

MARCELO BATAGLIN

**O MÉTODO DO DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO MODULAR
NO PROJETO E MANUFATURA SUSTENTÁVEL DE
PRODUTOS: APLICAÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR
METAL-MECÂNICO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.

Florianópolis
Maio de 2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

B328m Bataglin, Marcelo

O método do desdobramento da função modular no projeto e manufatura sustentável de produtos [dissertação] : aplicação em uma empresa do setor metal-mecânico / Marcelo Bataglin ; orientador, João Carlos Espindola Ferreira. - Florianópolis, SC, 2012.

139 p.: il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia mecânica. 2. Produtos industrializados. 3. Reciclagem. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Ferreira, João Carlos Espindola. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU 621

MARCELO BATAGLIN

**O MÉTODO DO DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO MODULAR
NO PROJETO E MANUFATURA SUSTENTÁVEL DE
PRODUTOS: APLICAÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR
METAL-MECÂNICO**

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica, e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Santa Catarina.**

Florianópolis, 07 de Maio de 2012.

Prof Júlio César Passos, Dr. – Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D. - Orientador

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.

Prof. Nilson Luiz Maziero, Dr.

Prof. Cristiano Vasconcellos Ferreira, Dr.

*A minha esposa Camila,
e meus pais Rubem e Antonieta.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a **Deus** pela vida que me concede a cada dia, por ter me colocado neste mundo, me amparar nos momentos difíceis de minha vida e por me dar esta maravilhosa família.

A minha esposa **Camila**, pelo constante apoio e pela dedicação, carinho e compreensão sempre.

Aos meus amados pais, **Rubem e Antonieta**, e minha irmã **Mayara**, que sempre se fizeram presentes em todos os momentos de minha vida.

Aos meus sogros **Valde e Nélia** pelo incentivo e apoio quando preciso.

Ao professor, orientador, e amigo **João Carlos Espíndola Ferreira**, por sempre acreditar no meu potencial, pelo apoio teórico na execução e concretização deste trabalho.

A empresa **Saur Equipamentos S. A.** na qual o trabalho foi aplicado, pela oportunidade de viabilizar e desenvolver este o projeto, pelo apoio e contribuição.

Aos meus **amigos e familiares** que sempre me apoiaram, pela compreensão, e entenderam os momentos ausentes.

Aos amigos e **colegas do IFSC – Chapecó**, pelo companheirismo e bom senso na reta final deste trabalho.

A **CAPES** pelo apoio econômico.

Enfim, a todas as pessoas que participaram de forma direta e indireta para a concretização de mais esta conquista.

*A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.*

(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da metodologia de projeto de produtos modulares denominado MFD (*Modular Function Deployment – Desdobramento da Função Modular*), e sua aplicação em produtos de uma empresa do setor metal-mecânico fabricante de equipamentos para empilhadeiras, de maneira que novos produtos proporcionem a utilização de processos e materiais que contribuem para a manufatura sustentável. Inicialmente faz-se uma introdução a métodos de projeto de produtos modulares com a finalidade de identificar suas características e particularidades. Então é realizada uma análise e avaliação do método MFD e de suas ferramentas de projeto do ponto de vista da manufatura sustentável, com o objetivo de verificar quais diretrizes de modularização podem contribuir para esta pesquisa, bem como quais diretrizes relacionadas à sustentabilidade podem ser adicionadas, de maneira que se permita avaliar se o produto/módulo contribui positiva ou negativamente para o meio-ambiente. São considerados nestas diretrizes os aspectos de desmontagem, manutenção, capacidade de atualização, reutilização, reciclagem, entre outros, de forma a garantir que a manufatura sustentável seja efetivamente considerada desde o início nas decisões referentes à modularização. A sistemática para a Desdobramento de produtos modulares sustentáveis foi aplicada a uma garra giratória para bobinas fabricada em uma empresa da região Sul do Brasil, e o método proposto foi comparado com os critérios de modularização convencionais utilizados pela empresa. A análise das diretrizes de modularização permitiu refletir sobre o processo de fabricação hoje empregado na empresa bem como sobre os materiais utilizados na fabricação, além do fato de questionar o destino final das peças e componentes utilizados, fornecendo informações suficientes para que a empresa possa desenvolver uma política de projeto de produtos modulares visando a manufatura sustentável. Os principais sistemas e componentes da garra foram identificados e agrupados a partir de suas similaridades e, desta forma, os módulos foram identificados, o que resultou em uma lista de especificações técnicas como detalhamento do processo de modularização. Uma lista com recomendações para a empresa e de apoio a trabalhos futuros utilizando esta metodologia foi elaborada com a finalidade de auxiliar novos trabalhos acadêmicos, bem como possibilitar o desenvolvimento de uma cultura sustentável dentro das indústrias.

Palavras-chave: Desdobramento da Função Modular, Projeto e Manufatura Sustentável, Desmontagem, Reutilização, Reciclagem, Meio-Ambiente.

ABSTRACT

This paper presents the study of a methodology for the design of modular products called MFD (Modular Function Deployment), and its application to products of a company in the metal-mechanic sector that manufactures equipment for forklifts, so that new products will use processes and materials that contribute to sustainable manufacturing. Initially an introduction is made to methods for modular product design in order to identify its characteristics and peculiarities. Then an analysis and assessment of the MFD method and its design tools from the viewpoint of sustainable manufacturing is performed, in order to determine which modularization guidelines can contribute to this research, as well as which guidelines related to sustainability may be added, so that it is enabled to assess whether the product/module contributes positively or negatively to the environment. These guidelines encompass aspects of disassembly, maintenance, upgradeability, reuse, recycling, among others, to ensure that sustainable manufacturing is actually considered from the beginning in decisions regarding modularization. The proposed procedure for implementing sustainable modular products was applied to a rotating clamp for coils made in a company in southern Brazil, and the results were compared with conventional modularization criteria used by the company. The analysis of modularization guidelines allowed to reflect on the manufacturing process used today in the company as well as the materials used in manufacturing, besides giving importance to the final destination of the parts and components used, providing sufficient information to allow the company to develop a policy for the design of modular products aimed at sustainable manufacturing. The main systems and components of the clamp were recognized and grouped based on their similarities, and thus the modules have been identified, resulting in a list of technical specifications for detailing the process of modularization. A list of recommendations for the company and to support future work using this methodology was developed in order to assist new academic papers, as well as to enable the development of a sustainable culture within industries.

Keywords: Modular Function Deployment, Sustainable Design and Manufacturing, Disassembly, Reuse, Recycling, Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Influência do projeto no custo da manufatura. Fonte: Ulmann (1997 apud Almeida, 2000).	26
Figura 2 - Vida de um produto. Fonte: Pahl e Beitz <i>et al.</i> (2005)	32
Figura 3 - Taxas de retorno dos investimentos nos diferentes estágios de desenvolvimento de novos produtos. Fonte: Baxter (2000).	32
Figura 4 - Custos e benefícios em diferentes estágios do processo de desenvolvimento. Fonte: Baxter (2000).	33
Figura 5 - Visão geral do método MFD proposto por Erixon (1996). ...	47
Figura 6 - Matriz QFD simplificada. Fonte: Fleig (2008).	48
Figura 7 - Exemplo de Matriz de seleção de Pugh.	48
Figura 8 – Árvore de funções. Fonte: adaptado de Ericsson e Erixon (2006).	49
Figura 9 - Exemplo de aplicação da MIM. Fonte: ROZENFELD <i>et al.</i> (2006).	50
Figura 10 - Exemplo de Matriz de Interface para o desenvolvimento de um telefone celular. Fonte: Adaptado de Fleig (2008).	52
Figura 11 - Exemplo de especificação do módulo de entrada e saída de dados de um telefone celular. Fonte: Fleig (2008).	52
Figura 12 - Placa mãe com seus sub-componentes. Fonte: Traduzido de Beronius (2004).	54
Figura 13 - Colocação convencional do trocador de calor e do radiador. Fonte: Traduzido de Beronius (2004).	55
Figura 14 - Módulo de refrigeração da Denso. Fonte: Traduzido de Beronius (2004).	55
Figura 15 - Sustentabilidade e objetivos para um modelo econômico mais eficiente. Fonte: WBCSD (2001) <i>apud</i> Araujo (2010).	58
Figura 16 - Evolução dos sistemas de produção a modelos sustentáveis. Fonte: Araujo (2010).	59
Figura 17 - Ganhos para processos e produtos através de práticas ambientais. Fonte: Traduzido de Porter e Linde (1995).	60
Figura 18 - Palavras-chave da Engenharia do Ciclo de Vida. Fonte: traduzido de Jeswiet e Hauschild (2004).	61
Figura 19 - Estratégias de Redução e Extensão no Eco-projeto.	65
Figura 20 - Ciclo de vida de um produto. Visão tradicional.	67
Figura 21 – O ciclo de vida do produto segundo a perspectiva ambiental. Fonte: Romeiro <i>et al.</i> (2010).	67
Figura 22 – Garra Giratória para Bobinas. (Fonte: Saur, 2011).	77
Figura 23 – Etapas da modularização.	80
Figura 24 – Soluções Técnicas da Garra.	89

Figura 25 - Exemplo de identificação de peças de plástico de acordo com a DIN ISO 11469, DIN 7728 Parte 1 e DIN ISO 1042. (PAHL e BEITZ <i>et al.</i> , 2005).	95
Figura 26 - Compatibilidade de materiais plásticos. (KÄUFER, 1990 e VDI-RICHTLINIE 2243, 2000, <i>apud</i> PAHL e BEITZ <i>et al.</i> , 2005). .	96
Figura 27 - Dendograma para geração dos módulos.	102
Figura 28 – Módulos finais gerados com base no dendograma.	105
Figura 29 – Alterações no Módulo A.	120
Figura 30 – Alterações no Módulo B.	121
Figura 31 – Alterações no Módulo C.	121
Figura 32 – Alterações nos Módulos G e H.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Segmentos de atuação da empresa. (Fonte: Saur, 2011).	75
Tabela 2 – Distribuição dos produtos por atividade. (Fonte: Saur, 2011).	76
Tabela 3 – Descrição das garras giratórias em função da capacidade e abertura. (Fonte: Saur, 2011)......	78
Tabela 4 – Perfil do grupo.....	81
Tabela 5 – Requisitos do consumidor e Definições / Especificações identificados para a garra giratória.	82
Tabela 6 – Grau de importância dos requisitos do consumidor.	84
Tabela 7 – Propriedades do produto.	84
Tabela 8 - Peso estabelecido de acordo com o grau de importância.	85
Tabela 9 – Soluções técnicas para as funções e propriedades do produto.	88
Tabela 10 - Relação entre os critérios atuais e os que contemplam a manufatura sustentável.	98
Tabela 11 – Módulos gerados a partir do dendograma.	104
Tabela 12 - Especificação do Módulo A - Estrutura do conjunto do corpo e braço.	109
Tabela 13 - Especificação do Módulo B – Aparelho giratório.	110
Tabela 14 - Especificação do Módulo C - Sistema de manuseio das bobinas.	111
Tabela 15 - Especificação do Módulo D - Mangueiras e conexões.	112
Tabela 16 - Especificação do Módulo E - Parafusos e porcas padronizados.	113
Tabela 17 - Especificação do módulo F - Assessórios de identificação.	114
Tabela 18 - Especificação do Módulo G - Sistema hidráulico de força.	115
Tabela 19 - Especificação do Módulo H - Válvulas e cilindros hidráulicos.	116

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz QFD.	86
Quadro 2 – Matriz das Propriedades do Produto (DPM).	91
Quadro 3 - Matriz de Identificação de Módulos.	99
Quadro 4 - Vetores para gerar o dendograma: Matrizes DPM e MIM.	101
Quadro 5 – Matriz de Interfaces.	106
Quadro 6 – Mapa de gerenciamento do produto.	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	<i>Axiomatic Design</i>	Projeto Axiomático
DFA	<i>Design for Assembly</i>	Projeto para a Montagem
DFC	<i>Design for Cost</i>	Projeto para o Custo
DFCL	<i>Design for Cycle of Life</i>	Projeto para o Ciclo de Vida
DFD	<i>Design for Disassembly</i>	Projeto para Desmontagem
DFE	<i>Design for Environment</i>	Projeto para o Meio-ambiente
DFI	<i>Design for Inspectability</i>	Projeto para Inspeção
DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>	Projeto para Manufatura e Montagem
DFMt	<i>Design for Maintainability</i>	Projeto para Manutenção
DFR	<i>Design for Recycling</i>	Projeto para a Reciclagem
DFS	<i>Design for Service</i>	Projeto para o Serviço
DFX	<i>Design for X</i>	Projeto para X
DPM	<i>Design Property Matrix</i>	Matriz das Propriedades do Produto
DSM	<i>Design Structure Matrix</i>	Matriz de Estrutura de Projeto
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>	Análise dos Modos de Falha e seus efeitos
FPD	<i>Fractal Product Design</i>	Projeto Fractal de Produto
IM	<i>Interface Matrix</i>	Matriz de Interfaces
JMP®	<i>Statistical Discovery Software</i>	Software Estatístico
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>	Avaliação do Ciclo de Vida
LCE	<i>Life Cycle Engineering</i>	Engenharia do Ciclo de Vida
LCM	<i>Life Cycle Management</i>	Gestão do Ciclo de Vida
MFD	<i>Modular Function Deployment</i>	Desdobramento da Função Modular
MIM	<i>Module Indication Matrix</i>	Matriz de Indicação de Módulo
MPM	<i>Modelling the Product Modularity</i>	Modelando a Modularidade do Produto
PMM	<i>Product Management Matrix</i>	Mapa de Gerenciamento do Produto
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>	Desdobramento da Função da Qualidade

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	25
1.2	OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES	27
1.3	METODOLOGIA DA PESQUISA	29
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2.	PROJETO DE PRODUTOS MODULARES	31
2.1	MODULARIDADE / MODULARIZAÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS	34
2.2	CARACTERÍSTICAS DE PROJETOS DE PRODUTOS MODULARES	38
2.2.1	Vantagens da modularização	38
2.2.2	Desvantagens da modularização.....	42
2.3	MÉTODOS DE MODULARIZAÇÃO APLICADOS AO PROJETO DO PRODUTO	43
2.3.1	Projeto Fractal de Produto (FPD) (Pirrung, 2004):	44
2.3.2	Modelando a Modularidade do Produto (MPM) (Pirrung, 2004):	44
2.3.3	Matriz de Estrutura de Projeto (DSM) (Pirrung, 2004):	45
2.3.4	Desenvolvimento Modular do Produto (MPD) (Pirrung, 2004):	45
2.3.5	Projeto Axiomático (AD) (Dedini, 2000 e Pirrung, 2004):	46
2.3.6	Desdobramento da Função Modular (MFD) (Erixon, 1996): .	46
2.4	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE PROJETOS MODULARES	53
3.	PROJETO DE PRODUTOS E A MANUFATURA SUSTENTÁVEL	57
3.1	SUSTENTABILIDADE E A MANUFATURA.....	57
3.2	PROJETO DE PRODUTOS VOLTADO PARA A MANUFATURA SUSTENTÁVEL	60
3.3	CICLO DE VIDA DO PRODUTO MODULAR: PERSPECTIVA AMBIENTAL	66
3.4	EXEMPLO DE SUSTENTABILIDADE: O ECO PROJETO NA EMPRESA 3M	69
4.	SISTEMÁTICA PARA PROJETO DE PRODUTOS MODULARES PARA UM SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO E MANUSEIO DE BOBINAS.....	73
4.1	SISTEMÁTICA PROPOSTA.....	73
4.2	VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA EM EMPRESAS	74

