

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO – MESTRADO PROFISSIONAL

Jociel Simões Junior

DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE PROJETO DE
MANUFATURA APLICADO EM CARROCERIAS DE ÔNIBUS

Passo Fundo

2016

Jociel Simões Junior

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE PROJETO DE
MANUFATURA APLICADO EM CARROCERIA DE ÔNIBUS**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2016

Jociel Simões Junior

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE PROJETO DE
MANUFATURA APLICADO EM CARROCERIAS DE ÔNIBUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 05 de maio de 2016.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber
Orientador

Professor Doutor Antônio Carlos Valdiero
Universidade Regional Unijuí

Professor Doutor Luiz Airton Consalter
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor Charles Leonardo Israel
Universidade de Passo Fundo

*Dedico este trabalho aos meus
pais, Jociel e Teresinha.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jociel Simões e Teresinha Rolim Simões, que foram os pilares principais desta conquista, sempre me apoiando, sem medir esforços.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Márcio Walber, pela confiança em mim depositada, pela dedicação e pelos ensinamentos repassados durante esta longa caminhada.

Aos demais professores da banca de avaliação, pelas importantes considerações para o resultado final deste trabalho.

À empresa Comil Ônibus, pela disponibilidade de tempo e recursos necessários a mim cedidos para a realização do mestrado.

Ao amigo Márcio Oliboni Paviani, pelo grande apoio e incentivo durante esta jornada.

Agradeço a todas as pessoas que tiveram participação fundamental na realização deste trabalho.

O amor não prende, liberta! Ame porque isso faz bem a você, não por esperar algo em troca. Criar expectativas demais pode gerar decepções. Quem ama de verdade, sem apego, sem cobrança, conquista o carinho verdadeiro das pessoas.

Chico Xavier

RESUMO

A indústria de ônibus no Brasil tem se desenvolvido de modo acelerado em termos de desenvolvimento tecnológico e de processos de fabricação aplicados. Com isso, tem-se buscado melhores resultados durante o desenvolvimento do projeto e da fabricação de carrocerias, visando uma melhor avaliação dos processos de fabricação, montagem e manutenção. Este estudo cria uma ferramenta de trabalho que melhora a fabricação e a montagem dos conjuntos que compõem uma carroceria de ônibus, facilitando a manufatura dos componentes, com o menor custo e da forma mais otimizada possível. Sendo assim, esta pesquisa visa ao desenvolvimento de uma ferramenta que utiliza os conceitos de DFMA, distribuídos em passos inseridos em matrizes de verificações. O objetivo da ferramenta é auxiliar os engenheiros e projetistas que atuam com projetos de carrocerias de ônibus. Ao final foi realizado um estudo de caso sobre uma carroceria de micro-ônibus, em que foi comprovada a real eficácia da ferramenta proposta, possibilitando ganhos potenciais no planejamento e na concepção dos projetos da carroceria, ou em melhorias de carrocerias existentes. Os resultados obtidos no desenvolvimento dos novos componentes mostrou que a aplicação dos conceitos de DFMA vai refletir em um melhor processo produtivo, com ganhos em redução de custo de componentes, peso de estrutura, redução de processos de fabricação. Os resultados obtidos também se enquadram-se no quesito DFX, *Design for Excellence*, isto é, alta qualidade, confiabilidade, facilidade de manutenção, segurança, facilidade de uso, preocupação com meio ambiente e atendimento da necessidade do usuário.

Palavras-chave: Fabricação. Montagem. DFMA. Ferramenta. Custos. Processos.

ABSTRACT

The Bus Industry in Brazil has developed in an accelerated fashion in terms of technological development and applied manufacturing processes. With this, it has sought better results during the project development and manufacture of car bodies, to improve the assessment of the manufacturing processes, assembly, and maintenance. The purpose of this study is to create a working tool which improves the manufacturing and the assembly of sets that comprise a bus body in order to facilitate the manufacture of components, with lower costs and a more optimized fashion possible. Thus, this work aims to develop a tool that uses the concepts of DFMA, distributed entered steps checks arrays. The purpose of the tool is to assist engineers and designers who work with bus body designs. At the end it conducted a case study on a micro bus body, which has been proven the actual effectiveness of the proposed tool enabling potential gains in the planning and design of the bodywork designs, or in existing bodies. The results obtained in the development of new components showed that the application of DFMA concepts will reflect a better productive process, with gains in reduction of cost components , structure weight reduction of manufacturing processes. The results also fall up in the question DFX, Design for Excellence , that is, higher quality, reliability , serviceability and maintainability, safety , environment and the user-friendliness.

Keywords: Manufacture. Assembly. DFMA. Tool. Costs. Processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Influência sobre o custo do produto	16
Figura 2 – Modelo de Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas	22
Figura 3 – Custo de mudanças no produto em cada fase de desenvolvimento	23
Figura 4 – Taxas de retorno dos investimentos em cada fase do desenvolvimento	23
Figura 5 – Custos Totais da Produção	24
Figura 6 – Funil de Decisões	25
Figura 7 – Estrutura da Aplicação do DFMA no Processo de Projeto	31
Figura 8 – Redução de tempo quando aplicado no início do projeto	33
Figura 9 – Modelo Proposto para desenvolvimento de produtos com o uso do DFMA	37
Figura 10 – Projeto ônibus em cinco grupos	42
Figura 11 – Grupo Estrutura.....	43
Figura 12 – Projeto de um Casulo	44
Figura 13 – Projeto de frente e traseira de uma carroceria de ônibus	45
Figura 14 – Projeto de uma lateral.....	46
Figura 15 – Projeto de uma base de uma carroceria de ônibus	46
Figura 16 – Projeto de um Teto	47
Figura 17 – Subdivisões de uma Engenharia de Ônibus	49
Figura 18 – Fluxograma aplicado às áreas de Desenvolvimento do Produto.....	51
Figura 19 – Fluxograma de Determinação de Pedido	53
Figura 20 – Interação entre departamentos.....	55
Figura 21 – Etapas do Desenvolvimento do Produto Ônibus.....	56
Figura 22 – Etapas de projeto de um ônibus com o auxílio da técnica DFMA.....	57
Figura 23 – A técnica DFMA nas fases de customização e determinação de projetos	58
Figura 24 – Matriz na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto.....	61
Figura 25 – Matriz na Fase de Processos Mais Econômicos.....	66
Figura 26 – Matriz na Fase de Detalhamento do Projeto	68
Figura 27 – Fluxo da Ferramenta no Projeto de Carroceria de Ônibus.....	69
Figura 28 – Custos de Manufatura em uma Melhoria de Projeto.....	71
Figura 29 – Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa	72
Figura 30 – Vista Frontal da Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa	73

Figura 31 – Vista Lateral Direita da Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa	73
Figura 32 – Vista Lateral Esquerda da Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa.....	74
Figura 33 – Modelagem do Conjunto Estrutura Frente.....	75
Figura 34 – Vistas da Estrutura Frente: Detalhe de Componente e Isométrica.....	76
Figura 35 – Projeto Detalhado do Conjunto Estrutura Frente	76
Figura 36 – Aplicação da Matriz na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto	77
Figura 37 – Aplicação da Matriz na Fase de Processos Mais Econômicos.....	78
Figura 38 – Aplicação da Matriz na Fase de Detalhamento do Projeto	79
Figura 39 – Flâmula lado esquerdo	80
Figura 40 – Flâmulas lado direito.....	81
Figura 41 – Modelo virtual das flâmulas lado direito e lado esquerdo no conjunto frente	81
Figura 42 – Modelo virtual das novas flâmulas	82
Figura 43 – Nova flâmula soldada no conjunto frente micro	82
Figura 44 – Chapas suportes grade lado direito e lado esquerdo atuais	83
Figura 45 – Modelo virtual das chapas suportes grade lado direito e lado esquerdo	83
Figura 46 – Modelo virtual da nova chapa suporte grade	84
Figura 47 – Chapa suporte grade novo.....	85
Figura 48 – Conjuntos Suportes de fixação dos motores de limpadores para-brisa atuais	85
Figura 49 – Modelo virtual dos conjuntos suportes de fixação dos limpadores para-brisa.....	86
Figura 50 – Modelo virtual do novo conjunto suporte limpador.....	87
Figura 51 – Conjuntos Suportes de fixação dos motores de limpadores para-brisa novos	87
Figura 52 – Modelo virtual da no novo conjunto frente micro ônibus.....	88
Figura 53 – Chapa Superior Dobradiça LE com a Grade Frente Fixada.....	89
Figura 54 – Chapa Superior Dobradiça LD com a Grade Frente Fixada	90
Figura 55 – Conjunto Superior Motor com o motor mecanismo fixado	90
Figura 56 – Gráfico Comparativo dos Ganhos com o Novo Conjunto Frente	91
Figura 57 – Principais dimensões para ônibus rodoviário.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ganhos obtidos com a redução de custos com a aplicação do DFMA	30
Tabela 2 – Verificações na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto – DFM	60
Tabela 3 – Verificações na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto – DFA.....	60
Tabela 4 – Utilizar ângulos mínimos para dobra de chapa	62
Tabela 5 – Abas mínimas para dobras em chapas	63
Tabela 6 – Raios Mínimos para Calandragem de Tubos.....	64
Tabela 7 – Verificações na Fase de Processos mais Econômicos – DFM	65
Tabela 8 – Verificações na Fase de Processos mais Econômicos – DFA	65
Tabela 9 – Verificações na Fase de Detalhamento de Projeto – DFM.....	67
Tabela 10 – Verificações na Fase de Detalhamento de Projeto – DFA	67
Tabela 11 – Valor do Custo Atual do Conjunto Arco Inferior Frente Micro (em porcentagem)	75
Tabela 12 – Novos valores de custo para o conjunto arco inferior frente micro (em porcentagem)	88
Tabela 13 – Comparação do conjunto frente atual com o novo conjunto frente proposto.....	91
Tabela 14 – Ganhos Obtidos com as Modificações do Projeto Frente no Conceito DFX.	93
Tabela A.1 – Consumo de Chapas em 2014.....	101
Tabela A.3 – Tubos de secção retangulares únicos consumidos em 2014.....	103
Tabela A.4 – Tubos de secção 50x80, 50x70 e 50x50 consumidos em 2014.	103
Tabela A.5 – Tubos de secção 20x50 e 20x40 consumidos em 2014.	104
Tabela A.6 – Tubos de secção 40x80, 40x60, 40x50 e 40x40 consumidos em 2014.	104
Tabela A.7 – Tubos de secção 30x50, 30x40 e 30x30 consumidos em 2014.	105
Tabela A.8 – Resultado da otimização de tubos de mesma secção retangular.....	106

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DFMA	Design for Manufacturing and Assembly (Projeto para manufatura e montagem)
DFM	Design for Manufacturing (Projeto para manufatura)
DFA	Design for Assembly (Projeto para montagem)
DFX	Design for Excellence (Projeto para excelência)
MFD	Modular Function Deployment (Desdobramento da Função Modular)
MP	Matéria-Prima
MD	Mão de Obra Direta
MI	Mão de Obra Indireta
GG	Gastos Gerais
LD	Lado Direito
LE	Lado Esquerdo
PD	Projeto Determinado
PC	Projeto Customizado
PE	Projeto Especial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Motivação	17
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo geral	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 Estrutura do trabalho.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Desenvolvimento de produtos na indústria e sua evolução	20
2.2 Planejamento do desenvolvimento do produto por fases e investimentos	22
2.3 Introdução ao DFMA	25
2.4 Conceituação da metodologia DFMA	26
2.5 Etapas para aplicação do DFMA	30
2.5.1 Processo de análise e guia para projeto	31
2.6 Sistemática para o desenvolvimento do DFMA.....	32
2.7 Aplicação do DFMA no desenvolvimento do produto.....	33
2.8 <i>Design for excellence (DFX)</i>	34
2.9 Aplicação do DFMA	36
2.9.1 Projeto e fabricação de aeronaves	36
2.9.2 DFMA em uma abordagem de engenharia reversa	37
2.9.3 DFMA uma proposta de melhoria de processo de montagem de janela	39
2.10 Análise de Valor na simplificação de produtos e processos.....	40
2.11 Desenvolvimento de produtos modulares com benefícios a projetos	40
2.12 Projeto ônibus.....	41
2.13 Diretrizes para a construção de um casulo	43
2.14 Estrutura de um casulo componente de uma carroceria de ônibus.....	44
2.14.1 Estrutura da frente e traseira.....	45
2.14.2 Estrutura de laterais	45
2.14.3 Estrutura da base.....	46
2.14.4 Estrutura do teto	47

2.14.5 Conclusão do capítulo	47
3 MODELO PROPOSTO.....	49
3.1 Introdução ao desenvolvimento do produto ônibus.....	49
3.2 Fluxogramas atuais de projetos de desenvolvimento do produto ônibus	50
3.3 Ferramenta proposta	54
3.4 Metodologia DFMA inserida no desenvolvimento do produto ônibus	55
3.5 Simplificação da estrutura do produto.....	59
3.5.1 Verificações na fase de simplificação da estrutura do produto	60
3.6 Processos mais econômicos.....	61
3.6.1 Parâmetros específicos de processos mais econômicos	62
3.6.2 Verificações nas fases de processos mais econômicos.....	65
3.7 Detalhamento do projeto	66
3.7.1 Verificações nas fases de detalhamento do projeto.....	67
3.8 Fluxo do desenvolvimento do modelo proposto	68
4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA: UM ESTUDO DE CASO	70
4.1 Introdução à ferramenta proposta.....	70
4.2 Aplicação da ferramenta na estrutura frente carroceria micro	71
4.2.1 Modelo aplicado nos componentes flâmulas.....	80
4.2.2 Modelo aplicado nos componentes chapas suporte grade.....	83
4.2.3 Modelo aplicado nos componentes conjuntos suporte limpador.....	85
4.3 Resultados obtidos.....	90
4.4 Considerações Finais	93
5 CONCLUSÕES	95
5.1 Conclusões sobre a metodologia DFMA.....	95
5.2 Visão da ferramenta aplicada	95
5.3 Atendimento aos objetivos	96
5.4 Contribuição	96
5.5 Sugestões para trabalhos futuros	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
APÊNDICE A – Otimização de Tubos e Chapas na Fabricação de Carrocerias	101
ANEXO A – Normas para Encarroçamento	108

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo introduz aspectos referentes aos métodos de projeto, mostrando sua participação no desenvolvimento de produtos e sua contribuição na indústria, apresentando a justificativa, a motivação e os objetivos da pesquisa, bem como a metodologia e a estrutura proposta para o desenvolvimento do trabalho.

Na busca constante da eficiência e melhor produtividade, as organizações necessitam cada vez mais melhorar seus sistemas produtivos.

Muito se fala em qualidade, mas a qualidade não pode ser inserida em um produto a não ser que tenha sido projetada nele.

Atualmente, para um produto ser competitivo, devemos ter em mente seu custo final, que está diretamente relacionado com os custos de montagem, manufatura, fabricação, quantidade de componentes, garantia da qualidade e até custos de manutenção.

O produto ônibus cada vez mais vem sendo exigido pelo mercado em seu *design*, qualidade, segurança, custo-benefício, desempenho, prazo de entrega, entre outros. Cabe, então, ao Departamento de Engenharia, a tarefa de desenvolver o projeto dessa carroceria com excelência e com o menor tempo possível. Para tanto é preciso desenvolver ferramentas para acelerar o desenvolvimento desses projetos e seguir um método de trabalho que promova essa otimização, mantendo a qualidade, a competitividade e a padronização do produto.

Na maioria das vezes, o mercado é quem dita o prazo para o lançamento de um produto, reduzindo o tempo para o desenvolvimento do projeto. Como consequência, o projeto pioneiro sofre melhorias e correções após o seu lançamento. Portanto, percebe-se a importância de planejar e definir uma sequência metódica de trabalho a fim de garantir maior assertividade e qualidade do produto, prevendo os possíveis riscos, realizando pesquisas de mercado, filtrando os principais requisitos, concebendo as soluções de maneira mais clara e pensada.

Elevou-se, portanto, o mérito dos princípios de uma das metodologias de projeto mais importantes, como o DFMA – *Design for Manufacturing and Assembly* –, cujo objetivo é simplificar o projeto do produto, reduzir a quantidade de componentes e tempo de montagem, alcançar a maior produtividade, melhorar a qualidade e reduzir custos.

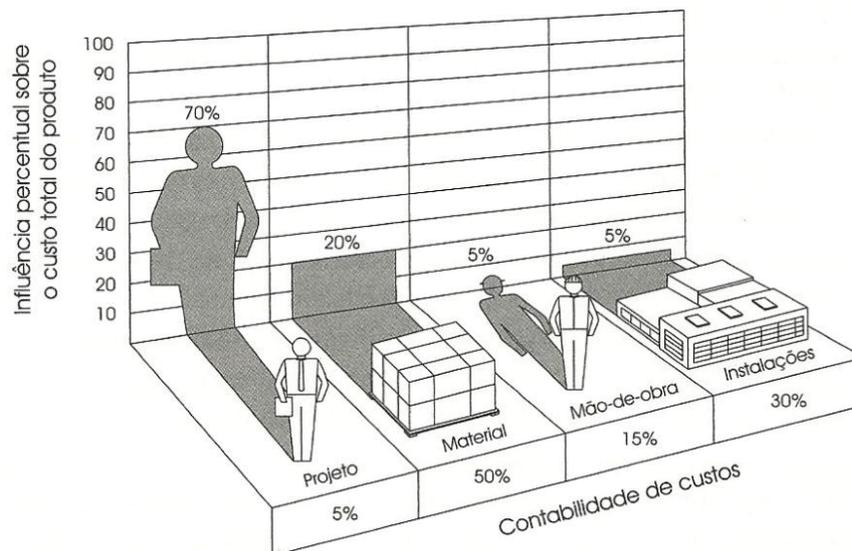
1.1 Justificativa

Evidenciou-se, em muitas empresas, uma grande quantidade de problemas na fase do anteprojeto até o detalhamento que contribui para o aumento dos tempos de produção, assim como eventuais problemas com a falta de qualidade e, conseqüentemente, custos elevados que são agregados ao produto final acabado.

Mesmo em grandes e médias empresas é comum serem consideradas como parte integrante do processo de desenvolvimento do produto alterações do projeto do produto e do processo produtivo para ajustes e correções de conceitos, as quais poderiam ter sido avaliadas e tratadas em fases iniciais do projeto e não durante o início de produção. Essa forma de trabalho inviabiliza muitos empreendimentos.

Para entender a influência da fase de projeto em uma empresa, Back et al. (2008) explicam que mudanças a serem feitas custam muito pouco no início do desenvolvimento, aumentando à medida que o processo avança. A Figura 1 representa a influência dos custos do produto em sua produção ou ao longo de todo seu ciclo de vida, em relação a cada etapa no processo de desenvolvimento. É notável a importância da fase de projeto, em que seu custo é da ordem de 5%, mas influencia em 70% do custo total do produto.

Figura 1 – Influência sobre o custo do produto



Fonte: Back et al. (2008).

Baseando-se em dados, registros e experiências práticas, verificou-se uma grande quantidade de problemas causados pela não utilização efetiva do DFMA durante o desenvolvimento de produtos. Com isso, optou-se por desenvolver uma abordagem específica da indústria de ônibus, com o propósito de difundir e fortalecer a utilização do DFMA na indústria de ônibus, baseado na aplicação dos conceitos de projeto para a manufatura e montagem e na troca de informações entre as áreas de Engenharias, Desenvolvimento de Produto, Processos, Ferramentaria e Protótipos.

1.2 Motivação

É inquestionável a importância da utilização de métodos científicos comprovados em todas as áreas do conhecimento. A garantia de que um produto esteja adequado às necessidades de um mercado cada vez mais exigente pressupõe acuidade desde a concepção até a sua utilização e posterior descarte e/ou reuso.

Diante desse cenário, surge a necessidade de possuir o conhecimento em técnicas e boas práticas de projeto para o desenvolvimento de produtos eficazes, explorando ao máximo, através de ferramentas, a capacidade de invenção e a criatividade do projetista, contribuindo para trabalhar de maneira sistematizada, com maior organização e planejamento de suas tarefas, capacitando a equipe através de um procedimento guiado por diretrizes que proporcionem construções de projetos de alta qualidade e assertividade em um prazo ainda mais curto.

O objetivo principal do DFMA é a eliminação de atitudes como as que normalmente têm sido observadas em projetistas com pensamento do tipo “Nós desenhamos, vocês constroem”, em uma abordagem de “jogar por cima do muro”, na qual o projeto de produto é passado para outros departamentos sem nenhuma interação entre os profissionais.

1.3 Objetivos

A seguir serão descritos o objetivo geral a ser alcançado, bem como os objetivos específicos que permitirão o atendimento a tal objetivo.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho consiste em aplicar conceitos de projeto de manufatura e montagem no projeto e na fabricação de carroceria de ônibus.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Aplicar os conceitos de DFMA (design for manufacture and assembly) no projeto dos componentes e conjuntos da carroceria visando à melhoria do processo produtivo;
- Elaborar propostas para serem utilizadas no desenvolvimento de projetos de produto carroceria ônibus, partindo de conceitos estabelecidos;
- Desenvolver uma ferramenta que auxiliará engenheiros e projetistas no desenvolvimento de projetos e na fabricação de componentes;
- Aplicar a ferramenta desenvolvida no projeto de uma carroceria de ônibus;
- Comparar os resultados obtidos da aplicação da ferramenta nos quesitos: redução de custo, redução na complexidade de componentes, simplificação do produto, manufatura e montagem de componentes em relação ao processo atual.

1.4 Estrutura do trabalho

A estrutura da pesquisa foi elaborada de forma a apresentar todo o processo de desenvolvimento do produto dentro da Engenharia de uma empresa encarregadora de ônibus, desde seu planejamento e concepção, até a fase de testes e detalhamento para a produção. A dissertação está dividida em cinco capítulos.

O primeiro capítulo apresenta a introdução da pesquisa, formada por contexto, justificativa, motivação, objetivos e metodologia utilizada no trabalho.

No segundo capítulo consta a revisão bibliográfica. Nele é apresentada a evolução de projetos, planejamento por fases de um produto, teoria do DFMA e conceitos para projetos de carroceria de ônibus.

O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho dividido em: introdução ao modelo proposto, DFMA inserida no desenvolvimento do produto ônibus, simplificação da estrutura do produto, processos mais econômicos e detalhamento do projeto.

O capítulo quatro descreve o Estudo de Caso que consolida esta dissertação. Além disso, apresenta onde se aplica o método e também contém a discussão dos resultados, comparando-os com a literatura.

O capítulo cinco apresenta as conclusões e o atendimento aos objetivos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Apresenta-se a seguir o marco teórico sobre os principais conceitos referentes à evolução no desenvolvimento de produtos, planejamento do desenvolvimento do produto por fases, teoria do DFMA e a fundamentação teórica em relação ao desenvolvimento de projetos de carrocerias de ônibus.

2.1 Desenvolvimento de produtos na indústria e sua evolução

Os conceitos envolvidos com a necessidade de identificação dos aspectos relacionados à construção de produtos não é recente e remonta a antes de 1788 quando Le Blanc, um francês fabricante de mosquetes, aplicou conceitos de intercambiabilidade através do estabelecimento de tolerâncias aos componentes e desenvolvendo sistemas para garantir a repetibilidade do processo em sua produção, sendo que antes cada produto era uma peça única de artesão.

O termo projeto (*design*) pode ter diversos significados como definições estéticas (cores e formas) ou pode também significar em nível mais técnico o detalhamento de materiais, formatos e tolerâncias de cada componente individual de um produto ou estabelecimento de parâmetros de sistemas, como o cálculo de uma estrutura ou posicionamento de tubos ou engrenagens.

No Brasil o processo de desenvolvimento de produtos industriais ocorre, na maioria das indústrias, de maneira informal, variando de intensidade na dependência do porte delas. Quanto menor a indústria, maior o grau de informalidade, sendo os produtos desenvolvidos a partir de cópias e/ou adaptações de produtos já existentes no mercado.

A Engenharia, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, passou a adotar, de maneira tímida, os métodos para o desenvolvimento de produtos industriais e, a partir da década de 60, houve a massificação, principalmente nos Estados Unidos. No Brasil, a prática do uso de métodos para o desenvolvimento de produto passa a ter um maior enfoque na década de 70, principalmente em indústrias multinacionais. Na atualidade o assunto é difundido nas escolas de Engenharia, inclusive fazendo parte do currículo dos cursos na maioria delas.

Já o processo de desenvolvimento de produtos consiste na realização de uma série de atividades, que vão desde a detecção da oportunidade de negócio até o lançamento do produto no mercado. Analisando esses dois extremos, percebe-se que, para passar de uma ideia abstrata do produto até a sua materialização, realiza-se um conjunto de ações ao longo do tempo, as quais envolvem a empresa como um todo e cujo resultado produz efeitos diretos sobre sua competitividade no mercado.

Romano (2003) propõe um processo de desenvolvimento de produto, com foco em máquinas agrícolas, que pode ser adotado para outros produtos industriais, preservando os detalhes específicos da área.

O modelo é decomposto em três macrofases:

- Planejamento – a primeira macrofase corresponde à fase de planejamento de projeto. Envolve a elaboração do plano do projeto, principal resultado da fase;
- Projetoção – envolve a elaboração do projeto do produto e do plano de manufatura. Decompõe-se em quatro fases denominadas projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Os resultados principais de cada fase são, respectivamente, as especificações de projeto, a concepção da máquina, a viabilidade econômica e a solicitação de investimento;
- Implementação – envolve a implementação do plano de manufatura na produção da empresa e o encerramento do projeto. Decompõe-se em três fases denominadas preparação da produção, lançamento e validação. Os resultados principais de cada fase incluem, respectivamente, a liberação do produto, a liberação do lote inicial e a validação do projeto.

A Figura 2 ilustra a representação gráfica das macrofases e sua subdivisão em oito fases. Ao final de cada fase acontece a avaliação do resultado obtido, autorizando a passagem para a fase seguinte do processo.

Figura 2 – Modelo de Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas



Fonte: Romano (2003).

2.2 Planejamento do desenvolvimento do produto por fases e investimentos

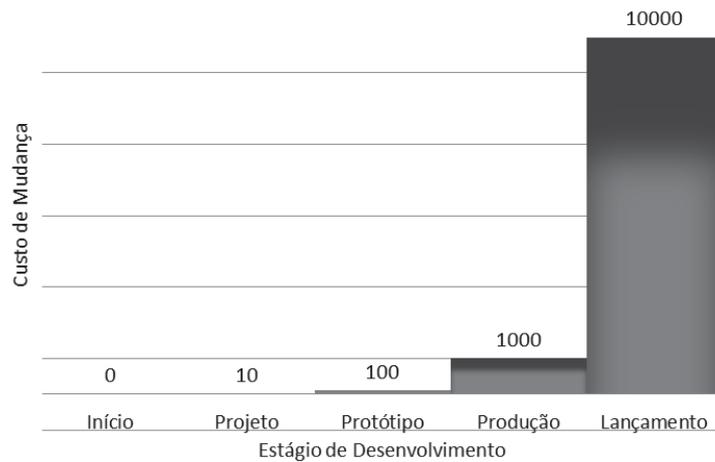
Pahl et al. (2005) subdividem o planejamento de desenvolvimento de um produto em quatro fases, conforme descritas a seguir:

1. Esclarecimento da tarefa: as necessidades do produto são identificadas, especificando dados do projeto;
2. Projeto conceitual: a ideia conceitual do projeto é gerada;
3. Projeto preliminar: detalhes do projeto conceitual começam a ser desenvolvidos e definidos;
4. Projeto detalhado: o projeto preliminar é totalmente desenvolvido dando origem ao produto final;

Segundo Vargas (2009), todo desenvolvimento de produto pode ser subdividido em determinadas fases. O entendimento dessas fases permite ao time do projeto um melhor controle do total de recursos gastos para atingir as metas estabelecidas. Esse conjunto de fases é conhecido como ciclo de vida, o qual possibilita que seja avaliada uma série de similaridades que podem ser encontradas em todos os projetos, independentemente de seu contexto, sua aplicabilidade ou área de atuação.

