híbrido”, que seja feito a partir das melhores partes de cada conceito que foi comparado.

No presente trabalho, o capô que ficou melhor classificado na Análise de Pugh se tornou a base para os novos projetos. Dessa forma, seu arranjo geométrico geral, forma, material e dimensões foram considerados como “ótimos”, servindo como ponto de referência.

Essa base conceitual foi aprimorada com as informações de desempenho de cada componente. O conceito proposto passou, então, a incorporar características dos melhores componentes individuais.

Mais além, para finalização do conceito proposto, levou-se em consideração as restrições de peso e os pontos fortes de cada conceito identificados durante a Análise de Pugh para finalizar a proposta final do conceito.

Com isso, o conceito de capô proposto possui características híbridas e apresenta capacidade de satisfazer as demandas dos consumidores.

A visão geral das etapas narradas nos parágrafos anteriores está apresentada na FIGURA 3.19, que resume o processo de desenvolvimento do novo conceito de capô.

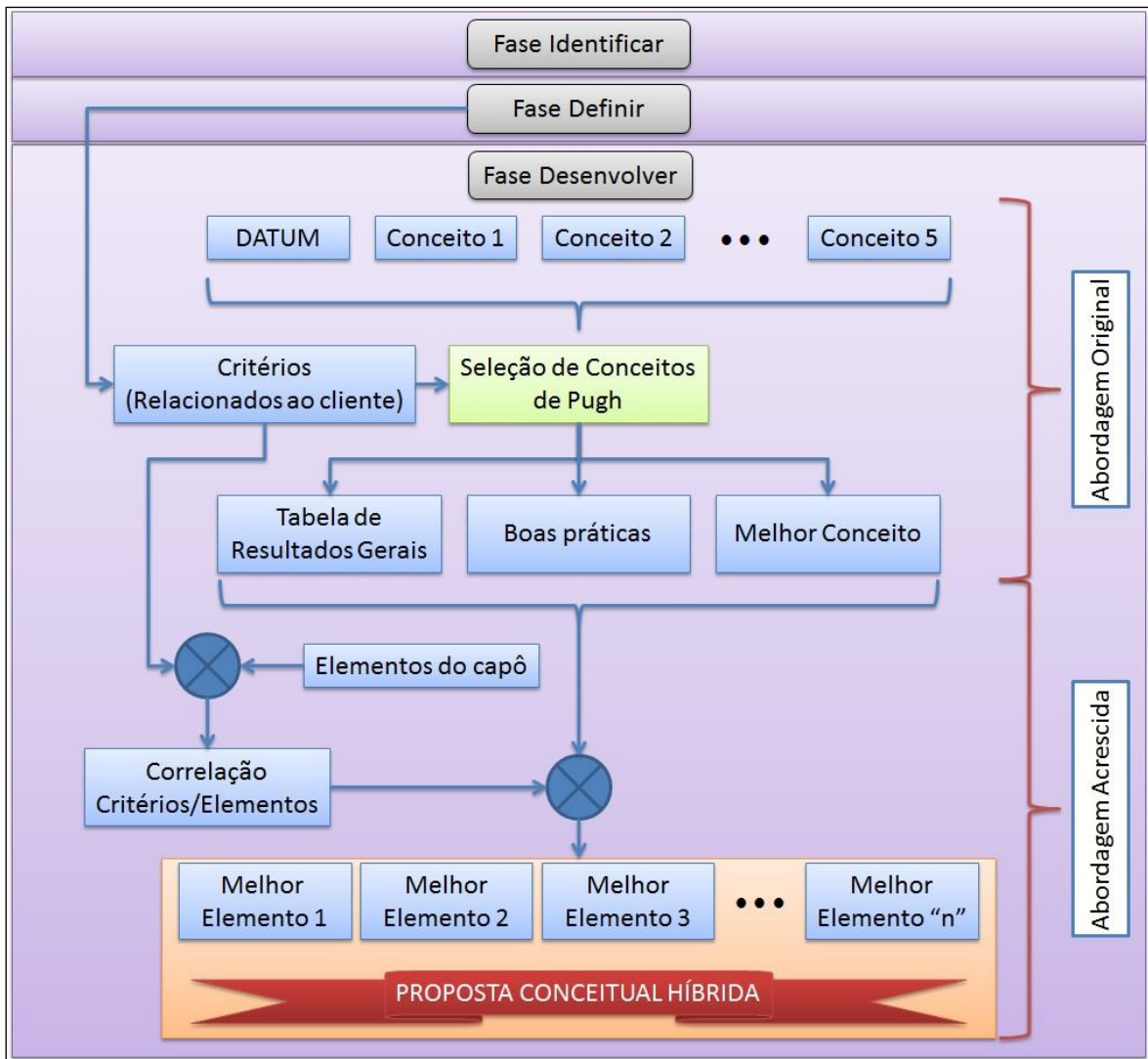


FIGURA 3.19: Metodologia empregada para o desenvolvimento do conceito de capô.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É conveniente relembrar aqui o objetivo deste trabalho, que é apresentar uma metodologia para desenvolvimento de uma proposta para um novo conceito de capô, a ser empregado, prioritariamente, em futuros veículos de pequeno e médio porte do Grupo FCA. Tal conceito proposto deve atender aos requisitos do cliente para esse componente e ser mais leve do que o atualmente empregado.

Os resultados do presente trabalho são apresentados nesta seção, divididos em dois grupos principais e complementares:

- Resultados da aplicação da metodologia de medição e comparação da eficiência de peso dos capôs;
- Resultado da aplicação da metodologia DFSS para desenvolvimento de um novo conceito de capô (juntamente com todas as entregas intermediárias do método).

Em que pese o fato de o desenvolvimento do conceito do capô ter sido feito durante a Fase Desenvolver do projeto DFSS, a sua descrição, ressalvados os eventuais segredos industriais, será mostrada em uma seção separada.

4.1 Avaliação da eficiência de peso dos capôs

Os resultados da implementação da presente metodologia de comparação da eficiência de uso dos materiais, ou eficiência de peso, dos capôs automotivos podem ser vistos de duas óticas distintas mas complementares:

- Os resultados da aplicação da metodologia em si, ou seja, a avaliação do WSR em vários modelos vendidos no mercado brasileiro;
- Os resultados da implementação da metodologia na planta de Betim da FCA.

Com relação ao segundo item da lista acima, por se tratar de um procedimento que era realizado de uma outra maneira na planta de Betim da FCA, pode-se inferir que o simples contato da equipe de engenharia com a metodologia descrita já representa um ganho para a empresa, ao propiciar aos seus colaboradores o contato com uma nova maneira de ver o problema.

Ademais, os procedimentos anteriormente adotados para comparação de peças automotivas, como o capô, careciam de rigor científico, o que poderia levar a conclusões precipitadas sobre o real grau de desenvolvimento dos produtos FCA frente aos dos seus concorrentes.

Por fim, agora tem-se disponível para uso interno um banco de dados montado de maneira estruturada que permite descobrir, a qualquer tempo, quão bem desenvolvidos estão os capôs automotivos da FCA e de seus principais concorrentes. Esse tipo de informação é valiosa em um ambiente industrial, e pode auxiliar a guiar o desenvolvimento dos produtos desde suas etapas iniciais, visando reduzir o peso dos veículos. Ao permitir identificar facilmente os carros mais eficientes, o acesso a esse banco de dados permite ainda que sejam conduzidas análises de *benchmarking* para identificar as melhores práticas atualmente realizadas na indústria.

No que tange ao primeiro item da lista, os resultados estão indicados nas subseções a seguir.

4.1.1 Resultados do Grupo NFA

Os resultados encontrados a partir da aplicação dessa metodologia para os veículos agrupados como NFA (todos os veículos avaliados) estão apresentados no QUADRO 4.1.

Pode-se notar que não há na lista nenhum capô feito de aço, o que corrobora a tese de que o uso de materiais alternativos ao aço possui um grande potencial de redução de peso nas carrocerias automotivas.

O veículo mais bem classificado nessa categoria possui capô feito de plástico, o que explica o fato de que ele é, em média, 35% mais eficiente do que seus concorrentes, feitos de alumínio. Trata-se de uma notável exceção à regra, uma vez que não é comum o uso desse material em capôs automotivos.

QUADRO 4.1
Cinco melhores WSR para veículos do grupo NFA.

Posição	Marca	Modelo	Material	WSR [kg/m ²]
1º	Smart	ForTwo	Plástico	3,56
2º	Citroën	C4 Hatch	Alumínio	5,21
3º	Audi	Q3	Alumínio	5,49
4º	Citroën	C4 Lounge	Alumínio	5,54
5º	Toyota	Prius	Alumínio	5,57

FONTE: Elaborado pelo autor.