4.3	DEFINIÇÃO DO PRODUTO PARA A MODULARIZAÇÃO...	76
4.4	MODULARIZAÇÃO DE UM SISTEMA PARA MANUSEIO DE BOBINAS DE PAPEL.....	79
4.4.1	Fase 01: Definir os requisitos do consumidor.....	80
4.4.2	Fase 02: Gerar e selecionar soluções técnicas	87
4.4.3	Fase 03: Gerar o conceito modular	92
4.4.4	Fase 04: Analisar os conceitos	105
4.4.5	Fase 05: Aperfeiçoar os módulos.....	108
4.5	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MODULARIZAÇÃO PROPOSTO	117
4.5.1	CULTURA DA EMPRESA ALVO DO ESTUDO	117
4.5.2	Resultados da Fase 01: Definir os Requisitos do Consumidor	118
4.5.3	Resultados da Fase 02: Gerar e Selecionar Soluções Técnicas	118
4.5.4	Resultados da Fase 03: Gerar o Conceito Modular	119
4.5.5	Resultados da Fase 04: Analisar os Conceitos	122
4.5.6	Resultados da Fase 05: Aperfeiçoar os Módulos	123
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	125
5.1	CONCLUSÕES.....	125
5.2	LIMITAÇÕES	129
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	131
	APÊNDICE A – DENDOGRAMA PARA CINCO GRUPOS	137
	APÊNDICE B – DENDOGRAMA PARA SETE GRUPOS	139

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Desenvolver produtos tem se tornado um dos processos-chave para a competitividade na manufatura. O aumento da concorrência, rápidas mudanças tecnológicas, diminuição do ciclo de vida dos produtos e maior exigência por parte dos consumidores exigem das empresas agilidade, produtividade e alta qualidade que dependem necessariamente da eficiência e eficácia da empresa neste processo (ROZENFELD, 1997).

Para Baxter (2000), desenvolver novos produtos é uma atividade complexa que envolve diversos interesses e habilidades, tais como: os consumidores desejam novidades, melhores produtos, a preços razoáveis; os vendedores desejam diferenciações e vantagens competitivas; os engenheiros de produção desejam simplicidade na fabricação e facilidade de montagem; Os designers gostariam de experimentar novos materiais, processos e soluções formais; e os empresários querem poucos investimentos e retorno rápido do capital.

Portanto, o desenvolvimento de novos produtos é necessariamente uma solução de compromisso. Diversos tipos de interesses devem ser satisfeitos. Não é possível, por exemplo, atender só aos desejos do engenheiro de produção e prejudicar aqueles dos vendedores ou de consumidores, e assim por diante. No mínimo deve-se estabelecer um compromisso entre os fatores que adicionam valor ao produto e aqueles que provocam aumento de custo (BAXTER, 2000).

Pahl e Beitz *et al.* (2005) consideram que a atividade de planejar e projetar é compreendida como conversão de informações. A cada saída de informações, melhorias poderão ser necessárias, ou então será necessário aumentar a valoração do resultado da etapa de trabalho que acabou de ser executada, ou até mesmo novas etapas de trabalho terão que ser acrescentadas para se obter a melhoria pretendida. Em novos desenvolvimentos, trata-se de um processo de iteração, onde se aproxima passo a passo da solução, até que o resultado seja satisfatório.

Nesse contexto, Baxter (2000) afirma que a inovação é um ingrediente vital para o sucesso dos negócios. A economia de livre mercado depende de empresas competindo entre si para superar marcas estabelecidas por outras empresas. As empresas precisam introduzir continuamente novos produtos, para impedir que outras empresas acabem abocanhando parte de seu mercado.

Para Ulmann (1997 *apud* Almeida, 2000), deve-se realçar a grande importância da fase inicial de projeto no custo e no sucesso do produto final. Decisões tomadas nesta fase podem resultar em grande dificuldade, com alto custo proporcional, para serem alteradas nas fases posteriores do desenvolvimento de um produto, como mostra a Figura 1.

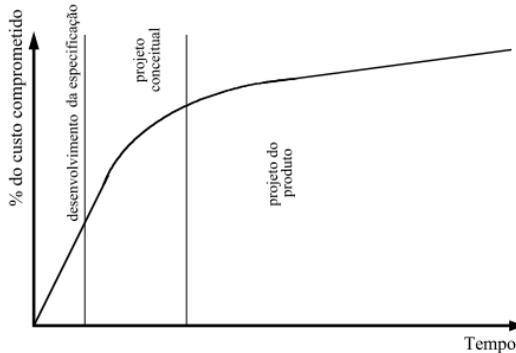


Figura 1 - Influência do projeto no custo da manufatura. Fonte: Ulmann (1997 *apud* Almeida, 2000).

Para Romeiro *et al.* (2010), se por um lado os produtos tornaram-se mais complexos, incorporando cada vez mais os avanços tecnológicos na sua constituição física e embutindo uma quantidade enorme de atividades intensivas em conhecimento na formulação do conceito final, por outro lado o ambiente de projeto também se tornou mais complexo, em função das mudanças no modo de produzir, o que aumentou as necessidades de gerenciamento do processo de projeto.

Outro fator que tem sido cada vez mais importante nos últimos anos consiste na preocupação com as questões ambientais e sociais que possam estar agregadas aos produtos desenvolvidos. Ou seja, o projetista de produtos do futuro deve, obrigatoriamente, considerar aspectos não só econômicos como também ambientais e sociais. Uma das formas capazes de obter esses requisitos é realizar a modularização de produtos.

Frequentemente, afirmam Pahl e Beitz *et al.* (2005), o desenvolvimento de um sistema modular somente ocorre quando, com o decorrer do tempo do programa de um produto inicialmente desenvolvido para uma construção ou finalidade específica, passam a ser exigidas tantas variantes da função, a ponto de justificar o desenvolvimento de uma série ou um subconjunto. Por essa razão,

depois de certo tempo, um programa de produtos já existente no mercado é reprojetoado como um sistema modular. Isso tem a desvantagem de impor algumas limitações, mas apresenta a vantagem de que as principais características do produto já foram testadas, antes de se iniciar o dispendioso desenvolvimento de um sistema modular.

Este trabalho tem como tema a modularização aplicada ao projeto e manufatura sustentável de produtos, visando fortalecer as questões de sustentabilidade do ponto de vista da manufatura do produto, bem como dos recursos materiais envolvidos durante todo o ciclo de vida do produto.

1.2 OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho tem como objetivo aplicar os princípios de modularização no suporte ao projeto e manufatura sustentável de produtos utilizando o método do Desdobramento da Função Modular (*Modular Function Deployment* – MFD) proposto por Erixon (1998), bem como realizar a modularização de um produto específico.

A escolha do método MFD deve-se principalmente ao fato de que ainda hoje muitas empresas, principalmente de pequeno e médio porte, ainda não possuem metodologias de projetos modulares em seu domínio ou a sua disposição, podendo assim este método, auxiliar no desenvolvimento de seus projetos de forma clara e objetiva, sem custos elevados com aquisição de softwares complicados e de difícil acesso. Este método utiliza matrizes de relativa simplicidade, mas que no final resultam em importantes informações a cerca da modularização de produtos.

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Analisar as etapas do método MFD e verificar de que maneira elas interferem no projeto do produto, com enfoque especial na manufatura sustentável.
- Agregar critérios de ponderação e pontuação no método MFD que incluam a manufatura e a sustentabilidade dos produtos, fazendo com que tenham poder de decisão nas escolhas.
- Considerar nestes critérios os aspectos que possam garantir que a manufatura sustentável esteja presente desde o início do projeto de modularização.
- Realizar a modularização do produto de acordo com os novos critérios agregados ao MFD e comparar com os critérios de modularização convencionais utilizados.

Para isto, inicialmente é realizada uma revisão bibliográfica sobre métodos e aplicações da modularização como suporte ao projeto e manufatura de produtos, buscando particularmente métodos que tenham como foco a manufatura sustentável como forma de projeto modular.

Após este estudo teórico, as etapas da metodologia MFD são analisadas de maneira a verificar como cada uma delas interfere no projeto do produto, com enfoque especial nos aspectos relacionados à manufatura sustentável. Outro passo importante é a agregação de critérios de ponderação e pontuação no método MFD que incluem a manufatura e a sustentabilidade dos produtos, tornando esses critérios decisivos nas escolhas que envolvam processos, materiais e meio-ambiente. São considerados nestes critérios os aspectos de montagem / desmontagem, reutilização, remanufatura / recondicionamento, descarte (materiais utilizados), padronização de componentes, manufatura / produção, e marketing verde, de forma a garantir que a manufatura sustentável esteja presente desde o início do projeto de modularização.

Realiza-se então a modularização da garra giratória para bobinas de acordo com os novos critérios agregados ao MFD, e faz-se uma comparação com os critérios de modularização convencionais.

As contribuições deste trabalho podem ser classificadas em três classes: contribuições acadêmicas, industriais e sustentáveis.

Contribui-se academicamente por meio da realização de um amplo levantamento bibliográfico sobre a modularização de produtos considerando-se a manufatura sustentável, buscando informações e dados sobre o tema com a finalidade de gerar uma nova proposta de modularização desenvolvida durante a execução deste trabalho.

Do ponto de vista industrial, trata-se de um trabalho que propõe um novo foco de modularização, com enfoque na manufatura sustentável, aspecto este que as empresas de manufatura têm dado uma atenção especial nos últimos anos. O enfoque na sustentabilidade também tem por finalidade permitir que empresas utilizem plena ou parcialmente o método proposto, de maneira a incluir aspectos de sustentabilidade em seus projetos.

A contribuição do ponto de vista de sustentabilidade corresponde a buscar conscientizar as empresas e seus projetistas da importância de incluir a modularização no projeto de seus produtos, considerando-se a utilização de tecnologias sustentáveis, formas limpas de manufatura e materiais que não agredem o meio-ambiente. Adicionalmente, deve-se prever que o destino de um determinado produto, após seu uso, permita uma fácil desmontagem, a reutilização de componentes em novos

produtos, a reciclagem dos componentes, etc., o que é extremamente importante para a sociedade.

1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Segundo Silva e Menezes (2001), de uma forma bem simples, a pesquisa pode ser definida como a procura de respostas para indagações propostas. Portanto, a pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos, a qual é realizada quando se tem um problema e não se tem informações para solucioná-lo.

Para Gil (2002), descreve a pesquisa como sendo um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, cujo objetivo principal é descobrir respostas para problemas através da utilização de procedimentos científicos.

Do ponto de vista da natureza, a pesquisa se enquadra como aplicada, ou seja, o objetivo geral desta pesquisa é a estruturação do conhecimento para a aplicação prática da solução de um problema específico. Assim, a pesquisa aplicada fundamenta o desenvolvimento da pesquisa tecnológica, onde o problema é delimitado por uma realidade dentro do contexto da empresa. (SILVA; MENEZES (2001), GIL (2002), RICO (2009), NETTO (2005)).

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema a pesquisa pode ser considerada como qualitativa, ou seja, considera que existe uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas neste processo, por isso não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave, e por ser descritiva, os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente.

Do ponto de vista de seus objetivos, segundo Silva e Menezes (2001), e Gil (2002), esta pesquisa se enquadra como exploratória, pois proporciona maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

De acordo com Silva e Menezes (2001), e Gil (2002), com relação aos procedimentos técnicos é considerada uma pesquisa experimental, ou seja, consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que são capazes de influenciá-lo, e definir as

formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução: é realizada a contextualização do tema proposto de estudo, bem como são elencados os objetivos do trabalho e suas contribuições.

Capítulo 2 – Projeto de Produtos Modulares: este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica acerca do projeto e desenvolvimento de produtos, iniciando pela definição de conceitos relativos ao processo de modularização, a apresentação de suas vantagens e desvantagens, os métodos empregados para realizar a modularização, e apresentação de alguns exemplos de aplicação de projetos modulares.

Capítulo 3 – Projeto de Produtos e a Manufatura Sustentável: neste capítulo o desenvolvimento de produtos modulares é apresentado a partir de uma visão de sustentabilidade, ou seja, o projeto de produtos considerando a manufatura sustentável. Também é abordado o ciclo de vida do produto sob uma perspectiva ambiental.

Capítulo 4 - Proposta de Sistemática para Projeto de Produtos Modulares para um Sistema de Movimentação e Manuseio de Bobinas: nesse capítulo é aplicada a sistemática proposta para o Desdobramento da Função Modular ao projeto e manufatura sustentável de produtos de uma empresa do setor metal-mecânico. Também nesse capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos com a modularização do produto alvo do estudo.

Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações: nesse capítulo são apresentadas as conclusões deste estudo, bem como sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

2. PROJETO DE PRODUTOS MODULARES

Desenvolver e projetar produtos são atividades de interesse da engenharia que abrangem quase todos os campos da atividade humana, aplicam leis e conhecimentos das ciências humanas, se apoiam no conhecimento prático especializado, são em grande parte exercidas sob responsabilidade pessoal, e criam os pressupostos para a concretização de ideias da solução (PAHL e BEITZ *et al.*, 2005).

Um projeto pode ser entendido como um empreendimento com começo, meio e fim bem definidos, seguindo a orientação do plano estratégico da empresa, e com o objetivo claro de criar um produto ou serviço bem delimitado. Desta forma, as atividades de planejamento do projeto, de forma genérica, devem empreender esforços no sentido de identificar todas as atividades, recursos e a melhor forma de integrá-los para que o projeto siga em frente com o mínimo de erros. (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Pahl e Beitz *et al.* (2005) descrevem a atividade de projetar segundo três pontos de vista abaixo descritos:

Do ponto de vista da psicologia do trabalho, projetar é uma atividade intelectual, criativa, que requer uma base segura de conhecimentos nas áreas de matemática, física, química, mecânica, termodinâmica, mecânica de fluidos, eletrotécnica, assim como de tecnologias de produção, ciência dos materiais, e ciência do projeto, como também conhecimentos e experiências no campo a ser trabalhado. Concomitantemente, força de vontade, prazer em decidir, senso econômico, perseverança, otimismo e disposição em fazer parte de equipes são qualidades úteis, porem imprescindíveis para projetistas em postos de responsabilidade.