Back (2008) destaca a importância das primeiras fases de desenvolvimento do produto. Modificações a serem feitas custam pouco no início do projeto. À medida que o processo de desenvolvimento avança, o custo pode alcançar um valor dez vezes maior em relação à fase anterior. A Figura 3 ilustra o acréscimo de custo no projeto decorrente de mudanças realizadas no produto durante as diferentes fases do ciclo de desenvolvimento.

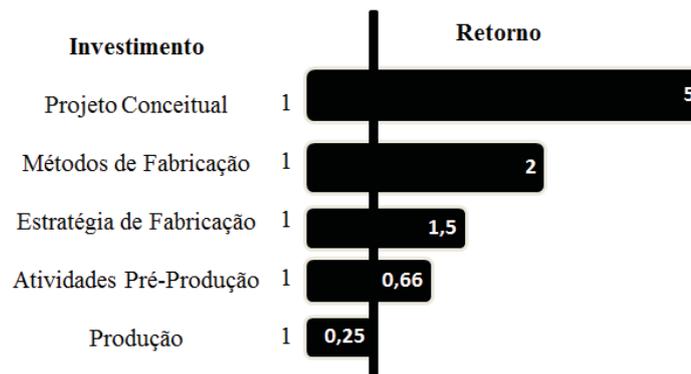
Figura 3 – Custo de mudanças no produto em cada fase de desenvolvimento



Fonte: Back (2008).

Da mesma forma, Baxter (2000) destaca a importância dos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de novos produtos, em que os gastos ainda são relativamente pequenos. A pesquisa ocorreu, até então, apenas no papel, e os trabalhos de projeto consistem de desenhos e modelos baratos. Quaisquer modificações em estágios mais avançados resultam em custos elevados, sendo muito mais barato mudar no papel do que em modelos e protótipos. As taxas de retorno dos investimentos nos diferentes estágios do projeto estão ilustradas na Figura 4.

Figura 4 – Taxas de retorno dos investimentos em cada fase do desenvolvimento



Fonte: Adaptado de Baxter (2000).

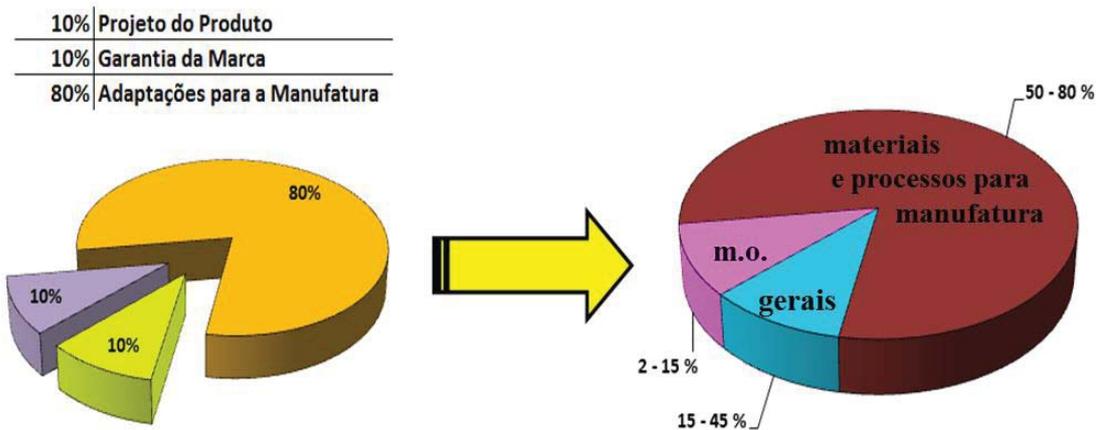
Para O'Driscoll (2002), os custos totais que incidem sobre um processo de desenvolvimento de produtos são compostos por:

- Custos diretamente relacionados com o projeto do produto desde o conceito até o início da produção do produto físico final;
- Despesas relacionadas com a garantia da marca e das características técnicas do produto físico.

Ainda segundo o autor, esses fatores ocupam aproximadamente 10% do total para cada um, e o restante são relativos aos custos de manufatura, que são aqueles relacionados com a produção propriamente dita, apresentados na Figura 5. Além disso, especificamente esses custos da manufatura, que representam 80% do total, podem ser divididos em três subcategorias:

- Mão de obra que pode variar de 2 a 15%;
- Materiais e processos para a manufatura de 50 a 80%;
- Despesas gerais e custos indiretos de 15 a 45%.

Figura 5 – Custos Totais da Produção

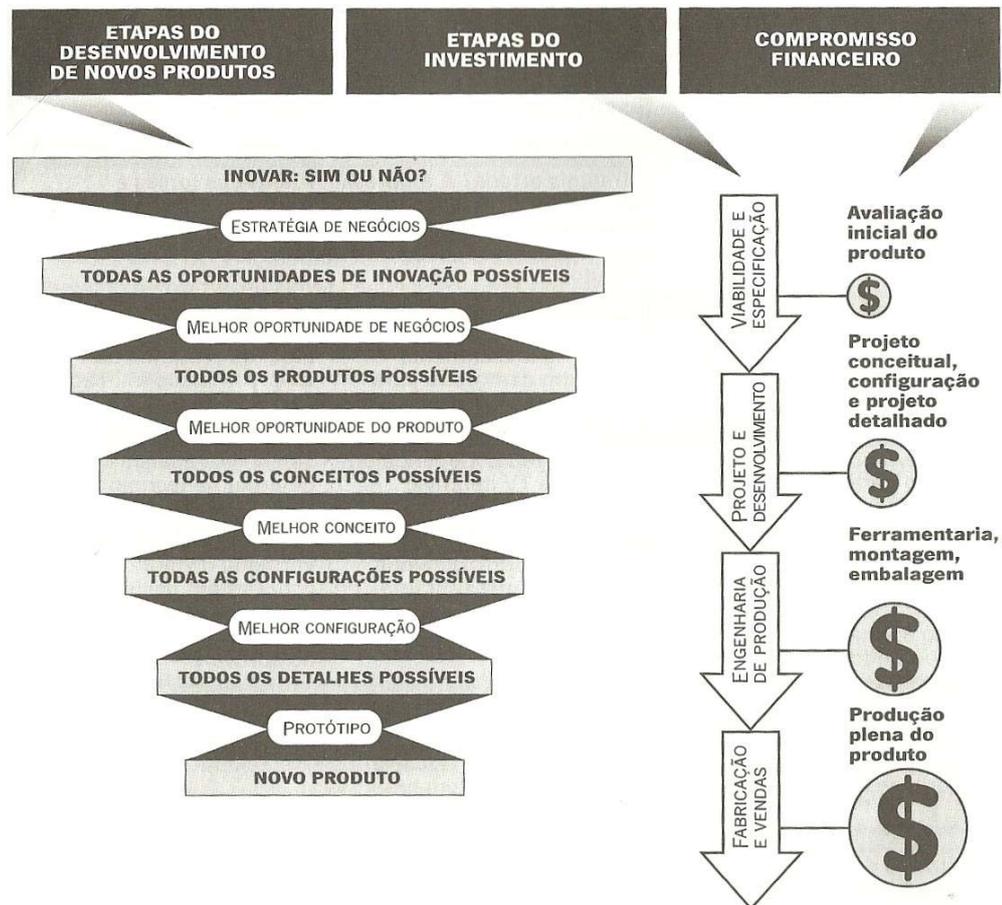


Fonte: Adaptado de O'Driscoll (2002).

Como podem ser observados, os custos com projeto e garantia da marca são aproximadamente 20% dos custos totais de um produto. Porém, tipicamente, os outros 80% dos custos que se referem à manufatura são definidos ou estão relacionados com as decisões tomadas nas fases iniciais do projeto. Tal evidência implica que atuações antecipadas sobre o projeto do produto podem influenciar diretamente sobre reduções nos custos da manufatura (O'DRISCOLL, 2002).

Baxter (2000) apresenta um método chamado funil de decisões, no qual suas etapas representam uma sequência útil e sensível no processo de desenvolvimento de novos produtos, cujos riscos de fracasso são progressivamente reduzidos à medida que as decisões hierarquizadas são tomadas. Através da Figura 6 é possível perceber o aumento substancial do compromisso financeiro quando o processo de desenvolvimento avança.

Figura 6 – Funil de Decisões



Fonte: Baxter (2000).

2.3 Introdução ao DFMA

A integração entre departamentos e pessoas dentro de uma mesma empresa é tarefa complexa. Frequentemente observam-se problemas nas interfaces dos processos de negócio. O problema da Engenharia "desconhecer" a manufatura dentro da própria empresa é

extremamente comum. Esse problema se agrava quando as partes estão "sob tetos distintos", embora sejam partes de uma cadeia produtiva.

O resultado dessas ineficiências é um custo mais elevado no processo, que acaba sendo repassado para o produto final. Ou seja, quem paga é o consumidor final. O problema é que cada vez menos esse consumidor está disposto a "pagar" pela ineficiência.

Somado ao mercado competitivo e exigente, os consumidores ainda clamam por produtos "personalizados". Com isso as empresas de manufaturas de bens estão sendo obrigadas a produzir em pequenas séries (lotes). Nessas empresas a agilidade de resposta é fundamental. A dificuldade é adequar a engenharia do produto e a manufatura para a produção, economicamente viável, dessas pequenas séries (CHOY, 2002).

Uma importante fonte de vantagem competitiva para muitas organizações no mundo é a capacidade de criar projetos de produtos menos complicados, compostos por um número pequeno de partes e de fácil montagem, sem deixar de atender às expectativas do consumidor, denominada de *Design for Manufacturability and for Assembly* – DFMA (Projeto para Manufatura e Montagem). Existe uma dificuldade de catalogar essas abordagens; mais especificamente, não existem regras para o seu armazenamento, e a consequência é a ineficácia na recuperação desse conhecimento explícito.

Na prática, o primeiro passo no estudo do DFMA é estimar os custos de manufatura. Esforços devem ser feitos no sentido de reduzir custos de componentes, custos de montagem e custos de sistemas de apoio à produção. A equipe de projeto, então, deve considerar os impactos das decisões tomadas com o objetivo de diminuir os custos de manufatura sobre fatores, como tempo de desenvolvimento, custo de desenvolvimento, qualidade dos produtos e outros fatores externos. Com esses dados em mãos, os custos de manufatura são recalculados e é possível concluir se o projeto é suficientemente bom ou não.

2.4 Conceituação da metodologia DFMA

De acordo com Back (2008), o projeto para manufatura, também conhecido como DFM (*Design for Manufacturing*), é uma sistemática na qual se procura projetar o componente de forma a simplificar a fabricação e obter a precisão necessária com custos menores. Geralmente é tratado em conjunto com a seleção do material, forma da peça, precisão dimensional, acabamento superficial e o número de peças a serem fabricadas. O

projeto deve estar dentro dos limites de capacidade dos processos de fabricação a fim de evitar etapas adicionais para atender requisitos de precisão, acabamentos superficiais.

Rozenfeld (2006) afirmam que o DFM é uma abordagem que enfatiza aspectos da manufatura, tais como estamparia, forjamento, injeção e outros processos voltados à conformação mecânica e à usinagem. Existe uma vasta bibliografia que aborda o assunto dentro dos ambientes acadêmicos, sobretudo nas escolas técnicas de base, onde a aplicação de conceitos que reduzam os custos com a utilização de equipamentos é um fator crucial às empresas. Contudo, essa técnica visa à efetiva influência do conhecimento das características de processamento sobre o desenvolvimento do produto, tais como: ângulos de saída de ferramentas; raios e cantos vivos; usinabilidade e custos das opções de materiais disponíveis; acabamentos e outras características ligadas aos aspectos de construção, usualmente através de dispositivos ou ferramentas automatizadas.

Já o projeto para montagem, também conhecido como DFA (*Design for Assembly*), segundo Seleme e De Paula (2013), tem como objetivo melhorar o projeto de produto para uma montagem fácil e de baixo custo, com foco na montagem e na funcionalidade do produto simultaneamente, com vistas à redução de peças e equipamentos de produção.

De acordo com os autores Lai e Gershenson (2008), a partir do momento em que há projetos voltados para as atividades de montagem, é possível, portanto, que o desenvolvimento desses projetos resultem na simplificação da produção através da otimização de peças, de componentes e, por consequência, dos processos de montagem. Nesse sentido, Khan (2008) afirma que o DFA proporciona um menor ciclo de produção, minimizando os custos de desenvolvimento e garantindo uma transição segura, sem imprevistos, da fase de projeto para a fase de produção.

No entendimento de Amaral (2007), o uso do DFA durante o processo de projeto permite ao engenheiro o desenvolvimento de muitas melhorias que podem afetar o projeto do produto, de forma a facilitar o processo de montagem. O autor complementa esse raciocínio assegurando que o DFA é um método de projeto, mas com foco na produção, que visa à diminuição do esforço de trabalho e o custo relacionado às atividades de montagem.

De acordo com Costa e Silva (2004), com o DFA o produto ideal possui apenas um componente e reforça o conceito de que o foco principal é a redução de componentes. Além da redução da quantidade de componentes, durante as análises de DFA devem-se levar em consideração a obtenção de ganhos através de outros fatores, tais como:

- Transporte e movimentação de componentes;
- Manutenção e assistência técnica do conjunto no campo;
- Componentes multifuncionais e padronizados;
- Conceitos similares entre outros produtos;
- Resíduos gerados pelo processo;
- Detalhes para facilitar orientação e posicionamento do componente através do tato;
- Redução de necessidades de ajustes;
- Outros fatores ligados direta ou indiretamente ao processo produtivo e às outras operações ligadas ao produto e sua obtenção, manuseios e descarte.

Bogue (2012) explica que essas duas técnicas são, muitas vezes, abordadas em conjunto como projeto para manufatura e montagem (DFMA), pois os dois tratam de simplificar de forma eficaz o projeto, facilitando e reduzindo custos na produção, em que a fabricação interfere na montagem e, da mesma forma, a recíproca ocorre. O desenvolvimento do projeto deve considerar ambos com a mesma criticidade. O autor aplicou o método em uma válvula como estudo de caso, sugerindo mudanças no seu projeto e obtendo resultados satisfatórios como redução no número de componentes, no tempo de montagem, nos custos com material e mão de obra, proporcionando, assim, uma redução de 24% no custo final do produto.

Através da aplicação da técnica do DFMA, identifica-se como os recursos disponíveis na produção podem interferir no sucesso do projeto, buscando analisar detalhes no produto com o objetivo final de aproveitar melhor os recursos industriais da empresa, sempre mantendo o atendimento às necessidades dos clientes, através da simplificação nos processos de fabricação e montagem e da redução de custos.

De acordo com Catapan, Forcellini e Ferreira (2004), frequentemente, problemas com a montabilidade e com a qualidade dos componentes ou mesmo do projeto são identificados e tratados somente durante o início de produção ou em lotes intermediários de engenharia. Nesses pontos, mudanças são criticamente necessárias para que a fábrica possa produzir com os recursos existentes.

Para Freixo (2004), é fácil perceber que decisões tomadas de forma planejada e antecipada durante as fases de um desenvolvimento do produto (sobretudo as iniciais) podem influenciar diretamente na sua dificuldade de ser fabricado. No momento de escolher

determinada alternativa de projeto, deve-se estar atento ao impacto que tal alternativa tem sobre os tempos e custos de fabricação, de operação, de manutenção e até mesmo de descarte do produto. Além disso, decisões incorretas tomadas no início do desenvolvimento do produto podem ser muito difíceis de serem revertidas.

Completando, Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011) consideram que quanto mais tarde as mudanças ocorrem, mais caras serão as suas implementações e, conseqüentemente, piores os resultados para o projeto como um todo. Dessa forma não é somente importante levar em consideração as necessidades e limites da produção, mas também analisar e tratar essas considerações o quanto antes possível dentro do ciclo de desenvolvimento de produtos. O tempo gasto a mais nas fases iniciais do projeto pode gerar uma redução no tempo total de desenvolvimento do produto, e outros ganhos são obtidos através da redução do número de peças e do tempo total de montagem. Para eles, as principais características geradas pela aplicação destas metodologias são:

- Procura obstinada pela qualidade do produto baseado no ponto de vista do cliente final;
- Contribuição simultânea entre os membros do time baseados nas necessidades da empresa e dos fornecedores;
- Opção por manufaturas inovadoras e modernas, porém desenvolvidas sem que haja subcargas ou sobrecargas, buscando adequar ao máximo o projeto do produto aos limites dos recursos disponíveis e vice-versa;
- Entrosamento e coordenação das equipes internas e externas permitindo um desenvolvimento do learning organization;
- Clientes e fornecedores fortes financeiramente e estímulos para melhorar esta saúde financeira e confiança recíproca;
- Ambiente propício, para facilitar e estimular a criatividade individual.

Com a aplicação da técnica, Boothroyd et.al (2011) indicam em seus relatos reduções superiores a 50% em número de operações, através da aplicação da técnica com o auxílio de software, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Ganhos obtidos com a redução de custos com a aplicação do DFMA

Redução de ciclos de montagem	Acima de 61 %
Redução do número de operações na montagem	Acima de 50 %
Redução do número de montagens defeituosas	Acima de 68 %
Redução do lead time de vendas	Acima de 50 %

Fonte: Boothroyd e Dewhurst (2011).

Bralla (1998), em seu guia, uma coletânea de artigos e revisões de material técnico sobre cada uma das especialidades abordadas, comenta ser uma referência para os interessados em aplicar técnicas de DFMA. A intenção básica é, segundo o autor, a criação de uma ferramenta educacional para quem deseja desenvolver habilidades nos projetistas, as quais permitem desenvolver produtos e componentes com a melhor condição possível de manufaturabilidade e com custos mínimos.

Entretanto, ninguém pode esperar guardar na memória todos os aspectos tratados nos livros, como sugestões de tolerâncias dimensionais, limites de processos de acabamentos superficiais, materiais e tratamentos térmicos e outros aspectos relacionados a cada tipo de processo produtivo. É uma boa prática consultar constantemente a literatura e os documentos elaborados para os desenvolvimentos anteriores, nos quais se podem encontrar bons e maus caminhos.

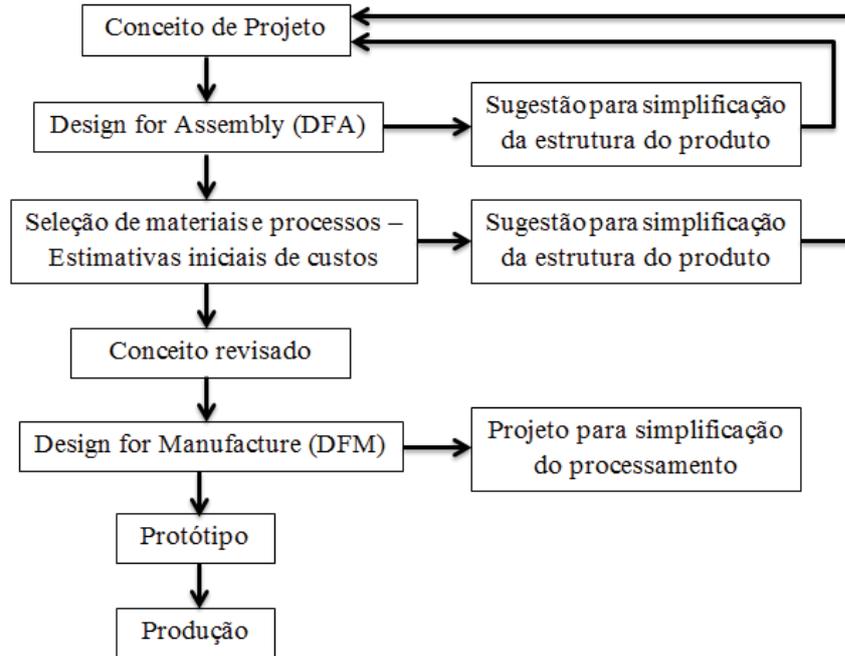
Existe uma abordagem para facilitar o projeto do produto chamado de DFX (*Design for Excellence*), que é definido por Bralla (1998) como sendo uma base de conhecimento para aproximar ao máximo o projeto do produto das suas características desejáveis, como alta qualidade, confiabilidade, facilidade de manutenção, segurança, facilidade de uso, preocupação com o meio ambiente, redução de prazo de disponibilização para vendas e, ao mesmo tempo, redução dos custos de manufatura e manutenção do produto.

2.5 Etapas para aplicação do DFMA

A análise de montabilidade e manufaturabilidade é primeiramente conduzida para a simplificação somente em nível de estrutura do produto, buscando avaliar, em uma análise superficial, se o produto não possui excessos de peças, mesmo que baseada apenas no histórico de projetos anteriores. Então, os custos iniciais são estimados para o projeto original e para as condições propostas, para poder ser utilizado no auxílio de decisões estratégicas.

Durante esse processo, os melhores materiais e processos de fabricação dos diversos componentes são considerados e analisados, e as propostas de alteração do produto, ainda em fase de detalhamento e prototipagem, são incentivadas e discutidas. A Figura 7 esquematiza os passos seguidos quando se utiliza o DFMA durante o processo de desenvolvimento de produtos.

Figura 7 – Estrutura da Aplicação do DFMA no Processo de Projeto



Fonte: Boothroyd; Dewhurst; Knight (2011).

2.5.1 Processo de análise e guia para projeto

A análise de um projeto começa identificando se o produto será montado manualmente, de forma semiautomática, completamente automática (por robôs) ou mesmo com alguma combinação entre eles. Essa informação está relacionada com o nível de produção de determinado produto e a quantidade de recursos (pessoas e equipamentos/espços) que será disponibilizado para esse fim, em que se considerará em uma primeira análise:

- Condições de manuseio manual ou transporte mecânico dos componentes;
- Forma de fornecimento (proposta inicial de embalagem) dos componentes principais;

- Acessos no posto de trabalho e a condição da pegada dos componentes no caso de manuseio manual;
- Forma de abastecimento e realimentação dos postos.

Mesmo em condições de montagem completamente automáticas ou semiautomáticas deve ser considerada a forma de posicionamento do componente para manuseios através de robô ou manipulador automático, em que, por exemplo, os critérios para orientação dos componentes são mais críticos.

2.6 Sistemática para o desenvolvimento do DFMA

Os métodos analíticos têm sido desenvolvidos há muito tempo para determinar quantitativamente qual o mais econômico processo de montagem de um produto e analisar o grau de dificuldade de montagem manual, automática e montagem por robô. Estudos experimentais foram realizados para medir os efeitos da simetria, tamanho, peso, espessura e flexibilidade no tempo de manuseio manual.

Experimentos adicionais foram conduzidos para quantificar o efeito da espessura das peças na dificuldade de pegada e no manuseio utilizando pinças, o efeito da geometria das espiras finais (paralelas ou planas) em molas no tempo de manuseio e posicionamento e o efeito do peso no tempo de manuseio para peças que requerem pegada com as duas mãos. Foram realizadas análises teóricas e experimentos verificando os efeitos da inclusão de chanfros, detalhes para evitar agarramento entre a peça-base e a peça a ser inserida, a geometria da peça e montagens com obstrução da visão (montagem cega) sobre o tempo de montagem.

Segundo Sugai (2003), os valores predeterminados de tempo foram definidos através de filmagens de pessoas realizando movimentos básicos, foram então aferidos e dispostos em tabelas para que através de um sistema de codificação pudesse ser estimado o tempo a ser gasto com manuseio manual e processos de inserção e fixação e então serem utilizados para estimativas de tempo de montagem.

2.7 Aplicação do DFMA no desenvolvimento do produto

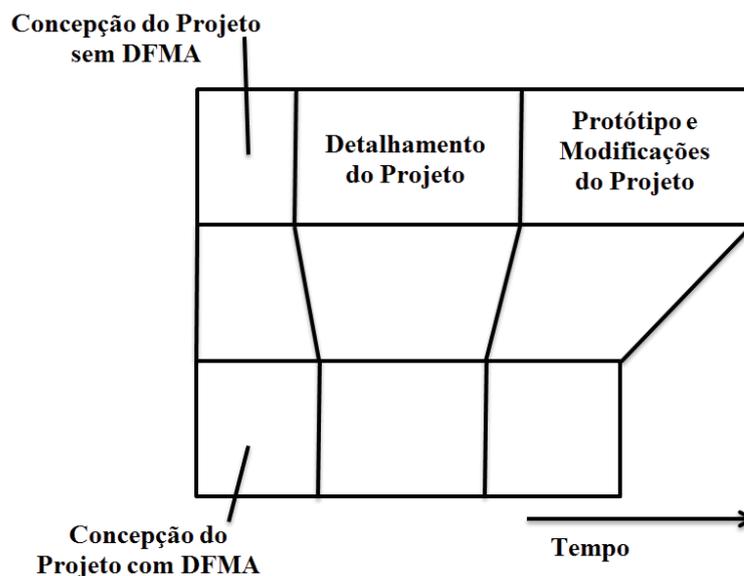
Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), o DFMA deve ser utilizado, com maior ênfase, no início da fase conceitual do projeto, pois nessa etapa os custos de modificações são mais baixos e o tempo de duração do projeto pode ser reduzido, disponibilizando o produto mais rápido para o mercado e com um preço significativamente menor.

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

Deve-se analisar, ainda, nessa fase de projeto, se as alternativas apresentadas até este ponto atendem aos requisitos de funcionalidade do produto e aos requisitos de manufatura e montagem. Definições mais detalhadas do projeto, a exemplo da geometria e do material, entre outras, são discutidas durante o projeto preliminar.

A Figura 8 compara o desenvolvimento do produto com e sem a aplicação do DFMA e confirma que a aplicação do DFMA no início do projeto reduz o tempo total de desenvolvimento.

Figura 8 – Redução de tempo quando aplicado no início do projeto



Fonte: Boothroyd; Dewhurst; Knight (2011).

Pode-se notar que, apesar da fase conceitual do projeto com DFMA ter um tempo de duração maior em relação ao projeto que não utiliza essas técnicas, sua duração total é consideravelmente menor, pois o tempo gasto no detalhamento do projeto, nas modificações e na prototipagem é reduzido.

2.8 *Design for excellence (DFX)*

Neste contexto, surgiu o *Design for Excellence (DFX)*, que é assim definido por Bralla (1998):

base de conhecimentos para aproximar ao máximo o projeto do produto das suas características desejáveis, como alta qualidade, confiabilidade, facilidade de manutenção, segurança, facilidade de uso, preocupação com o meio ambiente, redução do prazo de disponibilização para vendas e ao mesmo tempo reduzindo os custos de manufatura e manutenção do produto.

O *Design for higher quality*, está relacionado com o desempenho satisfatório de um produto, isso significa que é necessário que o projeto tenha qualidade intrínseca, ou seja, se o produto for produzido de acordo com o projeto, ele apresentará confiabilidade, disponibilidade, segurança e qualidade.

Design for reliability, deve-se considerar, durante o projeto, que a confiabilidade está diretamente relacionada com o número de componentes existentes no produto; quanto maior, menor será a confiabilidade, pois a possibilidade de ocorrência de uma falha aumenta proporcionalmente.

O *Design for Serviceability and Maintainability* visa desenvolver um produto que apresente facilidade de manutenção e serviços durante toda a sua vida.