Na FIGURA 4.1 mostra-se o capô automotivo com melhor eficiência e no QUADRO 4.2 apresenta-se um resumo das suas propriedades.



FIGURA 4.1: Vistas superior e inferior do Smart ForTwo.
 FONTE: Banco de dados A2MAC1. Cortesia da FCA.

QUADRO 4.2
 Propriedades do capô do veículo Smart ForTwo.

Massa [kg]	2,266
Área superficial [m ²]	0,637
WSR [kg/m ²]	3,56
Material	Plástico

FONTE: Elaborado pelo autor.

4.1.2 Resultados do Grupo SMH

No QUADRO 4.3 mostram-se os resultados encontrados a partir da aplicação da presente metodologia aos veículos do grupo SMH (apenas capôs feitos em aço).

QUADRO 4.3
Cinco melhores WSR para veículos do grupo SMH.

Posição	Marca	Modelo	Material	WSR [kg/m ²]
1°	Tesla	Model X	Aço	6,92
2°	Mercedes	GL Class	Aço	7,74
3°	Honda	HRV	Aço	8,05
4°	Chery	QQ	Aço	8,58
5°	Mitsubish	I-Miev	Aço	8,78

FONTE: Elaborado pelo autor.

O valor de eficiência encontrado para o capô mais eficiente da categoria (Tesla Modelo X – WSR 6,92 kg/m²) ainda é cerca de 25% inferior ao 5° modelo mais eficiente do grupo NFA (Toyota Prius – WSR 5,57 kg/m²). Fica assim mais uma vez comprovada a tese de que há um grande potencial de redução de peso pela adoção de materiais mais leves do que o aço (neste exemplo, o Toyota Prius possui capô feito de alumínio).

Na FIGURA 4.2 mostra-se o capô automotivo mais bem classificado nessa categoria e no QUADRO 4.4 resumem-se suas propriedades.

QUADRO 4.4
Propriedades do capô do veículo Testa Modelo X.

Massa [kg]	12,680
Área superficial [m ²]	1,833
WSR [kg/m ²]	6,92
Material	Aço

FONTE: Elaborado pelo autor.



FIGURA 4.2: Vistas superior e inferior do Tesla Modelo X.
 FONTE: Banco de dados A2MAC1. Cortesia da FCA.

4.1.3 Resultados do Grupo OFV

No QUADRO 4.5 sintetizam-se os resultados encontrados para os capôs classificados na categoria OFV (que inclui apenas veículos da marca Fiat vendidos no Brasil).

QUADRO 4.5
 Cinco melhores WSR para veículos do grupo OFV.

Posição	Marca	Modelo	Material	WSR [kg/m ²]
1°	Fiat	Palio	Aço	9,56
2°	Fiat	Grand Siena	Aço	9,98
3°	Fiat	Uno	Aço	10,28
4°	Fiat	Mobi	Aço	10,45
5°	Fiat	Toro	Aço	10,86

FONTE: Elaborado pelo autor.

Em primeira análise, ressalta-se o fato de que os modelos FCA, representados pela sua marca Fiat, apenas possuem capôs feitos de aço. São encontrados, ainda, valores de WSR maiores do que 10 kg/m^2 .

A ausência de modelos Fiat no grupo de cinco veículos com capôs de aço mais eficientes mostra que há espaço para desenvolvimento e melhorias do projeto.

Na FIGURA 4.3 mostra-se o capô melhor classificado nessa categoria e no QUADRO 4.6 indicam-se suas propriedades.

QUADRO 4.6
Propriedades do capô do veículo Fiat Palio.

Massa [kg]	8,864
Área superficial [m^2]	0,927
WSR [kg/m^2]	9,56
Material	Aço

FONTE: Elaborado pelo autor.



FIGURA 4.3: Vistas superior e inferior do Fiat Palio.
FONTE: Banco de dados A2MAC1. Cortesia da FCA.

4.1.4 Resultados do Grupo SMHB

No QUADRO 4.7 mostram-se os resultados encontrados a partir da aplicação dessa metodologia para os veículos agrupados como SMHB (veículos da categoria B com capô feito de aço).

QUADRO 4.7
Cinco melhores WSR para veículos do grupo SMHB.

Posição	Marca	Modelo	Material	WSR [kg/m ²]
1°	Honda	HR-V	Aço	8,05
2°	Mitsubish	I-Miev	Aço	8,78
3°	Peugeot	2008	Aço	8,78
4°	Susuki	Swift	Aço	8,85
5°	Fiat	Palio	Aço	9,56

FONTE: Elaborado pelo autor.

Essa categoria é melhor representativa dos veículos alvo da FCA no mercado brasileiro, ao englobar carros compactos e médios.

O fato de esse segmento específico do mercado, que concentra carros com maior volume de vendas, não possuir representante entre os veículos com capô mais eficiente, mostra que as montadoras de automóveis precisam empreender maiores esforços no desenvolvimento dos veículos dessa gama. Isso propiciaria uma redução maior no impacto ambiental causado pelas empresas, considerando a maior escala de produção desses veículos.

Os resultados desse grupo servem ainda para a definição de alvos de ações de benchmarking, padrão na indústria automobilística mundial.

Na FIGURA 4.4 mostra-se o capô mais bem classificado nesse categoria e no QUADRO 4.8 indicam-se suas propriedades.

QUADRO 4.8
Propriedades do capô do veículo Honda HR-V.

Massa [kg]	10,889
Área superficial [m ²]	1,352
WSR [kg/m ²]	8,05
Material	Aço

FONTE: Elaborado pelo autor.



FIGURA 4.4: Vistas superior e inferior do Honda HR-V.
FONTE: Banco de dados A2MAC1. Cortesia da FCA.

4.1.5 Objetivos de redução de peso

Considerando os resultados que foram apresentados, é possível ter uma boa noção do cenário atual do mercado nacional, no que diz respeito à Eficiência de Uso de Material nos capôs de veículos automotivos.

Os dados apresentados servem, ainda, para o propósito de definição de metas para futuros projetos executados na FCA LATAM.

Os resultados da avaliação do WSR de cinco veículos nacionais, todos dos segmentos A e B do mercado, são apresentados no QUADRO 4.9.

QUADRO 4.9

Valores de WSR de cinco capôs vendidos no mercado nacional, das categorias A e B.

Modelo	Segmento	Ano do modelo	Massa [kg]	Área da Envoltória [m ²]	WSR [kg/m ²]
Fiat Argo Drive 1.0 12V	B	2017	12,882	1,209	10,66
Modelo A	B	2017	10,795	1,081	9,99
Modelo B	B	2015	7,575	0,886	8,55
Modelo C	B	2016	11,086	1,046	10,60
Modelo D	A	2016	12,075	1,152	10,48
Modelo E	A	2016	10,839	0,994	10,91

FONTE: Elaborado pelo autor.

Considerando o cenário mostrado no QUADRO 4.9, o objetivo definido para o WSR é de 9,80kg/m². Este valor colocaria o futuro capô com WSR abaixo da média do veículos avaliados, conforme pode ser visto no GRÁFICO 4.1.

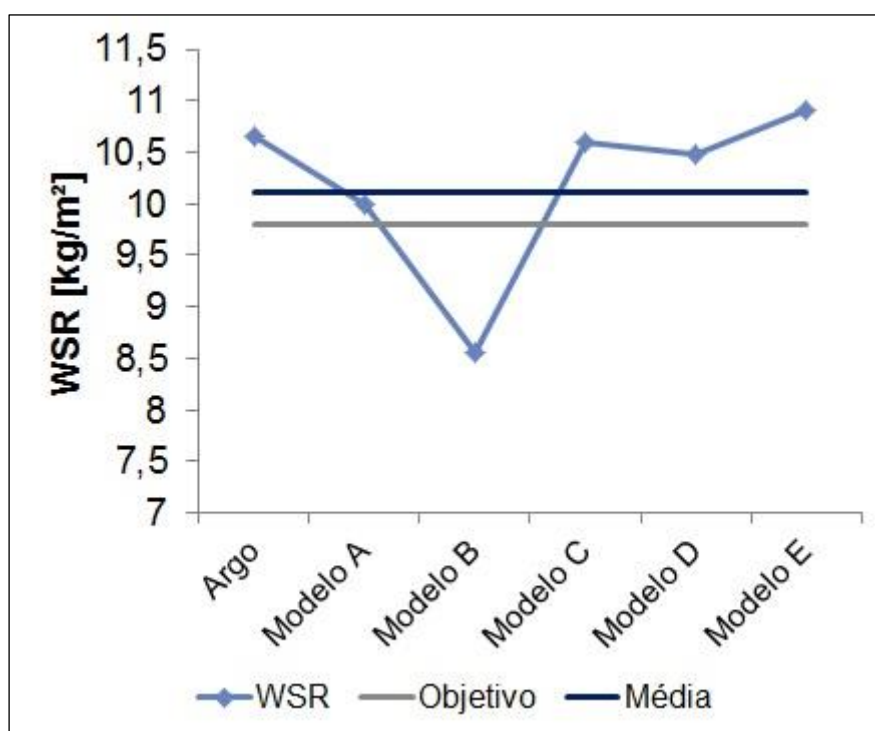


GRÁFICO 4.1: Valores de WSR de cinco veículos vendidos no mercado nacional.