Do ponto de vista metodológico, projetar é um processo com objetivos pré-determinados, e condicionantes que em parte conflitantes. Os requisitos variam em função do tempo, de modo que uma solução de projeto só pode ser objetivada ou almejada sob as condicionantes existentes na época da solicitação.

Do ponto de vista organizacional, o projeto participa de forma significativa do ciclo de vida de um produto. O ciclo inicia por uma demanda do mercado ou por uma vontade, começando pelo planejamento do produto e, após a sua utilização, terminando na reciclagem ou num outro tipo de descarte, como mostra a Figura 2.

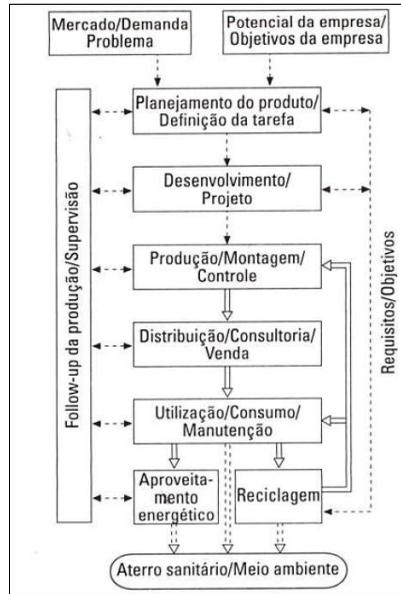


Figura 2 - Vida de um produto. Fonte: Pahl e Beitz *et al.* (2005)

Segundo Baxter (2000), os estágios iniciais são os mais importantes no processo de desenvolvimento de novos produtos. Nesta etapa, os gastos com o desenvolvimento ainda são relativamente pequenos, a introdução de mudanças em etapas posteriores, como na fase de engenharia de produção, pode implicar em refazer matrizes de custo bastante elevados. A Figura 3 mostra que a taxa de retorno nos estágios iniciais do desenvolvimento é bem mais favorável que nos estágios posteriores.

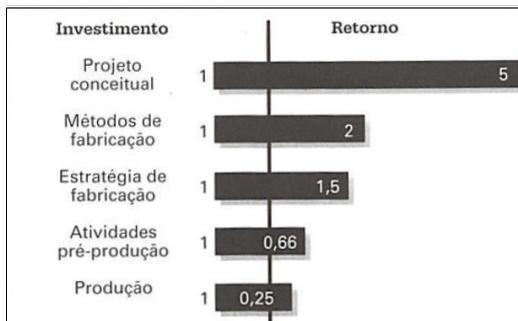


Figura 3 - Taxas de retorno dos investimentos nos diferentes estágios de desenvolvimento de novos produtos. Fonte: Baxter (2000).

A chave do sucesso no desenvolvimento do produto consiste em investir mais tempo e talento durante os estágios iniciais, quando custam pouco. Qualquer modificação em estágios mais avançados requer custos muito maiores, ou seja, é mais barato mudar no papel do que em modelos e protótipos. A Figura 4 mostra como os custos de desenvolvimento são pequenos nos estágios iniciais, começam a crescer durante a configuração e detalhamento, e sobem quase verticalmente no início da fabricação. Entretanto, os custos orçamentados seguem um padrão diferente, pois significam decisões para gastos futuros. A decisão mais importante nesse sentido ocorre nas etapas iniciais de desenvolvimento. Quando se chega ao projeto detalhado, grande parte do custo deve estar orçamentado, embora ainda não se tenham efetivado os gastos (BAXTER, 2000).

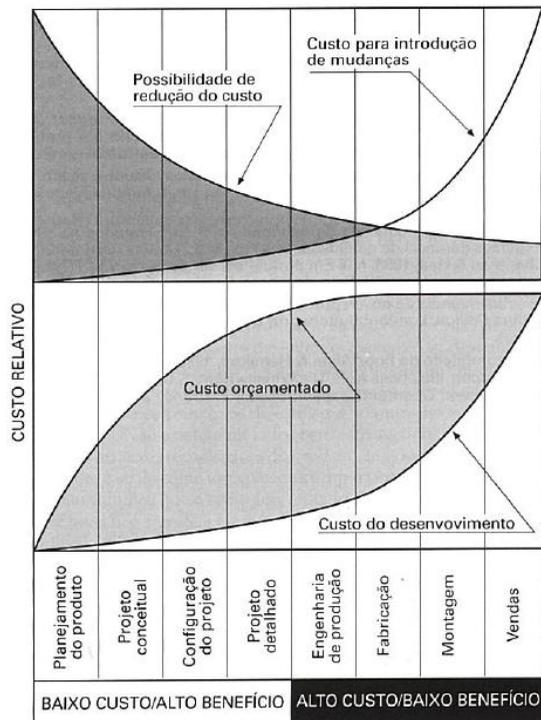


Figura 4 - Custos e benefícios em diferentes estágios do processo de desenvolvimento. Fonte: Baxter (2000).

De um modo geral, desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo. O desenvolvimento de produto também envolve as atividades de acompanhamento do produto após o lançamento para, assim, serem realizadas as eventuais mudanças necessárias nessas especificações, planejada a retirada do produto no mercado, e incorporadas, no processo de desenvolvimento, as lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Para Pahl e Beitz *et al.* (2005), se o programa de um produto prevê o atendimento de diversas funções, isto acarreta uma multiplicidade de produtos para um projeto específico, o que se traduz num custo relativamente elevado do projeto e da produção. A racionalização consiste em que a variante exigida seja constituída por uma combinação de componentes e/ou subconjuntos específicos. Essa combinação é realizada aplicando o princípio modular.

Rozenfeld *et al.* (2006) considera um produto modular quando suas partes (módulos) podem ser testadas de forma independente, e suas interfaces (a forma de conexão entre os módulos do produto) foram desenvolvidas de maneira padronizada. Do ponto de vista do usuário, um módulo pode ser visto como uma caixa-preta, a qual engloba um ou mais sistemas, subsistemas, ou componentes do produto, e que pode ser facilmente substituído por outro módulo, contanto que seja respeitada a interface (conjunto de entradas, saídas e fixações especificadas durante o projeto).

Este capítulo apresenta a pesquisa bibliográfica realizada sobre os métodos de projeto modular, e a modularização como suporte ao projeto e manufatura sustentável de produtos, identificando os principais tópicos relacionados ao problema principal.

2.1 MODULARIDADE / MODULARIZAÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS

A correta distinção entre a modularidade e a modularização é de vital importância para o entendimento do tema proposto. A modularização é a decomposição de um produto em blocos (módulos) com interfaces especificadas, impulsionados por motivos específicos da empresa. Já a modularidade surge a partir da decomposição de um

produto em subconjuntos e componentes (PADAMATI (2004), *apud* Erixon *et al.* (2004)).

A seguir são descritas algumas expressões e termos técnicos acerca das metodologias utilizadas no desenvolvimento de produtos modulares (adaptado de FLEIG, 2008):

- a) Sistema: Arranjo de um grupo de blocos distintos que interagem entre si e com outros blocos, de maneira dinâmica, visando atender uma determinada função global, num dado ambiente.
- b) Módulo: Blocos distintos com interfaces padronizadas, intercambiáveis entre si, que quando combinados uns com outros atendem diferentes funções globais, ou seja, geram uma família de produtos que atendem diferentes desejos e necessidades.
- c) Sistema modular: Conjunto de blocos distintos com interfaces padronizadas, intercambiáveis entre si, que quando combinados uns com outros atendem diferentes funções globais, ou seja, atendem diferentes grupos de desejos e necessidades.
- d) Interfaces: São as formas ou os meios de união, comunicação ou de transmissão de energia, material e sinal que permitem que os módulos se acoplem uns aos outros a fim de gerar diferentes produtos ou sistemas.
- e) Variância do módulo: Realização física de um módulo definida por especificações técnicas e desenhos. Um módulo pode ter uma variância ou várias variâncias, de acordo com as interfaces especificadas para o módulo.
- f) Intercambiabilidade: Troca ou permutação de módulos dentro de um mesmo produto ou sistema, visando conferir-lhes melhores características ou desempenhos.
- g) Modularidade: Termo técnico utilizado dentro do projeto de sistemas modulares para expressar a intercambiabilidade (facilidade de troca, permutação) entre os módulos, a fim de gerar a família de produtos, a qual é obtida através da padronização das especificações das interfaces desses módulos.

- h) Modularização: Decomposição de produtos e/ou modelos acabados numa lista de itens, que serão rearranjados dentro de módulos, normalmente um grupo de itens os quais podem ser planejados como um grupo.
- i) Função: É uma descrição abstrata e genérica de uma verdade, que busca reunir partes de um todo em si, através de grandezas de entrada, saída e de estado de um sistema, para o desempenho de uma tarefa.

A origem de produtos com características modulares surgiu no início do século XX. Em 1932 o arquiteto belga De Koninck iniciou uma nova concepção no projeto de móveis. O projeto consistia em uma série de elementos funcionalmente padronizados que combinados se ajustavam ao ambiente (GIMENEZ, 2008). A modularidade surgiu como vantagem competitiva na indústria de computadores na década de 1960, sendo de grande importância no processo de desenvolvimento de produto (ARNHEITER & HARREN, 2006).

Baldwin e Clark (2000 *apud* LOPES, 2007) definem a modularidade como uma estratégia para construir processos ou produtos complexos a partir de pequenos subsistemas que podem ser desenvolvidos individualmente, mas que funcionam como um conjunto integrado. A modularidade pode ser usada para simplificar e facilitar o projeto do sistema de produção ou produtos.

Um sistema modular tem por objetivos: facilitar o gerenciamento de produtos e processos por meio da divisão em módulos; possibilitar a realização de atividades em paralelo, já que os módulos podem ser manufaturados simultaneamente; e adaptar a produção às incertezas de demanda futura, pois o produto final pode ser modificado pela adaptação de qualquer dos módulos, o que pode exigir menor consumo de recursos (BALDWIN e CLARK, 2004).

Para ajudar a compreender a modularidade, é necessário explicitar que a arquitetura de um produto é a forma com que os elementos funcionais (relacionados à operação desse produto) são atribuídos aos elementos físicos (subsistemas e componentes). O conceito de modularidade influencia e transforma a lógica de estruturação desta arquitetura, contrapondo a arquitetura integral (tradicional) à modular. Por um lado, na arquitetura integral os elementos funcionais e suas interações estão estritamente entrelaçados, isto é, existe grande interdependência e acoplamentos do ponto de vista de arquitetura do produto entre esses componentes. Sendo assim, caso um componente específico seja substituído por alguma razão, é

necessário que haja uma reformulação completa do produto, redefinindo o entrelaçamento dos elementos funcionais e físicos, o que significa um projeto mais complexo para o novo produto. Por outro lado, ao se analisar a arquitetura modular, verifica-se que um conjunto de elementos físicos é responsável por poucos elementos funcionais. Neste sentido, a modularidade pode ser compreendida como sendo uma estratégia de engenharia que procura considerar o produto final como sendo a união de subsistemas mais simplificados (BALDWIN e CLARK, 1997).

A modularidade pode ser classificada em três categorias (BALDWIN e CLARK, 2000 *apud* MIGUEL, NETTO, MARIOKA, 2009): de projeto, de processo ou de uso. A modularidade de projeto é também conhecida como modularidade de produto, pois é a partir dela que se definem os módulos de cada produto e os componentes que fazem parte de cada um deles. É nesse momento que a função de cada subsistema é especificada, assim como são pré-definidos os elementos de interface. Já a modularidade de processo, que também é conhecida como modularidade de produção, está relacionada ao processo produtivo propriamente dito, simplificando os processos de produção, os quais podem ser subdivididos em etapas definidas conforme os módulos. Como reflexo disso, os fornecedores podem ser responsabilizados por alguns processos de submontagem e testes (CAMUFFO, 2000). Por fim, a modularidade de uso é aquela que possibilita a adaptação do produto final ao cliente, por meio do rearranjo dos módulos (BALDWIN e CLARK, 2000 *apud* MIGUEL, NETTO, MARIOKA, 2009).

Sistemas modulares oferecem possibilidades de racionalização para diversas situações. Para Pahl e Beitz *et al.* (2005), se o plano de um produto prevê o atendimento de diversas funções, isto acarreta uma multiplicidade de produtos para um projeto específico, o que se traduz num custo relativamente elevado do projeto e da produção. A racionalização consiste em que a variante exigida seja constituída por uma combinação de componentes e/ou subconjuntos específicos (blocos de função). Essa combinação é realizada aplicando-se o princípio modular.

Segundo Prieto e Miguel (2006) um produto modular tem componentes individuais, os quais são projetados independentemente, mas que funcionam como um todo quando interconectados. Holtã *et al.* (2003) apresentam um levantamento com diversos autores que abordam as seguintes vantagens da modularidade na arquitetura de produto: a) economia de escala, escopo no recebimento de componentes; b) flexibilidade que proporciona maior grau de variações nos produtos e desenvolvimento de tecnologias sem alterações em todo o projeto; c)

flexibilidade que permite desenvolvimento independente de módulos aplicados em projetos em andamento ou sobreposição de projetos; d) projetos colaborativos ou na compra de módulos de um fornecedor; e) gerenciamento de arquiteturas complexas de produtos utilizadas para criar famílias de produtos com economias nos custos e testes de projeto, e um novo modelo de organização com a configuração de equipes de projetos independentes.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE PROJETOS DE PRODUTOS MODULARES

O projeto de produto modular, de acordo com Ulrich e Eppinger (*apud* FLEIG, 2008) deve possuir as seguintes características:

- Cada elemento funcional do produto é constituído por peças que apresentam poucas interações com outras partes do mesmo produto;
- O projeto de produto modular permite que alterações de projeto possam ser feitas em uma peça, sem que esta alteração afete as demais funções do produto.

Segundo Pahl e Beitz *et al.* (2005), a experiência mostra que, com sistemas modulares, podem ser reduzidas sobretudo as despesas gerais (gastos com quantidade e qualificação de pessoal) e, em menor proporção, os custos de material e de mão de obra de fabricação, uma vez que, em comparação com versões específicas, o princípio modular pode levar a acréscimos no peso e no volume dos blocos e, conseqüentemente, das variantes. Ao desenvolver um sistema modular com o objetivo de que toda a variante da função deva ser economicamente mais vantajosa do que um produto desenvolvido especialmente para essa tarefa, o trabalho de desenvolvimento poderá ser reduzido.