Algumas regras devem ser aplicadas quando se objetiva melhorar e reduzir custos de manutenção e serviços:

- Projetar produtos garantindo que os componentes que necessitam de manutenção periódica estejam visíveis, com fácil acesso;
- Projetar módulos que possam ser trocados, facilitando a manutenção. As principais vantagens do uso de módulos são: simplicidade de substituição, facilidade de testar o componente e redução de estoque e inventário, pois, muitas vezes, um mesmo módulo pode ser utilizado em mais de um tipo de produto;

- Utilizar, sempre que possível, peças padronizadas e fáceis de encontrar no mercado;
- Projetar sistemas autodiagnosticáveis para facilitar a manutenção;
- Projetar componentes que impeçam a montagem errada durante a manutenção;

O *Design for Safety* é mais uma metodologia do DFX e tem como objetivo garantir a segurança do produto, do ponto de vista da manufatura, do uso e do descarte.

Assim como a confiabilidade e a qualidade, a segurança é um atributo que deve nascer com o produto, pois implementá-lo depois é muito complicado e, algumas vezes, até impossível.

O *Design for Environment, ou Green Design*, como também é conhecido, foi elaborado visando aliviar os recentes problemas de poluição e destruição do meio ambiente.

Bralla (1999) apresenta algumas regras que podem ser aplicadas durante o desenvolvimento de produtos, para que colaborem na preservação do meio ambiente durante a sua manufatura, uso e descarte:

- Evitar ao máximo o uso de materiais tóxicos no produto e na sua manufatura;
- Desenvolver produtos que possam ser reciclados após o uso;
- Minimizar o número de materiais diferentes no produto visando facilitar a reciclagem;
- Utilizar o menor número de parafusos e porcas para facilitar e reduzir o tempo de desmontagem do material para reciclagem;
- Escolher materiais compatíveis que possam ser reciclados juntos quando a minimização das peças não puder ser aplicada;
- Padronizar os componentes para facilitar a reutilização em produtos similares;
- Identificar a composição da matéria-prima do componente na própria peça para facilitar a reciclagem (plásticos, por exemplo).

O *Design for User-friendliness* também pode ser chamado de *Design for Human Factors* e *Design for Economics*. Essa metodologia, que faz parte dos objetivos do Design for Excellence, auxilia os projetistas no desenvolvimento de produtos que são de fácil entendimento por parte de seus clientes seguros, ergonômicos, confiáveis e que atinjam a satisfação do cliente.

Design for Short Time-to-Market pode ser definido como sendo o desenvolvimento de um projeto em que se gasta o menor tempo possível para disponibilizar o produto para o

mercado consumidor; período de tempo de contato a partir da ideia de modificar ou desenvolver um produto até o momento em que este é comercializado, ou seja, liberado para o mercado.

2.9 Aplicação do DFMA

2.9.1 Projeto e fabricação de aeronaves

Segundo Barbosa (2007), o desenvolvimento de produtos tem sido tradicionalmente elaborado sem verificar e avaliar cuidadosamente a montabilidade, a facilidade e a usabilidade.

Essas análises devem ser realizadas efetivamente antes do início da fabricação do protótipo ou da fase de produção, com o objetivo de validar se o projeto está realmente atendendo aos requisitos de manufatura e montagem. Isso pode evitar o aumento do tempo de reprojeção por motivos da necessidade de revisões futuras do produto e que encarecem o produto final.

O protótipo de validação é a primeira aeronave do modelo a ser construído. Muitas vezes, falhas e melhorias de projetos são identificadas nesta fase de implementação do produto na linha de montagem, causando gastos inesperados para a empresa e dificultando o aprendizado da produção, antes do início da segunda aeronave.

Baseado nessas premissas e com foco em conceber um produto que seja fácil de manufatura, é de extrema importância que os conceitos do DFMA sejam aplicados e difundidos na indústria. Para que a aplicação da metodologia seja facilitada, é recomendável uma efetiva exploração dos recursos e ferramentas de desenvolvimento de produtos disponíveis no mercado. Além disso, é necessária uma participação efetiva da Engenharia de Manufatura desde o início do desenvolvimento.

Todos os problemas de projeto do produto devem ser identificados e reportados durante a fabricação da primeira aeronave (protótipo) em uma base de dados da empresa, de modo que a realimentação seja dada ao projeto para a correção dos desenhos afetados e incorporação rápida da modificação na linha de montagem, visando solucionar os problemas no menor tempo possível.

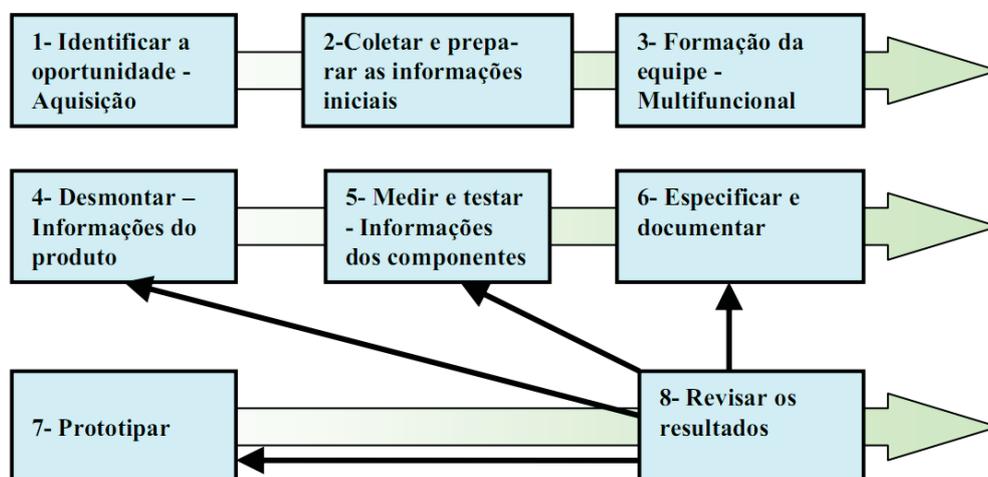
Entende-se que a dificuldade de montagem evidenciada na linha de montagem final é decorrência de falhas que deveriam ter sido detectadas com a aplicação eficaz do DFMA durante o desenvolvimento de produto.

2.9.2 DFMA em uma abordagem de engenharia reversa

Segundo Souza (2007), existe uma grande deficiência nas considerações relativas às necessidades da manufatura e montagem e, desta forma, considera que os fundamentos do DFMA sejam incluídos durante as análises de projeto.

O modelo proposto por Souza (2007), mostrado na Figura 09, não busca substituir todas as fases inicialmente propostas por Pahl et al. (2005), mas sim as fases específicas de desenvolvimento do projeto e do processo. Ou seja, essa adaptação busca otimizar a parte técnica do processo de desenvolvimento de um produto, que, assim, poderá ser aplicado a outros modelos existentes, inclusive de reprojeto de um produto, esperando-se que os mesmos resultados finais possam ser obtidos.

Figura 9 – Modelo Proposto para desenvolvimento de produtos com o uso do DFMA



Fonte: Souza (2007).

As três primeiras fases foram dispostas de forma separada das demais porque não são influenciadas pelas fases seguintes, podendo ser consideradas como fases de preparação, as quais, uma vez finalizadas, não necessitam ser revisadas ou reavaliadas.

Nas fases seguintes existe um inter-relacionamento direto e indireto com as outras, seja através da etapa final de revisão ou diretamente uma com as outras, pela revisão realizada paralelamente às atividades.

Para Souza (2007), a aplicação das técnicas de projeto para a manufatura e montagem (DFMA) se inicia na fase de coletar e preparar as informações iniciais que tem por objetivo coletar e dispor todas as informações que possam contribuir para a aplicação da engenharia reversa.

A interdepartamentalidade das pessoas envolvidas no desenvolvimento de projetos e que individualmente tenham influências sobre o destino do projeto é uma condição necessária para uma boa aplicação da engenharia simultânea e da aplicação das técnicas do DFMA, sendo de suma importância a fase Formação da Equipe.

Durante as operações de desmontagem, o DFMA já deve começar a ser aplicado, observando-se alguns dos seguintes detalhes:

- Dificuldades para a desmontagem e montagem;
- Acessos para mãos e ferramentas, necessidade de ferramentas especiais e outros aspectos específicos de manutenção e assistência técnica;
- Possibilidade de montagem seriada (durante a desmontagem deve-se visualizar como o produto foi montado e como será o que está em desenvolvimento);
- Padronização e normalização de componentes, verificando se o produto possui essa característica e se é possível aplicar esta padronização no produto em desenvolvimento;
- Manuseios de materiais perigosos e outros cuidados necessários;
- Emissão e separação dos documentos ou descritivos dos subconjuntos e de cada componente com detalhes sobre materiais, dimensões e tolerâncias.

O objetivo da fase de prototipar, dentro do ambiente de Engenharia Reversa, é a utilização desses protótipos para auxílio como fonte de entrada de informações nas análises de DFMA.

Os ganhos com a aplicação das ferramentas do DFMA tendem a ficar mais evidentes quando os trabalhos são conduzidos por pessoal ligado à área de processos (com a participação de elementos das demais áreas).

2.9.3 DFMA uma proposta de melhoria de processo de montagem de janela

Zavistanovicz (2013) realizou uma análise prática sob o ponto de vista do DFMA, com o objetivo de avaliar a possibilidade de simplificação da manufatura e montagem de janela de ônibus.

A primeira proposta diz respeito à redução do número de partes do produto, no entanto, a janela de ônibus urbano não possui muitos componentes, sendo basicamente composto por perfil de alumínio, perfil de borracha, vidros e puxadores, mas considerando a dificuldade de manipulação da janela.

A simplificação dos componentes seria possível, a partir do estudo de um novo projeto da janela e também da própria estrutura do ônibus, porém isso implica a busca por novos fornecedores, sendo que nem sempre o fornecedor atual consegue atender um cliente de forma específica.

É importante destacar que, quanto menor o número de componentes, mais fácil é a montagem e menor o custo. No caso da janela em questão, verificar a possibilidade de simplificação do perfil de borracha e perfil de alumínio com os respectivos fornecedores, fazendo com que ambos possam ser integrados de modo mais fácil e em tempo mais hábil.

Outra solução de acordo com o DFMA é a possibilidade de implantação do conceito de modularização, ou seja, buscar formas de agrupar os componentes da janela em módulos, diminuindo a complexidade e consequentemente facilitando a montagem, o que de fato parece promissor, já que pode se conseguir a simplificação do conjunto.

É importante também buscar alternativas de padronização dos processos de obtenção dos componentes das janelas, sendo que muitos desses são fabricados por processos ainda artesanais, principalmente na dobra do perfil de alumínio, sendo que uma solução indicada seria a criação de gabaritos específicos para fabricação e montagem dos componentes.

A modificação ou criação de novo projeto dos componentes, que constituem a janela do ônibus urbano ou da própria estrutura do ônibus, implica a necessidade de rever todo o processo de fabricação dos componentes, o que implica necessariamente a mudança de todo o processo produtivo já implantado.

2.10 Análise de Valor na simplificação de produtos e processos

Segundo Corrêa (2006), o propósito básico da Análise de Valor é simplificar produtos e processos, objetivando obter um desempenho equivalente ou melhorado do produto, porém, com custos menores.

Pahl et al (2005) afirma que a avaliação deverá calcular o “valor” e o “benefício” de uma solução em relação a um objetivo estabelecido. A definição do objetivo é indispensável para que sejam evitadas as avaliações de subaspectos pontuais como custos de produção ou questões de segurança. Portanto, a definição do objetivo proporciona a análise de todos os aspectos do produto, envolvidos na Análise de Valor.

Corrêa (2006) propõe uma análise rigorosa de todos os componentes e conjuntos do produto, definindo suas funções essenciais, usando, para tanto, um verbo e um substantivo. Por exemplo, a função essencial de um tanque de combustível é “conter combustível”.

Deve ser salientada a diferença entre AV e técnicas de redução de custos. A AV constitui um esforço para identificar e selecionar o método de menor custo, visando satisfazer as necessidades funcionais adequadas. Uma simples ideia que resulte em um menor custo para atingir um requisito de projeto não significa aplicar AV. Embora a ideia represente melhor o valor, não há uma tentativa para determinar se a ideia representa o melhor valor de uma seleção de alternativas ou se os requisitos de projeto, sendo satisfeitos, representam o real problema.

2.11 Desenvolvimento de produtos modulares com benefícios a projetos

Quando o planejamento de um produto prevê uma alta customização e o atendimento de diversas funções significa que acontecerá multiplicidade de produtos para um projeto-base específico, acarretando alto custo de projeto e produção. Produtos modulares são subconjuntos ou componentes específicos que satisfazem diferentes funções globais com soluções através de combinações, fazendo com que a variante exigida seja constituída por uma combinação de componentes ou subconjuntos específicos. Para Pahl et al. (2005), a fase conceitual, assim como a fase de leiaute, é muito importante na construção desses blocos modulares, contemplando o máximo de variações possíveis que possam acontecer.

Miguel (2005) realizou um estudo sobre modularidade, classificando-a em três domínios:

- A modularidade em projeto, que consiste em dividir um sistema em módulos voltado aos limites de um produto e dos seus componentes, de modo que as características do projeto e as tarefas sejam dependentes dentro dos módulos e independentes entre os módulos.
- A modularidade em produção, que consiste em conceber os módulos do projeto de forma a facilitar a manufatura e montagem, permitindo a introdução da automatização no processo de fabricação.
- A modularidade na organização trata de controlar e instalar a estrutura para permitir a produção modular.

Como exemplo de aplicação na indústria de ônibus, Viero (2013) utilizou técnicas de modularidade no projeto de uma carroceria de ônibus rodoviário intermunicipal, concebendo uma carroceria aproximadamente 77% determinada, ou seja, sem necessidade de alteração do projeto devido a suas variantes de configuração ou customizações derivadas do cliente. Também obteve uma redução de 11% no tempo de montagem total da estrutura.

Gimenez (2008) aplicou em uma empresa montadora de chassis de ônibus uma análise modular sobre uma família de chassis, resultando em uma nova formação da periferia do motor com alto grau de padronização e compartilhamento dos módulos, reduzindo, assim, o tempo de desenvolvimento de projeto e aumentando sua confiabilidade.

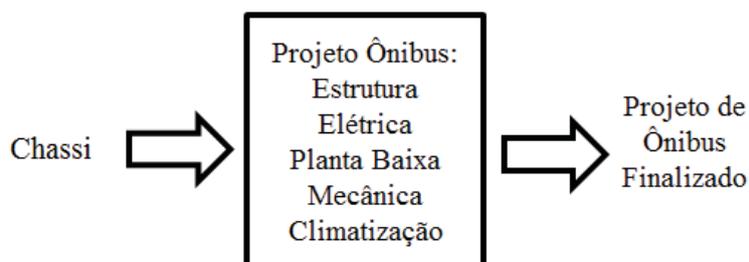
As vantagens de um sistema modular são menores custos com projeto e produção, pois o esforço de fazer o projeto é único, apenas modificado por itens adicionais não previstos (customização), melhor controle e prazos de entrega, simplificação dos orçamentos, os blocos podem ser fabricados em lotes de tamanho ótimo por métodos de produção mais econômicos, facilidade no serviço de peças de reposição. Para Pahl et al. (2005), como principal desvantagem destaca-se a customização a pedido especial de um cliente que nem sempre é possível ou viável.

2.12 Projeto ônibus

Quevedo (2014) divide o projeto ônibus, em cinco grupos: estrutura, elétrica, planta baixa, mecânica e climatização, ilustrada na Figura 10. O resultado da união dos projetos de

cada grupo é o pacote completo do projeto final da carroceria. O sistema tem como fluxo de entrada o leiaute dos chassis e como fluxo de saída o projeto do produto ônibus, que é a resultante do projeto final da carroceria mais esse chassi.

Figura 10 – Projeto ônibus em cinco grupos

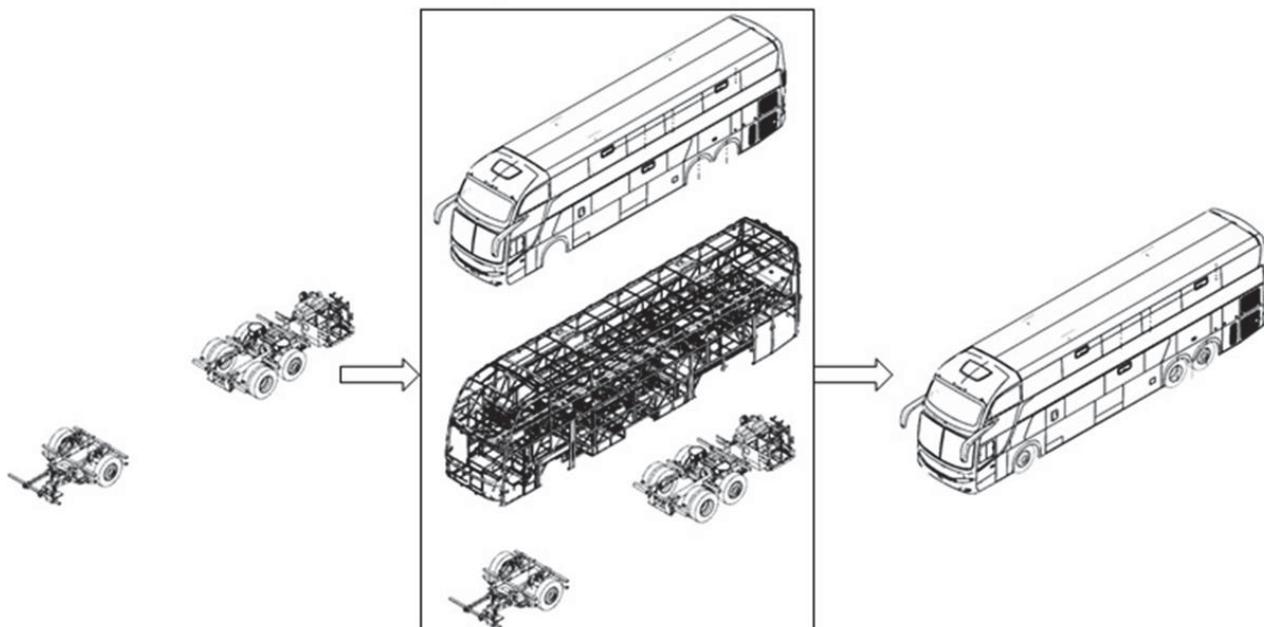


Fonte: Quevedo (2014).

O grupo estrutura divide-se em três sistemas funcionais, conforme ilustra a Figura 11.

- Sistema Casulo: possui os conjuntos portadores da função estrutural principal da carroceria, de característica dominante, ou seja, influenciam diretamente nos demais conjuntos. Estão representados pelos blocos de linha contínua: laterais, módulo entre-eixos, módulo traseiro, módulo da frente, plataforma sobre motor, entre outros.
- Sistema de Acoplamento: conjuntos portadores da função principal, mas com a função de interface e união do chassi com o casulo. Também representados pelos blocos de linha contínua. São eles: a preparação de chassi e a união casulo com o chassi.
- Sistema Auxiliar: integra os conjuntos portadores da função secundária. É consequência do que já foi definido pelos sistemas principais, não tendo influência sobre os demais conjuntos. Estão representados pelos blocos de linha tracejada: revestimentos, chapeamentos, janelas, fibras, acabamentos internos, entre outros.

Figura 11 – Grupo Estrutura



Fonte: Quevedo (2014).

O modelo de ferramenta, que será desenvolvido no presente trabalho, tem como objeto de estudo o casulo, parte componente da estrutura de uma carroceria de ônibus.

2.13 Diretrizes para a construção de um casulo

Para introduzir uma ferramenta baseada em uma metodologia relacionada ao desenvolvimento de um produto é necessário inteirar-se de padrões técnicos para a sua construção, considerando as forças e os fenômenos envolvidos. No projeto de um ônibus é necessária uma integração entre a montadora, fabricante do chassi, e a encarroçadora, fabricante da carroceria. Cabe então ao engenheiro a tarefa de estudar o chassi e seus periféricos, respeitando as diretrizes provenientes dos manuais de encarroçamento fornecidos pelas montadoras, bem como as normas existentes com relação ao projeto de carrocerias de ônibus, conforme Anexo A.

2.14 Estrutura de um casulo componente de uma carroceria de ônibus

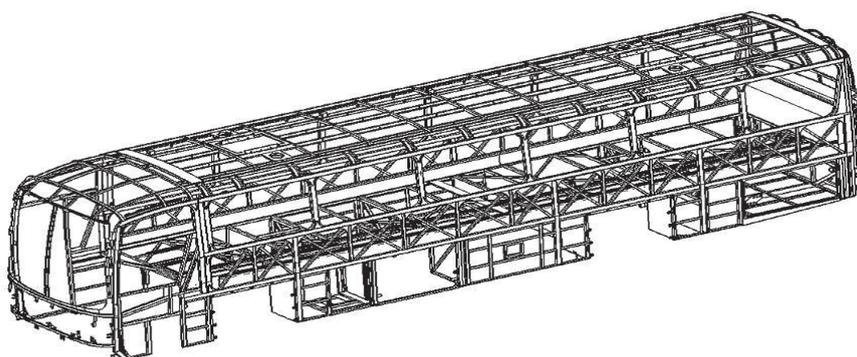
Segundo Walber (2009), o arranjo estrutural de uma carroceria de ônibus, usualmente denominado Casulo, é formado por sete componentes estruturais. Esses componentes são os seguintes:

- Frente;
- Traseira;
- Lateral Direita;
- Lateral Esquerda;
- Base Superior;
- Base Inferior;
- Teto.

Esses conjuntos são montados em gabaritos separados e, posteriormente, levados a um gabarito de montagem (fechamento) onde são unidos pelo processo de soldagem.

Entendendo que as principais funções do casulo são dar forma e rigidez à carroceria do ônibus, conclui-se, dessa forma, que ele suporta todas as solicitações de esforços. Além da rigidez e forma, a carroceria também tem a responsabilidade de garantir a segurança dos usuários, pois mediante impacto ou tombamento ela absorverá a energia durante a colisão. A Figura 12 mostra um projeto de casulo antes de seu acoplamento com o chassi.

Figura 12 – Projeto de um Casulo



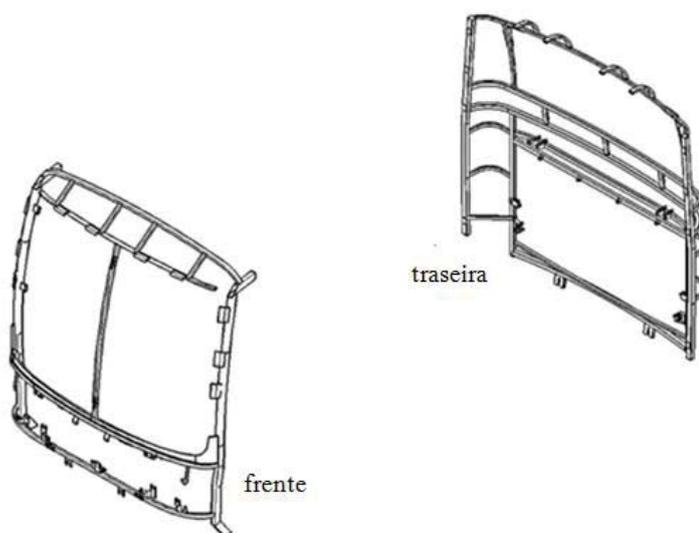
Fonte: Walber (2009).

O casulo é formado por uniões soldadas de tubos e chapas. Esses componentes são unidos através de processo de soldagem.

2.14.1 Estrutura da frente e traseira

As estruturas são formadas por tubos cortados e conformados, geralmente unidos por processo de soldagem. Na Figura 13 pode ser observado o projeto de uma frente e uma traseira referente a uma carroceria de ônibus.

Figura 13 – Projeto de frente e traseira de uma carroceria de ônibus



Fonte: Walber (2009).

As ferramentas utilizadas para fazer a união desses tubos e dos subconjuntos de frente e traseira são distintas.

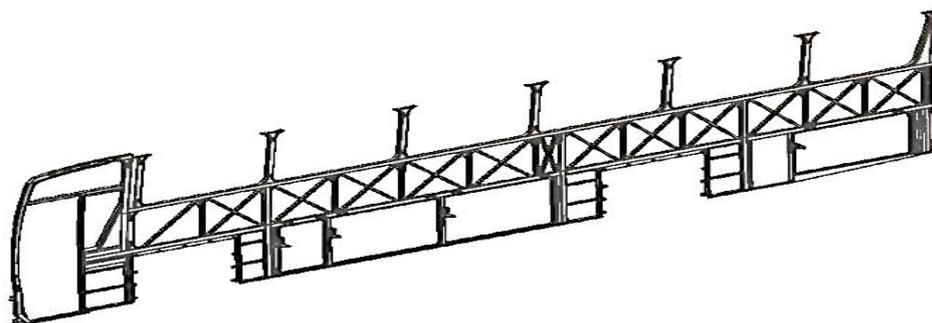
No projeto de estruturas apresentado, os elementos verticais e horizontais formados por tubos que cumprem o papel de vigas e pilares.

2.14.2 Estrutura de laterais

As laterais são formadas por tubos retangulares e quadrados, de acordo com a seção transversal do veículo, sendo que a união dos componentes das laterais geralmente é executada por processo de soldagem.

Com relação à rigidez das laterais, pode-se dizer que ela é aumentada pela agregação de alguns componentes denominados contraventamentos (componente x). A Figura 14 demonstra um projeto de lateral de uma carroceria de ônibus.

Figura 14 – Projeto de uma lateral



Fonte: Walber (2009).

Como pode ser visto no projeto da lateral, ela é composta por elementos verticais, horizontais e treliças.

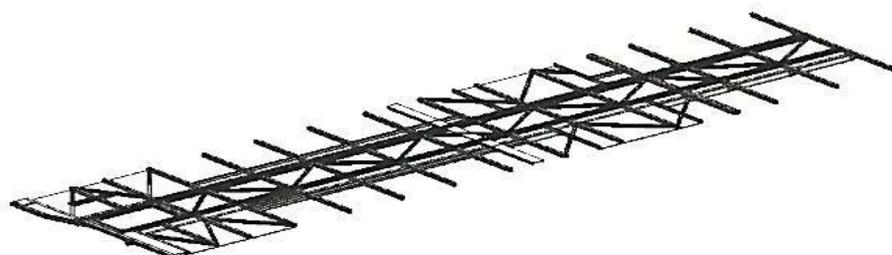
2.14.3 Estrutura da base

A estrutura da base é formada por tubos retangulares e quadrados, geralmente unidos através do processo de soldagem. Essa estrutura exerce as seguintes funções dentro do arranjo estrutural:

- Interface entre o chassi e a carroceria;
- Sustentação do assoalho;
- Ligação das laterais.

Na Figura 15 pode ser visto um projeto de base para uma carroceria de ônibus.

Figura 15 – Projeto de uma base de uma carroceria de ônibus



Fonte: Walber (2009).

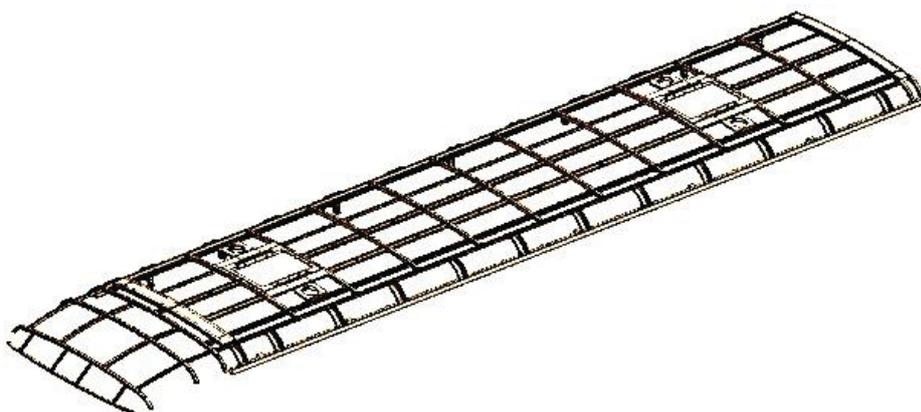
A base é um elemento essencialmente horizontal. Ela faz a ligação entre duas estruturas que são as laterais esquerda e direita da carroceria.