FONTE: Elaborado pelo autor.

4.2 Design for Six Sigma

Serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia DFSS aqui apresentada. As entregas mais relevantes de cada fase serão mostradas.

4.2.1 Resultados da Fase Identificar

Dentre as várias entregas dessa fase inicial de projetos DFSS (vide FIGURA 3.10), serão apresentadas duas, que possuem relevância especial. O Veículo Alvo e o Escopo do Projeto.

4.2.1.1 Veículo Alvo

Como parte do espírito do Programa INOVAR AUTO de impulsionar o desenvolvimento tecnológico das montadoras instaladas no Brasil, buscando melhorar tanto a qualidade quanto a segurança dos carros vendidos no mercado nacional, na escolha do veículo (ou categoria de veículos) que seria o Veículo Alvo deste projeto, optou-se por favorecer modelos com alto volume de vendas. Com isso, os benefícios alcançados pelo aumento da qualidade do produto seriam percebidos por um maior número de brasileiros.

Considerando o cenário atual do mercado automotivo brasileiro, dominado por veículos de pequeno e médio porte, o Veículo Alvo foi escolhido como sendo uma eventual futura versão do veículo Fiat Argo.

4.2.1.2 Escopo do Projeto DFSS

O escopo determina quais partes do componente podem ser modificadas durante o projeto e quais partes não podem. Essa é uma definição importante, feita para evitar que o foco de projeto se disperse em várias peças.

Para o presente trabalho, optou-se por incluir no escopo apenas algumas das chapas metálicas que compõem a estrutura do capô (também conhecidas em termos industriais como “*Hardware*”), deixando de lado, por exemplo, peças como vedações, adesivos e dobradiças e também processos como pintura e estampagem.

As peças que compõem o capô que foram consideradas em escopo neste projeto estão mostradas na FIGURA 4.5. Na falta de nomenclatura em português, apresentam-se seus nomes em inglês.

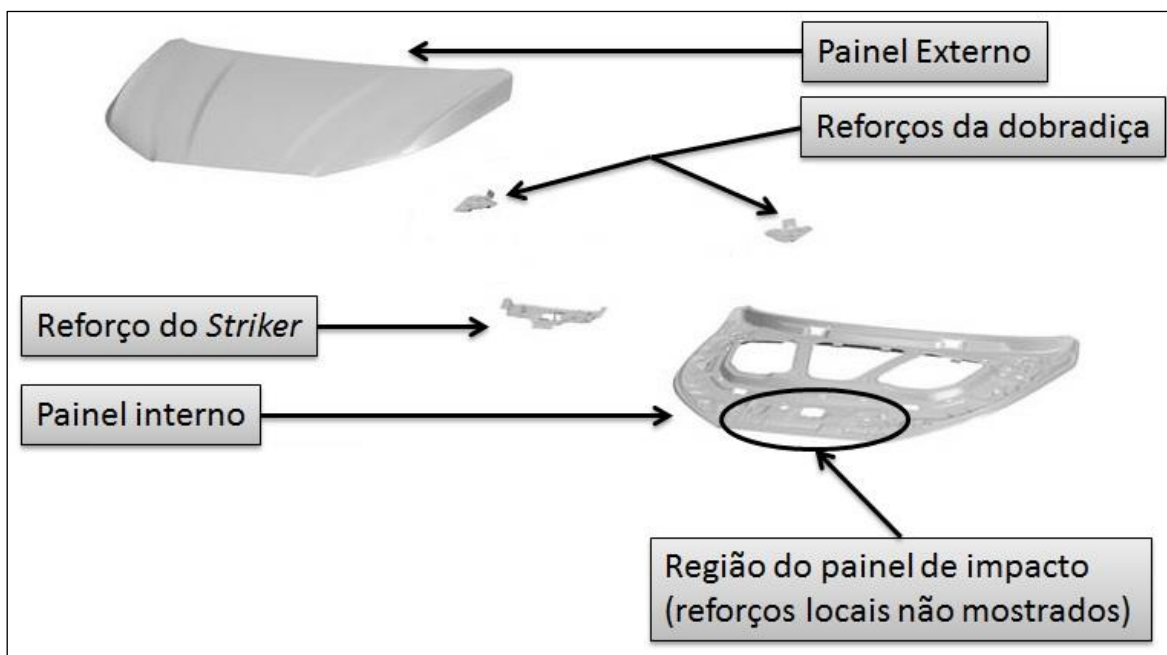


FIGURA 4.5: Partes do capô dentro do escopo do projeto DFSS.

FONTE: Elaborada pelo autor.

4.2.2 Resultados da Fase Definir

A Fase Definir é talvez a mais importante dentre as executadas, uma vez que os critérios comparativos criados dependem fundamentalmente das entregas dessa fase. Os principais resultados encontrados com a realização desse projeto na Fase Definir serão mostrados a seguir.

4.2.2.1 Definição do Cliente

Antes de poder atender os Requisitos do Cliente, é necessário identificá-los para que, só então, se possa traçar estratégias para ouvi-los.

Para uma montadora como a FCA, os clientes de um projeto DFSS podem ser tanto internos (funcionários da empresa) quanto externos (consumidores do produto “veículo automotor”). Os clientes considerados neste projeto são os que se seguem:

- Clientes internos
 - Funcionários da Engenharia Carroceria;
 - Funcionários da Engenharia Manufatura;
 - Funcionários da Segurança Veicular.
- Clientes externos
 - Proprietários/compradores de veículos.

4.2.2.2 Requisitos do Cliente – VOC

Parte das Vozes do Cliente está mostrada na FIGURA 4.6, que mostra, ainda, a importância delas. As Vozes mais importantes na ótica do cliente são apresentadas na FIGURA 4.7.



Título dos grupos (opcional)		Importância das Vozes	
Grupo	Vozes	Item No.	Importância
Cliente / Garantia	Eu quero que o meu capô feche facilmente a partir do exterior	1	5
	Eu quero que o meu capô não apresente corrosão	2	5
	Eu quero que o meu capô abra facilmente a partir do exterior	3	4
	Eu quero que o meu capô abra facilmente a partir do interior	4	4
	Eu quero que o meu capô permaneça aberto quando eu o abrir	5	4
	Eu quero que o meu capô permita acesso à alavanca de segurança	6	4
	Eu quero que o meu capô seja fácil de acessar para fechá-lo	7	4
	Eu quero que o meu capô não faça barulhos anormais em marcha	8	4
	Eu quero que o meu capô não faça barulhos anormais ao fechar	9	4
 <div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block; color: red;">27 itens não mostrados</div> 			

FIGURA 4.6: Vozes do Cliente, e sua importância, para um capô automotivo.

FONTE: Elaborada pelo autor.

Voz do Cliente	
VOC 1	- Eu quero que o meu capô feche facilmente do exterior
VOC 2	- Eu quero que o meu capô não apresente corrosão
VOC 28	- Eu quero que o meu capô funcione por toda a vida do veículo
VOC 30	- Eu quero que todos os acabamentos do capô sejam firmes
VOC 34	- Eu quero que o meu capô proteja os pedestres em um acidente
VOC 35	- Eu quero que o meu capô me proteja em um acidente

FIGURA 4.7: As seis Vozes do Cliente mais importantes para um capô automotivo.

FONTE: Elaborada pelo autor.

Pode-se observar que uma das Vozes está relacionada ao uso do capô, três estão relacionadas ao ciclo de vida da peça e duas estão relacionadas a preocupações de segurança no caso de um acidente. Essas categorias seriam, então, as mais importantes do ponto de vista do consumidor.

4.2.2.3 Requisitos de Engenharia – CTQ

Dentre todos os Requisitos de Engenharia encontrados, os sete mais importantes estão mostrados na FIGURA 4.8. A maior parte deles destina-se a mensurar a capacidade do capô de ser capaz de resistir a esforços aplicados a ele sem se deformar excessivamente ou ser danificado.

Requisitos de Engenharia		
F	-	Deformação permanente devido à carga concentrada
G	-	Carga de flambagem do painel externo
J	-	Primeira frequência natural do capô
O	-	Rigidez de acoplamento dos painéis internos e externos
S	-	Rigidez da zona de fixação da dobradiça
AF	-	Altura de autofechamento
AJ	-	Nível simulado de corrosão em dez anos de funcionamento

FIGURA 4.8: Os sete Requisitos de Engenharia mais importantes para um capô automotivo.