2.2.1 Vantagens da modularização

Como resultado do desenvolvimento de projetos de produtos considerando uma visão modular, pode-se descrever alguns benefícios: (adaptado de Fleig 2008, *apud* Ericsson e Erixon, 1999)

- a) *Ampliação da variedade de produtos*: Modularidade é um conceito versátil que pode ser utilizado para resolver uma grande variedade de problemas de projeto. Em alguns casos, a

simplificação do processo de projeto pode ser a melhor alternativa; em outros, o propósito da modularidade pode ser ganho de escala e de produção, reduzindo custos produtivos. A modularidade pode suportar a customização em massa, ou seja, oferecer produtos de acordo com a necessidade e desejo do cliente, com custos comparáveis aos de produção em massa. A estratégia, nesse tipo de produção, é dividir o projeto de produto e o processo de produção em plataformas comuns para toda uma família de produtos e oferecer acessórios específicos para um consumidor ou para um pequeno grupo de consumidores. Comumente, as empresas têm optado por processos que suportam a produção de forma padronizada. Combinar customização com produção em massa parecia ser, a princípio, paradoxal, mas modularidade pode ser a chave para atingir customização em massa, levando a custos mais baixos.

- b) *Redução dos investimentos e custos de desenvolvimento:* Projetos modulares reduzem custos de produtos pelo compartilhamento de funções em componentes que podem ser utilizados em diversos modelos, ou mesmo linha de produtos. Produtos com projeto modular podem oferecer maior variedade sem adicionar complexidade excessiva no sistema produtivo. Um exemplo muito claro desse tipo de produto corresponde aos relógios Swatch, em que centenas de diferentes modelos são produzidos, alcançando essa variedade com custos relativamente baixos, combinando módulos padronizados de forma diferente. Os custos de desenvolvimento de novos produtos também podem ser reduzidos pela comunalização de plataformas e componentes, como a indústria automobilística, sem prejuízos ao modelo que querem lançar, mas com enormes vantagens em relação aos demais concorrentes.
- c) *Desenvolvimento rápido da tecnologia:* Uma vez que a modularidade possibilita grande flexibilidade, ela permite, então, que diversas novas combinações possam ser feitas e uma nova e grande variedade de produtos possa ser desenvolvida. Em consequência, avanços mais rápidos em termos de desenvolvimento de tecnologia ocorrem, pois a empresa consegue, desta maneira, responder mais rapidamente às expectativas do consumidor. Os componentes e a

tecnologia envolvida em seu desenvolvimento, ou mesmo a tecnologia embarcada nos componentes, também passam a ser beneficiados em termos de rapidez de melhorias em razão da modularidade e suas possibilidades.

- d) *Facilidade de manutenção, reparos e reciclagem*: As operações de manutenção, reciclagem e de reparos tornam-se mais fáceis nos módulos. Em termos de manutenção e reparos o aumento da facilidade está por conta do fato de os módulos conservarem independência de forma que um reparo num módulo possa ser feito sem afetar o sistema como um todo. Uma solução encontrada para um problema em um módulo pode ter mínima ou nenhuma interferência nos demais. Em termos de reciclagem, a limitação do número de materiais empregados e a preocupação com a utilização de materiais não hostis ao meio-ambiente, facilita a desmontagem do produto.
- e) *Gerenciamento das incertezas*: A arquitetura modular pode ser utilizada para gerenciar incertezas do mercado. A cada dia torna-se mais difícil prever com certeza as preferências e o comportamento do consumidor. A agilidade no desenvolvimento de produto, dada pela flexibilidade modular, com possibilidades de ampliação da gama de variação de produtos, caracteriza-se como uma grande vantagem competitiva atual e futura.
- f) *Melhor integração entre os objetivos de marketing e das áreas técnicas*: a modularidade pode apresentar soluções para o atendimento do desejo do consumidor e elas podem estar presentes em módulos ou componentes específicos. Dessa forma, o papel estratégico de cada componente está bem definido o que torna mais fácil para as áreas técnicas identificarem possíveis problemas no produto. Em outras palavras, pode-se fornecer melhor qualidade por meio da decomposição do projeto para simplificar o problema total. Algumas vezes a complexidade do problema pode ser reduzida em problemas menores que se tornam mais fáceis de serem solucionados. Uma vez encontrada a solução para um problema menor, decomposto do problema principal, aumentam as chances de encontrar-se a solução para outros problemas até resolvê-los como um todo.

Para Pahl e Beitz *et al.* (2005), as vantagens de sistemas modulares podem também ser percebidas considerando-se o ponto de vista dos fabricantes e também por parte dos usuários dos respectivos produtos.

a) Para os fabricantes, resultam vantagens em praticamente todos os setores da empresa:

- Para ofertas, planejamento e fabricação, uma documentação de produção já preparada encontra-se à disposição. O esforço de projeto é necessário apenas uma vez, o que, com relação ao trabalho requerido de preparação, pode ser uma desvantagem.
- Custo de projeto vinculado a um pedido somente é gerado para itens adicionais não previstos.
- Possibilidade de combinação com não blocos.
- É possível a simplificação da preparação do trabalho em um melhor controle dos prazos de entrega.
- O sequenciamento de um pedido no departamento de projeto e produção pode ser abreviado com o auxílio da produção simultânea condicionada pelos blocos, além da maior agilidade no fornecimento.
- O sequenciamento de um pedido auxiliado por computador é facilitado.
- É possível a simplificação de orçamentos.
- Os blocos poderiam ser fabricados em tamanhos ótimos de lotes independentemente de um pedido, o que poderia conduzir, por exemplo, a meios e métodos de produção mais econômicos.
- Condições de montagem favoráveis em decorrência de um desdobramento adequado em subconjuntos.
- Possibilidades de emprego de tecnologia modular nos diversos estágios de concretização do processo produtivo, tais como elaboração de desenhos e listas de peças (portanto, no setor de projeto), na elaboração dos planos de trabalho, na aquisição de peças brutas e semi-acabadas, da produção até a montagem final e também na distribuição.

- b) Para os usuários, também são percebidas algumas vantagens:
- Menores prazos de entrega.
 - Melhores possibilidades de substituição e consertos.
 - Melhor serviço de peças de reposição.
 - Posteriores modificações e extensões da função dentro dos limites do espectro das variantes.
 - Possibilidades de falhas praticamente eliminadas, dado o amadurecimento do produto.

2.2.2 Desvantagens da modularização

Pahl e Beitz *et al.* (2005) também distinguem as desvantagens entre o fabricante e o usuário:

- a) Para o fabricante, o limite de um sistema modular é atingido quando o desdobramento em blocos acarreta deficiências técnicas e prejuízos financeiros:
- Uma adaptação a vontades especiais do cliente não é tão amplamente possível como em projetos específicos (perda de flexibilidade e da sinalização do mercado).
 - Um trabalho de projeto, prévio e abrangente, é necessário uma única vez.
 - Frequentemente, por causa disso, estando a construção definida, os desenhos de execução somente serão elaborados após o recebimento da ordem de serviço.
 - Assim, o acervo dos desenhos de um programa de construção vai se completando gradativamente.
 - Modificações de produtos só se justificam economicamente com grandes intervalos de tempo, pois os custos de desenvolvimentos únicos são elevados.
 - Mais pronunciadamente do que em construções específicas, a configuração técnica é determinada pela configuração dos blocos e seu grau de desdobramento.

- Maior trabalho de produção, p.ex., superfícies de ajuste. Melhor qualidade de produção, pois o retrabalho está excluído.
- São necessários maior trabalho na montagem e maior cuidado na produção.
- Em muitos casos a definição de um sistema modular ótimo é difícil, já que deve-se levar em conta não só os pontos de vista do fabricante, mas também os do usuário.
- Combinações raras para atendimento de variantes incomuns da função global, no âmbito de um programa modular, podem ser economicamente mais desfavoráveis do que uma versão específica executada exclusivamente para essa tarefa.

b) Desvantagens também são percebidas pelo usuário:

- Desejos especiais do usuário são difíceis de atender.
- Determinadas características de qualidade podem ser mais desfavoráveis do que para versões específicas.
- Em parte, devido aos maiores pesos e volumes que os de um produto desenvolvido especialmente para a variante da função, em certas circunstâncias, aumentam o espaço requerido e o custo da fundação.

2.3 MÉTODOS DE MODULARIZAÇÃO APLICADOS AO PROJETO DO PRODUTO

Modularizar produtos, isto é, tornar os produtos modulares, tem sido discutido como uma forma de trazer benefícios às empresas de manufatura. Modularizar não é uma tarefa fácil, pois os projetistas de sistemas modulares têm que conhecer os mecanismos internos do produto global para desenvolver regras necessárias para executar as funções modulares (BALDWIN e CLARK, 2000 *apud* GIMENEZ, 2008). A seguir são descritos alguns dos métodos de modularização de produtos que podem ser utilizados no projeto de produtos:

2.3.1 Projeto Fractal de Produto (FPD) (Pirrung, 2004):

Um fractal é definido como um módulo independente com funcionalidade precisamente definida (KAHMEYER, WARNECKE E SCHNEIDER 1994, *apud* PIRRUNG, 2004). O método contém cinco passos:

- 1º. Análise do produto, onde as relevâncias são estabelecidas e os produtos e estruturas funcionais são analisados, tendo como resultado a definição dos representantes das duas estruturas.
- 2º. Criar os projetos conceituais dos produtos fractais alternativos.
- 3º. Criar o projeto conceitual de interfaces.
- 4º. Avaliar e validar o método de produto fractal com critérios de avaliação tais como qualidade, montagem e desmontagem, o projeto para a função de produção, entre outros.
- 5º. Reprojeto e melhorias do fractal.

A avaliação dos fractais mostra os pontos fracos que devem ser melhorados nesta etapa. Ferramentas como o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) podem auxiliar na aplicação deste método.

2.3.2 Modelando a Modularidade do Produto (MPM) (Pirrung, 2004):

Este método baseia-se em uma matriz algébrica, onde duas matrizes são usadas para estruturar as interações entre as partes do produto e estruturar a combinação de interações, gerando um módulo que é a base direcionada pelo foco da modularidade, por exemplo: reciclagem. Duas matrizes são criadas com o mesmo número de linhas que as partes especificadas do módulo. Cada interação entre duas partes é marcada na matriz, o mesmo na matriz combinada. A matriz de interação é rearranjada de forma triangular, deixando para baixo os pontos marcados. A matriz combinada é rearranjada de forma que linhas e colunas tenham a sequência da matriz de interação. As partes marcadas combinadas ao longo da diagonal são combinadas em um módulo.

2.3.3 Matriz de Estrutura de Projeto (DSM) (Pirrung, 2004):

Este método pode analisar diferentes estágios do processo de modularização e consiste em três etapas. Na primeira etapa o sistema é decomposto e as relações entre os elementos são estabelecidas. Após esta etapa, uma matriz pode ser criada com os elementos descobertos nas linhas e nas colunas na mesma ordem e as relações entre os elementos são marcados na matriz. Na próxima etapa, a Matriz de Estrutura de Projeto deve ser particionada. Nesta etapa a matriz é transformada em uma matriz com a parte inferior triangular e é rearranjada de forma que as marcas estejam o mais próximo possível da diagonal da matriz. Isto deve ser feito com a ajuda de um algoritmo. Agora, a matriz mostra quais elementos são paralelos, sequenciais, e que têm de ser acoplados, de acordo com as marcas na matriz em torno da diagonal. A partir disso, os módulos podem ser criados.

2.3.4 Desenvolvimento Modular do Produto (MPD) (Pirrung, 2004):

O método de desenvolvimento modular do produto consiste em seis etapas:

- 1°. Clarificar a tarefa. Nesta etapa as funções gerais do sistema modular têm de ser clarificadas de maneira tecnológica e financeira.
- 2°. Estabelecer as estruturas funcionais. Nesta etapa as funções globais são divididas em subfunções, que de acordo com as suas funções podem ser divididas em quatro grupos: básicas, auxiliares, especiais e adaptáveis.
- 3°. Criar os princípios de solução e as variantes de conceito. Nesta etapa princípios de solução devem ser criados para a execução das subfunções de tal forma que eles sejam capazes de fornecer variantes sem alterações no princípio de trabalho e no projeto básico.
- 4°. Selecionar e avaliar as variantes do conceito de forma técnica e financeira para que o conceito mais favorável possa ser selecionado. Para avaliar as variantes corretamente todas as propriedades de um produto têm que ser claras.
- 5°. Preparar os layouts dimensionados. Nesta etapa as soluções escolhidas devem ser projetadas com suas funções e seus

requisitos de produção. Os custos devem igualmente ser levados em consideração nesta etapa.

6º. A última etapa consiste na elaboração da documentação.

2.3.5 Projeto Axiomático (AD) (Dedini, 2000 e Pirrung, 2004):

Embora Pirrung (2004) considere o Projeto Axiomático semelhante em sua abordagem aos métodos de modularização, o autor o considera mais como um método de concepção geral do que um método de modularização propriamente dito.

Contudo, Dedini (2000) considera que este método procura delimitar o projeto de sistemas através de axiomas e presume que haja uma linguagem comum de pensamento a todos os campos de criação, consistindo de definições de palavras, dados específicos e conhecimento. O método presume a existência de quatro domínios:

- 1º. Domínio do consumidor, composto pelas necessidades do consumidor.
- 2º. Domínio Funcional, que é o conjunto de vetores representando os requisitos funcionais, que responderão às necessidades dos consumidores.
- 3º. Domínio Físico, que é o conjunto de vetores que representam os parâmetros de projeto, que preenchem os requisitos do domínio funcional.
- 4º. Domínio do processo, que é o conjunto de vetores que representam as variáveis do processo que controlaram os parâmetros de projeto do domínio físico.

2.3.6 Desdobramento da Função Modular (MFD) (Erixon, 1996):

Esta metodologia permite a qualquer empresa a oportunidade de especificar suas próprias razões especiais e sistematicamente escolher o design modular em conformidade com estas razões. A Figura 5 apresenta a metodologia MFD (*Modular Function Deployment*), um método abrangente e sistemático para o processo de criação do projeto modular do produto. Este método consiste em cinco passos, os quais são descritos a seguir.