2.14.4 Estrutura do teto

A estrutura do teto é composta por tubos, chapas e demais perfis. O teto serve para fixação de diversos componentes da carroceria.

Assim como a base, o teto serve como elemento de ligação entre as laterais, além de fazer a função de estruturação do arranjo. A função estrutural exercida pelo teto é de fechamento do casulo. A Figura 16 mostra o projeto de um teto para uma carroceria de ônibus.

Figura 16 – Projeto de um Teto



Fonte: Walber (2009).

Os principais materiais utilizados no casulo são tubos de seção transversal retangular, perfis “L” e “U” de chapas de aço, além de chapas planas de diferentes espessuras, com o objetivo de dar rigidez e forma a carroceria.

2.14.5 Conclusão do capítulo

Este capítulo apresentou como se deu a evolução no desenvolvimento de produtos, o planejamento do desenvolvimento de um produto ônibus, por etapas e fases, além da importância de existir uma interação entre projeto e manufatura, orientando o trabalho no

sentido de reduzir o número de interações entre projeto, fabricação e montagem, aproximando as ferramentas voltadas para projeto das ferramentas voltadas para a gestão de manufatura. Este capítulo também trouxe um relato sobre o DFMA, conceitos, regras e aplicações. Mostrou também as dimensões do DFX, com seus elementos que atendam aos requisitos esperados pelo mercado consumidor.

No próximo capítulo, as técnicas estudadas até aqui são aplicadas em um modelo proposto.

3 MODELO PROPOSTO

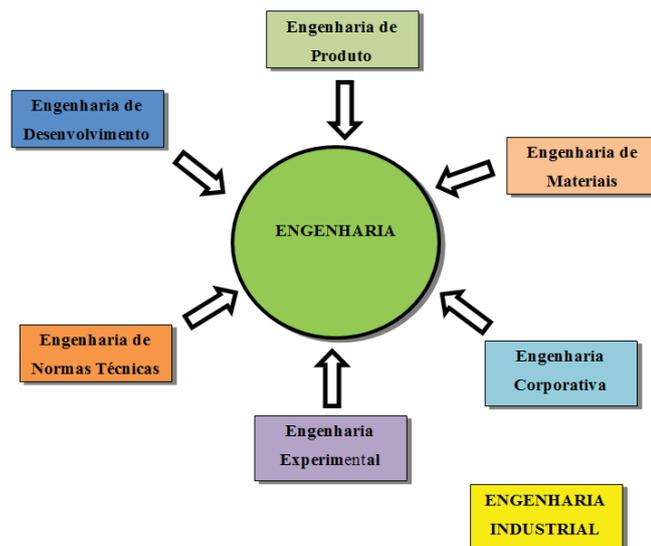
Este capítulo estrutura-se em oito itens. O primeiro item apresenta uma introdução ao desenvolvimento do produto Ônibus; o segundo apresenta os fluxogramas atuais de desenvolvimento de projetos do produto Ônibus; o terceiro apresenta o modelo proposto, e o quarto item apresenta a metodologia inserida no desenvolvimento do produto ônibus. Os itens subsequentes apresentam a ferramenta criada e suas fases de aplicação, divididas em simplificação da estrutura do produto, processos mais econômicos e detalhamento do projeto.

3.1 Introdução ao desenvolvimento do produto ônibus

Em função da complexidade de produzir uma carroceria de ônibus, a Engenharia é subdividida em setores distintos, cada um com responsabilidades específicas.

Os setores que compõem a Engenharia são: Design; Engenharia Experimental; Engenharia de Materiais; Engenharia de Normas Técnicas; Engenharia Corporativa; Engenharia de Desenvolvimento; e Engenharia de Produto. Além desses setores que compõem a Engenharia, existe ainda o setor Engenharia Industrial, atrelada aos setores Ferramentaria e Protótipo, ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Subdivisões de uma Engenharia de Ônibus



Fonte: Autor.

O setor de Design é a área da engenharia que desenvolve os novos designs de produtos para empresa. Sua principal função é criar soluções inovadoras que respeitem os conceitos funcionais propostos tendo como foco o design para a aplicação.

A Engenharia Experimental é responsável pela validação de arranjos estruturais através da utilização de validação numérica em elementos finitos e testes experimentais, definindo uma estrutura capaz com o menor peso possível para cada tipo de produto.

Engenharia de Materiais é a área responsável por desenvolver, analisar, classificar e disponibilizar novos materiais para aplicação nos produtos. Sua principal função é de, juntamente com a Engenharia de Desenvolvimento, propor soluções inovadoras no quesito aplicação de materiais, também é responsável por melhorias e alterações pertinentes aos materiais, especificar e classificar os materiais já aplicados no produto.

A Engenharia de Normas Técnicas atende à crescente exigência dos órgãos regulamentadores, visando à aproximação da empresa com eles.

A Engenharia Corporativa é um time multidisciplinar voltado à inovação em produtos e processos, com atuação em quatro linhas distintas de desenvolvimento: Projeto, Mecanismos, *Templates* e Sistemas.

A Engenharia de Desenvolvimento é a área da Engenharia que desenvolve os novos projetos de produtos para empresa. Sua principal função é criar soluções inovadoras que respeitem os conceitos de design propostos.

A Engenharia de Produto tem como atribuição estudar e desenvolver projetos de customização do produto de acordo com as solicitações do cliente, as quais podem exigir um profundo conhecimento sobre itens da carroceria, como chassis, definições de balanços e cargas, projetos de mecanismos e projetos estruturais.

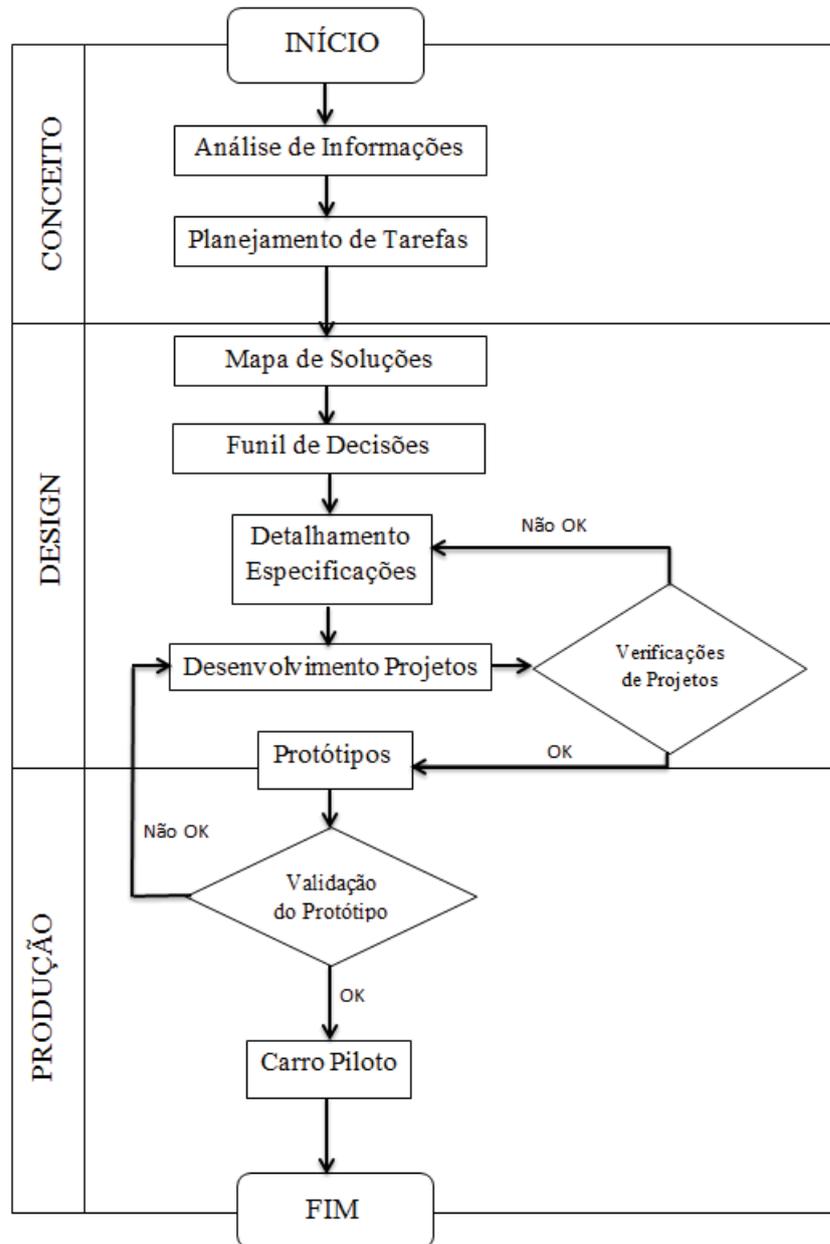
E, por fim, a Engenharia Industrial é responsável pelos roteiros de fabricação, balanceamento de linhas de montagem, necessidades de moldes e gabaritos, necessidade de aquisição de máquinas e layout de processos.

3.2 Fluxogramas atuais de projetos de desenvolvimento do produto ônibus

Basicamente, o Desenvolvimento de Produto Ônibus se dá em duas etapas distintas. A primeira etapa se desenvolve nos setores de Engenharia de Desenvolvimento e Design, com a participação dos setores Engenharia de Materiais, Engenharia de Normas Técnicas e

Engenharia Experimental em alguns itens pontuais do desenvolvimento do produto Ônibus, através de três fases, demonstrado na Figura 18.

Figura 18 – Fluxograma aplicado às áreas de Desenvolvimento do Produto



Fonte: Comil Ônibus S.A.

Inicialmente, define-se o que deve ser desenvolvido, os fatores essenciais do problema e o que os influenciam, de modo macro.

Dá-se início à primeira fase, o conceito, por meio de uma Análise de Informações. Através dos dados, faz-se o Planejamento de Tarefas, a partir de um cronograma de projetos, se determina o quê fazer, quem irá realizar e quando (prazos) deverá ser feito.

Com o cronograma, ocorre a distribuição das tarefas com os dados necessários para o desenvolvimento dos componentes do produto, para cada sistema e trabalho, e se inicia a elaboração dos projetos. A partir desse momento, há o início da execução propriamente dita dos trabalhos, com os detalhamentos e especificações, dando início aos projetos. A transição da segunda fase, Design, para a terceira fase, Produção, dá-se através da Prototipagem.

Uma vez finalizados os projetos, há a prototipagem do conceito, que pode ocorrer tanto no âmbito do produto (estilo, carro completo) quanto nos subsistemas e componentes isolados (prototipagem de partes do carro que podem servir para testes). Assim sendo, tem-se novamente uma etapa de avaliação, onde se valida à ideia. Uma vez validado, se está pronto para a produção do carro-piloto.

Após o término da primeira etapa que se dá com a validação do carro-piloto, inicia-se a segunda etapa, com a comercialização do produto, na qual se faz necessária a customização e a determinação de projetos. Essa customização é característica de uma fábrica de ônibus, cujo produto é altamente customizado, em função das necessidades de cada cliente, empresa transportadora de passageiro, e das normas vigentes do local de rodagem do veículo.

Nessa segunda etapa, que é de responsabilidade da Engenharia de Produto, ilustrada na Figura 19, também acontece o desenvolvimento conceitual do produto, mas em uma menor escala.

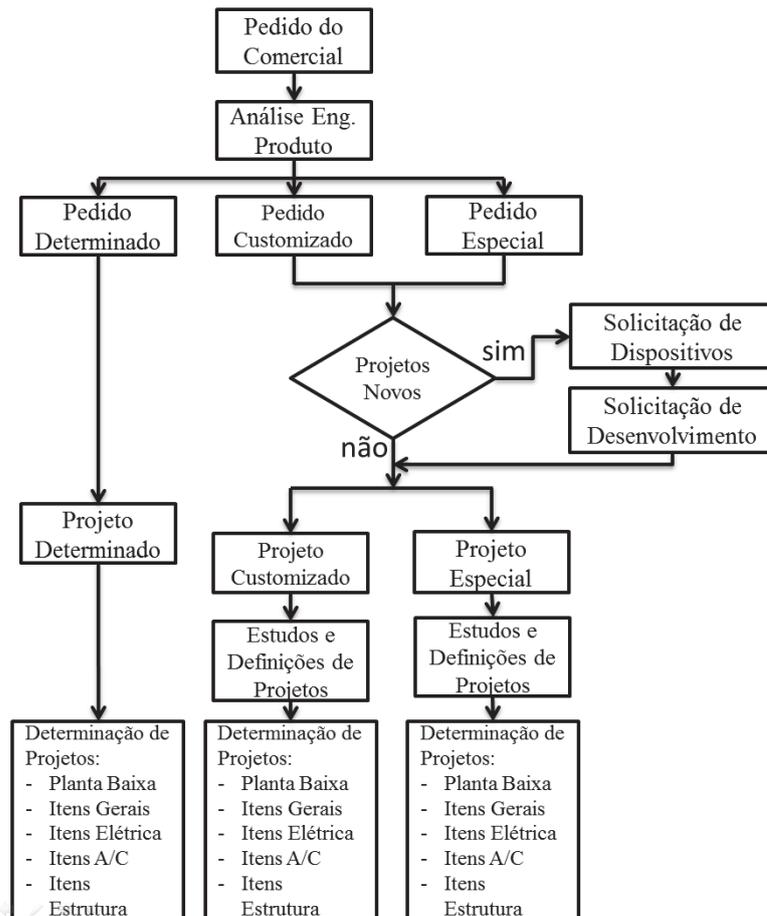
O pedido de venda se dá na área comercial e segue para a Engenharia de Produto, que faz a análise das necessidades de projeto para a Determinação de Pedido, podendo ser classificado em três diferentes níveis de complexidade, denominados Projeto Determinado (PD) / Projeto Customizado (PC) /Projeto Especial (PE).

O Projeto Determinado possui uma determinação de pedido já cadastrada no sistema com as mesmas características e especificações relevantes para sua determinação. Nesse caso não será necessário desenvolver novos projetos ou desenhos porque a Determinação do Pedido deve ser uma cópia do projeto-base.

Já o Projeto Customizado possui uma Determinação de Pedido próxima a sua necessidade, devendo ser realizadas adequações e ou alterações solicitadas ou, ainda, melhorias de projeto.

Por sua vez, o Projeto Especial é o projeto em que há necessidade de adequação de uma estrutura preexistente para atender as especificações constantes no pedido. Ele irá gerar uma demanda de desenvolvimentos de novos projetos e ou variações de projetos já existentes, o que impactará em tempo maior para a sua realização. A etapa de estudos e definições de projeto será mais elaborada, exigindo conhecimentos mais aprofundados da carroceria e do chassi.

Figura 19 – Fluxograma de Determinação de Pedido



Fonte: Comil Ônibus S.A.

Conforme verificado, o desenvolvimento de produto em uma empresa fabricante de carroceria de ônibus se dá, em uma primeira etapa, nas fases Conceito, Design e Produção do Carro Piloto, com sua Validação. E o desenvolvimento de novos projetos pode ocorrer na fase Customização de Produto, em função da necessidade de diferentes clientes.

Sempre com a intervenção da Engenharia Industrial, através da solicitação de Dispositivos, Gabaritos, Moldes, entre outros, independentemente da forma como se dá o desenvolvimento de produto.

3.3 Ferramenta proposta

O objetivo deste trabalho é tornar-se uma ferramenta de apoio na busca de soluções usando as técnicas do DFMA, que visam reduzir custos com a manufatura, aumentar a padronização de peças e processos, aumentando a facilidade de montagem, além de aumentar a qualidade do produto, com foco na carroceria de um ônibus.

Sendo assim, concluiu-se que a ferramenta ideal para a aplicação da metodologia DFMA é aquela que atenda aos seguintes requisitos:

- Permite ser usada sem a necessidade de despende um longo tempo com treinamento;
- É de fácil utilização;

As evidências apresentadas até aqui nos mostram que:

- A metodologia DFMA deve ser utilizada durante o desenvolvimento integrado dos produtos;
- Os projetistas se beneficiarão de uma ferramenta para sua aplicação;
- A maior dificuldade na utilização de ferramentas dedicadas é a falta de pessoal qualificado e dedicado a esta atividade;

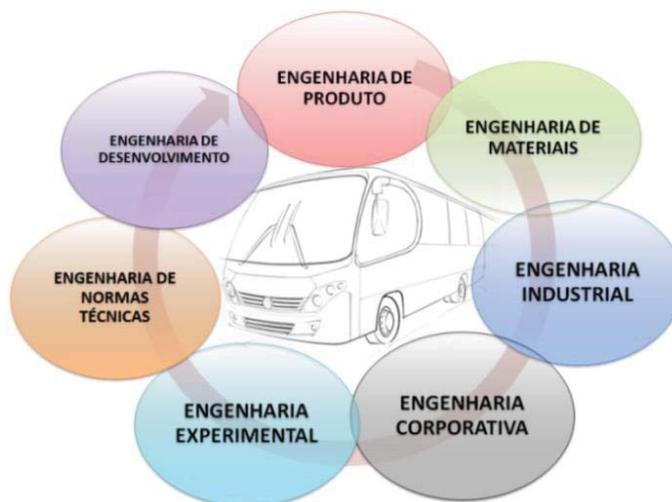
Pode-se afirmar que o DFMA alcança melhores resultados quando associado a outros métodos conhecidos, como a Engenharia Simultânea, que tem como objetivos a redução do ciclo de desenvolvimento, aumento da qualidade final do produto e redução de custo. Isso é alcançado através do desenvolvimento matricial, ao invés de funcional, das diferentes etapas que compõem o Projeto do Produto, com o emprego de times ou equipes multidisciplinares. Esses times devem conter pessoas de vários departamentos da empresa, incluindo os principais fornecedores e clientes.

Na estrutura funcional, os profissionais são agrupados pela área de atuação, podem-se citar como exemplo os departamentos de Engenharia de Produto, Engenharia Industrial, entre outros. Já a estrutura matricial tem a função de integrar os profissionais de diferentes departamentos funcionais, a fim de otimizar os recursos e o desenvolvimento do trabalho.

Para uma maior eficiência do DFMA, o alinhamento e o trabalho multidisciplinar devem ser buscados desde o início do processo de desenvolvimento.

Assim sendo, é importante garantir uma participação mais ampla de todas as áreas da empresa, no momento adequado, reduzindo custos de desenvolvimento, manufatura, manutenção, operação e serviços, conforme a Figura 20 exemplifica.

Figura 20 – Interação entre departamentos

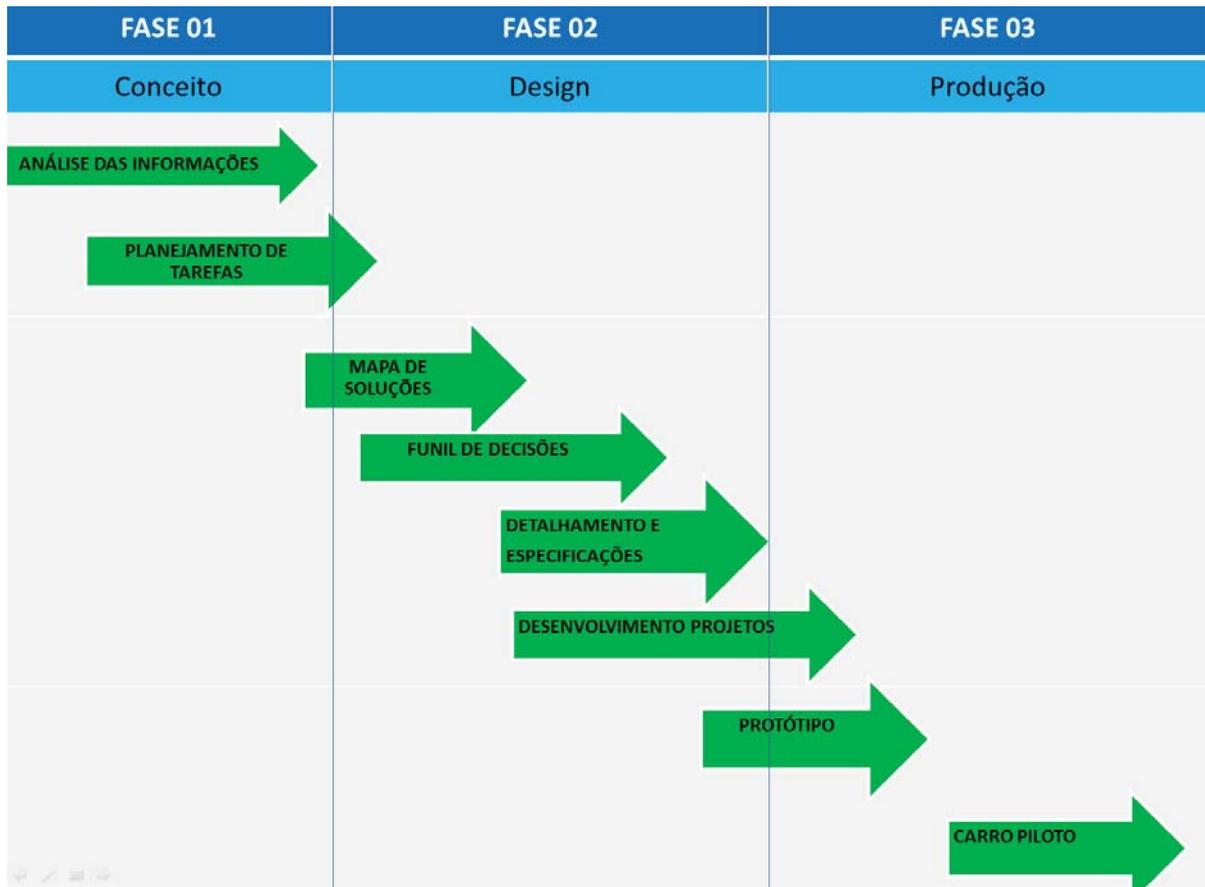


Fonte: Autor.

3.4 Metodologia DFMA inserida no desenvolvimento do produto ônibus

O desenvolvimento do produto ônibus se dá em três fases distintas: a primeira fase é chamada de conceito, na qual são feitas as primeiras análises de informações e inicia-se o planejamento das tarefas; na segunda, chamada de design, é construído um mapa de soluções e tomadas algumas decisões de conceituação de produto, e também são definidas algumas especificações do produto e desenvolvido os projetos; e, por fim, na terceira fase, chamada de produção, fabrica-se o protótipo e, na sequência, o carro-piloto, conforme ilustra a Figura 21.

Figura 21 – Etapas do Desenvolvimento do Produto Ônibus



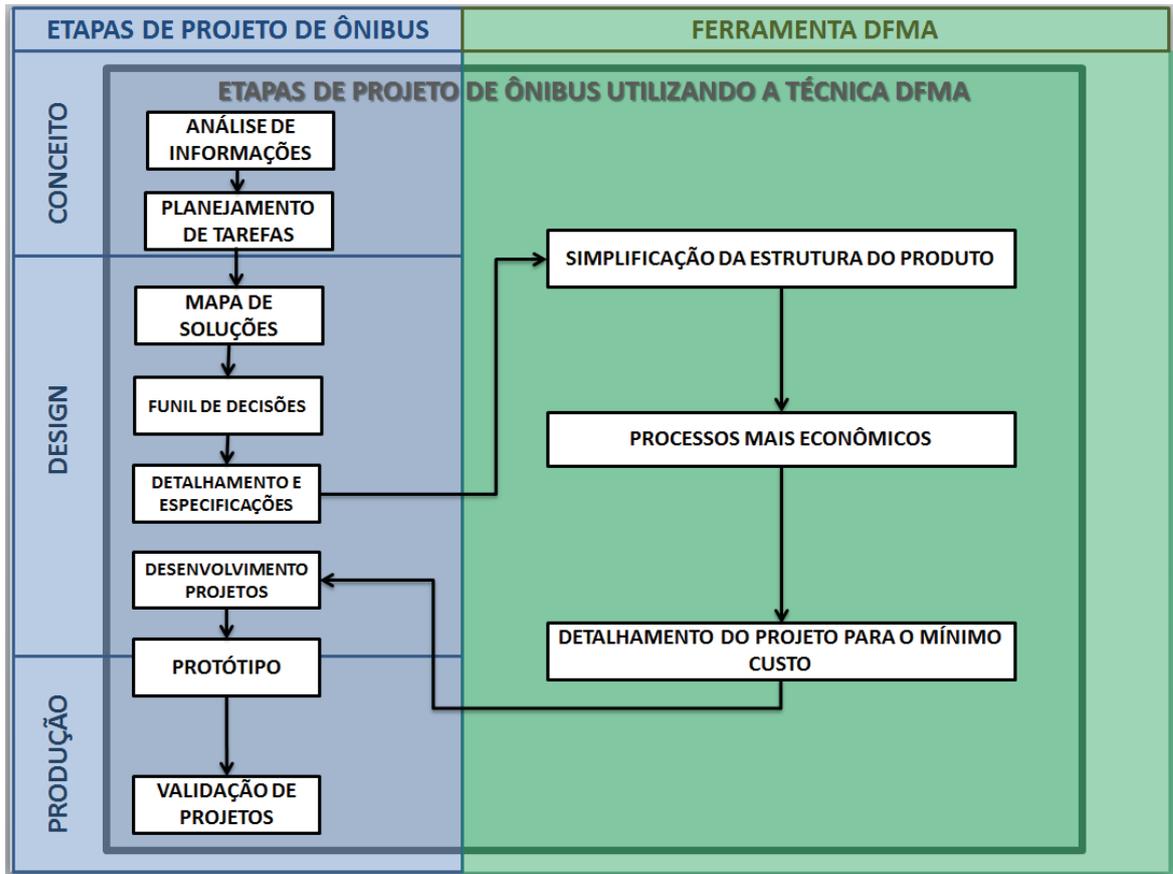
Fonte: Autor.

Nessas fases apresentadas a Engenharia Industrial começa suas atividades, desenvolvendo moldes, gabaritos, ferramentas, e adquirindo máquinas e equipamentos para as devidas fabricações e montagens.

A ferramenta proposta é composta por três etapas distintas, que estão inseridas dentro das fases do desenvolvimento de um projeto de ônibus. A primeira etapa consiste na simplificação da estrutura do produto, a segunda busca processos mais econômicos, e a terceira etapa está relacionada com o detalhamento do projeto.

O momento mais indicado para a aplicação do DFMA é na fase de design, uma vez que, no decorrer desta fase, o processo de fabricação deve ser analisado, a fim de garantir que o projeto atenda todas as necessidades de manufatura, conforme ilustra a Figura 22.

Figura 22 – Etapas de projeto de um ônibus com o auxílio da técnica DFMA



Fonte: Autor.

Apesar de o momento mais indicado para a aplicação do DFMA ser as fases de definições iniciais de concepção de projeto, no caso de uma empresa fabricante de carrocerias de ônibus, o DFMA pode também ser aplicado após a validação do protótipo, isto é, nas fases de customização e determinação de projetos.