FONTE: Elaborada pelo autor.

Na FIGURA 4.9, mostra-se parcialmente a Casa da Qualidade I (HOQ #1) deste projeto. Estão indicadas as Vozes mais importantes, mostradas na FIGURA 4.7, e são apresentadas ainda os Requisitos de Engenharia mais relevantes encontrados (vide FIGURA 4.8).

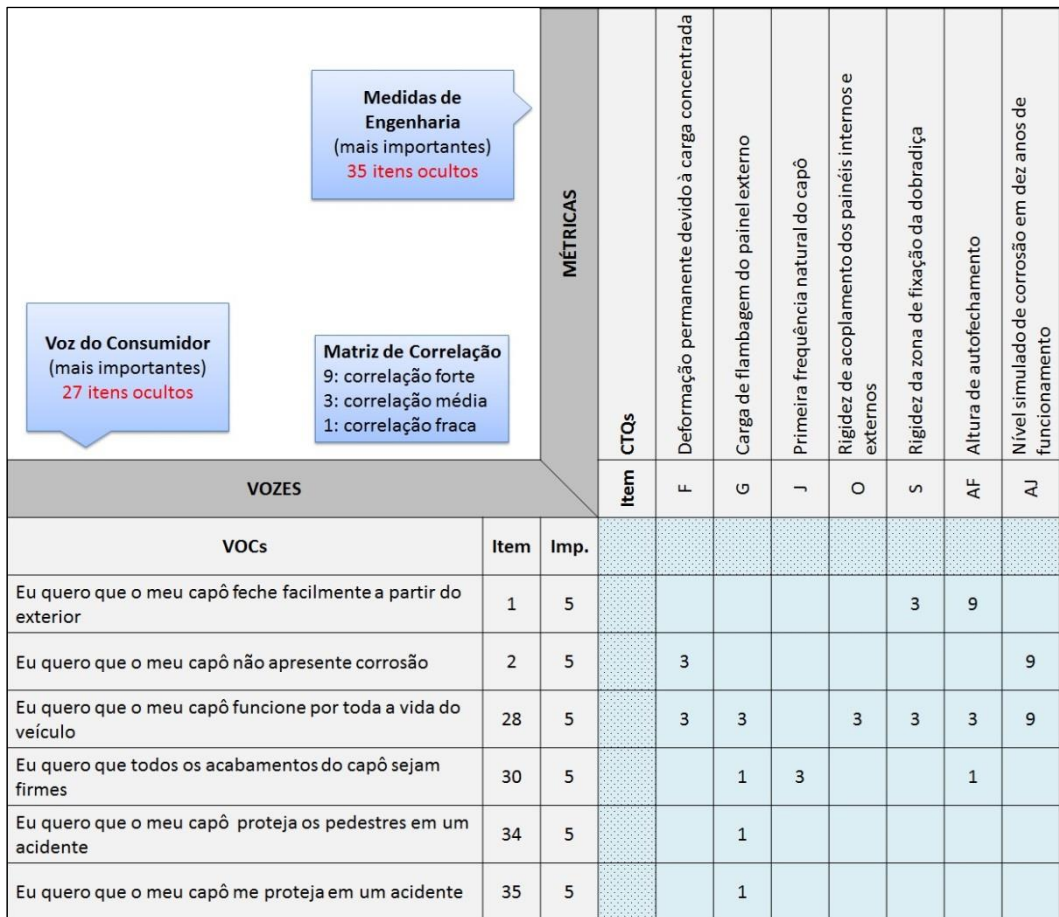


FIGURA 4.9: Casa da Qualidade I; correlação entre Vozes e Métricas.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

Embora apenas os CTQs mais importantes sejam mostrados na FIGURA 4.9, o Líder do Projeto não tem como saber essa informação antes de montar a HOQ #1. Em outras palavras, embora a HOQ #1 esteja sendo apresentada nesta seção apenas com um pequeno número de CTQs (aqueles considerados os mais importantes), esse é exatamente o tipo de informação que se busca, sendo tal o próprio propósito da Casa da Qualidade. A HOQ #1 é aqui apresentada de forma resumida apenas por questões de economia de espaço.

4.2.2.4 Requisitos Funcionais – FR

Os Requisitos Funcionais ou Funções Básicas mais importantes estão mostrados na FIGURA 4.10. Conforme esperado, eles têm relação com as Vozes do Consumidor e referem-se basicamente ao uso do componente, à sua capacidade de durar durante toda a vida útil do veículo e a preocupações de segurança.

Requisitos Funcionais	
D	- Resistir à pressões externas aplicadas
E	- Resistir à forças externas aplicadas
S	- Fechar a partir da posição aberta
V	- Evitar colisões durante fechamento de mal uso
AM	- Deformar de maneira controlável durante um atropelamento

FIGURA 4.10: Os cinco Requisitos Funcionais mais importantes para um capô automotivo.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

Na FIGURA 4.11, mostra-se a Casa da Qualidade II, onde é feita a correlação entre Requisitos de Engenharia e Requisitos Funcionais. Apenas as funções mais importantes são mostradas e, da mesma forma como explicado no Subitem 4.2.2.3 para a Casa da Qualidade I, não seria possível identificar as Funções Básicas mais importantes antes de montar a HOQ #2. A apresentação desse resultado é feita dessa maneira apenas por questões de economia de espaço.

MÉTRICAS			FUNÇÕES						
			Item	FRs	D	E	S	V	AM
CTQs			Item	Imp.	Resistir à pressões externas aplicadas	Resistir à forças externas aplicadas	Fechar a partir da posição aberta	Evitar colisões durante fechamento de mal uso	Deformar de maneira controlável durante um atropelamento
Deformação permanente devido à carga concentrada	F	4			9				
Carga de flambagem do painel externo	G	4			9				
Primeira frequência natural do capô	J	5							
Rigidez de acoplamento dos painéis internos e externos	O	4			9				
Rigidez da zona de fixação da dobradiça	S	4			9	3	3		
Altura de autofechamento	AF	4				9			
Nível simulado de corrosão em dez anos de funcionamento	AJ	4							

FIGURA 4.11: Casa da Qualidade II; correlação entre Métricas e Funções Básicas.
 FONTE: Elaborada pelo autor.

4.2.3 Resultados da Fase Desenvolver

Na Fase Desenvolver, desenvolveu-se o novo conceito do capô. Serão apresentadas as entregas desta fase, mas o conceito proposto será apresentado na Subseção 4.2.4.

4.2.3.1 Critérios comparativos

Os critérios iniciais são os CTQs mais importantes (vide Subseção 3.2.3.1). Dessa forma, a lista inicial de critérios já está mostrada na FIGURA 4.8.

Os critérios adicionais correspondem às contribuições dos projetistas do componente. As mesmas podem ser vistas no QUADRO 4.10.

QUADRO 4.10
Contribuição dos engenheiros projetistas na criação dos critérios comparativos.

Engenheiro	Contribuição
E1	Facilidade de manobra
	Fácil acesso à alavanca de liberação secundária
	Fácil acesso à haste de suporte
E2	Jogo e Perfil dentro dos limites
	Fácil acesso à alavanca de liberação secundária (alavanca de segurança)
	Resistência ao uso indevido
E3	Fácil acesso à alavanca de liberação secundária (alavanca de segurança)
	Eficácia do sistema de suporte do capô
	Intrusão do capô no compartimento de passageiros em caso de acidente
E4	Jogo e Perfil dentro dos limites
	Ambiente sob o capô
	Ruído de vento
	Proteção para pedestres

FONTE: Elaborado pelo autor.

As contribuições dos projetistas e os CTQs prioritários foram então combinados em uma única lista que foi avaliada para encontrar critérios duplicados ou redundantes, posteriormente condensados em critérios únicos. Restrições de custo e peso foram adicionadas, para assegurar que os futuros conceitos sejam mais leves do que o atual. Os critérios restantes, mostrados na FIGURA 4.12, compõem a lista final que foi depois usada para comparar projetos de capô.

A restrição de peso, ou massa, foi adicionada pois é objetivo deste trabalho que o conceito desenvolvido seja mais leve do que o atualmente usado no Grupo FCA. Dessa forma, ao incluir “peso” como um critério comparativo, objetiva-se manter sempre em vista as metas de redução de peso que foram desenvolvidas neste trabalho a partir da análise dos veículos concorrentes. Os conceitos avaliados que apresentaram melhor valor de WSR foram naturalmente bem avaliados neste quesito.