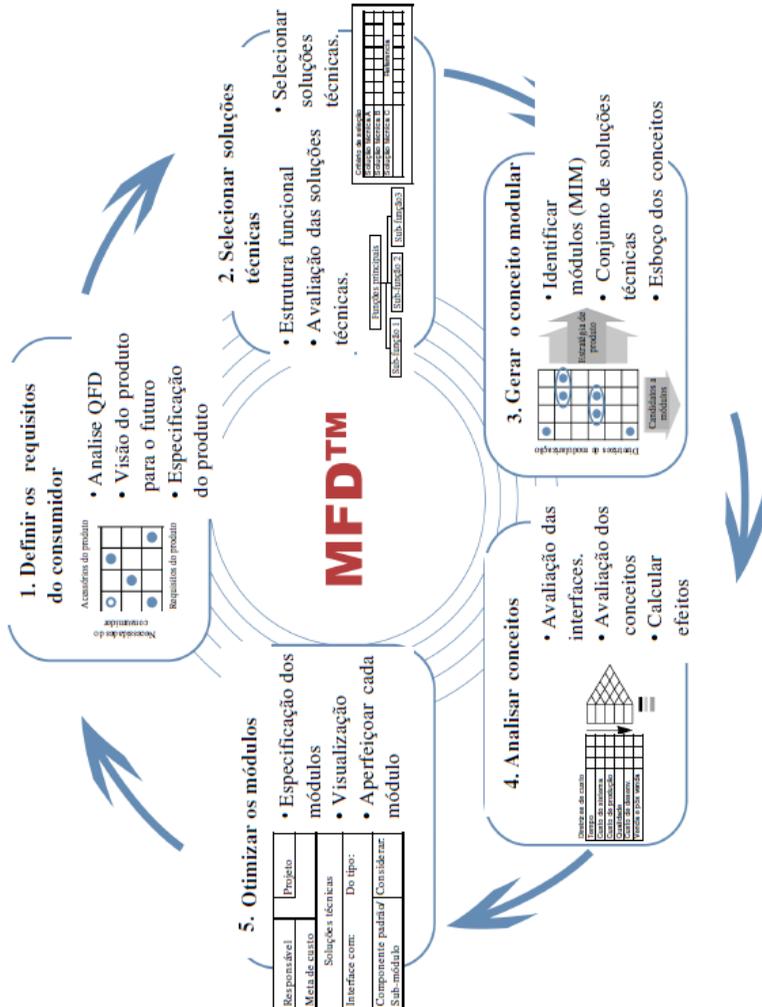


Figura 5 - Visão geral do método MFD proposto por Erixon (1996).

Fonte: Fleig (2008).

Passo 01: Esclarecer a especificação do projeto do produto utilizando a matriz QFD (*Quality Function Deployment*), com “modularidade” colocada como a primeira exigência de projeto (Figura 6). Isso é preferível para obter a “mentalidade” correta dos participantes da equipe já a partir do início.

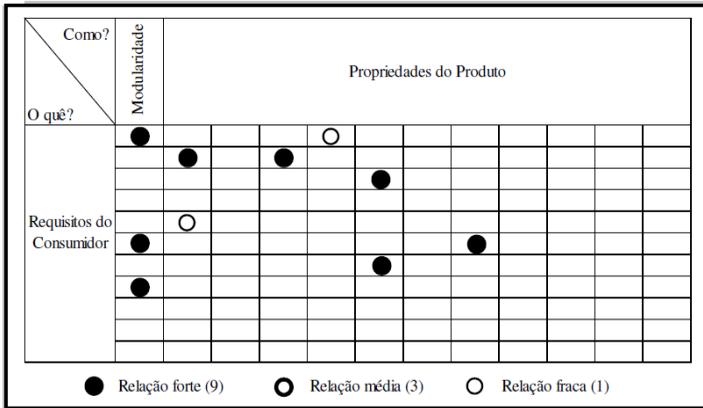


Figura 6 - Matriz QFD simplificada. Fonte: Fleig (2008).

Passo 02: Selecionar as soluções técnicas usando a Matriz de seleção de Pugh. Durante a decomposição funcional do produto, várias soluções técnicas para uma determinada função podem ser encontradas e uma escolha deve ser feita. A Matriz de seleção de Pugh (Figura 7) é uma boa forma de estruturar e representar as vantagens e desvantagens das diferentes alternativas. Desta etapa irá resultar uma árvore de funções para o produto, que representa sua estrutura funcional e as soluções técnicas a partir da qual a plataforma do produto deve ser construída (Figura 8).

Concepções e Soluções Técnicas	Critérios de Avaliação						soma +	soma -
	Critério 1	Critério 2	Critério 3					
Alternativa A	+	-	+	-	+			
Alternativa B	+	+	-	-	-			
	Referência							

Figura 7 - Exemplo de Matriz de seleção de Pugh. Fonte: adaptado de Ericsson e Erixon (2006).

Passo 03: Gerar o conceito modular: nesta fase do método MFD as soluções técnicas são transferidas para a Matriz de Indicação de Módulo (MIM). Erixon (1996) introduz essa ferramenta para conectar as

diretrizes de modularização com as soluções técnicas de acordo com sua importância para o projeto.

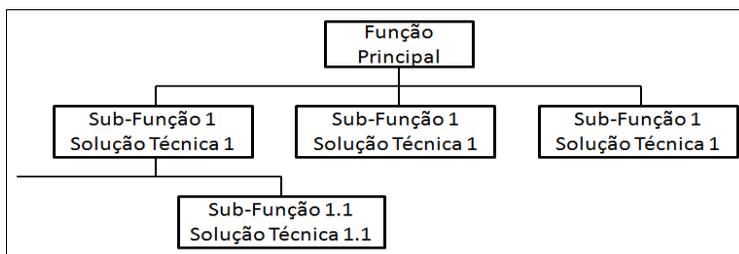


Figura 8 – Árvore de funções. Fonte: adaptado de Ericsson e Erixon (2006).

A matriz MIM para a avaliação de cada função no produto é ilustrada na Figura 9. Essa matriz dá uma indicação de quais funções devem ser módulos. Avaliando as funções (expressas em soluções técnicas) uma a uma, comparando com todas as diretrizes de modularização, de uma forma semelhante ao QFD, obtém-se uma indicação de qual (is) função (ões) possui (em) razões para a formação de um módulo e quão fortes as razões são. As funções que apresentam as maiores pontuações no somatório na vertical da matriz (Figura 9) podem vir a ser modularizadas, bem como os grupos de funções que apresentarem um forte relacionamento com alguma diretriz considerando-se o somatório na horizontal.

- b. Interface de conexão ou fixação (A): define como um módulo se conecta fisicamente a outro módulo. Pode ser através de um adesivo, um parafuso ou rebite, por exemplo.
- c. Interface de transferência (T): define a maneira que um módulo transfere potência (mecânica ou elétrica, fluidos ou outro fluxo primário) para outro componente.
- d. Interface de campo (F): definem os efeitos, frequentemente não intencionais, que a presença ou funcionamento de um módulo podem ter sobre o funcionamento de outro (por exemplo, calor, campos magnéticos, vapores corrosivos, radiação, etc.) ou quando um módulo do próprio produto impõe algum tipo de limitação a outro módulo.
- e. Interface de ambiente (E): define a faixa de condições ambientes de uso (por exemplo, temperatura ambiente, umidade, altura em relação ao nível do mar, etc.) na qual um módulo é projetado para ser utilizado.
- f. Interface de controle e comunicação (C): define a maneira pela qual um módulo informa outro da sua condição atual, ou um módulo envia um sinal de comando para outro módulo.

O preenchimento da matriz é realizado manualmente, sempre em pares de módulos, indicando com a letra correspondente (S, A, T, F, E, C) à interface a respectiva relação entre os módulos. Para os casos em que não há interação entre algum par de módulos, a célula permanece em branco (Figura 10).

Ao final do preenchimento desta matriz, é possível verificar o tipo de montagem que o produto sofrerá. Duas opções podem ser encontradas: montagem do tipo hambúrguer (indicada para montagens automatizadas) ou do tipo unidade base (indicada para montagens manuais). A montagem do tipo hambúrguer possui seus componentes inseridos em uma sequência na qual um componente é depositado sobre o outro. A montagem do tipo unidade base acontece quando um dos módulos apresenta algum tipo de interface com muitos outros módulos, ou seja, utiliza um componente como peça base de encaixe, suportando os demais (ARCHER, 2010 e OLIVEIRA, 2010).

A Figura 10 mostra um exemplo parcial da Matriz de Interface, com os módulos selecionados e as interfaces identificadas no desenvolvimento de um telefone celular.

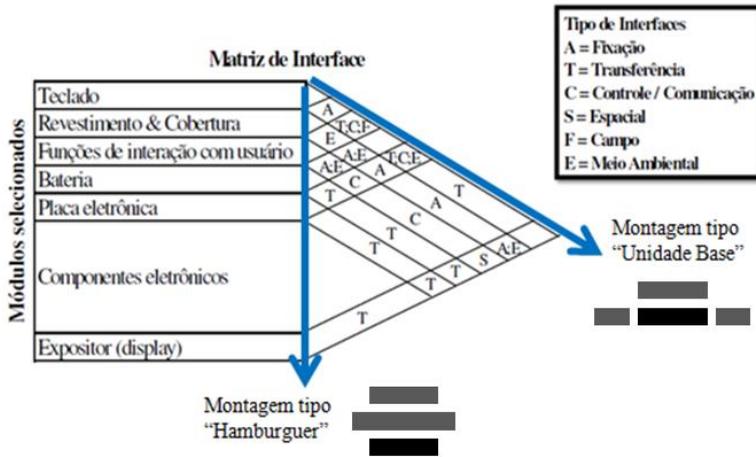


Figura 10 - Exemplo de Matriz de Interface para o desenvolvimento de um telefone celular. Fonte: Adaptado de Fleig (2008).

Passo 05: Aperfeiçoar os módulos: nesta fase os módulos são especificados para fornecer os dados de entrada para o detalhamento do projeto. Especificar e descrever os módulos consiste em reunir em uma planilha de dados todas as fases do processo MFD (FLEIG, 2008). A Figura 11 apresenta um exemplo de especificação de módulo, indicando a origem das informações.

Responsável:	Módulo de entrada e saída de dados		
Objetivos:	<ul style="list-style-type: none"> - Unidade comum - Evolução tecnológica 		
Soluções técnicas:	<ul style="list-style-type: none"> - Display - Teclado 		Origem: MIM
Interface com:	<ul style="list-style-type: none"> - Placa eletrônica - Função de interação com o usuário - Eletrônica Geral 		Origem: Matriz de Interface (MI)
Considerar:	<ul style="list-style-type: none"> - Tamanho, cor, textura da superfície - Resistência ao impacto - Preço - Segurança 		Origem: QFD

Figura 11 - Exemplo de especificação do módulo de entrada e saída de dados de um telefone celular. Fonte: Fleig (2008).

Para a aplicação do seu método, Erixon (1998) condiciona a existência de pré-requisitos como: conhecer os requisitos do consumidor e do mercado; entender a estratégia de curto e longo prazo do negócio, os projetos existentes e o plano de desenvolvimento para o futuro, e a equipe de projeto e especialistas das áreas funcionais que darão suporte ao projeto devem conhecer os conceitos de modularidade.

2.4 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE PROJETOS MODULARES

Rautmann (2009) exemplifica a modularidade e a modularização através de duas diferentes aplicações, as quais são descritas nos dois parágrafos seguintes.

Aplicando a modularidade, a Kodak nos anos 1990 venceu a concorrência com a Fuji e aumentou a sua participação no mercado. A Kodak desenvolveu diferentes modelos de uma mesma plataforma em comum. Entre 1989 e 1990 a empresa reprojetoou seus produtos de modo que compartilhassem módulos e processos de produção em comum, que resultou em reduzido tempo de desenvolvimento de produto e baixos custos de manufatura.

A modularização foi implantada na Mercedes-Benz, no Alabama, no projeto de um utilitário esportivo. Ao invés de gerenciar um sistema complexo com centenas de fornecedores, a empresa estruturou o produto em poucos e grandes módulos. O *cockpit*, por exemplo, incluindo *air bags*, ar condicionado, coluna de direção, volante, etc., formam um módulo separado, fornecido pela Delphi Automotive Systems. A Delphi, por sua vez, é responsável pelo gerenciamento dos fornecedores dos componentes do *cockpit*. As especificações da Mercedes-Benz tornaram-se visíveis para os fornecedores coordenarem as atividades de seus sub-fornecedores.

No caso da empresa Dell computadores, Beronius (2004) comenta que a empresa oferece computadores altamente personalizados para seus clientes. O cliente escolhe como seu computador deve ser configurado através do preenchimento de um formulário e escolha entre alternativas. Quando o formulário é preenchido, a informação é enviada à linha de montagem da Dell onde o computador é montado de acordo com a especificação do cliente. A montagem de módulos faz isso, e isso significa que, segundo Wiegran e Koth (2004, *apud* BERONIUS, 2004), não há computador Dell padrão, embora toda a cadeia produtiva e montagem final sejam altamente padronizadas. No entanto, o computador resultante é altamente individual.

A Dell mostrou ao mundo que a produção de computadores customizados não os torna mais caros do que computadores produzidos em massa, bem como não têm um tempo maior de entrega. É importante mencionar que, segundo Beronius (2004), esta flexibilidade combinada com produtividade foi alcançada porque os computadores da Dell vêm sendo modularizados há um longo tempo.

Isto se deve à forma como um computador é construído. Primeiro, há a placa-mãe (Figura 12) que controla a comunicação entre todos os sub-componentes (placa de vídeo, disco rígido e processador) que são conectados a ela. Todos estes sub-componentes estão disponíveis em uma variedade enorme, por exemplo, para os processadores existem: *Intel Celeron*, *AMD Athlon*, *AMD Duron*, etc. Esta configuração permite que o cliente decida sobre as especificações técnicas. Além do mais, o fato de o chassi do computador ser de fácil fabricação em diferentes formas e cores, e contar com a ajuda de peças denominadas aparentes fabricadas em plástico darem-lhe uma larga variedade de opções, torna-se fácil oferecer um computador totalmente personalizado para o cliente, assim como a Dell faz atualmente.

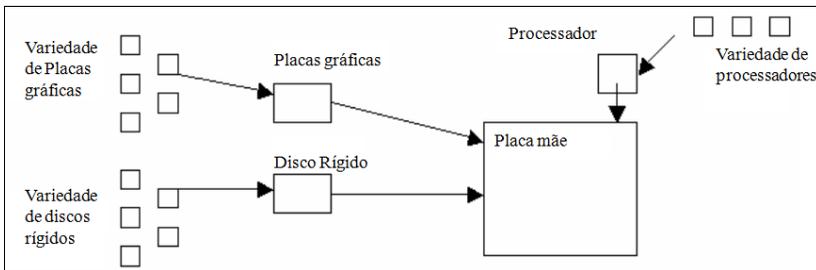


Figura 12 - Placa mãe com seus sub-componentes. Fonte: Traduzido de Beronius (2004).

Outro exemplo, citado por Beronius (2004), se trata do módulo de refrigeração da Denso, módulo esse que substitui o trocador de calor convencional do motor e também o condensador do ar condicionado. Estas duas unidades são convencionalmente separadas e colocadas um na frente do outro, na parte da frente do carro, primeiro o condensador e atrás dele o trocador de calor do motor (Figura 13).