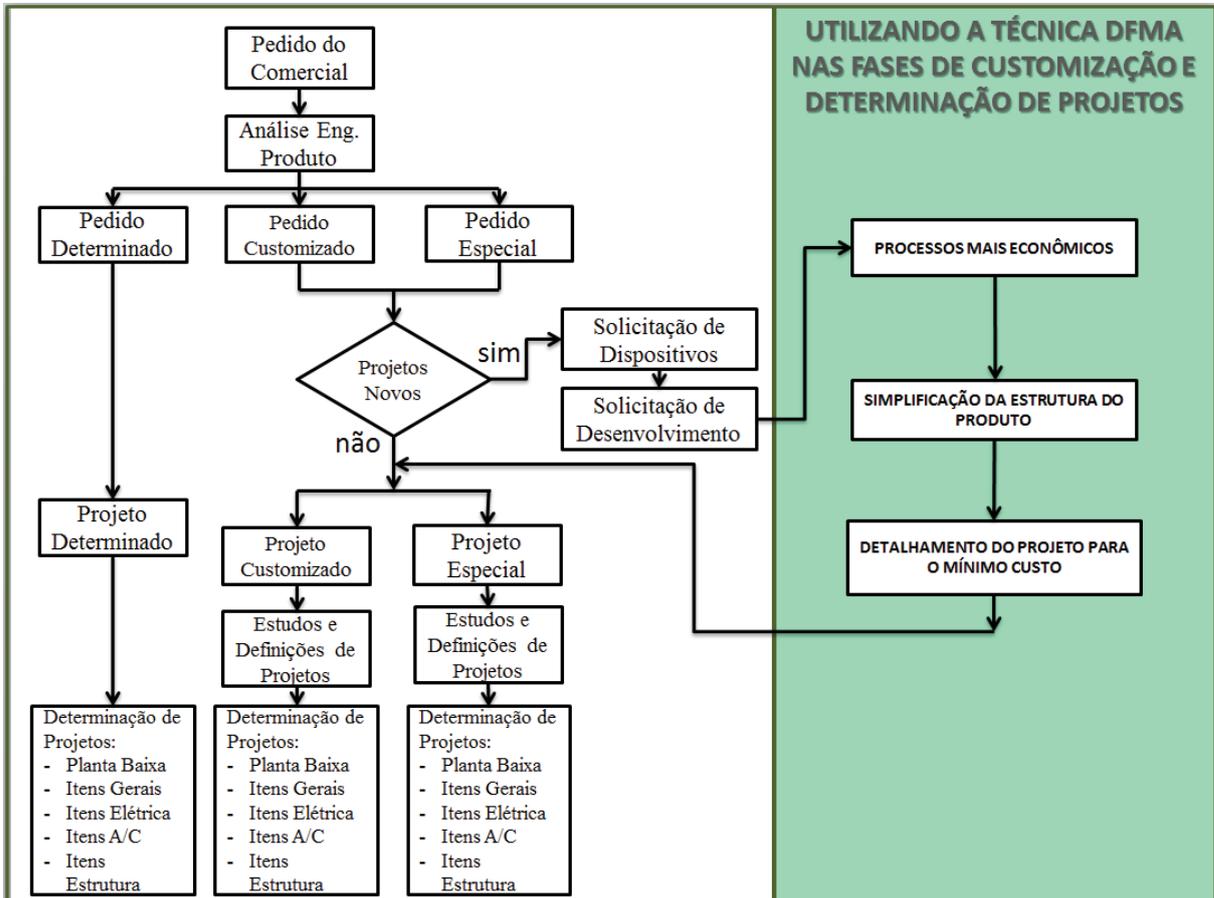
A Figura 23 mostra a etapa de customização e determinação de projetos, inserida a ferramenta proposta. Nessa etapa também acontece o desenvolvimento conceitual de produto, mas em uma menor escala.

Essa etapa é de responsabilidade da Engenharia de Produto, que faz a análise das necessidades de projeto para a Determinação de Pedido, podendo ser classificado em três diferentes níveis de complexidade, assim denominados: Projeto Determinado (PD) / Projeto Customizado (PC) / Projeto Especial (PE).

Quando o Projeto for Customizado ou Especial, gera-se uma demanda de desenvolvimentos de dispositivos e projetos. Nessas etapas a utilização dos conceitos do

DFMA gerará resultados relacionados a Processos mais Econômicos, Simplificação da Estrutura do Produto e Detalhamento do Projeto para o Mínimo Custo.

Figura 23 – A técnica DFMA nas fases de customização e determinação de projetos



Fonte: Autor.

É importante frisar que todos os problemas encontrados durante a montagem do protótipo devem ser solucionados antes do início da produção em série, ou seja, corrigidos paralelamente à fabricação do protótipo.

A utilização da ferramenta proposta, nas fases posteriores à validação do protótipo, ainda gera bons resultados. Porém, não se pode negar que o custo da correção do projeto após a validação do protótipo é muito maior que se efetuado antecipadamente durante as fases iniciais.

A ferramenta desenvolvida consiste na utilização dos requisitos do DFMA, aplicados no projeto de uma carroceria de ônibus e a sequência lógica dos passos a serem seguidos e verificados durante a execução do projeto.

É importante destacar que a ferramenta é, principalmente, para o projeto do produto ônibus, visando uma otimização na fabricação de peças e na montagem de componentes, visto que o produto ônibus por ser customizado, sendo que muito das suas características são para atender determinadas normas específicas ou até mesmo clientes específicos e, assim, acabam demandando uma quantidade de mão de obra relativamente grande, e o prazo de entrega, geralmente, é curto.

3.5 Simplificação da estrutura do produto

É muito importante avaliar bem a necessidade de cada componente, devendo sempre procurar reduzir ao máximo no produto final. Para tal, pode-se fazer uso de três requisitos básicos para verificar a necessidade de determinado componente.

- Existe necessidade de movimento relativo entre as partes?
- Existe necessidade de especificação de diferentes materiais por razões físicas/químicas?
- O componente deve ser desmontável para facilitar manutenção?

Caso a resposta seja não para os três questionamentos, então o componente pode ser eliminado do conjunto.

Outro aspecto é a verificação de integrar funções em componentes quando possível, pois componentes com funções integradas não precisam ser montados e, geralmente, possuem menor custo de fabricação se comparados com a soma dos custos das peças separadas.

Frente a isso, muita atenção está sendo direcionada ao processo de projeto, devido à importância dos custos de manufatura e montagem. Elevou-se, então, o mérito da metodologia DFMA.

Conforme apresentado no subcapítulo 2.14, os principais componentes utilizados na fabricação de uma carroceria de ônibus são tubos de seção transversal retangular, perfis “L” e “U” de chapas de aço, além de chapas planas de diferentes espessuras. Frente a isso foi feita uma análise da disponibilidade de matéria-prima para a fabricação de uma carroceria e foi constatada uma grande variedade de tubos e chapas na empresa em questão.

Como um dos principais preceitos pregados pela Metodologia DFMA é a otimização de matérias-primas, realizou-se inicialmente uma análise apurada a respeito das principais matérias-primas utilizadas na fabricação de carrocerias de ônibus e desenvolveu-se uma

proposta de otimização de tubos e chapas, principais elementos utilizados, a proposta está apresentada em detalhes no Apêndice A.

3.5.1 Verificações na fase de simplificação da estrutura do produto

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os passos a serem respeitados no desenvolvimento de uma carroceria do produto ônibus, para que possamos ter uma simplificação na sua estrutura. Os passos estão separados por DFM e DFA.

Tabela 2 – Verificações na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto – DFM

Requisitos de Projeto para Manufatura (DFM) - Fase de Simplificação	
Passo 01	Evitar grandes geometrias e componentes pesados
Passo 02	Os componentes devem ter formas ergonômicas
Passo 03	Padronizar o máximo de componentes
Passo 04	Preferir peças simétricas

Fonte: Autor.

Tabela 3 – Verificações na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto – DFA

Requisitos de Projeto para Montagem (DFA) - Fase de Simplificação	
Passo 05	Projetar para um número mínimo de componentes
Passo 06	Conceber montagens empilhadas ou unidirecionais
Passo 07	Permitir alinhamento e fácil inserção dos componentes
Passo 08	Projetar peças com características de autolocalização
Passo 09	Utilizar peças autofixadoras
Passo 10	Reduzir o número de peças únicas
Passo 11	Otimizar a sequência de montagem
Passo 12	Deixar claro o pré-posicionamento
Passo 13	Facilitar a manipulação das peças
Passo 14	Eliminar parafusos, molas, roldanas
Passo 15	Eliminar ajustes
Passo 16	Promover um espaçamento entre os furos de modo a garantir a resistência do componente
Passo 17	Desenvolver uma abordagem de projeto modular

Fonte: Autor.

O próximo passo foi inserir as verificações na fase de simplificação da estrutura em uma matriz, contendo todos os componentes a serem verificados em sequência e descritos em linhas.

Na matriz de verificações, na fase de simplificação da estrutura do produto, deverão constar, no canto superior esquerdo, todos os componentes de um conjunto, com seus códigos e descrições e uma figura ilustrativa, que poderá ser o projeto do conjunto. Nas colunas à direita estão os passos a serem verificados, e a Figura 24 ilustra a matriz descrita.

Figura 24 – Matriz na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto

VERIFICAÇÕES NA FASE DE SIMPLIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DO PRODUTO		
S	O COMPONENTE PODE SER MELHORADO NESTE QUESTO	
N	O COMPONENTE NÃO PODE SER MELHORADO NESTE QUESTO	
N	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Fonte: Autor.

A utilização da matriz permite uma melhor visualização de cada componente de forma individual, mas inseridas no conjunto que os contém.

3.6 Processos mais econômicos

Em um produto ônibus, as características de processamento sobre o desenvolvimento de uma carroceria dizem respeito à conformação mecânica de tubos e chapas.

No capítulo seguinte serão apresentados os parâmetros que um profissional de projeto de produto carroceria ônibus deve ter conhecimento para um melhor desenvolvimento de

projeto voltado para manufatura, relacionado às máquinas e aos equipamentos disponíveis na empresa.

3.6.1 Parâmetros específicos de processos mais econômicos

Os seguintes parâmetros específicos em relação ao produto carroceria ônibus devem ser respeitados:

- Ângulos mínimos para dobra de acordo com a espessura da chapa, conforme ilustra a Tabela 4;
- Abas mínimas permitidas para dobras em chapas, conforme ilustra a Tabela 5;
- Raios mínimos para conformação de tubos, conforme ilustra a Tabela 6;

Em relação à conformação de chapas, o engenheiro de projetos deverá inicialmente verificar a possibilidade de dobra, utilizando a Tabela 3, que mostra os ângulos mínimos de dobra em relação à espessura da chapa.

Tabela 4 – Utilizar ângulos mínimos para dobra de chapa

Espessura	Ângulo Mínimo de Dobra
0,95	45
1,25	45
1,55	45
1,95	45
2,65	78
3,00	78
4,25	85
6,30	85
8,00	90

Fonte: Autor.

Com a possibilidade de dobra em relação ao ângulo em função da espessura, a segunda etapa é verificar a aba mínima possível de conformação, utilizando a Tabela 4.

Na Tabela 4 os ângulos mais comuns já foram mapeados em relação aos parâmetros pertinentes a projeto: S (espessura de chapa); Ri (raio interno); ANG (ângulo); e B (aba mínima de dobra).

Uma informação importante que consta na Tabela 5 são os canais (V) disponíveis atualmente para se executarem as dobras. No caso da empresa, os canais disponíveis atualmente são 5, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50 e 90, que estão em destaque (negrito).

Para os ângulos não usuais entre as faixas de 30°, 60°, 90°, 105°, 120° e 150°, a tabela fornece o parâmetro, mediante inclusão de tal ângulo.

Tabela 5 – Abas mínimas para dobras em chapas

		AÇO																													
S (mm)	entrad	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	90	100	125	160	200	250	V	ANG	AJUSTE							
		0,5	0,7	0,8	1	1,3	1,5	2	2,5	3,2	4,4	5	6,5	8	10	11	12	15	20	25	37	Ri	30	1,60							
		4,8	5,6	6,4	8,8	10,4	12,8	16,8	20,8	26,4	33,6	41,6	52,0	65,6	83,2	93,6	104,0	130,4	166,4	208,0	260,8	B	45	1,35							
		4,1	4,7	5,4	7,4	8,8	10,8	14,2	17,6	22,3	28,4	35,1	43,9	55,4	70,2	79,0	87,8	110,0	140,4	175,5	220,1	B	65	1,10							
		3,3	3,9	4,4	6,1	7,2	8,8	11,6	14,3	18,2	23,1	28,6	35,8	45,1	57,2	64,4	71,5	89,7	114,4	143,0	179,3	B	75	1,05							
		3,2	3,7	4,2	5,8	6,8	8,4	11,0	13,7	17,3	22,1	27,3	34,1	43,1	54,6	61,4	68,3	85,6	109,2	136,5	171,2	B	90	1,00							
		3,0	3,5	4,0	5,5	6,5	8,0	10,5	13,0	16,5	21,0	26,0	32,5	41,0	52,0	58,5	65,0	81,5	104,0	130,0	163,0	B	105	0,95							
		2,9	3,3	3,8	5,2	6,2	7,6	10,0	12,4	15,7	20,0	24,7	30,9	39,0	49,4	55,6	61,8	77,4	98,8	123,5	154,9	B	120	0,90							
		2,7	3,2	3,6	5,0	5,9	7,2	9,5	11,7	14,9	18,9	23,4	29,3	36,9	46,8	52,7	58,5	73,4	93,6	117,0	146,7	B	135	0,80							
		2,4	2,8	3,2	4,4	5,2	6,4	8,4	10,4	13,2	16,8	20,8	26,0	32,8	41,6	46,8	52,0	65,2	83,2	104,0	130,4	B	150	0,70							
		2,1	2,5	2,8	3,9	4,6	5,6	7,4	9,1	11,6	14,7	18,2	22,8	28,7	36,4	41,0	45,5	57,1	72,8	91,0	114,1	B									
0,6		6	5	3	2																										
0,8		12	9	7	5	4																									
1			15	11	8	6	5																								
1,2				18	12	9	7	5																							
1,5					21	15	12	8																							
2						30	23	16	12	9																					
2,5							39	27	20	14	11																				
3								43	31	23	16	12																			
4									60	44	32	23	18																		
5										76	54	39	29	22																	
6											85	62	45	33	25																
8												121	88	70	46	35															

Fonte: Autor.

A utilização da Tabela faz-se da seguinte forma: as entradas são a espessura da chapa (S) e o ângulo em que se quer dobrá-la (ANG); com os canais disponíveis (V), tira-se a aba (B) respectiva do ângulo (ANG), verificando a possibilidade de se fazer ou não um projeto de uma chapa com determinado ângulo, espessura e aba mínima de dobra. Exemplo, se necessita um ângulo de 105 graus em uma chapa de 3mm de espessura, com as forças disponíveis, tirasse acima as abas permitidas para essa entrada, 10,0; 12,4; 15,7; 20,0; 24,7; o que resulta em uma espessura de 3mm e um ângulo de 105 graus a aba mínima permitida é de 10mm.

Quanto à utilização de tubos nos projetos de carrocerias, o engenheiro de projetos deverá ter conhecimento da possibilidade de desenvolver tubos curvados com ângulos possíveis de serem feitos, isto é, a possibilidade de calandragem deles. Tais verificações devem ser feitas utilizando a Tabela 6.

Tabela 6 – Raios Mínimos para Calandragem de Tubos

Espessura (mm)	Dimensão (mm x mm)	Raio Mínimo (ângulo)
2,65	40x50	320
2,65	30x50	220
2,65	30x40	200
2,65	30x30	200
1,95	50x50	200
1,95	40x60	150
1,95	40x50	142
1,95	40x40	130
1,95	35x45	180
1,95	30x40	123
1,95	30x30	100
1,95	20x30	100
1,55	50x50	120
1,55	40x50	140
1,55	30x40	100
1,55	30x30	90
1,55	20x40	100
1,55	20x30	85

Fonte: Autor.

Os parâmetros de projeto envolvendo tubos e chapas devem ser periodicamente atualizados em função das máquinas disponíveis.

E a verificação desses parâmetros por engenheiros de projeto e projetistas se faz necessária para otimizar o tempo de execução, evitando possíveis retrabalhos. Esses parâmetros são de conhecimento da Engenharia Industrial, setor que verifica e libera os projetos desenvolvidos.

Na segunda etapa de processos mais econômicos, foram desenvolvidas verificações a serem feitas, as quais são apresentadas na próxima secção.

3.6.2 Verificações nas fases de processos mais econômicos

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os passos a serem respeitados no desenvolvimento de uma carroceria do produto ônibus para ter processos mais econômicos. Os passos estão separados por DFM e DFA.

Tabela 7 – Verificações na Fase de Processos mais Econômicos – DFM

Requisitos de Projeto para Manufatura (DFM) – Fase de Processos mais Econômicos	
Passo 18	Projetar de acordo com a capacidade do processo atual, certifique-se de uma produção econômica de cada componente
Passo 19	Utilizar materiais, acabamentos e processos padronizados.
Passo 20	Manter consciência sobre processos alternativos/ Garantir que os componentes sejam resistentes a choques.

Fonte: Autor.

Tabela 8 – Verificações na Fase de Processos mais Econômicos – DFA

Requisitos de Projeto para Montagem (DFA) – Fase de Processos mais Econômicos	
Passo 21	Reduzir o número de processos de montagem / Minimizar os níveis de montagem.
Passo 22	Garantir acessibilidade em todos os locais de fixação e união / Usar apenas uma peça como referência para a montagem de outra.

Fonte: Autor.

O próximo passo foi inserir as verificações na fase de processos mais econômicos em uma matriz, contendo todos os componentes a serem verificados em sequência e descritos em linhas.

Na matriz de verificações na fase de processos mais econômicos deverá constar todos os componentes de um conjunto, com seus códigos e descrições. No canto superior esquerdo, deve conter a descrição do conjunto e uma figura ilustrativa, que poderá ser o projeto do conjunto; nas colunas à direita estão os passos a serem verificados. A Figura 25 ilustra a matriz descrita.

Figura 25 – Matriz na Fase de Processos Mais Econômicos

VERIFICAÇÕES NA FASE DE PROCESSOS MAIS ECONÔMICOS			Projetar de acordo com a capacidade do processo atual, certifique-se de uma produção econômica de cada componente.	Utilizar materiais, acabamentos e processos padronizados.	Manter consciência sobre processos alternativos/ Garantir que os componentes sejam resistentes a choques.	Reduzir o número de processos de montagem / Minimizar os níveis de montagem.	Garantir acessibilidade em todos os locais de fixação e união / Usar apenas uma peça como referência para a montagem de outra.
S	O COMPONENTE PODE SER MELHORADO NESTE QUESITO		N	O COMPONENTE NÃO PODE SER MELHORADO NESTE QUESITO			
N	CÓDIGO	DESCRIÇÃO					
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Fonte: Autor.

A utilização da matriz permite uma melhor visualização de cada componente de forma individual, mas inseridas no conjunto que os contém.

3.7 Detalhamento do projeto

No início da fase de detalhamento de projeto, a equipe de desenvolvimento de produto deve identificar os parâmetros, requisitos de projeto, de maior importância sob a abordagem dos métodos de DFMA. Ou seja, priorizar aqueles parâmetros que facilitam a fabricação e a montagem de componentes. Nesse momento é fundamental que ocorra uma integração com os engenheiros de projeto, os projetistas do produto e a equipe responsável pela manufatura, uma vez que limitações e parâmetros de processo de fabricação podem determinar características no componente. Logo, nessa tarefa, deverá haver um bom entendimento pela equipe de projeto, pois, caso não seja bem definido quais são os principais parâmetros, poderá haver intervenções desnecessárias nas fases posteriores.

Deve-se fazer uma revisão dos requisitos e restrições de projeto e definir qual será a matéria-prima a ser utilizada. Isso faz com que se evite, nas fases seguintes de projeto, algum problema por virtude de uma má definição dessas atividades, a exemplo de peças com o mesmo material montadas no sistema técnico, que terão movimentos relativos entre elas, ocasionando um desgaste excessivo do material por serem iguais.

Fica clara a necessidade de explicitar quais seriam essas recomendações/instruções do detalhamento do projeto, seguindo a abordagem do DFMA. Com isso, serão apresentadas essas instruções para obtenção da forma preliminar do componente já no início da fase de projeto detalhado, sob uma ordem sistêmica, para eliminar as iterações durante essa fase de projeto.

Na terceira etapa da ferramenta criada, detalhamentos do projeto foram desenvolvidos, e as verificações a serem feitas a respeito são apresentadas no próximo capítulo.

3.7.1 Verificações nas fases de detalhamento do projeto

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os passos a serem respeitados no desenvolvimento de uma carroceria do produto ônibus, nas fases de Detalhamento de Projeto. Os passos estão separados por DFM e DFA.

Tabela 9 – Verificações na Fase de Detalhamento de Projeto – DFM

Requisitos de Projeto para Manufatura (DFM) – Fase de Detalhamento de Projeto	
Passo 23	Verificar a necessidade de ângulos de saída da ferramenta, visando à redução da força de extração.
Passo 24	Verificar a existência de cantos vivos para que os mesmos sejam substituídos por cantos arredondados

Fonte: Autor.

Tabela 10 – Verificações na Fase de Detalhamento de Projeto – DFA

Requisitos de Projeto para Montagem (DFA) – Fase de Detalhamento de Projeto	
Passo 25	Verificar o espaço de acesso para manipular os componentes nesses não poderá haver faces ou arestas que machuquem o operador.
Passo 26	Cotar a partir de uma superfície do componente e não de um ponto no espaço
Passo 27	Evite notas no desenho

Fonte: Autor.

O próximo passo foi inserir as verificações na fase de detalhamento do projeto para o mínimo custo, contendo todos os componentes a serem verificados em sequência e descritos em linhas. A Figura 26 ilustra a matriz descrita.

Na matriz de verificações na fase de detalhamento do projeto para o mínimo custo deverá constar todos os componentes de um conjunto, com seus códigos e descrições. No canto superior esquerdo deve conter a descrição do conjunto e uma figura ilustrativa, que poderá ser o projeto do conjunto; nas colunas à direita estão os passos a serem verificados.

Figura 26 – Matriz na Fase de Detalhamento do Projeto

VERIFICAÇÕES NA FASE DE DETALHAMENTO DO PROJETO PARA O MÍNIMO CUSTO			Verificar a necessidade de ângulos de saída da ferramenta, visando à redução da força de extração.	Verificar a existência de cantos vivos para que os mesmos sejam substituídos por cantos arredondados	Verificar o espaço de acesso para manipular os componentes nesses não poderá haver faces ou arestas que machuquem o operador.	Cotar a partir de uma superfície do componente e não de um ponto no espaço	Evite notas no desenho
<input type="checkbox"/> S O COMPONENTE PODE SER MELHORADO NESTE QUESITO <input type="checkbox"/> N O COMPONENTE NÃO PODE SER MELHORADO NESTE QUESITO		N					
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Fonte: Autor.

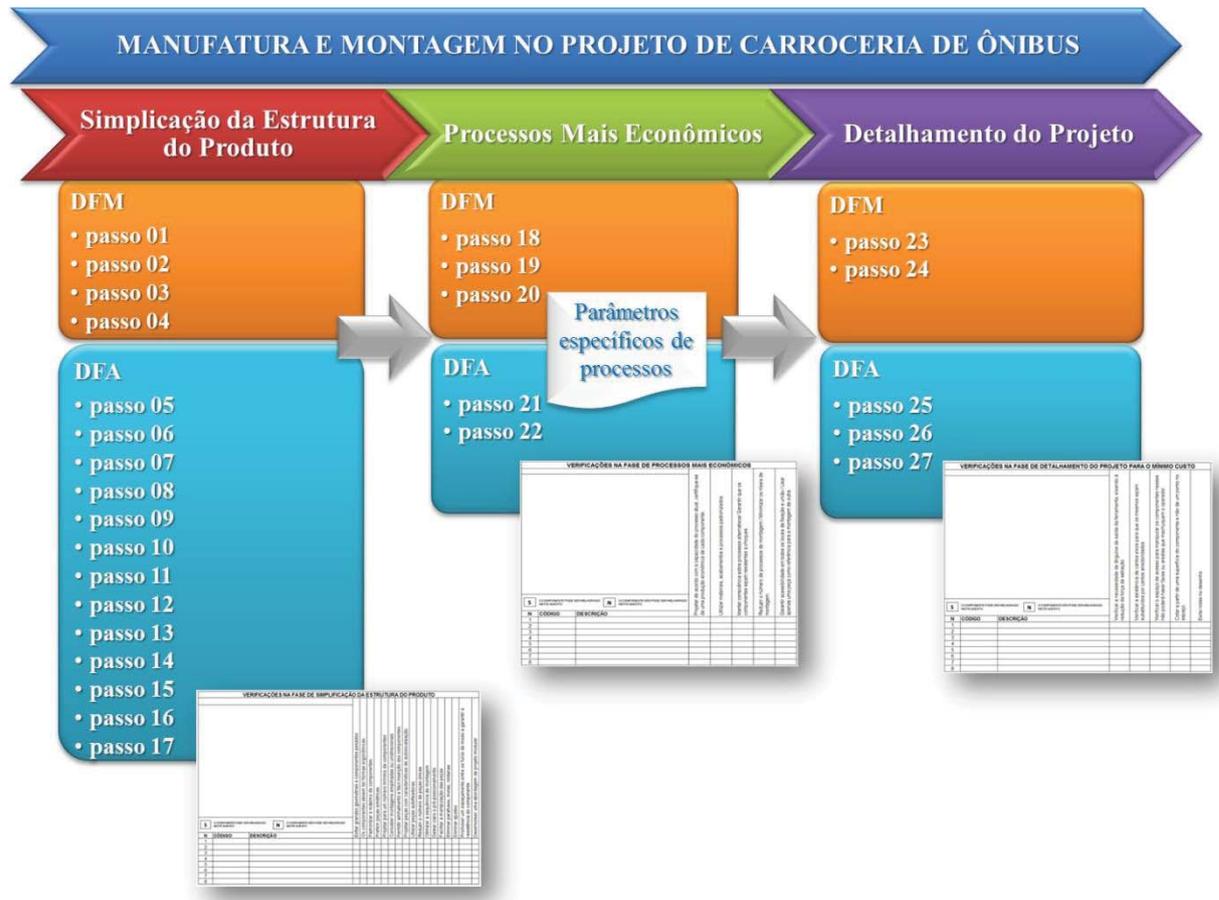
As utilizações das matrizes permitem uma melhor visualização de cada componente de forma individual, mas inseridas no conjunto que os contém.

3.8 Fluxo do desenvolvimento do modelo proposto

A Figura 27 mostra o fluxo de desenvolvimento da ferramenta, cujo objetivo é facilitar a manufatura e a montagem das carrocerias de ônibus através de um maior cuidado na

elaboração dos projetos por parte de engenheiros e projetistas. O produto final do fluxo de desenvolvimento da ferramenta são as matrizes de verificações separadas por fases.

Figura 27 – Fluxo da Ferramenta no Projeto de Carroceria de Ônibus



Fonte: Autor.

Com a abordagem do DFMA nos projetos de carrocerias de ônibus, ter-se-á capacidade de projetar o componente visando implementar, no produto final, características que auxiliem na sua manufaturabilidade e montabilidade, propiciando aumento da sua qualidade, redução de custo e assegurar prazos de fabricação do produto.

Tudo que a ferramenta possa contribuir para facilitar a manufatura foi agregado e utilizado dentro de cada etapa a ser executada.

4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA: UM ESTUDO DE CASO

O estudo de caso no qual se aplicará o método criado e se discutirão os resultados, comparando-os com a literatura, constitui este capítulo.

Este capítulo subdivide-se de quatro itens. O primeiro item apresenta uma introdução à ferramenta proposta. O segundo, a aplicação da ferramenta no conjunto estrutura frente micro, conjunto componente da carroceria micro-ônibus. O terceiro apresenta os resultados obtidos, e o quarto item apresenta a discussão dos resultados.