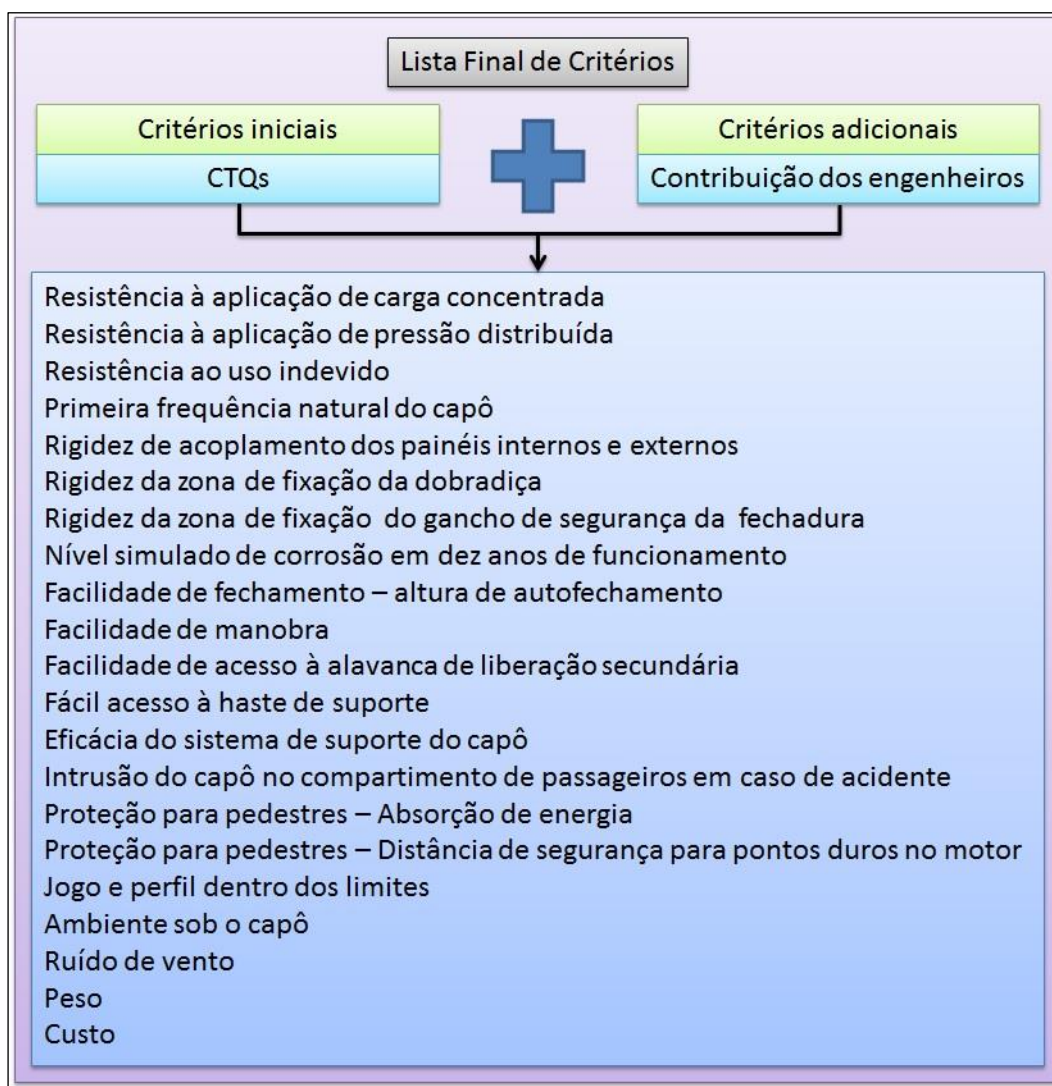


FIGURA 4.12: Lista final de critérios desenvolvidos.

FONTE: Elaborada pelo autor.

4.2.3.2 Modelos comparados

Conforme mencionado nas Subseções 3.2.3.2 e 4.2.1.1, o Conceito DATUM deste projeto DFSS é o recém lançado Fiat Argo e o Veículo Alvo é uma eventual futura versão do mesmo. Dessa forma, os demais conceitos comparados foram escolhidos, dentre os veículos de empresas concorrentes no mercado nacional, de forma a possuírem

dimensões e/ou público alvo semelhantes. Cinco veículos concorrentes foram selecionados considerando essa premissa.

4.2.3.3 Seleção de Conceitos de Pugh

A metodologia com a qual foi realizada a Análise de Pugh está apresentada na Subseção 3.2.3.2. Na FIGURA 4.13 estão sintetizados os resultados dessa comparação.

Critério	Conceito					
	0	1	2	3	4	5
Resistência à aplicação de carga concentrada		+	+	S	S	S
Resistência à aplicação de pressão distribuída		+	+	S	S	S
Resistência ao uso indevido		+	+	-	+	+
Primeira frequência natural do capô		L	L	L	L	L
Rigidez de acoplamento dos painéis internos e externos		-	S	S	+	S
Rigidez da zona de fixação da dobradiça		S	S	-	+	S
Rigidez da zona de fixação do gancho de segurança da fechadura		S	S	-	+	S
Nível simulado de corrosão em dez anos de funcionamento		S	-	S	S	S
Facilidade de fechamento – altura de autofechamento		L	L	L	L	L
Facilidade de manobra		+	+	-	+	-
Facilidade de acesso à alavanca de liberação secundária		L	L	L	L	L
Fácil acesso à haste de suporte		+	+	-	+	S
Eficiência do sistema de suporte do capô		L	L	L	L	L
Intrusão do capô no compartimento de passageiros em caso de acidente		S	+	S	-	-
Proteção para pedestres – Absorção de energia		L	L	L	L	L
Proteção para pedestres – Distância de segurança para pontos duros no motor		L	L	L	L	L
Jogo e perfil dentro dos limites		L	L	L	L	L
Ambiente sob o capô		S	-	-	-	-
Ruído de vento		L	L	L	L	L
Peso		+	+	S	+	-
Custo		-	+	S	-	-
$\Sigma+$		6	8	0	7	1
$\Sigma-$		2	2	6	3	5
ΣS		5	3	7	3	7

FIGURA 4.13: Resultados da Seleção de Conceitos de Pugh.

FONTE: Elaborada pelo autor.

Observando a FIGURA 4.13, pode-se inferir que o capô do Fiat Argo está, atualmente, na média do segmento em termos de atendimento aos requisitos do cliente. Essa observação vem do fato de que há três veículos melhores do que ele (número de avaliações positivas maior do que negativas) e dois piores (avaliações negativas em maior número do que as positivas).

Também é possível notar que o Conceito #2 foi o que recebeu as melhores avaliações na análise de Pugh. Dessa forma, considerando a metodologia proposta, tal conceito foi escolhido como sendo a base para os novos capôs do Grupo FCA.

4.2.4 Descrição do Conceito Proposto

Para a proposição do novo conceito de capô, foi aplicada a segunda etapa da metodologia descrita, que está identificada na FIGURA 3.19 como “Abordagem Acrescida”. Ela consiste em identificar os elementos que compõem o capô em que há mais

espaço para melhoria e, ainda, identificar quais dos elementos possuem melhor desempenho no quesito atendimento às expectativas do cliente.

Na FIGURA 4.14, apresenta-se a matriz de correlação entre os elementos do capô e os critérios da Análise de Pugh, que foi desenvolvida neste trabalho.

Critérios	Elementos do capô (em escopo)							
	Painel Interno	Painel Externo	Reforços da Dobradiça	Painel de Impacto	Reforço do <i>Striker</i>	Reforço do plugue da haste	Parâmetros e percurso de soldagem	Fixadores (parafusos, rebites)
Resistência à aplicação de carga concentrada	1	9						
Resistência à aplicação de pressão distribuída	1	9						
Resistência ao uso indevido	9	3	9					
Primeira frequência natural do capô	9	3	3	1	1	1	3	1
Rigidez de acoplamento dos painéis internos e externos	9	9						
Rigidez da zona de fixação da dobradiça			9					
Rigidez da zona de fixação do gancho de segurança da fechadura					9			
Nível simulado de corrosão em dez anos de funcionamento	3	3					3	
Facilidade de fechamento – altura de autofechamento	1		3		3			
Facilidade de manobra								
Facilidade de acesso à alavanca de liberação secundária	3	3						
Fácil acesso à haste de suporte								
Eficiência do sistema de suporte do capô						3		
Intrusão do capô no compartimento de passageiros em caso de acidente	9	3	9		1		9	
Proteção para pedestres – Absorção de energia	3	9						
Proteção para pedestres – Distância de segurança para pontos duros no motor								
Jogo e perfil dentro dos limites	1	1	3		3			
Ambiente sob o capô	9	3					3	
Ruído de vento		9						
Peso	9	9	3	3	3	3	3	1
Custo	3	3	1	1	1	1	1	1

FIGURA 4.14: Correlação entre os critérios da Análise de Pugh e os elementos em escopo do capô.