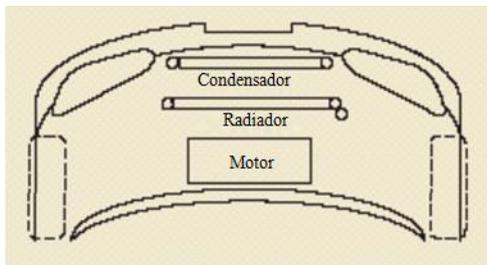


Figura 13 - Colocação convencional do trocador de calor e do radiador. Fonte: Traduzido de Beronius (2004).

Isto exige duas unidades separadas que utilizam um grande espaço, o qual foi eliminado através do projeto do módulo de refrigeração da Denso, que incorpora as duas funções em apenas um único módulo (Figura 14).

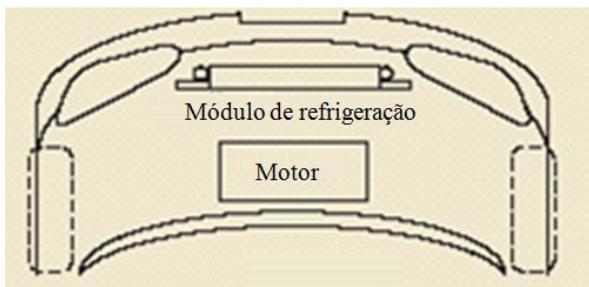


Figura 14 - Módulo de refrigeração da Denso. Fonte: Traduzido de Beronius (2004).

Este dispositivo compacto é um quilo mais leve e também é 10% mais eficiente do que as unidades convencionais em separado. Este aumento de eficiência também ajuda a preservar a potência do motor, que de outra forma teria sido consumida pelo condensador convencional do ar condicionado, menos eficiente.

3. PROJETO DE PRODUTOS E A MANUFATURA SUSTENTÁVEL

3.1 SUSTENTABILIDADE E A MANUFATURA

Desenvolvimento sustentável foi definido pela primeira vez no relatório “*Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*” e depois ratificado pela Agenda 21, durante a Eco 92 ocorrida na cidade do Rio de Janeiro. Desenvolvimento sustentável pode ser definido como “aquele que permite as gerações atuais satisfazer suas necessidades sem comprometer a capacidade das futuras gerações” (BRUNDTLAND, 1987, *apud* Silva *et al.*, 2011).

A sustentabilidade de negócios pode ser definida como a adoção de estratégias e ações de inovação contínua (produto e processo) que atendem as necessidades das empresas e dos diferentes *stakeholders*, enquanto protegem, mantêm e melhoram os recursos humanos e naturais que podem ser necessários no futuro (LABUSCHAGNE *et al.*, 2004).

O conceito de manufatura sustentável surgiu em 1992 na conferência “*United Nations Conference on Environment and Development*” (UNCED, 1992 *apud* Silva *et al.*, 2011). Durante o encontro foi identificado o consumo elevado e a produção de bens como grandes responsáveis pela ameaça a sustentabilidade global. Veleva *et al.* (2001, *apud* Silva *et al.*, 2011) definem produção sustentável como sendo a criação de mercadorias e serviços usando processos e sistemas que respeitam uma série de princípios, como favorecimento das comunidades próximas ou ainda o treinamento de funcionários visando a sua maior satisfação e capacitação para o trabalho.

Como está descrito no guia desenvolvido pelo Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD, 2001 *apud* ARAUJO, 2010), a sustentabilidade oferece benefícios igualmente às empresas e à sociedade. O êxito econômico deve ser acompanhado por um meio mais justo e igualitário, onde o meio-ambiente seja protegido e aprimorado. A Figura 15 representa a ideia a ser defendida nos tempos atuais: “acima a economia e a qualidade de vida, abaixo a utilização de recursos e a poluição” (WBCSD, 2000 *apud* ARAUJO, 2010). As linhas contínuas mostram o ponto de desenvolvimento atual, enquanto as linhas tracejadas correspondem às perspectivas para o futuro após a adoção de modelos econômicos mais eficientes. A economia e a qualidade de vida devem continuar a subir, enquanto a utilização de recursos e a poluição devem cair.

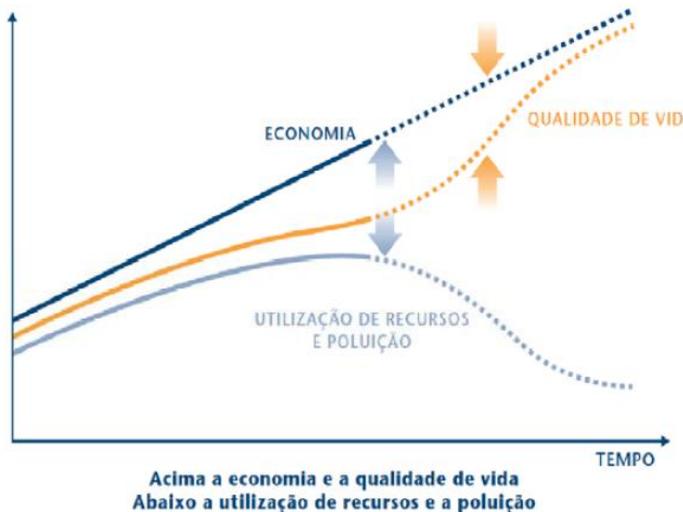


Figura 15 - Sustentabilidade e objetivos para um modelo econômico mais eficiente. Fonte: WBCSD (2001) *apud* Araujo (2010).

Segundo Cascio (1996, *apud* ARAUJO, 2010), muitas oportunidades aparecem de práticas sustentáveis de manufatura, tomando, por exemplo, o caso do uso de recursos materiais em projetos de produtos e processos, bons resultados podem aparecer da reciclagem e coleta de materiais, utilização de materiais substitutos que proporcionam menos perdas, produtos com tempo de vida útil superior ou ainda, a possibilidade de recuperação de partes de produtos em seu final de vida.

De acordo com Jin e High (2004), relatórios que abordam diretamente a sustentabilidade constituem uma das maiores oportunidades de vantagem competitiva. Em 2004, 45% das 250 maiores empresas mundiais apresentou relatórios separados sobre sustentabilidade corporativa (incluindo aspectos sociais e ambientais). Enquanto isso, já em 2002, nos Estados Unidos, cerca de 36% das maiores empresas já adotavam alguma espécie de indicador de desempenho de sustentabilidade.

Segundo Araujo (2010), a evolução dos sistemas de produção rumo a modelos sustentáveis pode ser resumido em quatro diferentes estágios, como mostra a Figura 16.



Figura 16 - Evolução dos sistemas de produção a modelos sustentáveis. Fonte: Araujo (2010).

Para Araujo (2010), primeiramente optou-se pelo controle do tipo gestão de conformidade, e posteriormente passou-se a atuar ativamente através da produção mais limpa. A eco-eficiência veio em seguida, contribuindo pela primeira vez para o desenvolvimento econômico, ao mesmo tempo em que promovia a proteção ao meio-ambiente. Finalmente, surgiu a abordagem na qual o setor privado veio a equilibrar as suas ações de acordo com os três pilares da sustentabilidade: justiça social, prosperidade econômica e balanço ecológico.

Porter e Linde (1995) apresentam uma lista de benefícios para produtos e processos utilizando práticas sustentáveis, identificados na Figura 17.

<u>Benefícios do Processo:</u>	<u>Benefícios do Produto:</u>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Economia de materiais resultante do processamento completo, substituição, reutilização, ou reciclagem. ✓ Aumento no rendimento do processo. ✓ Menor tempo de inatividade através de um acompanhamento e manutenção mais cuidadoso. ✓ Melhor utilização dos subprodutos. ✓ Conversão de resíduos em algo valioso. ✓ Redução do consumo de energia durante o processo de produção. ✓ Redução nos custos de armazenamento e movimentação de material. ✓ Condições mais seguras no local de trabalho. ✓ Eliminação ou redução do custo das atividades envolvidas no descarte ou manipulação de materiais e transporte. ✓ Melhorias no produto através de mudanças no processo (tais como um melhor controle do processo). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Maior qualidade, produtos mais consistentes. ✓ Menores custos do produto (por exemplo, a partir da substituição de materiais). ✓ Menores custos de embalagem. ✓ Utilização mais eficiente dos recursos pelos produtos. ✓ Produtos mais seguros. ✓ Menores custos de envio do produto aos clientes. ✓ Produtos com maior valor de revenda no descarte.

Figura 17 - Ganhos para processos e produtos através de práticas ambientais. Fonte: Traduzido de Porter e Linde (1995).

3.2 PROJETO DE PRODUTOS VOLTADO PARA A MANUFATURA SUSTENTÁVEL

Segundo Jeswiet e Hauschild (2004), na realidade a vida de um produto começa com o conceito inicial do produto, sendo que esta fase contribui para o custo final do produto em cerca de 70%. Isso pode ser estendido aos requisitos funcionais e aos impactos ambientais. O impacto de um produto sobre o meio-ambiente é determinado na fase de projeto, daí a importância do Eco-Design e conceitos associados, tais como Engenharia do Ciclo de Vida (LCE - *Life Cycle Engineering*), Projeto Verde, Projeto Sustentável, Projeto Ambiental Consciente, Projeto do Ciclo de Vida, e até mesmo Projeto Limpo, aos quais podem ser relacionadas algumas palavras-chave que contemplam a estrutura do projeto voltado para a sustentabilidade (Figura 18).



Figura 18 - Palavras-chave da Engenharia do Ciclo de Vida. Fonte: traduzido de Jeswiet e Hauschild (2004).

A Avaliação do Ciclo de Vida (LCA – *Life Cycle Assessment*), um subconjunto da LCE, é geralmente aceita como um método para conduzir uma avaliação dos impactos ambientais associados a um produto ou um serviço. A LCA considera o ciclo de vida de um produto, do início ao fim, que incluem as seguintes etapas: extração de matérias-primas, processamento, fabricação, transporte, distribuição, utilização, manutenção, reutilização, reciclagem, descarte. Jeswiet e Hauschild, (2004) define LCA como: um processo objetivo para avaliar a responsabilidade ambiental associada a um produto, processo ou atividade através da identificação e quantificação de energia e material utilizados, bem como de despejos ambientais, e para avaliar e implementar oportunidades para introduzir melhorias ambientais.

Miño e Rados (2001) propõem uma sistemática modular ambiental que estabelece interações entre os diversos fatores de projeto (função, desempenho e o meio-ambiente) para que sejam compreendidos de maneira simultânea. A sistemática é apresentada em quatro etapas, contempladas em duas fases desde a definição do problema até o estabelecimento da estrutura modular ambiental. Essa estrutura mostra a implementação lógica do processo de projeto para projetar produtos modulares de tal forma que possuam uma estrutura modular dentro de uma consciência ecológica.

A sistemática desenvolvida é flexível e didática. Usa como ferramenta básica o QFD na classificação, por grau de importância, dos

requisitos de projeto; matrizes de inter-relação destinadas a facilitar os relacionamentos existentes entre as funções estabelecidas para o produto em estudo, seus materiais e demais critérios voltados ao estabelecimento dos possíveis módulos que irão compor a família de produtos; desdobramento da estrutura funcional, visando reduzir o nível de complexidade do problema; método da matriz morfológica, destinada a facilitar a busca pelas melhores concepções de projeto; e Matriz de Pugh no auxílio à seleção da melhor concepção apresentada que atende a demanda inicial.

A primeira etapa compreende levantar os desejos e as necessidades dos clientes do projeto sob o aspecto dos objetivos ambientais e de modularização. Na segunda etapa são identificadas as necessidades do sistema modular ambiental, assim como a elaboração da lista de requisitos de projeto. Destes requisitos abstrai-se o problema inicial a fim de estabelecer a estrutura funcional do problema, que corresponde à terceira etapa. E por último, na quarta etapa são formalizadas as funções através de métodos ou procedimentos que auxiliam na geração de soluções, neste caso utilizando a matriz morfológica. Nesta etapa é importante identificar a compatibilidade física e ambiental entre os princípios de solução associáveis, assim como avaliar segundo critérios técnicos o descarte, reciclagem, desmontagem, reutilização e manutenção das concepções estabelecidas. O resultado desta etapa é a concepção da estrutura modular com enfoque ambiental e os dados preliminares do projeto conceitual (Miño e Rados, 2001).

Outra maneira de integrar projeto modular com a manufatura sustentável de produtos corresponde às ferramentas ou métodos de projetos conhecidas como DFX, ou *Design for X*. Segundo Romeiro *et al.* (2010) e Rozenfeld *et al.* (2006), no DFX, também chamado de *Design for eXcellence* (Projeto para a Excelência), a letra X pode ser substituída por uma inicial para o que se deseja projetar, seja manufatura, modularidade, custos, desmontagem, reciclagem, meio-ambiente, entre outros. Os métodos de DFX podem ser considerados um conjunto de regras e procedimentos, estabelecidos de forma organizada, para dar suporte a um determinado problema referente ao ciclo ou fase da vida de um produto nas áreas de uma empresa. Dentre os pontos citados, destacam-se alguns métodos que contribuem para esta pesquisa:

- a) DFMA – *Design for Manufacturing and Assembly*: O Projeto para Manufatura e Montagem, criado em 1970, prevê a busca da simplicidade na montagem, redução do número e

padronização dos componentes, redução de custos com remontagem, maior confiabilidade, e menores custos.

- b) DFA – *Design for Assembly*: O Projeto para a Montagem envolve o projeto do produto, verificando funções, formas, materiais e processo de montagem. Gera redução de custos devido ao tempo de montagem, redução de componentes e, muitas vezes, a simplificação da manufatura.
- c) DFC – *Design for Cost*: O Projeto para o Custo, de maneira geral, implica trabalho com custos diretos (materiais, desenvolvimento, etc.) e indiretos (transporte, estoque, etc.) da empresa, relacionado ao processo de projeto. Objetiva estimar e trabalhar para a redução destes custos, controlando assim o processo.
- d) DFCL – *Design for Cycle of Life*: O Projeto para o Ciclo de Vida trata de fatores que envolvem o ciclo de vida do produto, baseado nos custos e incertezas, de maneira a fornecer um modelo otimizado para especificar o produto e parâmetros do processo.
- e) DFMt – *Design for Maintainability*: O Projeto para Manutenção, ou projetar para “fácil” manutenção, deve assegurar que o produto possa ser mantido em funcionamento durante todo o seu ciclo de vida, com despesas não elevadas, sem qualquer dificuldade e, com isso, permitir o prolongamento de sua utilização. Deve levar em conta a manutenção, inspeção, reparo, padronização, etc.
- f) DFD – *Design for Disassembly*: O Projeto para Desmontagem origina-se da necessidade de gerenciamento de resíduos e componentes resultantes da montagem e desmontagem do produto. Objetiva a redução de recursos, matérias-primas e energia, minimização de efluentes tóxicos e eventual descarte de resíduos oriundos dos processos produtivos.
- g) DFE – *Design for Environment*: O Projeto para o Meio-ambiente considera os aspectos ambientais em todo o ciclo de vida do produto. Busca o projeto de produtos que leva à redução de resíduos, seja durante o processo de produção, seja durante a vida útil do produto. Seu propósito é minimizar o impacto ambiental do produto e de sua produção. Apresenta aspectos relacionados com o domínio de estratégias de

marketing e política de decisões (gerenciamento), num nível operacional relacionado ao domínio de projeto de produtos (projetistas). Assemelha-se com conceitos de projeto para a sustentabilidade e toda a gama de ecoferramentas e *Green Design*.