4.1 Introdução à ferramenta proposta

A aplicação da ferramenta é útil tanto no desenvolvimento de novos projetos, quanto na melhoria de projetos já existentes.

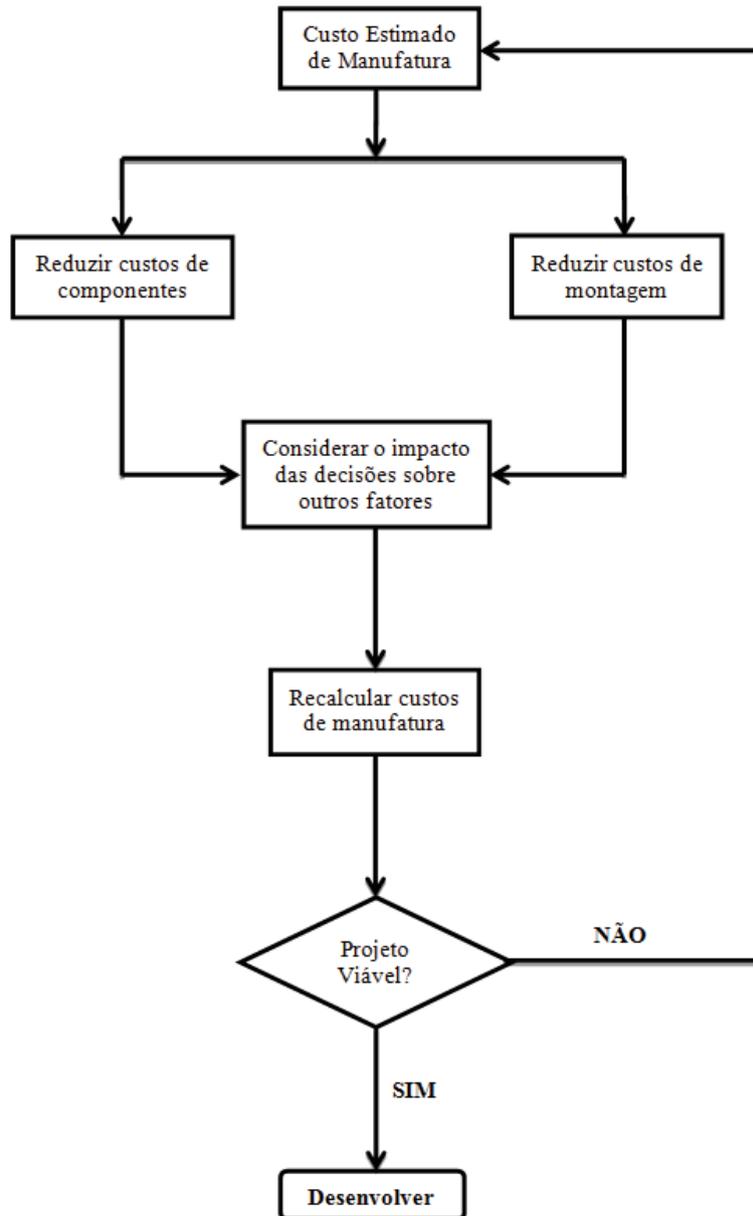
Na prática, o primeiro passo é estimar os custos de manufatura. Esforços devem ser feitos no sentido de reduzir custos de componentes, custos de montagem e custos de sistemas de produção. A equipe de projeto, então, deve considerar os impactos das decisões tomadas, com o objetivo de diminuir os custos de manufatura sobre fatores como tempo de desenvolvimento, custo de desenvolvimento e qualidade do produto e fatores externos.

Na melhoria de projetos já existentes, uma verificação importante a ser feita está relacionada com os custos de manufatura que devem ser recalculados e, com esses cálculos, verificar se as alterações de projetos são boas o suficiente ou não. A Figura 28 ilustra esse processo.

A aplicação da ferramenta busca alguns princípios básicos:

- Simplificar e melhorar a montagem;
- Minimizar o número de componentes;
- Padronizar;
- Adequar o projeto ao processo;
- Adequar o projeto ao sistema de manufatura;
- Maximizar a facilidade de montagem;
- Projetar componentes considerando a quantidade a ser fabricada;

Figura 28 – Custos de Manufatura em uma Melhoria de Projeto



Fonte: Autor.

4.2 Aplicação da ferramenta na estrutura frente carroceria micro

A aplicação da ferramenta foi empregada na estrutura conjunto arco inferior do para-brisa da carroceria ônibus micro, cujas funções são:

- Dar rigidez à carroceria;
- Estrutura para fixação da fibra frente;

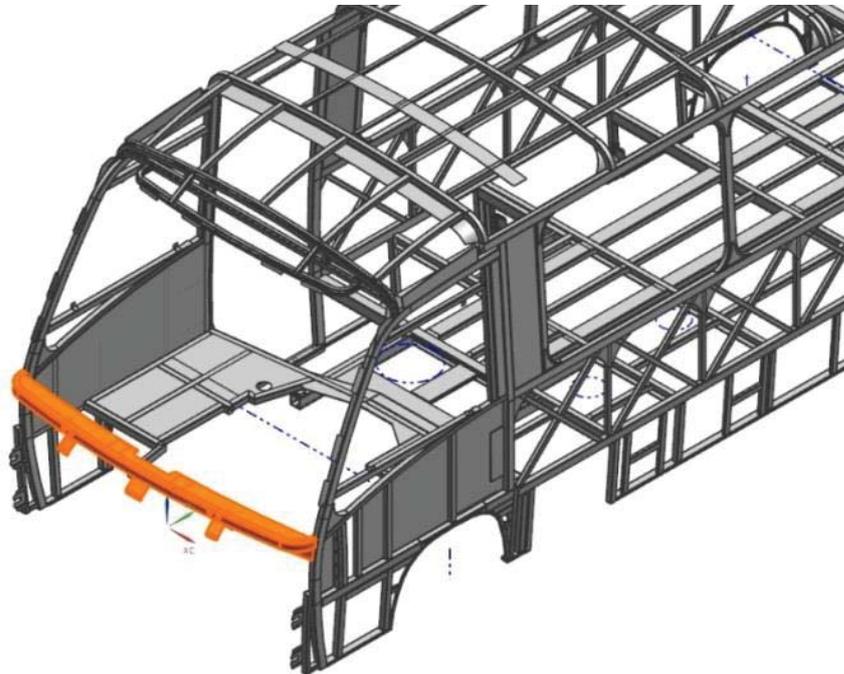
- Estrutura que comporte a montagem de componentes, como para-brisa, grade dianteira e mecanismos de limpadores de para-brisa;

A Estrutura em questão é composta por:

- Flâmulas de reforço;
- Chapas de suporte para o mecanismo da grade;
- Chapa fechamento arco do para-brisa;
- Conjuntos suportes do motor limpador do para-brisa;
- Buchas para passagem de drenos;
- Tubo arco para-brisa;

O critério para a seleção do conjunto considerou que alguns desses componentes são manufaturados por empresas terceirizadas e, portanto, acabam se tornando componentes caros, proporcionando uma fonte de estudo para a aplicação da ferramenta proposta. A Figura 29 mostra em destaque a estrutura conjunto arco inferior do para-brisa, enquanto que as figuras 30, 31 e 32 mostram a estrutura conjunto arco inferior do para-brisa em linha de montagem.

Figura 29 – Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa



Fonte: Autor.

Figura 30 – Vista Frontal da Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa



Fonte: Autor.

Figura 31 – Vista Lateral Direita da Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa



Fonte: Autor.

Figura 32 – Vista Lateral Esquerda da Estrutura Conjunto Arco Inferior do Para-Brisa



Fonte: Autor.

A empresa também planeja reformular e modernizar o produto micro-ônibus, no qual o modelo proposto e o estudo de caso serão uma proposta de condução de planejamento estruturado de um novo produto micro-ônibus.

O Estudo de Caso foi desenvolvido em uma carroceria existente de linha que servirá de base para atualização e reformulação do produto, cujo foco, além da atualização do produto, será também a otimização dos processos envolvidos, bem como o desenvolvimento voltado para a redução de custos.

No estudo em questão foi levantado, inicialmente, o custo do conjunto. A Tabela 11 mostra o custo percentual do conjunto arco inferior do para-brisa, dividido em Matéria Prima (MP), Mão de Obra Direta (MD), Mão de Obra Indireta (MI) e Gastos Gerais (GG), que contempla o rateio do consumo de energia e insumos, entre outros.

Tabela 11 – Valor do Custo Atual do Conjunto Arco Inferior Frente Micro (em porcentagem)

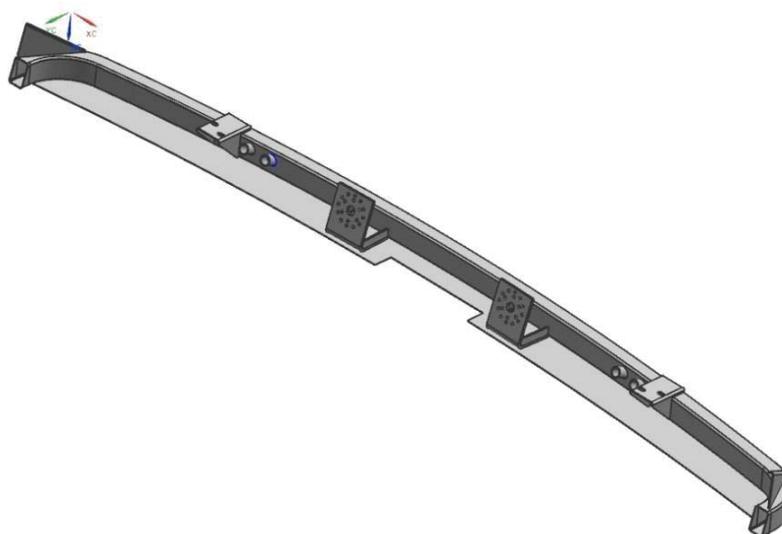
Item	Descrição	MP	MD	MI	GG	TOTAL
519899	FLAM_LE_ARCO_PARA_BRISA_MC	0,5	0,4	0,2	0,3	1,3
519900	FLAM_LD_ARCO_PARA_BRISA_MC	0,4	0,4	0,2	0,3	1,3
519903	CH_SUP_DOBR_LE_GRADE_MC	12,4	0,0	0,0	0,0	12,4
519902	CH_SUP_DOBR_LD_GRADE_MC	12,6	0,0	0,0	0,0	12,6
519901	CHAPA_FECH_ARCO_PARA_BRISA_MC	8,8	0,4	0,3	0,3	9,8
519906	CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC	11,8	0,0	0,0	0,0	11,8
519906	CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC	11,8	0,0	0,0	0,0	11,8
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
518155	ARCO_INF_PARA_BRISA_DIANT_MC	17,6	1,0	0,6	0,6	19,8
519904	CJ_ARCO_INF_PARA_BRISA_VW_MC	0,0	5,6	3,6	3,5	12,7
	TOTAL	8,23	7,8	5,0	5,0	100,0

Fonte: Autor.

A Tabela 11 comprova o alto valor para componentes manufaturados por empresas terceirizadas. Como exemplo, os componentes CH_SUP_DOBR_GRADE_MC, com custos de 12,6% em relação ao conjunto, e os componentes CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC, com custos de 11,8% em relação ao conjunto, encarecendo todo o conjunto estrutura frente.

O próximo passo foi modelar o conjunto atual com o intuito de avaliar todos os componentes de formas individuais nele inseridas. A Figura 33 ilustra a modelagem.

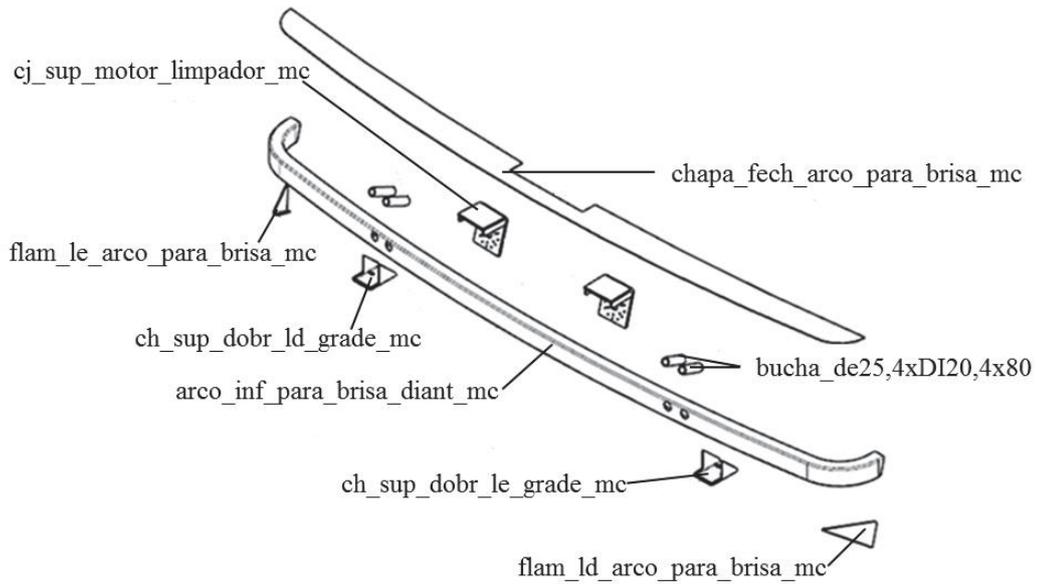
Figura 33 – Modelagem do Conjunto Estrutura Frente



Fonte: Autor.

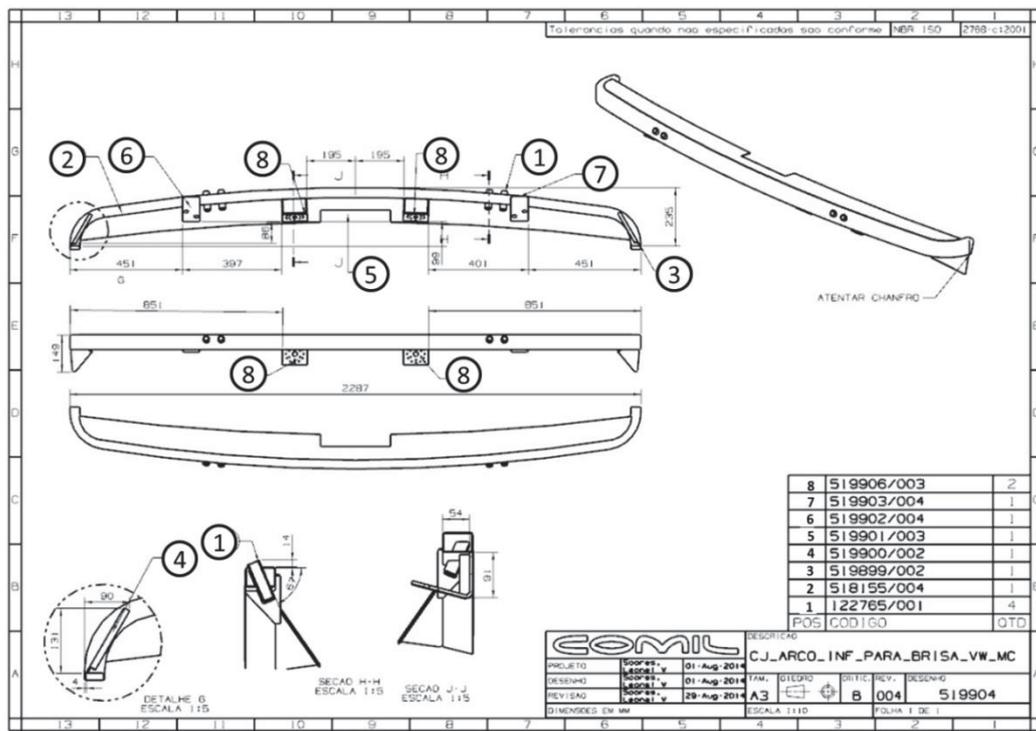
A Figura 34 ilustra duas vistas da estrutura frente: detalhes de componente e isométrica. E a Figura 35 ilustra o projeto detalhado do Conjunto Estrutura Frente.

Figura 34 – Vistas da Estrutura Frente: Detalhe de Componente e Isométrica



Fonte: Autor.

Figura 35 – Projeto Detalhado do Conjunto Estrutura Frente



Fonte: Autor.

O passo seguinte foi à utilização das matrizes desenvolvidas no modelo proposto, contendo todos os componentes a serem verificados em sequência e descritos em linhas, e as alternativas de análises dispostas em colunas.

A primeira análise a fazer é em relação à fase de simplificação de estrutura do produto, como ilustra a Figura 36.

Figura 36 – Aplicação da Matriz na Fase de Simplificação da Estrutura do Produto

VERIFICAÇÕES NA FASE DE SIMPLIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DO PRODUTO																				
CONJUNTO FRENTE ÔNIBUS MICRO																				
S O COMPONENTE PODE SER MELHORADO NESTE QUESITO N O COMPONENTE NÃO PODE SER MELHORADO NESTE QUESITO																				
N	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	Evitar grandes geometrias e componentes pesados	Os componentes devem ter formas ergonômicas	Padronizar o máximo de componentes	Prefeirir peças simétricas	Projetar para um número mínimo de componentes	Conceber montagens empilhadas ou unidirecionais	Permitir alinhamento e fácil inserção dos componentes	Projetar peças com características de autolocalização	Utilizar peças autofixadoras	Reduzir o número de peças únicas	Otimizar a sequência de montagem	Deixar claro o pré-posicionamento	Facilitar a manipulação das peças	Eliminar parafusos, molas, roldanas	Eliminar ajustes	Promover um espaçamento entre os furos de modo a garantir a resistência do componente	Desenvolver uma abordagem de projeto modular	
1	122765	BUCHA DE 25,4xDI20,4x80	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2	518155	ARCO INF PARA BRISA DIANT MC	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3	519899	FLAM LE ARCO PARA BRISA MC	N	N	S	S	S	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	N
4	519900	FLAM LD ARCO PARA BRISA MC	N	N	S	S	S	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	N
5	519901	CHAPA FECH ARCO PARA BRISA MC	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
6	519902	CH SUP DOBR LD GRADE MC	N	S	S	S	S	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N
7	519903	CH SUP DOBR LE GRADE MC	N	S	S	S	S	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	S	N	N
8	519906	CJ SUP MOTOR LIMPADOR MC	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N

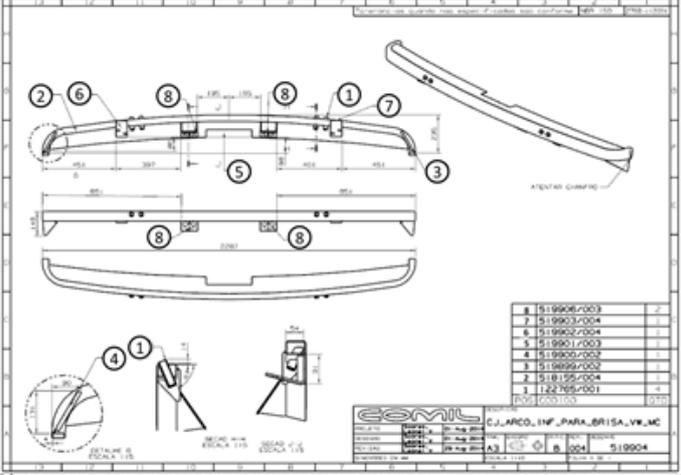
Fonte: Autor.

Utilizando-se da matriz de verificação na fase de simplificação da estrutura do produto, foram verificadas possíveis melhorias dos componentes 519899, 519900, 519902 e 519903 quanto a torná-los mais padronizados, com geometrias simétricas, sendo possível uma diminuição do número de componentes, deixando de serem peças únicas e facilitando sua manipulação. Os componentes 519902 e 519903 também devem ser melhorados em relação aos espaçamentos entre furos, de modo a garantir uma melhor resistência do componente, os quais devem ter formas mais ergonômicas. Já em relação ao componente 519906, verificou-

se que ele pode ser melhorado nos seguintes quesitos: ter forma ergonômica; ser simétrico; ter uma geometria que facilite a manipulação. Outro cuidado que se deve ter em relação a esse componente é que tenha um espaçamento entre furos para garantir sua resistência.

A segunda análise, ilustrada pela Figura 37, é em relação à fase de processos mais econômicos.

Figura 37 – Aplicação da Matriz na Fase de Processos Mais Econômicos

VERIFICAÇÕES NA FASE DE PROCESSOS MAIS ECONÔMICOS							
CONJUNTO FRENTE ÔNIBUS MICRO			Projetar de acordo com a capacidade do processo atual, certifique-se de uma produção econômica de cada componente.	Utilizar materiais, acabamentos e processos padronizados.	Manter consciência sobre processos alternativos/ Garantir que os componentes sejam resistentes a choques.	Reduzir o número de processos de montagem / Minimizar os níveis de montagem.	Garantir acessibilidade em todos os locais de fixação e união / Usar apenas uma peça como referência para a montagem de outra.
							
N	CÓDIGO	DESCRIÇÃO					
1	122765	BUCHA DE 25,4xDI20,4x80	N	N	N	N	N
2	518155	ARCO INF PARA BRISA DIANT MC	N	N	N	N	N
3	519899	FLAM LE ARCO PARA BRISA MC	S	S	S	S	N
4	519900	FLAM LD ARCO PARA BRISA MC	S	S	S	S	N
5	519901	CHAPA FECH ARCO PARA BRISA MC	N	N	N	N	N
6	519902	CH SUP DOBR LD GRADE MC	S	S	S	S	N
7	519903	CH SUP DOBR LE GRADE MC	S	S	S	S	N
8	519906	CJ SUP MOTOR LIMPADOR MC	S	S	S	S	N

Fonte: Autor.

Utilizando-se da matriz de verificação na fase de processos mais econômicos, foram constatadas possíveis melhorias dos componentes 519899, 519900, 519902, 519903 e 519906 quanto a projetá-los de acordo com a capacidade do processo disponível, buscando uma produção mais econômica. Para isso, deve-se utilizar materiais, acabamentos e processos padronizados, os quais devem ser resistentes a choques. Nesse sentido, também pode ser reduzido o número de processos de fabricação e montagem.

A terceira análise é em relação à fase de detalhamento do projeto para mínimo custo, como ilustra a Figura 38.

Figura 38 – Aplicação da Matriz na Fase de Detalhamento do Projeto

VERIFICAÇÕES NA FASE DE DETALHAMENTO DO PROJETO PARA O MÍNIMO CUSTO							
CONJUNTO FRENTE ÔNIBUS MICRO							
<p>S O COMPONENTE PODE SER MELHORADO NESTE QUESTO</p> <p>N O COMPONENTE NÃO PODE SER MELHORADO NESTE QUESTO</p>							
N	CÓDIGO	DESCRIÇÃO					
1	122765	BUCHA DE 25,4xDI20,4x80	N	N	N	N	N
2	518155	ARCO INF PARA BRISA DIANT MC	N	N	N	N	N
3	519899	FLAM LE ARCO PARA BRISA MC	N	N	S	N	N
4	519900	FLAM LD ARCO PARA BRISA MC	N	N	S	N	N
5	519901	CHAPA FECH ARCO PARA BRISA MC	N	N	N	N	N
6	519902	CH SUP DOBR LD GRADE MC	S	S	S	N	N
7	519903	CH SUP DOBR LE GRADE MC	S	S	S	N	N
8	519906	CJ SUP MOTOR LIMPADOR MC	S	S	S	N	N
			<p>Verificar a necessidade de ângulos de saída de ferramenta, visando à redução da força de extração.</p> <p>Verificar a existência de cantos vivos para que os mesmos sejam substituídos por cantos arredondados</p> <p>Verificar o espaço de acesso para manipular os componentes nesses não poderá haver faces ou arestas que machuquem o operador.</p> <p>Cotar a partir de uma superfície do componente e não de um ponto no espaço</p> <p>Evite notas no desenho</p>				

Fonte: Autor.

Utilizando-se a matriz de verificação na fase de detalhamento do projeto para o mínimo custo foram verificadas possíveis melhorias dos componentes 519902, 519903 e 519906 quanto a projetá-los respeitando ângulos de saída de ferramenta, substituindo cantos vivos por cantos arredondados e melhorando os espaços de acesso para a manipulação na montagem. Além dessas melhorias, verificou-se que os códigos 519899 e 519900 podem ter faces e arestas melhoradas.

As aplicações das matrizes permitem uma fácil verificação do conjunto e, conseqüentemente, um rearranjo de alguns componentes, importantes para as reduções de custos, bem como outras melhorias em questão, sem a alteração das características básicas do produto.

Com a utilização das matrizes criadas, verificou-se a possibilidade de modificações dos seguintes componentes do conjunto frente ônibus micro:

- Flâmulas lado direito e lado esquerdo cujas funções são de amarração do conjunto frente com laterais direita e esquerda: FLAM_LE_ARCO_PARA_BRISA_MC código 519899 e FLAM_LD_ARCO_PARA_BRISA_MC código 519900;
- Suportes lado direito e lado esquerdo cujas funções são de fixação das dobradiças da grade dianteira: CH_SUP_DOBR_LD_GRADE_MC código 519902 e CH_SUP_DOBR_LE_GRADE_MC código 519903;
- Conjuntos suportes de fixação do motor limpador para-brisa cujas funções são de fixação dos motores do limpador do para-brisa: CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC código 519906.

4.2.1 Modelo aplicado nos componentes flâmulas

As flâmulas, cujas descrições são FLAM_LE_ARCO_PARA_BRISA_MC e FLAM_LD_ARCO_PARA_BRISA_MC, originalmente possuem uma aba, mas foi verificado que essa aba não tem nenhuma influência na sua principal função, que é a de auxiliar a união do conjunto frente com as laterais direita e esquerda. A Figura 39 e a Figura 40 mostram as flâmulas, lado esquerdo e lado direito, respectivamente, e a Figura 41 ilustra o modelo virtual das flâmulas inseridas no conjunto frente.

Figura 39 – Flâmula lado esquerdo



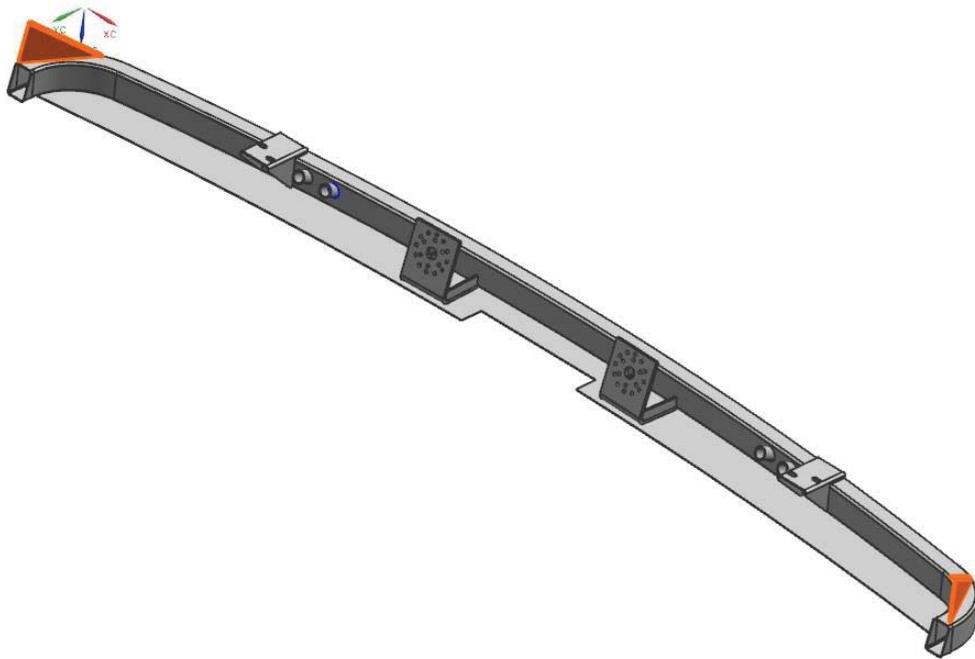
Fonte: Autor.