FONTE: Elaborada pelo autor.

É possível observar que alguns dos critérios adotados não se correlacionam com nenhum dos elementos do capô que estão dentro do escopo deste trabalho, ou possuem correlação fraca. Isso em si não representa um problema, mas serve de alerta para o fato de que há Requisitos do Cliente, representados pelos critérios na Análise de Pugh, que podem não ser atendidos adequadamente, já que a estrutura física que seria a responsável final por executar a tarefa que levaria ao atendimento de determinado critério não está no escopo do projeto, não podendo, portanto, ser alterada neste trabalho.

Na FIGURA 4.15, os resultados da Seleção de Conceitos de Pugh são apresentados em formato numérico.

Critério	Conceito	0	1	2	3	4	5
		D A T U M	Resistência à aplicação de carga concentrada		3	3	0
Resistência à aplicação de pressão distribuída			3	3	0	0	0
Resistência ao uso indevido			3	3	-3	3	3
Primeira frequência natural do capô			L	L	L	L	L
Rigidez de acoplamento dos painéis internos e externos			-3	0	0	3	0
Rigidez da zona de fixação da dobradiça			0	0	-3	3	0
Rigidez da zona de fixação do gancho de segurança da fechadura			0	0	-3	3	0
Nível simulado de corrosão em dez anos de funcionamento			0	-3	0	0	0
Facilidade de fechamento – altura de autofechamento			L	L	L	L	L
Facilidade de manobra			3	3	-3	3	-3
Facilidade de acesso à alavanca de liberação secundária			L	L	L	L	L
Fácil acesso à haste de suporte			3	3	-3	3	0
Eficiência do sistema de suporte do capô			L	L	L	L	L
Intrusão do capô no compartimento de passageiros em caso de acidente			0	3	0	-3	-3
Proteção para pedestres – Absorção de energia			L	L	L	L	L
Proteção para pedestres – Distância de segurança para pontos duros no motor			L	L	L	L	L
Jogo e perfil dentro dos limites			L	L	L	L	L
Ambiente sob o capô			0	-3	-3	-3	-3
Ruído de vento			L	L	L	L	L
Peso			3	3	0	3	-3
Custo		-3	3	0	-3	-3	
$\Sigma+$			6	8	0	7	1
$\Sigma-$			2	2	6	3	6
ΣS			5	3	7	3	7

FIGURA 4.15: Resultados Numéricos da Seleção de Conceitos de Pugh.

FONTE: Elaborada pelo autor.

Considerando os dados sintetizados na FIGURA 4.14 e na FIGURA 4.15, é possível correlacionar essas informações para identificar os melhores conceitos de cada elemento e, assim, chegar a uma proposta híbrida.

Os resultados dessa análise estão mostrados na FIGURA 4.16. Números positivos, nos quais as células estão ressaltadas de verde, indicam que o desempenho do elemento é melhor do que o do DATUM. Números negativos, ressaltados pelas células em vermelho, indicam o oposto.

Elementos do capô	Conceito	1	2	3	4	5
		Painel interno	24	60	-54	18
Painel externo	54	90	-18	36	-45	
Reforços da dobradiça	33	66	-54	33	-12	
Painel de impacto	6	12	0	6	-12	
Reforços do <i>striker</i>	6	15	-27	30	-15	
Reforço do plugue da haste	6	12	0	6	-12	
Parâmetros e percurso de soldagem	6	21	-9	-30	-48	
Fixadores (parafusos, rebites)	0	6	0	0	6	

FIGURA 4.16: Desempenho dos elementos dos capôs na Seleção de Conceitos de Pugh.

FONTE: Elaborada pelo autor.

A partir da análise da FIGURA 4.16, é possível observar que a maior parte dos elementos do capô do Conceito #2 apresentou desempenho melhor do que os demais componentes, exceto a região de Reforço do *striker*, no qual o Conceito #4 se destacou.

Os resultados mostram, ainda, que os elementos nos quais há mais espaço para melhoria são os Painel Externo, Painel Interno e Reforços da Dobradiça, já que nesses elementos foi encontrada maior diferença entre o desempenho do Melhor de sua Categoria (BIC, do inglês *Best in Class*) e o DATUM.

Na FIGURA 4.17, está apresentado um resumo geral do conceito proposto. Por questões de propriedade industrial, detalhes específicos sobre o material, espessura das chapas e arranjos geométricos não podem ser mostrados.

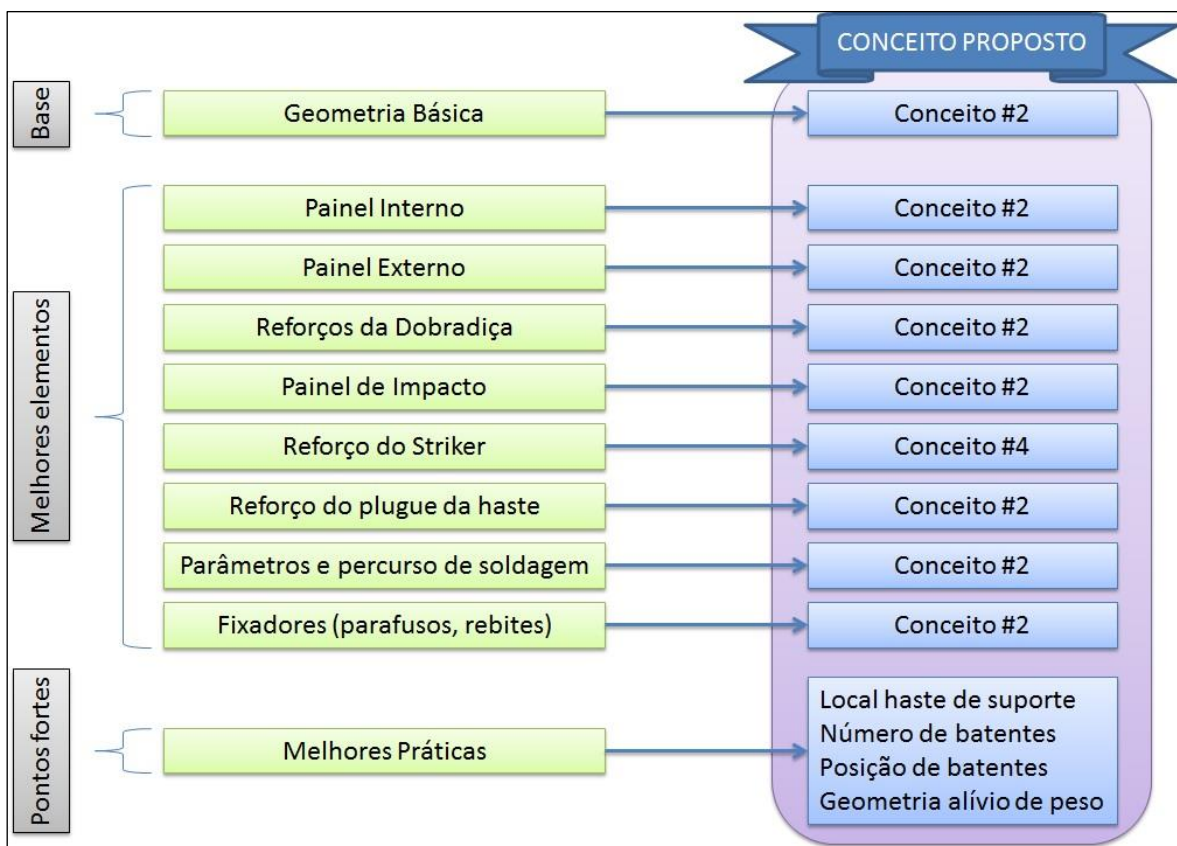


FIGURA 4.17: Descrição do conceito de capô automotivo proposto.

FONTE: Elaborada pelo autor.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo apresentar a metodologia empregada para desenvolvimento de um conceito de capô automotivo de aço que melhor satisfaça as expectativas que o cliente tem para tal componente e que, ainda, seja mais leve do que o atual, através da utilização da metodologia *Design for Six Sigma* (DFSS).

Com a realização deste trabalho, a Equipe de Projeto pôde adquirir um entendimento profundo acerca dos Requisitos do Cliente para o componente que está sendo projetado, além de ter uma ideia mais clara sobre como satisfazê-los. Embora o capô tenha sido alvo deste trabalho, os métodos aqui descritos não são exclusivos e podem ser empregados em outras peças do automóvel.