- h) DFI – *Design for Inspectability*: O Projeto para Inspeção está voltado para o controle na manufatura do produto. É o *feedback* do controle do processo de fabricação.
- i) DFR – *Design for Recycling*: No Projeto para a Reciclagem são definidas regras e recomendações que visam auxiliar no projeto do produto, a fim de reaproveitá-lo, ou partes dele, para outros fins. Mantém relação com alguns princípios do método de projeto para a desmontagem.
- j) DFS – *Design for Service*: O Projeto para o Serviço compreende a adequação do produto para a operação, manutenção, fácil acesso a componentes, etc., de maneira a garantir o desempenho contra conflitos entre diferentes serviços que possam ser executados no produto.

A questão ambiental no contexto do projeto do produto não deve ser vista somente como uma adequação e cumprimento à legislação ambiental, mas também como um estímulo em se buscar a cultura de inovação na empresa e ganhos comerciais pela inclusão ambiental nos produtos da empresa. Para Romeiro *et al.* (2010), nesse contexto insere-se o Eco-Design, cujo intuito é desenvolver um produto que se preocupe em minimizar, ou até eliminar os impactos ambientais em todas as etapas do seu ciclo de vida, ao mesmo tempo em que os aspectos tradicionais, como melhoria da qualidade e redução de custos, continuam a ser levados em consideração no processo de desenvolvimento de produtos. Desse modo, a abordagem do Eco-Design se insere como uma parte integrante do processo tradicional do desenvolvimento de produtos nas empresas, incluindo-se aí o desenvolvimento do projeto conceitual, de protótipos, de projeto executivo e do desenvolvimento de estratégias de marketing. O Eco-Design não se limita ao produto em si, mas ao contexto das estratégias de negócios das empresas.

Romeiro (2010) ainda descreve alguns benefícios destas práticas sustentáveis aplicadas a projetos de produtos pelas empresas, listados a seguir:

- Redução do impacto ambiental de seus produtos/processos;

- Obtenção de uma perspectiva sistemática, pois está focado em todo o ciclo de vida do produto, auxiliando as empresas a criar elos entre os seus departamentos;
- Motiva o desenvolvimento de bons projetos de produtos e impulsiona a inovação;
- Reduz custos (na produção, na redução de matéria-prima e energia, etc.);
- Atende às necessidades/desejos dos consumidores excedendo as suas expectativas com relação a preço, desempenho e qualidade.

Com objetivo de reduzir o impacto ambiental dos produtos, uma relação de estratégias para projetar um produto para melhor desempenho ambiental é apresentada por Góes e Goulart (2009). Estas estratégias podem ser divididas em duas categorias básicas: as estratégias de redução do consumo de recursos e da geração de resíduos – reduzindo o consumo de matérias-primas ou de energia ao longo do ciclo de vida do produto, ou ainda, reduzindo os resíduos e as emissões – e as estratégias de extensão da vida útil do produto – aumentando a sua durabilidade ou facilitando a sua reutilização, remanufatura ou reciclagem. A Figura 19 ilustra essas estratégias destacando as mais importantes.

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO	ESTRATÉGIAS DE EXTENSÃO
Projetar para conservação de recursos	Projetar para durabilidade
Simplificar forma	Facilitar manutenção
Agrupar funções	Facilitar substituição de partes
Diminuir peso, volume e/ou tamanho	Possibilitar <i>up-grades</i>
Usar materiais reciclados e recicláveis	Priorizar design durável
Usar recursos renováveis	Projetar para reuso
Usar sub-produtos de outros processos	Projetar produtos resistentes
Usar a água eficientemente	Usar processos de limpeza seguros
Projetar para eficiência energética	Evitar rótulos de papel ou plástico
Reduzir energia na fabricação	Projetar para remanufatura
Reduzir energia no uso do produto	Facilitar desmontagem
Usar fontes de energia renovável	Prever atualizações tecnológicas
Reduzir a energia no transporte	Projetar para reciclagem
Projetar para redução de impactos	Facilitar desmontagem
Evitar emissões tóxicas	Desenvolver materiais resistentes
Evitar agredir a camada de ozônio	Identificar diferentes materiais
Minimizar contribuição para efeito estufa	Agregar valor estético
Projetar para prevenção da poluição	Planejar final da vida útil
Eliminar desperdícios do processo	Utilizar materiais biodegradáveis
Mudar técnicas de produção	Utilizar materiais incineráveis
Implantar sistema de gestão ambiental	Rotular produtos com materiais tóxicos

Figura 19 - Estratégias de Redução e Extensão no Eco-projeto.

Fonte: Góes e Goulart (2009).

3.3 CICLO DE VIDA DO PRODUTO MODULAR: PERSPECTIVA AMBIENTAL

Conforme Alting (1995) há alguns anos a indústria tem se esforçado em propor procedimentos de fabricação limpa com o objetivo de reduzir as emissões provocadas pela produção industrial. Mesmo assim o número de produtos, assim como o consumo de energia e a produção de resíduos tem aumentado cada vez mais. O autor ainda comenta que existe a possibilidade de minimizar o impacto global se forem considerados os impactos ambientais nos produtos.

Tendo em vista o contexto acima, junto com os requerimentos funcionais do projeto do produto devem ser considerados os efeitos ecológicos ao longo do ciclo de vida dos mesmos. Back e Ogliari (2000) destacam que o ciclo de vida sob o enfoque de transformação do produto é entendido como englobando as fases pelas quais o produto passa, desde as necessidades do mercado até o fim de sua vida útil, quando este deverá ser descartado.

Para Pahl e Beitz *et al.* (2005), cada produto está sujeito a um ciclo de vida que, pelo aspecto econômico industrial, se orienta por faturamento, lucros e perdas (custos), conforme a Figura 20. A duração do ciclo de vida varia muito em função do tipo de produto e da especialidade. Nos últimos anos observou-se uma constante redução desse tempo, uma tendência que deverá se manter. Isto tem consequências importantes no trabalho nos departamentos de desenvolvimento e projeto, uma vez que os tempos de execução alocados para tarefas iguais ou semelhantes também se reduzem. Por isso é necessário tomar providências com relação à arquitetura do processo de desenvolvimento do produto e aos métodos e ferramentas a serem utilizados.

Segundo Romeiro *et al.* (2010), uma visão mais recente, voltada para a percepção ambiental sobre o ciclo de vida de um produto, é a caracterização das suas diversas etapas produtivas sucessivas desde a extração da matéria-prima até o seu descarte definitivo. A Figura 21 representa a sequência dessas etapas. Essa perspectiva é importante para se avaliar os impactos ambientais associados a esse produto e definir estratégias para a redução desses mesmos impactos.

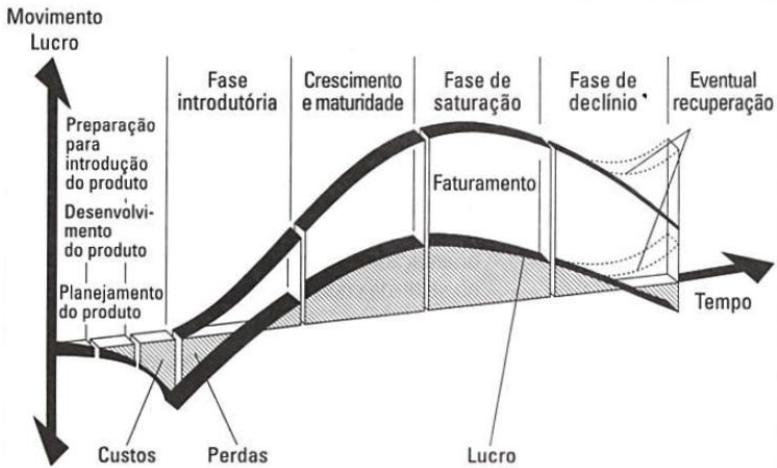


Figura 20 - Ciclo de vida de um produto. Visão tradicional.

Fonte: Pahl e Beitz *et al.* (2005).

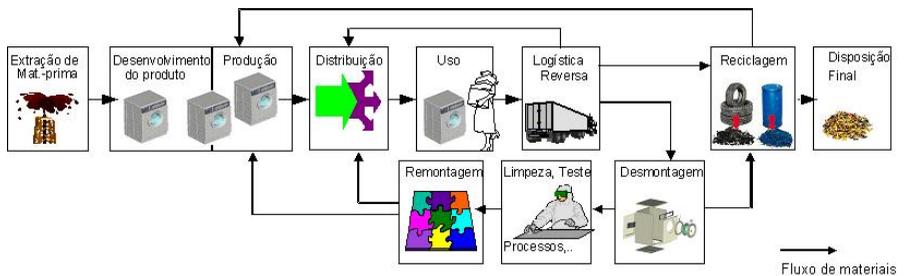


Figura 21 – O ciclo de vida do produto segundo a perspectiva ambiental.

Fonte: Romeiro *et al.* (2010).

Ao final da utilização do produto o mesmo é recolhido e desmontado, e suas peças e componentes são limpos e testados, e posteriormente são selecionados para reciclagem, remanufatura e reutilização, fazendo assim com que ele retorne ao sistema produtivo, economizando-se energia e matéria-prima. Tal economia proporciona diversos ganhos em termos de redução de custos de produção e de impactos ambientais associados ao produto. Esse reaproveitamento tem

gerado uma nova economia, com a criação de empresas especializadas no tratamento de resíduos industriais (Romeiro *et al.*, 2010).

Pahl e Beitz *et al.* (2005) abordam importantes diretrizes para o anteprojeto, onde essas, no âmbito internacional, são designadas por DFX (já descritas no capítulo anterior). Essas diretrizes auxiliam a alicerçar as regras básicas de projeto, cada qual voltada à sua especificidade.

Romeiro *et al.* (2010) menciona que a seleção das peças e componentes para reciclagem, remanufatura e reutilização irá depender das condições técnicas em que esses elementos se encontram em termos de desgaste e de suas propriedades mecânicas. Por conseguinte, somente após uma avaliação criteriosa das condições dessas peças e componentes é que se pode definir o direcionamento a ser dado às mesmas. O projeto do produto será importante da definição dessas peças, pois deverá levar em consideração as oportunidades e necessidades em termos de ciclo de vida. Um produto projetado tendo em vista seu ciclo de vida deverá ser de fácil desmontagem, por exemplo, tendo em vista a reutilização de componentes ou reciclagem de matérias-primas. Da mesma forma, componentes que eventualmente utilizem elementos danosos ao meio-ambiente (como baterias, por exemplo) poderão ser projetados para que a separação desses materiais seja facilitada, bem como criar mecanismos (como carcaças mais resistentes) que impeçam eventuais vazamentos para o meio-ambiente.

Segundo Baxter (2000), a análise do ciclo de vida do produto tem sido largamente usada quando se deseja avaliar o impacto ambiental dos produtos. Contudo, tem havido uma tendência de subestimar as dificuldades na ponderação dos diferentes fatores que provocam impacto ambiental. Outra dificuldade relaciona-se com a avaliação precisa dos custos ambientais, e pode ser separada em dois tipos: de comparação e de quantificação:

A dificuldade de comparação ocorre quando é difícil comparar diferentes tipos de impactos ambientais. Por exemplo, duas oportunidades incompatíveis entre si para a melhoria do produto, sendo que uma delas reduz a quantidade de energia necessária para fabricar o produto, enquanto a outra reduz a poluição local da água, que é despejada no rio. Essas duas alternativas não podem ser comparadas entre si, pois são de naturezas diferentes (global *versus* local, energia *versus* poluição) e são muito dinâmicas. Se o rio já estiver bastante poluído com outras fábricas que se situam à montante, a redução local da poluição poderia ser um aspecto crítico, para não se agravar o

problema. Contudo, se não houver outras fábricas à montante, a oportunidade de economia de energia poderia ser mais crítica.

A dificuldade de quantificação ocorre quando se torna difícil quantificar o impacto ambiental. Considere o impacto ambiental provocado por dois tipos de matérias-primas para plásticos. Podem-se incluir os custos (energia e poluição) de extração dos hidrocarbonetos (petróleo e carvão), o custo para refiná-los e o custo de transformação em polímeros. A quantificação desses custos é uma tarefa muito difícil. Existem dados sobre diferentes tipos de plásticos, mas são estimativas médias, que podem variar bastante em cada caso específico. Por exemplo, o petróleo extraído de plataformas submarinas gasta muita energia, comparada com aquela gasta na extração do carvão a céu aberto. Se o plástico for fabricado na Noruega, usará energia hidrelétrica, que é uma fonte renovável, com baixo índice de poluição. Se o mesmo plástico for produzido no centro industrial da Alemanha, a energia virá de usinas termoelétricas, que usam fontes não renováveis de combustíveis, provocando maiores índices de poluição. Portanto, trata-se de situações de difícil comparação.

Essas dificuldades não invalidam o uso da análise do ciclo de vida para melhorar o impacto ambiental dos produtos. Comparando-se custos semelhantes de impacto ambiental e usando-se informações confiáveis, pode-se ter uma ajuda valiosa na melhoria do projeto de produtos.

3.4 EXEMPLO DE SUSTENTABILIDADE: O ECO PROJETO NA EMPRESA 3M

O texto descrito a seguir foi elaborado com pequenos trechos com base em informações obtidas através de entrevista realizada em 23/04/2002 com o gerente de engenharia de fábrica da 3M para América Latina e África, e através de pesquisa no site da empresa 3M (www.3m.com) por Goes e Goulart (2009).

A 3M, multinacional norte-americana fundada em 1951, atualmente opera em mais de 60 países e é reconhecida ao redor do mundo por sua estratégia arrojada de inovação de produtos. A empresa cultiva uma cultura que promove a criatividade e a aceitação pelos empregados dos riscos de experimentar ideias novas. Em 1975, a alta direção da empresa adotou oficialmente uma política de meio-ambiente, inicialmente com um foco de Prevenção da Poluição, com o lançamento do Programa 3P (*Pollution Prevention Pays*), que no seu primeiro ano reduziu em 73.000 toneladas suas emissões gasosas. Posteriormente, em

1989, foi adotada a Política de Segurança do Empregado, Saúde e Meio-Ambiente (*Employee Safety, Health and Environment Policy*).