Figura 40 – Flâmulas lado direito



Fonte: Autor.

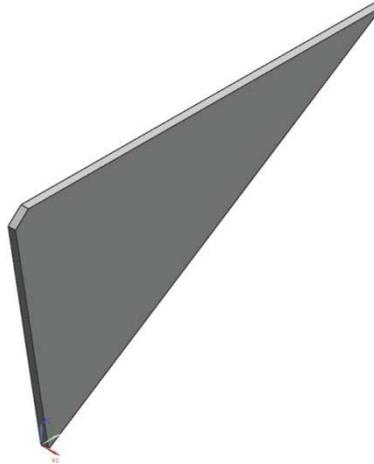
Figura 41 – Modelo virtual das flâmulas lado direito e lado esquerdo no conjunto frente



Fonte: Autor.

Assim desenvolveu-se um modelo virtual, na ferramenta CAD, visando à obtenção de informações pertinentes ao componente antes de sua fabricação. A Figura 42 ilustra as modificações das flâmulas com a aplicação da ferramenta.

Figura 42 – Modelo virtual das novas flâmulas



Fonte: Autor.

Ao eliminar-se a aba das flâmulas, verificaram-se as seguintes melhorias:

- Há apenas um processo de fabricação envolvido, sendo que, anteriormente, havia dois processos, na fabricação da flâmula, corte e dobra;
- A eliminação da aba permitiu que a mesma flâmula pudesse ser montada em ambos os lados – direito e esquerdo –, com ganhos na repetibilidade do processo, melhor controle de estocagem de peças e facilidade de montagem na estrutura frente, com a geometria simplificada;
- Redução do peso do componente, mantendo suas principais funções.

A Figura 43 mostra a nova flâmula soldada no conjunto frente micro.

Figura 43 – Nova flâmula soldada no conjunto frente micro



Fonte: Autor.

4.2.2 Modelo aplicado nos componentes chapas suporte grade

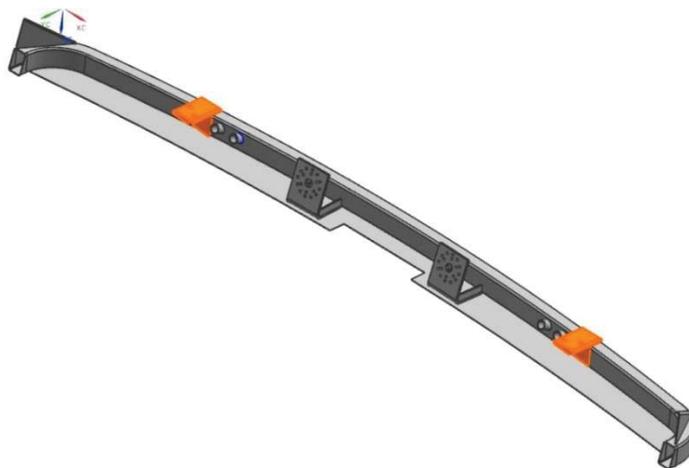
Os suportes, cujas descrições são CH_SUP_DOBR_LD_GRADE_MC e CH_SUP_DOBR_LE_GRADE_MC, originalmente são na quantidade de dois, lado direito e lado esquerdo, para absorver a curvatura da estrutura frente. Além disso, os suportes são comprados de uma terceira empresa, uma vez que a empresa fabricante de carrocerias não possui máquina com capacidade de fazer tais componentes com a geometria atual, fator limitante, aba interna de 7.3mm na chapa de espessura de 2,70mm. na sequência, a Figura 44 mostra as chapas suporte grade, e a Figura 45 ilustra os modelos virtuais dos componentes inseridos no conjunto.

Figura 44 – Chapas suportes grade lado direito e lado esquerdo atuais



Fonte: Autor.

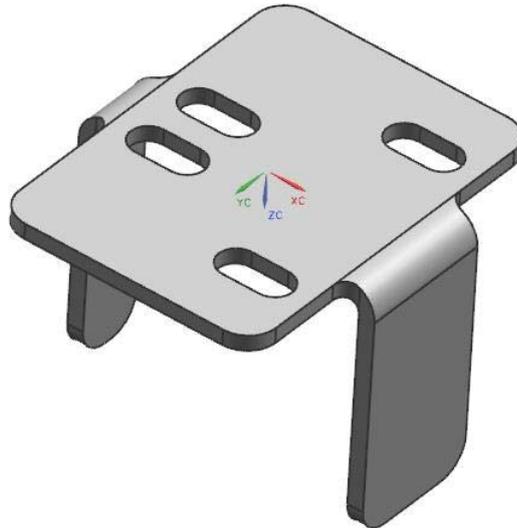
Figura 45 – Modelo virtual das chapas suportes grade lado direito e lado esquerdo



Fonte: Autor.

Assim, desenvolveu-se um modelo virtual, na ferramenta CAD, visando à obtenção de informações pertinentes ao componente antes de sua fabricação. A Figura 46 ilustra as modificações dos suportes com a aplicação da ferramenta.

Figura 46 – Modelo virtual da nova chapa suporte grade



Fonte: Autor.

Desenvolveu-se um suporte totalmente novo para substituir os atuais, e as melhorias obtidas foram:

- Anteriormente a estrutura frente continha dois suportes – lado direito e esquerdo; o novo suporte foi desenvolvido de tal forma que pudesse ser montado em ambos os lados, com ganhos na repetibilidade do processo, melhor controle de estocagem de peças e facilidade de montagem na estrutura frente, com a geometria simplificada;
- A geometria simplificada do novo suporte permitiu que a fabricação ocorresse na própria empresa fabricante de carrocerias, sem a necessidade de compra ou adequação de máquinas ou processos, com redução de custo de componente;
- Redução do peso do componente, mantendo suas principais funções.

A Figura 47 mostra o novo suporte grade soldado no conjunto frente micro.

Figura 47 – Chapa suporte grade novo



Fonte: Autor.

4.2.3 Modelo aplicado nos componentes conjuntos suporte limpador

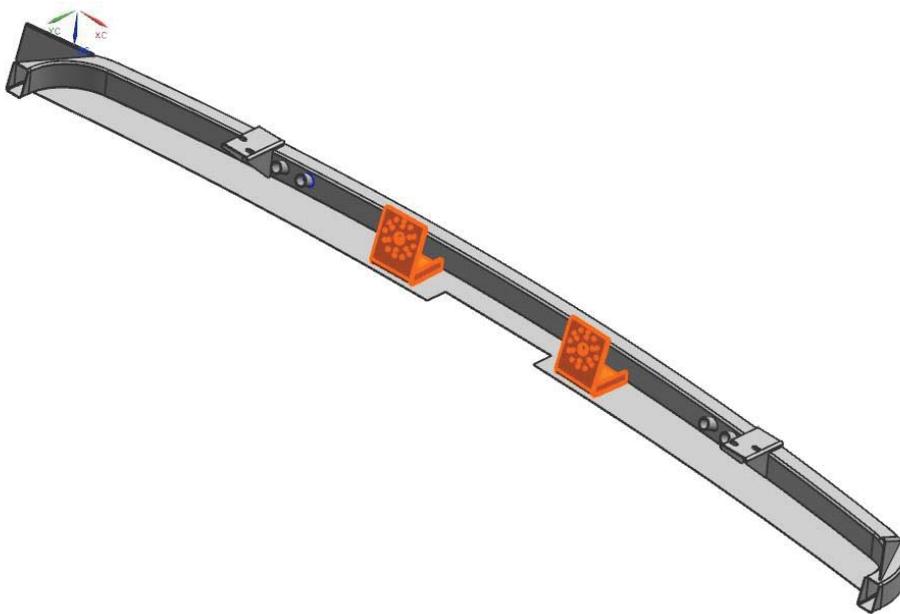
Os conjuntos, cuja descrição é CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC, chamada no conjunto frente na quantidade de dois, são comprados de empresas terceirizadas, uma vez que a empresa fabricante de carrocerias não possui máquina com capacidade de fazer tais componentes com a geometria atual, fator limitante e dobra em ângulo de 75° em chapa de 6,3mm de espessura. A Figura 48 mostra os conjuntos, e a Figura 49 ilustra os modelos virtuais dos componentes inseridos na estrutura frente.

Figura 48 – Conjuntos Suportes de fixação dos motores de limpadores para-brisa atuais



Fonte: Autor.

Figura 49 – Modelo virtual dos conjuntos suportes de fixação dos limpadores para-brisa



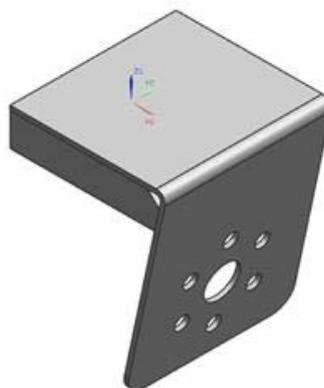
Fonte: Autor.

Assim desenvolveu-se um modelo virtual, na ferramenta CAD, visando à obtenção de informações pertinentes ao componente antes de sua fabricação. A Figura 50 ilustra as modificações dos suportes com a aplicação da ferramenta.

O novo conjunto suporte limpador foi desenvolvido baseado na nova lista de matéria-prima otimizada, ilustrada na Tabela A.2, isto é, foi desenvolvido com chapa NBR7008_ZC de 2,70mm de espessura. E, além disso, foram levados em consideração os parâmetros atuais de processos, ilustrados na Tabela 4, com ângulo mínimo de dobra para chapa de 2,70mm é de 78°.

O conjunto é um suporte de fixação do motor do limpador do para-brisa, no qual foi verificado, por meio de testes, que a alteração de 75° para 78° não influenciaria em sua funcionalidade.

Figura 50 – Modelo virtual do novo conjunto suporte limpador



Fonte: Autor.

Com os novos suportes, foram obtidas as seguintes melhorias:

- Devido à nova chapa utilizada e com a dobra de 78°, os conjuntos puderam ser fabricados na própria empresa fabricante de carrocerias, sem a necessidade de compra ou adequação de máquinas ou processos, com redução de custo de componente;
- Algumas extremidades do componente foram arredondadas, facilitando sua manipulação pelos montadores, evitando riscos de acidentes;
- Alguns furos internos da chapa, sem função, foram eliminados;
- Houve redução do peso do componente, mantendo suas principais funções.

A Figura 51 mostra o novo conjunto suporte limpador soldado no conjunto frente micro.

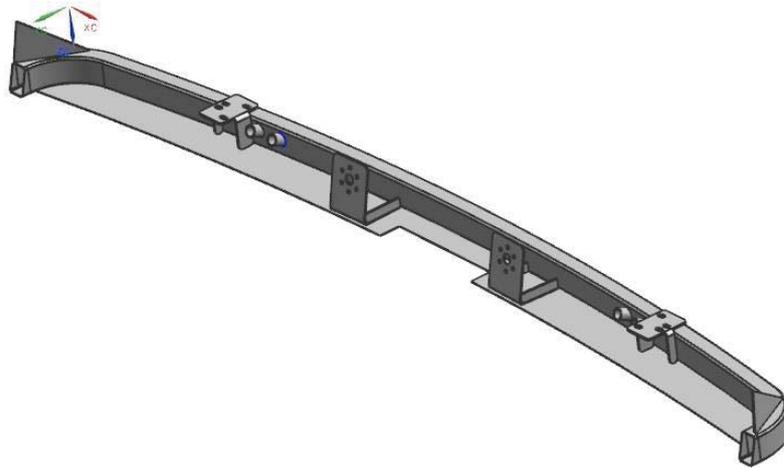
Figura 51 – Conjuntos Suportes de fixação dos motores de limpadores para-brisa novos



Fonte: Autor.

A Figura 52 ilustra o modelo virtual no novo conjunto frente com os novos componentes inseridos.

Figura 52 – Modelo virtual da no novo conjunto frente micro ônibus



Fonte: Autor.

Com os novos componentes modelados, foi levantado o novo custo da estrutura conjunto arco inferior do para-brisa. A Tabela 12 mostra os novos custos percentuais para o conjunto estrutura frente, em relação à estrutura atual.

Tabela 12 – Novos valores de custo para o conjunto arco inferior frente micro (em porcentagem)

Item	Descrição	MP	MD	MI	GG	TOTAL
519899	FLAM_LE_ARCO_PARA_BRISA_MC	0,2	0,2	0,1	0,1	0,7
519900	FLAM_LD_ARCO_PARA_BRISA_MC	0,2	0,2	0,1	0,1	0,7
519903	CH_SUP_DOBR_LE_GRADE_MC	1,2	0,5	0,3	0,3	2,3
519902	CH_SUP_DOBR_LD_GRADE_MC	1,2	0,5	0,3	0,3	2,3
519901	CHAPA_FECH_ARCO_PARA_BRISA_MC	9,0	0,4	0,3	0,3	10,1
519906	CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC	1,0	2,7	1,8	2,0	7,6
519906	CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC	1,0	2,7	1,8	2,0	7,6
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
122765	BUCHA_DE25,4xDI20,4x80	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6
518155	ARCO_INF_PARA_BRISA_DIANT_MC	15,6	1,0	0,6	0,6	17,9
519904	CJ_ARCO_INF_PARA_BRISA_VW_MC	0,0	5,6	3,6	3,5	12,7
	TOTAL	35,7	13,9	9,1	9,4	68,1

Fonte: Autor.

A Tabela 6 mostra os seguintes ganhos no conjunto estrutura frente:

- Redução nos custos de fabricação das FLAM_LE_ARCO_PARA_BRISA_MC e FLAM_LD_ARCO_PARA_BRISA_MC, passando a ser componentes iguais, montados em lado direito e esquerdo;
- Redução significativa nos custos das CH_SUP_DOBR_LE_GRADE_MC e CH_SUP_DOBR_LD_GRADE_MC, passando a ser componentes iguais, montados em lado direito e esquerdo;
- Redução significativa nos custos dos CJ_SUP_MOTOR_LIMPADOR_MC.

As figuras 53, 54 e 55 mostram o novo conjunto frente com os componentes montados no teste de validação do estudo de caso.

Figura 53 – Chapa Superior Dobradiça LE com a Grade Frente Fixada



Fonte: Autor.

Figura 54 – Chapa Superior Dobradiça LD com a Grade Frente Fixada



Fonte: Autor.

Figura 55 – Conjunto Superior Motor com o motor mecanismo fixado



Fonte: Autor.

4.3 Resultados obtidos

Foram identificados quatro aspectos para a comparação dos resultados finais entre o conjunto atual da estrutura frente micro para o novo conjunto proposto. A Tabela 13 apresenta esses aspectos.

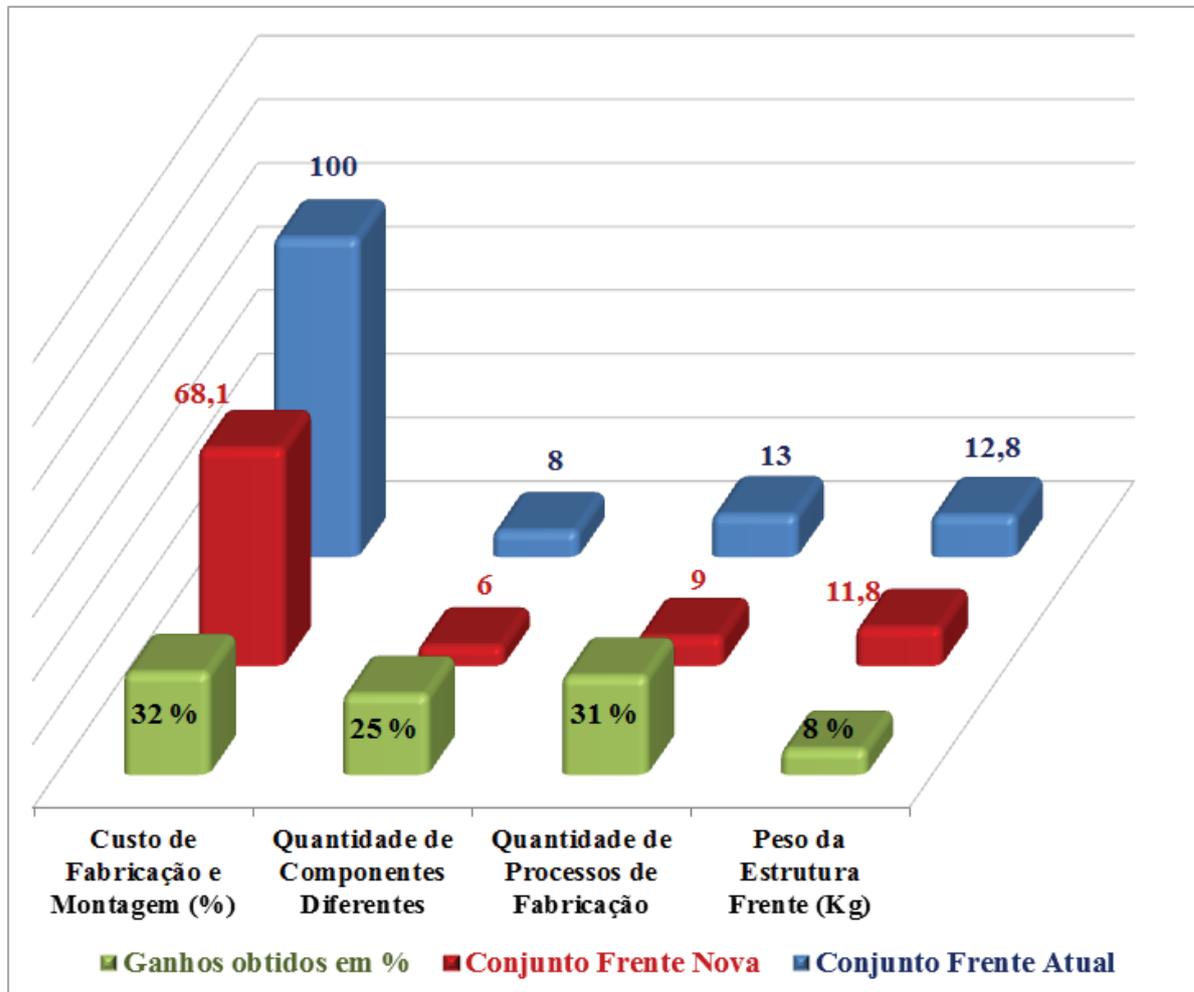
Tabela 13 – Comparação do conjunto frente atual com o novo conjunto frente proposto

Descrição	Conjunto Frente Atual	Conjunto Frente Nova	Ganhos obtidos em %
Custo de Fabricação e Montagem (%)	100	68,1	32
Quantidade de Componentes Diferentes	8	6	25
Quantidade de Processos de Fabricação	13	9	31
Peso da Estrutura Frente (Kg)	12,8	11,8	8

Fonte: Autor.

Da análise DFMA realizada para o conjunto frente, com aplicação dos parâmetros de análise, projeto atual e projeto novo, chegou-se aos índices de ganhos de projeto, conforme ilustra a Figura 56.

Figura 56 – Gráfico Comparativo dos Ganhos com o Novo Conjunto Frente



Fonte: Autor.

Com a redução do número de componentes diferentes, isto é, com a padronização de alguns deles, os benefícios obtidos que independem da montagem foram:

- Estoques menores em número de itens devido à diminuição da quantidade de componentes específicos;
- Menor necessidade de administração de estoques;
- Menor custo de estoque em razão da redução do número de componentes específicos.

Além dos benefícios que independem da montagem, existem os que dependem, cujos ganhos foram:

- Quantidade menor de ferramentas utilizadas na etapa de montagem, uma vez que o número de itens diferentes a serem fabricados é menor;
- Menor necessidade de desenvolvimento de diferentes equipamentos de montagem devido à redução de tipos diferentes de componentes, diminuindo a necessidade de desenvolvimento de equipamentos específicos;
- Maior confiança nos equipamentos de montagem.

As peças padronizadas podem ser fabricadas nas mesmas máquinas, o que auxilia na amortização dos custos de ferramentas e equipamentos, além de propiciar ganhos devido à economia de escala.

Outra forma de economia de custos consequente da padronização está no melhor aproveitamento do tempo de trabalho do projetista.

Para atender as necessidades e expectativas dos clientes, importante criarem-se projetos de produtos menos complicados, isto é, composto por um número pequeno de partes e de fácil montagem, o que acaba sendo uma vantagem para muitas companhias.

A preocupação com o projeto do produto justifica-se à medida que se percebe que projetos bem pensados podem levar ao aumento da lucratividade da empresa.

No desenvolvimento de projeto de produto sempre se deve aproximar ao máximo das características desejáveis, como alta qualidade, confiabilidade, facilidade de manutenção, segurança, facilidade de uso, preocupação com o meio ambiente, atendimento à necessidade do usuário, disponibilização no mercado de trabalho no menor tempo possível e ao mesmo tempo reduzindo os custos de manufatura e manutenção do produto. Isso é atender ao conceito DFX (*Design for Excellence*).

A Tabela 14 ilustra os ganhos obtidos com as modificações do projeto frente, considerando-se o conceito DFX.

Tabela 14 – Ganhos Obtidos com as Modificações do Projeto Frente no Conceito DFX.

Conceitos DFX	Descrição
Projeto para Qualidade (<i>Design for Higher Quality</i>)	Após os testes no carro piloto, verificaram-se que os novos componentes cumprem suas funções de fixar o mecanismo grade, os motores dos limpadores e quanto as flâmulas dão a rigidez necessária na união da frente com os complementos das laterais
Projeto para Confiabilidade (<i>Design for Reliability</i>)	Com a simplificação das flâmulas que não possuem mais dobras e do suporte grade que agora possui apenas dobra e não mais dobra e solda, sendo um único componente montado em ambos os lados, o controle dimensional dos mesmos foi facilitado, portanto houve melhora na confiabilidade dos mesmos e conseqüentemente em todo o conjunto.
Projeto para Manutenção (<i>Design for Serviceability and Maintainability</i>)	Com a eliminação de componentes diferentes em função da posição no conjunto frente, em um único tipo, as questões de serviço e manutenção foram simplificadas e facilitadas.
Projeto para Segurança (<i>Design for Safety</i>)	No desenvolvimento dos novos componentes, houve um cuidado especial na geometria dos mesmos, arestas foram arredondas, melhorando a manipulação dos mesmos por parte dos operadores, essas novas geometrias também permitira uma maior segurança por parte das empresas clientes que farão uso da carroceria.
Projeto para Meio Ambiente (<i>Design for Environment</i>)	Com a eliminação do processo dobras, furações e solda na fabricação dos novos suportes e uma redução significativa na quantidade de aço utilizada obtiveram ganhos em relação à menor poluição e destruição do meio ambiente.
Projeto Interface Amigável (<i>Design for User-Friendliness</i>)	Com a redução do peso do conjunto frente. A necessidade do usuário será mais bem atendida com a redução do consumo de combustível, menor desgaste de pneus, freios e outros componentes.

Fonte: Autor.

4.4 Considerações Finais

Tendo em vista os dados apresentados, percebe-se que a aplicação do DFMA aumenta a chance de sucesso do produto, o qual, entre outros benefícios, permite o desenvolvimento de um projeto em tempo reduzido e possibilita significativo aumento de qualidade e a diminuição de custos. Os dados e as informações obtidos através de experiências práticas de profissionais,

bem como informações e relatórios de problemas de fabricação e manutenção, nos mostram ainda os potenciais benefícios da aplicação do DFMA no desenvolvimento do produto.

Um item a considerar é que os responsáveis pelo desenvolvimento de projetos devem ter um conhecimento dos conceitos básicos da metodologia DFMA e de todos os processos internos e tecnológicos da empresa em relação à utilização da ferramenta desenvolvida. Para evitar erros na tomada de decisões, são necessárias experiências anteriores em outros projetos. A aplicação pura e simples da metodologia DFMA pode levar a resultados muitas vezes errôneos provenientes do não conhecimento da realidade dos processos de fabricação e do patamar tecnológico no qual a empresa se encontra.

O processo de desenvolvimento de produtos aumenta a cada dia sua importância em contribuir para o sucesso da organização, consolidando-se entre os profissionais acadêmicos e empresariais como um processo crítico que necessita de aprimoramentos contínuos. O processo de desenvolvimento é uma atividade mais importante para ganhos em competitividade devido à crescente necessidade de lançar produtos novos que satisfaçam às necessidades de consumidores cada vez mais exigentes.

A condição das pequenas e médias empresas não é necessariamente a de pioneirismo e suas estratégias de desenvolvimento de produtos não são necessariamente ofensivas. Muitas vezes, em razão da necessidade de grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, esse entendimento e uma revisão na estratégia passam a ser ponto-chave para a redução de custos ou, até mesmo, a possibilidade única de desenvolvimento de novos produtos de uma forma estruturada e com chances de sucesso.

5 CONCLUSÕES

As pequenas e médias empresas, mesmo contando com apoio consistente de muitas instituições, ainda não se utilizam de todas as estratégias ampliadoras da competitividade. O Projeto da Manufatura proporciona, como o Projeto do Produto, uma vantagem, pois ele capacita as empresas a decidir com antecipação e responsabilidade, prevendo e analisando todas as alternativas possíveis e viáveis, conquistando uma vantagem competitiva ao possuir conhecimento detalhado de todos os aspectos envolvidos no desenvolvimento de produtos.

A percepção que se obtém da maioria dos pequenos e médios empresários é a de que um projeto em tal nível de especificações e detalhamento é viável apenas para grandes empresas. Porém, o Projeto da Manufatura possui ampla variedade de aplicações, nunca deixando de atender às diferentes características de cada empresa, favorecendo essas diferenças, ao passo em que proporciona uma análise detalhada e amplia a visão dos profissionais que são responsáveis pelas decisões relativas ao Projeto da Manufatura e Projeto do Produto.

5.1 Conclusões sobre a metodologia DFMA

Um dos assuntos abordados no trabalho foi o processo de desenvolvimento de produto, com comentários de várias literaturas e autores sobre o assunto. Baseando-se nisso, pode-se afirmar que a fase mais adequada para utilizar o DFMA no desenvolvimento de um produto é quando o projeto começa a ser criado, ou seja, na fase de concepção. A aplicação nesses estágios de desenvolvimento pode proporcionar significativo aumento de qualidade do produto e redução de custos.

5.2 Visão da ferramenta aplicada

Os métodos e ferramentas aplicados tiveram participação importante em cada fase da metodologia, contribuindo para que no final os objetivos fossem alcançados.

A proposta de otimização de chapas e tubos somou aos ganhos finais nas modificações da estrutura frente.

As matrizes, em cada uma das fases, auxiliaram na identificação dos fatores de melhoria da estrutura, bem como indicaram o melhor direcionamento quanto às modificações necessárias. A lista de soluções apresentou as diferentes propostas, da mesma forma que foi decisiva na avaliação e escolha da melhor solução.

Os benefícios da teoria aplicada, junto ao conhecimento dos engenheiros projetistas, foram validados na prática, com a implantação na carroceria-piloto.

5.3 Atendimento aos objetivos

Uma das dificuldades de se utilizar a metodologia DFMA é que demanda tempo e conhecimento da metodologia em pormenores.

A ferramenta desenvolvida através de matrizes de verificações facilitou a utilização da metodologia DFMA, pois uniu os projetos de uma carroceria de ônibus a serem verificados e a metodologia em uma única planilha de análise.

Os resultados obtidos no desenvolvimento de novos componentes do conjunto frente mostrou que a aplicação dos conceitos de DFMA vai refletir em um melhor processo produtivo, com ganhos não apenas na redução de custo de componentes.