A partir dos resultados e discussões apresentados neste trabalho, tem-se como principais conclusões:

- Revisão bibliográfica indica a eficácia da adoção de materiais alternativos nos chassis de automóveis como uma estratégia de redução de peso, o que foi corroborado pela extensa medição de WSRs realizada.
- O *software* IMAGEJ é de fácil uso e incorporação no fluxo de trabalho rotineiro dos funcionários da FCA.
- A metodologia apresentada para medição do WSR é eficaz ao que se propõe e permite comparações entre diferentes conceitos de projeto.
- Há espaço para melhoria no WSR dos capôs do Grupo FCA, o que é evidenciado pelas comparações que foram realizadas.
- Análise do panorama de veículos vendidos aponta para tendência de uso de chapas de aço com menor espessura como estratégia para redução de peso, não sendo difundido o uso de materiais alternativos.
- O emprego da metodologia DFSS permite a incorporação da Voz do Cliente ao procedimento padrão de projeto, sem que sejam necessárias modificações complexas no método.
- As adaptações feitas na metodologia permitem maior entendimento sobre as partes do capô mais importantes para atingir a satisfação do cliente.
- O uso do DFSS permite que os objetivos de redução de peso sejam utilizados como restrição no desenvolvimento do conceito.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se para trabalhos futuros:

- Emprego da metodologia de medição e comparação da eficiência de peso em outras partes móveis do veículo.
- Emprego da metodologia DFSS e as alterações propostas em outras partes do veículo.
- Otimização do conceito proposto, através da execução das fases Otimizar e Verificar da metodologia DFSS IDDOV apresentada.
- Envidar esforços no estudo da viabilidade técnica e financeira da adoção de materiais alternativos ao aço, tal como o alumínio, na estrutura metálica do capô, visando redução de peso.

ABSTRACT

The world automotive fleet has grown steadily over the past years. According to the World Health Organization (WHO), between 2010 and 2013 the number of registered vehicles increased by 16%. The Brazilian vehicle fleet has reached the mark of 27 million vehicles in 2012, and these numbers are constantly increasing. To counterbalance the negative effects of the fleet increase, the industry has been looking for ways to increase the efficiency of automobiles in order to meet the legal emission and fuel consumption requirements. However, increasing vehicle efficiency cannot occur at the expense of customer satisfaction. In today's competitive auto market, it is especially important that companies are able to adequately meet their customers' expectations. There are different approaches to achieve this goal, among which the Design for Six Sigma (DFSS) stands out. That being so, a methodology for measuring and comparing the efficiency of material use in automotive hoods, also called weight efficiency, was implemented at FCA's Betim plant. Using the information available in the A2MAC1 database (www.a2mac1.com) and using the open source software IMAGEJ, the efficiencies of a set of FCA and competition vehicles were determined. The information obtained from this analysis allowed the determination of the degree of development of the FCA vehicles compared to their competitors, as well as to set weight reduction targets coherent with the reality of the market. These goals were considered during the execution of the DFSS project. The DFSS methodology is a widely used approach in the international automotive industry that aims to assist engineers in their mission to design products, processes and services from scratch in an economic and simple way, in order to meet customer expectations. When performing the procedures prescribed in this method, it is ensured that Customer Requirements are always kept in sight of the Project Team. In executing the proposed methods, the first action taken is the definition of Customer Requirements, called Voice of the Customer (VOC). Voices were removed from previous DFSS projects that had already been executed at the FCA's Detroit plant. Brazilian clients were interviewed by e-mail to determine the importance of each of the Voices. The Voices were then translated into engineering metrics, called Engineering Requirements or Critical to Quality (CTQ). These are physical measures that can be properly measured, which must relate to Voices ("how can I measure what my client wants from my part?"). The most important CTQs were used as comparative criteria of different hood concepts, combined with contributions made by the

Design Team. These criteria were used in the Pugh Concept Selection to compare hoods of different vehicles and define which best meets customer expectations. As a result of the application of this method, it was defined which of the concepts best satisfy the customer, thus becoming the new concept of automotive hoods.

Key words: *Design for Six Sigma; weight reduction; automotive hood; closures; energy efficiency.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANFAVEA. **ANFAVEA Estatísticas.** Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas-2017.html>>. Acesso em: 8 mar. 2018.

ANTONY, Jiju; BANUELAS, Ricardo. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. **Measuring Business Excellence**, [s. l.], v. 6, n. 4, p.20-27, dez. 2002. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/13683040210451679>.

ASI CONSULTING GROUP (Estados Unidos). **Design For Six Sigma (DFSS):** Chrysler Project Leader IDDOV Training Week A. 3.7 Livonia: ASI, 2008.

BAÑUELAS, Ricardo; ANTONY, Jiju. Six sigma or design for six sigma? **The TQM Magazine**, [s. l.], v. 16, n. 4, p.250-263, ago. 2004. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/09544780410541909>.

BRADY, James E.; ALLEN, Theodore T.. Six Sigma Literature: A Review and Agenda for Future Research. **Quality And Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 22, n. 3, p.335-367, 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/qre.769>.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015.** Rio de Janeiro: EPE, 2016. 292 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013 – Ano base 2012.** Brasília: MMA, 2013.

BRUN, Alessandro. Critical success factors of Six Sigma implementations in Italian companies. **International Journal Of Production Economics**, [s. l.], v. 131, n. 1, p.158-164, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.05.008>.

CARLE, Daniel; BLOUNT, Gordon. The suitability of aluminium as an alternative material for car bodies. **Materials & Design**, [s. l.], v. 20, n. 5, p.267-272, out. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069\(99\)00003-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069(99)00003-5).

CHAKRAVORTY, Satya S.. Six Sigma programs: An implementation model. **International Journal Of Production Economics**, [s. l.], v. 119, n. 1, p.1-16, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.01.003>.

CHAN, Lai-kow; WU, Ming-lu. Quality function deployment: A literature review. **European Journal Of Operational Research**, [s. l.], v. 143, n. 3, p.463-497, dez. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217\(02\)00178-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217(02)00178-9).

CHEAH, Lynette W.. **Cars on a diet: the material and energy impacts of passenger vehicle weight reduction in the US.** 2010. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engineering Systems, Engineering Systems Division, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, 2010. Disponível em: <http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/research/beforeh2/files/LCheah_PhD_thesis_2010.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2017.

CHENG, Lin Chih. QFD em Desenvolvimento de Produto: Características Metodológicas e um Guia para Intervenção. **Revista Produção Online**, [s. l.], v. 3, n. 2, 27 mar. 2003. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v3i2.627>.

CHOWDHURY, Subir. **Design for Six Sigma**. 2003. Financial Times Prentice Hall. Disponível em: <<http://www2.asiusa.com/news/actionline.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

CUI, Xintao et al. Design of lightweight multi-material automotive bodies using new material performance indices of thin-walled beams for the material selection with crashworthiness consideration. **Materials & Design**, [s. l.], v. 32, n. 2, p.815-821, fev. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2010.07.018>.

DICKINSON, Allan L.. Integrating axiomatic design into a design for six sigma deployment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AXIOMATIC DESIGN, 4., 2006, Firenze. **Proceedings of ICAD06**. Firenze: ICAD, 2006. p. 1 - 6. Disponível em: <https://www.axiod.com/technology/icad/icad2006/icad2006_13.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2018.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2015**. [s. l.]: EPA, 2017. 633 p. EPA 430-P-17-001. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

FAÇANHA, Cristiano. **Brazil's Inovar-Auto Incentive Program**. [s. l.]: The International Council On Clean Transportation, 2013. Disponível em: <<https://www.theicct.org/publications/brazils-inovar-auto-incentive-program>>. Acesso em: 01 maio 2017.

FERREIRA FILHO, Valter Silva et al. Inovar-Auto & Alianças Estratégicas: Um novo cenário de cooperação para Montadoras e Fornecedores de Auto-peças. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 10., 2013, Rio de Janeiro. **Anais do X SEGeT**. [s. l.]: Associação Educacional Dom Bosco, 2013. p. 1 - 15. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/53718660.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

GODFREY, A. Blanton; KENETT, Ron S.. Joseph M. Juran, a perspective on past contributions and future impact. **Quality And Reliability Engineering International**, [s. l.], v. 23, n. 6, p.653-663, 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/qre.861>.

GOVERS, C. P. M.. What and how about quality function deployment (QFD). **International Journal Of Production Economics**, [s. l.], v. 46-47, p.575-585, dez. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00113-1](http://dx.doi.org/10.1016/0925-5273(95)00113-1).

HARRY, Mikel J. Six sigma: A breakthrough strategy for profitability. **Quality Progress**, [s. l.], v. 31, n. 5, p.60-64, maio 1998.

HENDERSON, Kim M.; EVANS, James R.. Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company. **Benchmarking: An International Journal**, [s. l.], v. 7, n. 4, p.260-282, out. 2000. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/14635770010378909>.

HIRSCH, J.; AL-SAMMAN, T.. Superior light metals by texture engineering: Optimized aluminum and magnesium alloys for automotive applications. **Acta Materialia**, [s. l.], v. 61, n. 3, p.818-843, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2012.10.044>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS. **Motorization Rate 2015: Worldwide**. Disponível em: <<http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS. **Sustainable Mobility in the Road Transport Sector - The Integrated Approach: A Study by OICA**. [s. l.]: OICA, 2010. 24 p. Disponível em: <http://www.oica.net/wp-content/uploads/oica-co2_report_final_11june20101.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

JAMBOR, Arno; BEYER, Matthias. New cars — new materials. **Materials & Design**, [s. l.], v. 18, n. 4-6, p.203-209, dez. 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069\(97\)00049-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069(97)00049-6).

JURAN, Joseph Moses. The Quality Trilogy: A Universal Approach to Managing for Quality. **Quality Progress**. [s. l.], p. 19-24. ago. 1986.

KIANI, Morteza et al. Design of lightweight magnesium car body structure under crash and vibration constraints. **Journal Of Magnesium And Alloys**, [s. l.], v. 2, n. 2, p.99-108, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jma.2014.05.005>.

KONING, Henk de; MAST, Jeroen de. A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, [s. l.], v. 23, n. 7, p.766-787, ago. 2006. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/02656710610701044>.

KÜHLWEIN, Jörg. **Official vs. real-world road-load parameters in EU vehicle efficiency testing**. [s. l.]: The International Council On Clean Transportation, 2016. Disponível em: <<http://www.theicct.org/effect-roadload-coeffs-co2-emissions-eu>>. Acesso em: 01 maio 2017.

KULEKCI, Mustafa Kemal. Magnesium and its alloys applications in automotive industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 39, n. 9-10, p.851-865, 28 nov. 2007. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-007-1279-2>.

KWAK, Young Hoon; ANBARI, Frank T.. Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. **Technovation**, [s. l.], v. 26, n. 5-6, p.708-715, maio 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2004.10.003>.

LI, Yuxuan et al. Use of high strength steel sheet for lightweight and crashworthy car body. **Materials & Design**, [s. l.], v. 24, n. 3, p.177-182, maio 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069\(03\)00021-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069(03)00021-9).

LIMA JUNIOR, Francisco Rodrigues et al. Um modelo fuzzy-QFD para priorização de ações de gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. **Revista Produção Online**,

[s. l.], v. 18, n. 2, p.713-742, 15 jun. 2018. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2958>.

LUCAS, James M. The Essential Six Sigma. **Quality Progress**, [s. l.], v. 35, n. 1, p.27-31, jan. 2002.

LUZ, Carlos Eduardo Silva da. **Abordagem integrada fuzzy ANP-QFD aplicada a projetos de novos produtos de defesa**: Proposição de um modelo conceitual para definição e priorização de requisitos de projeto. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MADER, Douglas P.. Frontiers of Quality: DFSS and Your Current Design Process. **Quality Progress**, [s. l.], v. 36, n. 7, p.88-89, jul. 2003.

MAST, Jeroen de; LOKKERBOL, Joran. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 139, n. 2, p.604-614, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>.

MATSUDA, Laura Misue; ÉVORA, Yolanda Dora Martinez; BOAN, Flávio Souto. Inserção do método desdobramento da função qualidade (QFD) no planejamento do serviço de enfermagem. **Revista Brasileira de Enfermagem**, [s. l.], v. 51, n. 1, p.93-104, mar. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-71671998000100008>.

MAYYAS, Abdelraoof et al. Using Quality Function Deployment and Analytical Hierarchy Process for material selection of Body-In-White. **Materials & Design**, [s. l.], v. 32, n. 5, p.2771-2782, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.01.001>.

NÄSLUND, Dag. Lean, Six Sigma and Lean Sigma: fads or real process improvement methods?. **Business Process Management Journal**, [s. l.], v. 14, n. 3, p.269-287, 6 jun. 2008. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/14637150810876634>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Global status report on road safety 2015**. [s. l.]: L'iv Com Sàrl, 2015. 326 p.

PALLET, R. J; LARK, R. J. The use of tailored blanks in the manufacture of construction components. **Journal Of Materials Processing Technology**, [s. l.], v. 117, n. 1-2, p.249-254, nov. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136\(01\)01124-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136(01)01124-4).

PEPPER, M. P. J.; SPEDDING, T. A.. The evolution of lean Six Sigma. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, [s. l.], v. 27, n. 2, p.138-155, 26 jan. 2010. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/02656711011014276>.

PILLON, Carolina Bravo; SILVA, Régio Pierre da; ALMEIDA, Carla Skilhan de. Aplicação do Desdobramento da Função Qualidade (QFD) na definição e priorização de requisitos de projeto para o desenvolvimento de jogos digitais para os idosos. **Design e Tecnologia**, [s. l.], v. 7, n. 13, p.1-17, 30 jun. 2017. PGDesign / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://dx.doi.org/10.23972/det2017iss13pp1-14>.

POSADA, Francisco; FAÇANHA, Cristiano. **Brazil passenger vehicle market statistics**. 2015. International Council on Clean Transportation. Disponível em: <<https://www.theicct.org/publications/brazil-passenger-vehicle-market-statistics>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

PRATA, Rodrigo Francisco et al. Fundamentos do design for six sigma. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2004, Bauru. **Anais do XI SIMPEP**. [s. l.]: Unesp, 2004. p. 1 - 7. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_11/copiar.php?arquivo=Prata R F Fundamentos do design for six sigma .pdf>. Acesso em: 21 dez. 2016.

RADHARAMANAN, R.; GODOY, Leoni P.. Quality function deployment as applied to a health care system. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 31, n. 1-2, p.443-446, out. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00171-4](http://dx.doi.org/10.1016/0360-8352(96)00171-4).

REIS, Lucas Vinícius et al. Aplicação da ferramenta QFD na indústria de artefatos de concreto. **Perspectivas Online: Ciências Exatas e Engenharia**, [s. l.], v. 7, n. 17, p.1-11, nov. 2017.

SAKUNDARINI, Novita et al. Optimal multi-material selection for lightweight design of automotive body assembly incorporating recyclability. **Materials & Design**, [s. l.], v. 50, p.846-857, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.085>.

SENAPATI, Nihar Ranjan. Six Sigma: myths and realities. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, [s. l.], v. 21, n. 6, p.683-690, ago. 2004. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/02656710410542070>.

SHAHIN, Arash. Design for Six Sigma (DFSS): lessons learned from world-class companies. **International Journal of Six Sigma And Competitive Advantage**, [s. l.], v. 4, n. 1, p.48-59, 2008.

SOUZA, Gilmar Laignier de; BRACARENSE, Alexandre Queiroz; MASSARANI, Marcelo. Residência tecnológica para engenheiros. **Anais do XXIV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**, [s. l.], p.620-625, set. 2016. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/engpro-simea2016-pap83>.

TAGUCHI, Genichi; CHOWDHURY, Subir; WU, Yuin. **Taguchi's Quality Engineering Handbook**. Hoboken: John Wiley And Sons, 2004. Editores Associados: Shin Taguchi e Hiroshi Yano.

TJAHJONO, B. et al. Six Sigma: a literature review. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s. l.], v. 1, n. 3, p.216-233, 6 ago. 2010. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/20401461011075017>.

TORRES, Jair Gustavo de Mello et al. Uso do método world café como ferramenta auxiliar ao QFD. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 4, n. 5, p.2394-2407, ago. 2018.

WATSON, Gregory H.; DEYONG, Camille F.. Design for Six Sigma: caveat emptor. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s. l.], v. 1, n. 1, p.66-84, 26 mar. 2010. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/20401461011033176>.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a Cultura Seis Sigma**. 3. ed. Nova Lima: Werkema Editora, 2004. 256 p. (Seis Sigma; Volume 1). Projeto Gráfico: Beatriz Terenzi Neuenschwander.

WITIK, Robert A. et al. Assessing the life cycle costs and environmental performance of lightweight materials in automobile applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [s. l.], v. 42, n. 11, p.1694-1709, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.07.024>.

WU, Yui; WU, Alan. **Taguchi Methods for Robust Design**. [s. l.]: ASME Press, 2000.

YANG, Kai; EI-HAIK, Basem S.. **Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development**. 2. ed. [s. l.]: Mcgraw-hill Education, 2008. 624 p.

YAZDANI, Morteza et al. Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, p.3728-3740, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.095>.

ZHANG, Yan et al. Lightweight design of automobile component using high strength steel based on dent resistance. **Materials & Design**, [s. l.], v. 27, n. 1, p.64-68, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2004.09.010>.