Os conceitos baseados na metodologia DFMA foram estabelecidos e, a partir deles, desenvolveu-se uma proposta de utilização no desenvolvimento de projetos de produto carroceria ônibus.

A ferramenta desenvolvida facilitará o dia-dia de engenheiros de desenvolvimentos e engenheiros de processos nas análises de projetos e de fabricação de componentes.

Os resultados obtidos enquadram-se no quesito DFX, *Design for Excellence*, com ganhos não apenas na redução de custos, mas também em alta qualidade, confiabilidade, facilidade de manutenção, segurança, facilidade de uso, preocupação com meio ambiente e atendimento da necessidade do usuário.

5.4 Contribuição

A contribuição deste trabalho para o produto foi a elaboração de uma ferramenta a ser utilizada por engenheiros de projetos e projetistas na elaboração de projetos de carrocerias,

com o objetivo de facilitar a manufatura e montagem de componentes de forma otimizada e que atenda os requisitos de excelência.

A proposta de otimização da variabilidade dos tubos e das chapas utilizadas na fabricação de carrocerias contribuirá de forma significativa na redução de custos em diferentes aspectos, como processos de manufatura, controle de estoques, redução de desperdícios e melhor aproveitamentos dos recursos disponíveis na organização.

De maneira geral, o trabalho realizado mostrou, na prática, a importância de se ter conhecimentos de metodologias consagradas e, através de ferramentas e métodos no desenvolvimento de produtos, utilizar de forma eficiente essas metodologias. E, dessa forma, permitir a elaboração de um projeto de carrocerias de ônibus de forma eficaz, podendo estender a fabricação de diversas partes da carroceria, produtos e outros segmentos do mercado, trazendo para as equipes de projeto uma forma rápida e organizada de trabalho. E, como consequência, deixar o conhecimento registrado, podendo ser compartilhado de uma forma possível de ser ensinada e aprendida.

5.5 Sugestões para trabalhos futuros

A contribuição deste trabalho poderá servir de base para estudos futuros relacionados com a metodologia DFMA, além de possibilitar a expansão para outras frentes de estudo relacionadas com o tema.

Como propostas de trabalhos futuros, sugere-se:

- A aplicação das ferramentas desenvolvidas na fabricação nas fases subsequentes à fabricação da carroceria, necessitando, portanto, de adequações;
- A expansão do estudo da metodologia DFMA dentro da indústria de carrocerias de ônibus para abranger outras fases, como comercialização, distribuição e pós-venda, além do projeto e da fabricação;
- A apresentação desse modelo em forma de programa computacional, auxiliando os engenheiros de desenvolvimento através de um software.

Este trabalho procurou contribuir para o desenvolvimento de carrocerias utilizando-se dos conceitos da metodologia DFMA como uma ferramenta para obter-se vantagem competitiva no mercado e agregar valor à empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, Alexandre Teixeira do. **O uso do método DFA (Design for Assembly) em projeto de produtos objetivando a melhoria ergonômica na montagem.** São Carlos. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Dissertação (Mestrado), 2007.
- BACK, N. [et al]. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem.** Barueri, SP: Manole, 2008.
- BARBOSA, G. F. **Aplicação da metodologia DFMA – Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves.** EESC USP, São Carlos, Dissertação (Mestrado) 2007.
- BAXTER M. R. **Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos.** 2. ed. Tradução Itiro Iida. São Paulo, SP: Blucher, 2000.
- BOGUE, R. Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. **Journal Assembly Automation**, v. 32, Number 2 – Emerald Group Publishing Limited, 2012.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, P. **Product Design for Manufacture and Assembly.** 3 ed., 2011.
- BRALLA, J. G. **Design for manufacturability Handbook.** 2 ed. McGraw-Hill, Boston, 1998, (International Edition - Rev.de: Handbook of product design for manufacturing-1986).
- CATAPAN, M. F.; FORCELLINI, F. A.; FERREIRA, C.V. **Recomendações do projeto preliminar em componentes de plástico injetados para a definição da forma de utilizando o DFMA.** V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - Curitiba, 2004.
- CHOY K. L., LEE W. B., LO V. **Development of a case based intelligent customer-supplier relationship management system Expert Systems with Applications**, Volume 23, Issue 3, 1 October 2002, Pages 281-297
- CORRÊA, H.L.; CORRÊA C.A. **Administração de Produção e Operações**, São Paulo, Atlas, 2ª ed., 2006.
- COSTA, J. E; SILVA, M. R. **Reprojeto de um produto fundamentado no design for assembly.** Trabalho de Diploma, Universidade Federal de Itajubá, Dissertação (Mestrado) 2004.
- FREIXO, O. M. **Incorporação da gestão dos custos do ciclo de vida ao processo de desenvolvimento do produto da EMBRAER.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GIMENEZ, M. C. **Proposta de reestruturação de uma família de chassis de ônibus através da análise modular**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Dissertação (Mestrado), 151 p., 2008.

KHAN, Zulki. **Design for assembly**. Assembly Automation Journal. V. 28. n3. 2008.

LAI, X.; GERSHENSON, J. K. **Representation of similarity and dependency for assembly modularity**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. V37. n.7/8. 2008.

MIGUEL, P. A. C. **Modularity in product development: a literature review towards a research agenda**. Product: Management & Development, v. 3, nº 2, December, 2005.

O'DRISCOLL, M. **Design for manufacture**. Journal of Materials Processing Technology. Vol.122, p318–321, 2002.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. Tradução Hans Andreas Wener, revisão Nazem Nascimento. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

QUEVEDO, D. B. **Aplicação de Métodos de Projeto no Desenvolvimento de Carrocerias de Ônibus: Um Estudo de Caso**. Passo Fundo: Faculdade de Engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação em Projeto e Processos de Fabricação, Universidade de Passo Fundo, Dissertação (Mestrado), 2014.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. Florianópolis: PPGEM / UFSC, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – UFSC – Florianópolis SC.

ROZENFELD, H et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

SELEME R.; DE PAULA A. **Projeto de produto: Planejamento, desenvolvimento e gestão**. Série gestão comercial. Curitiba, PR: Ibpex, 2013.

SOUZA, J. F. **Aplicação de projeto para manufatura e montagem em uma abordagem de engenharia reversa: estudo de caso**. 2007. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2007.

SUGAI, M. A **Avaliação do Impacto do MTM (Methods-Time Measurement) em uma empresa Metal-Mecânica**. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003, 100p. Dissertação (Mestrado).

VARGAS, R. V. **Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

VIERO, C. F. **Metodologia de Projeto para arranjo estrutural de carroceria de ônibus através de sistemas modulares: Um estudo de caso.** Passo Fundo: Faculdade de Engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação em Projeto e Processos de Fabricação, Universidade de Passo Fundo, Dissertação (Mestrado), 2013.

ZAVISTANOVICZ, L. **Proposta de diretrizes para melhoria no processo de montagem de janela de ônibus urbano:** Passo Fundo: Faculdade de Engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação em Projeto e Processos de Fabricação, Universidade de Passo Fundo, Dissertação (Mestrado), 2013.

WALBER, M. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual.** 2009. 199f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

APÊNDICE A – Otimização de Tubos e Chapas na Fabricação de Carrocerias

A gestão de projetos e processos passa pela simplificação de estruturas e, conseqüentemente, pela simplificação de matéria-prima utilizada nessas estruturas.

Nesse sentido, foram classificadas as principais matérias-primas utilizadas na fabricação de uma carroceria. Na Tabela A.1 são apresentadas as chapas disponíveis na empresa e os consumos do ano de 2014. Tais chapas são utilizadas na estrutura de um casulo como perfis “L”, “U” e “Z” além da utilização na estrutura na forma plana.

Tabela A.15 – Consumo de Chapas em 2014

Família	Descrição das Chapas	Quantidade em kg	%
000094	CH_4.25X1200X3000_NBR6655_FQ_LN28_N	2319635,6	40,4
000107	CH_2.70X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	729187,2	12,7
379310	CH_1.95X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	524775,1	9,1
000093	CH_6.30X1200X3000_NBR6655_CLTQ_LN28_N	404822,7	7,1
372227	CH_1.55X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	395834,5	6,9
056250	CH_1.25X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	290687,9	5,1
000095	CH_3.00X1200X3000_FQ_SAE1006/1008_N	189204,4	3,3
032983	CH_2.00X1200X3000_FQ_SAE1006/1008_N	137645,0	2,4
000097	CH_1.95X1000X3000_NBR7008_ZC_Z275	118798,6	2,1
000096	CH_2.65X1200X3000_FQ_SAE1006/1008_N	105936,2	1,9
000100	CH_1.55X1000X3000_NBR7008_ZC_Z275	105126,2	1,8
034351	CH_8.00X1200X3000_CLTQ_SAE1006/1008_N	101436,3	1,8
291429	CH_1.25X1000X3000_NBR7008_ZC_Z275	86133,1	1,5
000098	CH_3.00X1000X3000_NBR7008_ZC_Z275	81779,9	1,4
505504	CH_0.95X790X3000_NBR7008_ZC_Z275	57170,0	1,0
000101	CH_1.50X1200X3000_FQ_SAE1006/1008_N	47888,8	0,8
510772	CH_0.35X250X924_NBR7008_ZC_Z275	3045,0	0,1

Fonte: Autor.

Analisando o consumo de chapas, verifica-se primeiramente que nas espessuras de 3.00, 1.95, 1.55 e 1.25 existe um consumo de chapas de largura de 1000 e 1200. Com alguns componentes da carroceria se faz necessária a utilização da chapa de 1200 de largura e, portanto, necessita-se eliminar a aquisição das chapas de 1000 para as espessuras citadas.

No consumo anual de 2014 foi verificado também o consumo de chapas de espessuras muito próximas; 1.95 NBR7008_ZC, 2.00 SAE1006; 1.55 NBR7008_ZC, 1,50 SAE1006. Assim como a compra de chapa 2.70 NBR7008_ZC e 2.65 SAE1006.

Como uma das premissas do DFMA é a redução de custos, reduzindo a variabilidade de chapas, reduzimos a quantidade de material em estoque e o tempo de permanência em estoque.

A proposta é, portanto, substituir, nos projetos, a chapa 2.00 SAE1006, pela 1.95 NBR7008_ZC a chapa 1,50 SAE1006 pela 1.55 NBR7008_ZC, cuja espessura é bem próxima e possui um consumo mais elevado. E, da mesma forma, substituir a chapa 2.65 SAE1006 pela chapa 2.70 NBR7008_ZC, cujo consumo também é maior.

Na Tabela A.2 são apresentadas as chapas disponíveis após a otimização de sua variação.

Tabela A.2 – Chapas disponíveis após verificação e análise de otimização

Família	Descrição das Chapas	Quantidade em kg	%
000094	CH_4.25X1200X3000_NBR6655_FQ_LN28_N	2319635,6	40,4
000107	CH_2.70X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	1106107,6	19,4
379310	CH_1.95X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	781218,7	13,7
372227	CH_1.55X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	548849,5	9,6
000093	CH_6.30X1200X3000_NBR6655_CLTQ_LN28_N	404822,7	7,1
056250	CH_1.25X1200X3000_NBR7008_ZC_Z275	376821,0	6,6
034351	CH_8.00X1200X3000_CLTQ_SAE1006/1008_N	101436,3	1,8
505504	CH_0.95X790X3000_NBR7008_ZC_Z275	57170,0	1,0
510772	CH_0.35X250X924_NBR7008_ZC_Z275	3045,0	0,1

Fonte: Autor.

Em uma simples análise foi reduzido o portfólio de matéria-prima de chapas da quantidade de 17 para 09.

Em relação à otimização de tubos, importante salientar que em tal análise serão levadas em consideração apenas as questões de manufatura e consumo, desconsiderando-se as questões estruturais de utilização.

Analisando o consumo de tubos de secção retangular, podemos desmembrar em duas análises distintas: primeiramente os tubos únicos em relação à secção e espessura, apresentados na Tabela A.3 e, por fim, os tubos de mesma secção, mas que diferem na espessura de parede, como apresentado na Tabela A.4, Tabela A.5, Tabela A.6 e Tabela A.7.

Tabela 16 – Tubos de secção retangulares únicos consumidos em 2014

Família	Descrição dos Tubos	Tipos de Aço	Quantidade em kg	%
000006	TB_2.30X60X100	ZAR230_Z275	13658,8	0,30
013810	TB_1.95X35X45	ZAR230_Z275	109990,0	2,42
307995	TB_4.25X30X70	SAE1006/1008_N	6978,5	0,15
000010	TB_1.55X20X30	ZAR230_Z275	61598,6	1,36
005314	TB_1.55X20X20	SAE1006/1008	13390,4	0,30
104528	TB_1.55X25X70	ZAR230_Z275	12616,5	0,28
119026	TB_1.55X25X45	ZAR230_Z275	1059,7	0,02
104526	TB_1.55X25X35	ZAR230_Z275	33696,9	0,74
002856	TB_1.90X16X30	SAE1006/1008	195960,3	4,32
000027	TB_1.55X16X16	SAE1006/1008	16767,7	0,37

Fonte: Autor.

Os tubos únicos em relação à secção e espessura serão mantidos, apesar de alguns terem um consumo extremamente baixo, como os tubos TB_2.30X60X100, TB_4.25X30X70, TB_1.55X20X20, TB_1.55X25X70, TB_1.55X25X45 e TB_1.55X16X16. Apenas as utilizações deles nos projetos de carroceria deverão passar por uma análise criteriosa.

Tabela 174 – Tubos de secção 50x80, 50x70 e 50x50 consumidos em 2014.

Família	Descrição dos Tubos	Tipos de Aço	Quantidade em kg	%
000049	TB_1,95X50X80	ZAR230_Z2	282,4	0,01
295307	TB_2.30X50X80	ZAR230_Z275	242210,6	5,34
000003	TB_2.70X50X80	ZAR230_Z2	124657,2	2,75
347154	TB_3,75X50X80	ZAR230_Z275	20256,0	0,45
091027	TB_2,65X50x70	ZAR230_Z275	406,0	0,01
000035	TB_2.70X50X70	ZAR230_Z275	206708,6	4,56
265895	TB_4.25X50X70	SAE1006/1008	52945,5	1,17
000031	TB_1.95X50X50	ZAR230_Z275	38196,5	0,84
031491	TB_2.70X50X50	ZAR230_Z275	18243,0	0,40
116660	TB_4.25X50X50	SAE1006/1008	1927,0	0,04

Fonte: Autor.

Analisando o consumo de tubos de secção 50, verifica-se que algumas variações de espessuras podem ser substituídas e eliminadas.

- Em relação aos tubos de secção 50x80 existe um consumo baixo dos de espessura 1.95 e 3.75 e, pela proximidade de espessura entre 2.30 e 2.70, apenas um pode ser mantido, no caso o de espessura 2.70, por possuir uma maior resistência.
- Nos tubos de secção 50x70 deve-se substituir o de espessura 2.65 pelo de 2.70.

- Nos de secção 50x50 substitui-se o de espessura 2.70 pelo de 1.95 e mantém-se o de espessura 4.25, por ter maior espessura e ser um aço SAE de menor custo de aquisição em relação ao ZAR.

Tabela 18 – Tubos de secção 20x50 e 20x40 consumidos em 2014.

Família	Descrição dos Tubos	Tipos de Aço	Quantidade em kg	%
033597	TB_1.55X20X50	ZAR230_Z275	17436,3	0,38
031488	TB_2.70X20X50	ZAR230_Z275	106807,4	2,35
005488	TB_1.55X20X40	ZAR230_Z275	77786,9	1,71
348027	TB_2.70X20X40	ZAR230_Z275	33646,0	0,74

Fonte: Autor.

Analisando o consumo de tubos de secção 20, verifica-se que:

- Nos de secção 20x50 deve ser mantido o de espessura 2.70 e eliminado o de espessura 1.55, devido ao menor consumo.
- Nos de secção 20x40 deve ser mantido o de espessura 1.55 e eliminado o de espessura 2.70, devido ao menor consumo.

Tabela 19 – Tubos de secção 40x80, 40x60, 40x50 e 40x40 consumidos em 2014.

Família	Descrição dos Tubos	Tipos de Aço	Quantidade em kg	%
343238	TB_2.30X40X80	ZAR230_Z275	523933,9	11,55
392252	TB_4.75X40X80	SAE1006/1008	119324,4	2,63
039510	TB_1.95X40X60	ZAR230_Z275	13490,2	0,30
098184	TB_2.30X40X60	ZAR230_Z275	292272,6	6,44
491338	TB_2.65X40X60	SAE1006/1008	84,0	0,00
031490	TB_2.70X40X60	ZAR230_Z275	171874,7	3,79
389334	TB_3.35X40X60	SAE1006/1008	17009,1	0,37
000029	TB_1.95X40X50	ZAR230_Z275	275340,7	6,07
271670	TB_2.30X40X50	ZAR230_Z275	79857,7	1,76
005471	TB_2.70X40X50	ZAR230_Z275	316835,0	6,98
031490	TB_4.25X40X50	SAE1006/1008	26093,1	0,58
000038	TB_1.55X40X40	ZAR230_Z275	3945,7	0,09
033275	TB_1.95X40X40	ZAR230_Z275	385942,6	8,51
097345	TB_2.70X40X40	ZAR230_Z275	132561,9	2,92
071613	TB_3.75X40X40	ZAR230_Z275	20778,0	0,46

Fonte: Autor

Analisando o consumo de tubos de secção 40, algumas variações de espessuras podem ser substituídas e eliminadas.

- Nos de secção 40x60 substitui-se os de espessura 1.95 e 2.65 pelos 2.30 e o de espessura 3.35 pelo de 2.70, devido ao menor consumo e à proximidade de espessuras.
- Nos de secção 40x50 devem ser mantidos os de espessura 1.95 e 2.70 e eliminados os de espessura 2.30 e 4.25, devido ao menor consumo e à proximidade de espessuras.
- Nos tubos de secção 40x40 devem ser mantidos os de espessura 1.95 e 2.70 e eliminados os de secção 1.55 e 3.75, devido ao baixíssimo consumo.

Tabela 20 – Tubos de secção 30x50, 30x40 e 30x30 consumidos em 2014.

Família	Descrição dos Tubos	Tipos de Aço	Quantidade em kg	%
000012	TB_1.95X30X50	ZAR230_Z275	46214,8	1,02
420511	TB_2.70X30X50	ZAR230_Z275	102322,7	2,26
500155	TB_3.00X30X40	ZAR230_Z275	56536,0	1,25
000015	TB_1.55X30X40	ZAR230_Z275	144156,1	3,18
042413	TB_1.95X30X40	ZAR230_Z275	54012,0	1,19
031489	TB_2.70X30X40	ZAR230_Z275	90245,4	1,99
106297	TB_1.55X30X30	ZAR230_Z275	121151,6	2,67
031670	TB_1.95X30X30	ZAR230_Z275	129255,4	2,85
005489	TB_2.70X30X30	ZAR230_Z275	6840,4	0,15

Fonte: Autor.

Analisando o consumo de tubos de secção 30, algumas variações de espessuras podem ser substituídas e eliminadas.

- Nos de secção 30x40 deve ser mantido o de espessura 1.95, devido a ter uma espessura intermediária a 3.00, e o de 1.55 deve ser eliminado.
- Nos tubos de secção 30x30 deve ser mantido o de espessura 1.95 e eliminado os de espessura 1.55 e 2.70, pelo menor consumo e pela proximidade de espessuras.

A otimização da variabilidade de tubos se faz necessária e reflete um maior controle de estoques, uma vez que se controlam os desperdícios, desvios, apuram-se valores para fins de análise, bem como se apura o demasiado investimento, o qual prejudica o capital de giro.

Com uma menor variedade de matéria-prima, os custos são reduzidos, o que é uma importante premissa da metodologia DFMA, pois reduz a quantidade de matéria e o tempo de permanência em estoque.

Outro ganho importante na otimização de matéria-prima é a redução considerável na quantidade de material que necessita ser retrabalhado ou até mesmo refugado.

A Tabela A.8 mostra o resultado de otimização de tubos, em que a variabilidade de secções e espessuras foi reduzida das quantidades de 48 para 20.

Tabela 21 – Resultado da otimização de tubos de mesma secção retangular

Família	Descrição dos Tubos	Tipos de Aço	Quantidade em kg	%
000003	TB_2.70X50X80	ZAR230_Z275	387406,2	8,54
000035	TB_2.70X50X70	ZAR230_Z275	207114,6	4,56
265895	TB_4.25X50X70	SAE1006/1008	52945,5	1,17
000031	TB_1.95X50X50	ZAR230_Z275	56439,5	1,24
116660	TB_4.25X50X50	SAE1006/1008	1927,0	0,04
343238	TB_2.30X40X80	ZAR230_Z275	523933,9	11,55
392252	TB_4.75X40X80	SAE1006/1008	119324,4	2,63
098184	TB_2.30X40X60	ZAR230_Z275	292272,6	6,74
031490	TB_2.70X40X60	ZAR230_Z275	188883,8	4,16
000029	TB_1.95X40X50	ZAR230_Z275	275340,7	6,07
005471	TB_2.70X40X50	ZAR230_Z275	422785,8	9,32
033275	TB_1.95X40X40	ZAR230_Z275	389888,3	8,59
097345	TB_2.70X40X40	ZAR230_Z275	153339,9	3,38
013810	TB_1.95X35X45	ZAR230_Z275	109990,0	2,42
000012	TB_1.95X30X50	ZAR230_Z275	46214,8	1,02
420511	TB_2.70X30X50	ZAR230_Z275	102322,7	2,26
500155	TB_1.95X30X40	ZAR230_Z275	344949,5	7,60
031670	TB_1.95X30X30	ZAR230_Z275	257247,4	5,67
031488	TB_2.70X20X50	ZAR230_Z275	124243,7	2,74
005488	TB_1.55X20X40	ZAR230_Z275	111432,9	2,46

Fonte: Autor.

Elevadas quantidades de matéria-prima em estoque somente poderão ser movimentadas com a utilização de um maior número de funcionários ou, então, com maior uso de equipamentos de movimentação, resultando na elevação desses custos. Assim, quando há um menor volume de matéria-prima em estoque, os custos serão diminuídos, e esses custos

relacionados podem ser chamados de custos de armazenagem. Eles são calculados baseados no estoque médio e, geralmente, indicados em porcentagem do valor em estoque. Com isso os custos de armazenagem são proporcionais à quantidade e ao tempo no qual uma matéria-prima permanece em estoque.

Essa simplificação na estrutura também tem o objetivo de planejar, controlar e replanejar o material armazenado na empresa, melhorando as operações internas, o que acarreta em maior competitividade no mercado.

Com a metodologia proposta dividida em três etapas distintas – simplificação da estrutura do produto, processos mais econômicos e detalhamento do projeto, o próximo passo foi a criação de verificações a serem feitas em cada uma das etapas.

ANEXO A – Normas para Encarroçamento

Segundo a Resolução nº 445, 2013, do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), os veículos destinados ao transporte de passageiros com mais de oito lugares e com um peso bruto total (PBT) superior a cinco toneladas são denominados como categoria M3. Os veículos M3 podem ser classificados de acordo com sua composição:

- Ônibus Simples: constituído por uma única unidade rígida com motor próprio e solidário, contendo um compartimento para os passageiros em um único piso.
- Ônibus Articulado: constituído por duas unidades rígidas devidamente acopladas dotadas com tração em pelo menos uma delas.
- Ônibus Biarticulado: constituído por três unidades rígidas devidamente acopladas dotadas com tração em pelo menos uma delas.
- Ônibus Duplo Piso: podendo ser simples ou articulado, possui dois compartimentos para passageiros em pisos sobrepostos que se comunicam entre si através de escadas.

Os veículos da categoria M3 podem ainda ser distintos de acordo com sua aplicação e pelos seus diferentes tipos de operação e serviços oferecidos:

- Ônibus Urbano: destinado ao transporte público coletivo de passageiros em centros urbanos, podendo ou não ser transportados em pé, dependendo do tipo de serviço.
- Ônibus Rodoviário: destinado ao transporte de passageiros exclusivamente sentados para percursos de médias e longas distâncias, exceto quando este for destinado ao transporte intermunicipal, o qual permite o transporte de passageiros em pé para trechos de curta distância.

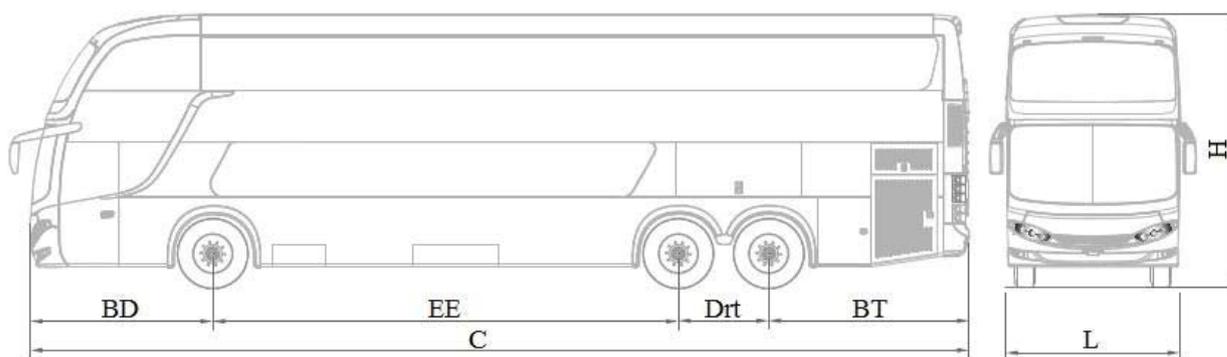
Ainda existem ônibus para aplicação escolar e particular.

Segundo a Norma nº 147/1985, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), os ônibus, indiferentemente de suas classes, devem ser projetados de modo que a relação da potência líquida do chassi sobre PBT do veículo seja maior ou igual a 7,4 kw/ton. O ônibus simples rodoviário deve ser projetado de modo que o peso que atua no eixo dianteiro (PED) seja maior ou igual a 25% de seu PBT, bem como considerar um valor médio de massa útil transportada de 80 kg por pessoa, já considerando sua bagagem. Outra diretriz muito importante para projeto da carroceria é o seu PBT máximo, limitado pela Lei da balança, que traz diferentes valores de peso para cada país.

A Figura 57 ilustra as principais dimensões de uma carroceria de ônibus, segundo a resolução CONTRAN nº 210, de novembro de 2006.

- C: o comprimento máximo permitido para os ônibus;
- L: a largura máxima permitida para a carroceria;
- H: a altura máxima permitida, medida a partir do plano de rolamento do veículo;
- BD: balanço dianteiro, que corresponde à distância do centro do eixo dianteiro até a extremidade do para-choque dianteiro e está vinculada ao balanço do chassi;
- EE: distância entre os eixos, medida do centro do eixo dianteiro até o centro do eixo traseiro. Chassis com motorização traseira possuem os módulos (dianteiro e traseiro) separados, de modo que posteriormente são unidos pela estrutura da carroceria, permitindo diferentes distâncias que variam conforme o comprimento do veículo;
- Drt: distância entre os eixos do rodado traseiro, existe apenas quando o chassi possui dois eixos em seu módulo traseiro;
- BT: balanço traseiro, que corresponde à distância do centro do eixo traseiro até a extremidade do para-choque traseiro. Para os ônibus com motorização frontal, o BT é igual ou menor que 71% da distância entre os eixos. Para os ônibus com motorização traseira, o BT é igual ou menor que 62% da distância entre os eixos. Já para os ônibus com motorização central, o BT é igual ou menor que 66% da distância entre os eixos.

Figura 57 – Principais dimensões para ônibus rodoviário



Fonte: Quevedo (2014).