Esta política está ligada diretamente aos seus valores corporativos fundamentais – respeito pelo ambiente físico e social, satisfação dos consumidores, retornos atrativos para os investidores e orgulho dos empregados pela empresa – e à visão de contribuir para o movimento da sociedade em direção ao desenvolvimento sustentável. Para alcançar esta visão, a 3M vem perseguindo a eco-eficiência, ou seja, a produção de mais produtos e serviços com menos recursos e menores impactos sobre o ambiente, a saúde e a segurança.

A empresa possui ainda, desde 1996, um sistema de gerenciamento ambiental baseado na melhoria contínua por meio de três estratégias principais: atingir e exceder continuamente os padrões ambientais da empresa e do governo, tomando como referência os mais exigentes; manter a ênfase na Gestão do Ciclo de Vida (*Life Cycle Management - LCM*), minimizando impactos desde o projeto até o descarte; e atingir objetivos ousados para ambiente, saúde e segurança, aproximando-se tanto quanto possível de zero emissões ambientais, lesões e doenças.

A gerência do ciclo de vida vem se transformando desde 1997 em uma parte formal do processo do desenvolvimento de produto da 3M ao redor do mundo. Times multifuncionais de desenvolvimento de produtos utilizam uma matriz de gestão do ciclo de vida para identificar sistematicamente as oportunidades e questões ambientais, de saúde e segurança de cada estágio da vida do produto. No Brasil, como a legislação ambiental ainda é muito permissiva, a fábrica da 3M em São Paulo, seguindo a política corporativa, está cumprindo normas internas que ainda não são previstas na lei, mas que possivelmente o serão no futuro.

Também a conservação da água e da energia são preocupações da empresa. Hoje não são feitos lançamentos em corpos d'água¹, e 100% da água utilizada é reciclada, tratada e utilizada na própria empresa para lavar objetos e aguar jardins.

Em relação a produtos ambientalmente melhorados, entre 2000 e 2001 a fábrica de Sumaré reduziu o uso de TDI (Tolueno Di-Isocianato) e de formol na fabricação de dois produtos, visando também os benefícios em relação à saúde dos empregados. Outro exemplo é o da cola contato para absorventes da Johnson&Johnson, fornecida pela 3M.

¹ Compreende os principais cursos d'água, tais como rios, represas ou reservatórios artificiais. (Fonte: <http://www.bndes.cnpn.embrapa.br/textos/corpos.htm>)

Neste caso, por demanda da empresa cliente, foi desenvolvida uma embalagem que, além de consumir menos material, ainda simplifica o processo de aplicação da cola sobre o absorvente.

Quanto ao gerenciamento do ciclo de vida de produtos na 3M do Brasil, este só começou a ser implantado muito recentemente, em 2001, com o estudo de viabilidade de dois projetos, um externo, envolvendo uma parceria com outra empresa, e outro interno. Portanto, ainda não é possível avaliar o desenvolvimento deste aspecto do eco projeto na empresa.

A partir do exposto, pode-se concluir que a 3M: (a) adota algumas das estratégias listadas na Figura 19, tendo centrado esforços nas estratégias de redução de impactos dos materiais e prevenção da poluição; (b) faz uso do conceito de Ciclo de Vida do Produto, essencial para se analisar e atuar de forma sistêmica sobre os impactos ambientais gerados por um produto. Com estes aspectos promissores atuando a favor do eco projeto na empresa, é de se esperar que esta iniciativa seja recompensada e, sendo assim, continue sendo ampliada cada vez mais.

4. SISTEMÁTICA PARA PROJETO DE PRODUTOS MODULARES PARA UM SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO E MANUSEIO DE BOBINAS

4.1 SISTEMÁTICA PROPOSTA

A sistemática proposta para a concepção de produtos modulares considera três etapas principais: análise do método proposto, agregação de critérios de sustentabilidade ao método, e modularização do produto considerando-se aspectos relacionados à manufatura sustentável.

A primeira etapa, análise do método proposto, se divide em duas partes: (a) uma inicial ou de revisão bibliográfica, iniciada juntamente com o levantamento dos métodos existentes para realizar a modularização de produtos, descrito no Capítulo 2; e (b) uma final ou em paralelo, que foi desenvolvida juntamente com cada fase do método para a modularização do produto em si.

A análise do método MFD (Desdobramento da Função Modular) a ser utilizado consistiu inicialmente em fazer uma revisão detalhada dos passos que o compreendem, verificando como cada ferramenta de projeto sugerida é utilizada no método, e como ele se enquadra nesta pesquisa. Nesta avaliação foram considerados principalmente aspectos relevantes à manufatura e à sustentabilidade, e serviram como base para a próxima etapa. Como já mencionado, o método MFD é composto por cinco passos, e dentro de cada passo é indicado uma ou mais ferramentas de projeto para sua realização.

A agregação de critérios de sustentabilidade ao método complementa a segunda etapa, onde atenção especial é dada ao terceiro passo do método: identificação e geração de módulos e possibilidade de integração. Este passo compreende a utilização da ferramenta de projeto chamada MIM (Matriz de Indicação de Módulos), já apresentada no capítulo 2, a qual emprega 12 diretrizes relacionadas a razões pelas quais um produto deveria ser modularizado, procedimento este semelhante ao empregado no QFD. A ferramenta MIM foi escolhida por se tratar de uma matriz que pode ser alterada conforme a necessidade. Embora seus critérios abordem aspectos de manufatura e sustentabilidade de forma superficial, como Manutenção e Serviços, Atualização e Reciclagem (Figura 9), modificações foram realizadas neste trabalho com a intenção de tornar estes critérios decisivos na concepção de um produto sustentável.

A realização da modularização compreende a terceira e última etapa do trabalho, onde a metodologia proposta MFD bem como as

modificações realizadas na MIM foram verificadas na modularização do produto. Desta forma, a nova concepção de modularização voltada à manufatura sustentável foi analisada, e os resultados foram comparados com métodos convencionais de projeto e de modularização. Julga-se extremamente importante a compreensão do acréscimo dos critérios de avaliação de sustentabilidade ao método de modularização escolhido, tornando este um modelo eco-sustentável. Ainda, considerou-se de fundamental importância estabelecer estes critérios desde o princípio do projeto conceitual, de forma a garantir que o foco do projeto do produto em questão seja direcionado à sustentabilidade, tanto nos processos envolvidos como nos materiais utilizados.

4.2 VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA EM EMPRESAS

Para a aplicação da sistemática proposta de realizar a modularização de um produto, primeiramente foi analisada a viabilidade de aplicação do método proposto em empresas. Para isso, uma lista com possíveis empresas parceiras foi elaborada tendo por objetivo inicial a verificação de viabilidade dos seus produtos se encaixarem nas concepções de projeto modular. Esta avaliação foi realizada com base nos cinco passos do MFD, e foi fundamental para definir o rumo do método e identificar onde este poderia ser aplicado para obter os resultados esperados. Foram considerados dois tipos de empresas onde a pesquisa poderia ser aplicada: empresas aonde já existiam produtos com alguma concepção modular, ou empresas onde não havia indícios de modularização.

Para uma empresa em que seus produtos ainda não incluem elementos em módulos, propõe-se a aplicação da modularização em um produto da empresa. Para isso seria aplicado o método MFD que incluiria critérios relacionados à manufatura sustentável. Como finalização do estudo, seria realizada uma comparação entre os resultados obtidos com o novo projeto do produto em relação aos métodos convencionais de projeto e de modularização.

No caso de uma empresa que já possui produtos contendo elementos de modularidade, a proposta seria de efetuar uma avaliação da eficiência dos módulos de um determinado produto, tanto do ponto de vista de aplicações convencionais de modularização, como do ponto de vista da manufatura sustentável (etapa 4 do método MFD). Com base nesses resultados, possíveis melhorias nos módulos atuais do produto

podem ser propostas, bem como a inclusão de aspectos de manufatura sustentável no projeto e fabricação do produto considerado.

Perante as especificações descritas acima, a proposta de aplicação da modularização de produtos foi encaminhada e posteriormente aceita por uma empresa situada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, na qual este trabalho pôde ser aplicado. A empresa atua na comercialização de equipamentos para empilhadeiras e sistemas de descarga para granéis, e seu campo de atuação abrange os segmentos agrícola, industrial, automotivo, florestal, e projetos especiais, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Segmentos de atuação da empresa. (Fonte: Saur, 2011).

SEGMENTO	PRODUTOS
Agrícola	Desenlonador de caminhões (talha). Plataforma para desenlonar caminhões. Descompactador de cargas. Coletor de amostra de cereais. Sistema de descarga de granéis (tombador).
Industrial	Equipamentos para empilhadeiras como: Aparelho giratório. Basculador lateral e frontal. Caçamba hidráulica. Empilhador trilateral. Garras para blocos de concreto, bobinas de papel, fardos, rodas, tambores, caixas, eletrodomésticos, etc. Garfos em geral.
Automotivo	Plataforma hidráulica. Elevador em coluna.
Florestal	Grua para caminhões e tratores. Autocarregáveis e carretas. Gruas estacionárias. Garras. Rotatores. Equipamentos para carregadeiras. Guinchos florestais. Cabos aéreos. Rebaixadores de tocos.
Especial	Garra para sucatas. Dispositivo elevatório para construção civil. Manipulador para cadinhos. Manipulador de pneus.

A primeira análise realizada consistiu em avaliar os segmentos da empresa de forma individual para verificar a variedade de produtos, a quantidade produzida, e o valor agregado individualmente. Observou-se que o segmento industrial se destaca em relação aos demais não somente pelos motivos citados, mas também por apresentar fortes concorrentes, o que leva a empresa a investir mais em pesquisas e novas tecnologias

com a finalidade de reduzir custos, aumentar a qualidade dos seus produtos, e não perder a liderança que mantém no mercado sul-americano. A concorrência é um aspecto que posteriormente foi analisado em relação à modularização, e por este motivo teve um peso maior na tomada de decisão pelo segmento escolhido.

Uma segunda análise foi realizada com enfoque específico nos produtos, onde foi considerada a divisão dos produtos em função da atividade a que estão relacionados, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição dos produtos por atividade. (Fonte: Saur, 2011).

Divisão dos produtos por atividade	
Agribusiness	Portuária
Alimentos	Química e Petroquímica
Atacado	Siderurgia e Metalurgia
Automotiva	Sucroalcooleiro
Bebidas	Têxtil
Cimenteiras	Alumínio
Construção Civil	Cerâmicas
Eletroeletrônico	Farmacêutico
Frotista	Hidrelétricas
Fumageira	Movimentação Básica
Linha Branca	Ferroviário
Mineração	Vidros
Óleo e Gás	Couro
Operadores	Redução de Riscos no Trabalho
Logísticos	
Papel e Celulose	

4.3 DEFINIÇÃO DO PRODUTO PARA A MODULARIZAÇÃO

Dentre os muitos produtos do segmento industrial foi escolhida a linha de garras para bobinas, mais especificamente a linha de garras giratórias para bobinas, ou GGBS (Garra Giratória para Bobinas Saur).

É importante salientar que esta decisão pela GGBS não levou somente em consideração os aspectos técnicos da pesquisa, que são extremamente importantes, mas também o interesse da empresa no assunto, que ficou evidenciado na primeira reunião de apresentação do trabalho até então proposto onde participaram os gerentes do setor industrial e do setor de projetos, e também a diretora-presidente da empresa. Considera-se este apoio fundamental para o êxito do trabalho

pelo fato de o autor deste trabalho não ser funcionário da empresa, o que poderia contribuir para uma possível não disponibilização das informações necessárias, o que felizmente não aconteceu no decorrer do estudo, sendo disponibilizados, além das informações, tempo e pessoas para acompanhar a realização do estudo.

A GGBS é um equipamento desenvolvido para ser acoplado a empilhadeiras (Figura 22). Constituído em aço de alta resistência e com articulações com buchas autolubrificantes, a GGBS é indicada para o manuseio de bobinas de papel através de braços articulados ajustáveis, proporcionando agilidade e economia, sendo compatíveis com fluxos e pressão hidráulicos dos modelos atuais de empilhadeiras.



Figura 22 – Garra Giratória para Bobinas. (Fonte: Saur, 2011).

As garras giratórias para bobinas estão divididas em quatro grupos principais de acordo com o tipo de articulação dos braços, como mostra a Tabela 3. Cada um desses quatro grupos recebe uma nova subdivisão de acordo com a abertura mínima e máxima de suas garras e da capacidade de carga máxima suportada, que possuem uma relação entre ambas (Tabela 3).

Como mencionado anteriormente, a empresa alvo do estudo demonstrou maior interesse pelas garras giratórias para bobinas, sendo que dentre os quatro grupos o produto que possui uma maior demanda e, portanto, que requer maior atenção, é a garra giratória com um braço superior: braço menor fixo e braço maior unido, conhecida como GGBS FU. Na Tabela 3 pode-se observar que existem oito modelos para o referido grupo, diferenciados apenas pela numeração, a saber: 10, 22, 20, 28, 26, 38, 35, e 44. De acordo com a empresa, os modelos 10 e 44

são os menos vendidos, e conseqüentemente são fabricados em menores quantidades. Portanto, a pedido da empresa, os modelos 10 e 44 foram excluídos deste estudo pelo fato de a mesma já estudar a possibilidade de retirá-los de sua linha de produtos, ficando apenas referenciado como um projeto especial para situações muito específicas.

Tabela 3 – Descrição das garras giratórias em função da capacidade e abertura.
(Fonte: Saur, 2011).

DESCRIÇÃO	MODELO	CAPACIDADE (Kg)	ABERTURA: MÍNIMA E MÁXIMA (mm)
Garra Giratória com um braço superior: Braço menor fixo e braço maior unido.	GGBS 10 FU	1000	300 a 1300
	GGBS 22 FU	2200	500 a 1300
	GGBS 20 FU	2000	500 a 1550
	GGBS 28 FU	2800	500 a 1600
	GGBS 26 FU	2600	550 a 1850
	GGBS 38 FU	3800	600 a 1600
	GGBS 35 FU	3500	600 a 1850
Garra Giratória com um braço superior: Braço menor móvel e braço maior unido.	GGBS 44 FU	4400	350 a 1850
	GGBS 22 MU	2200	500 a 1300
	GGBS 20 MU	2000	500 a 1550
	GGBS 28 MU	2800	500 a 1600
	GGBS 26 MU	2600	550 a 1850
	GGBS 38 MU	3800	600 a 1600
	GGBS 35 MU	3500	600 a 1850
Garra giratória com dois braços superiores: Braço menor fixo e braço maior duplo.	GGBS 44 MU	4400	350 a 1850
	GGBS 22 FD	2200	500 a 1300
	GGBS 20 FD	2000	500 a 1550
	GGBS 28 FD	2800	500 a 1600
	GGBS 26 FD	2600	550 a 1850
	GGBS 38 FD	3800	600 a 1600
	GGBS 35 FD	3500	600 a 1850
Garra giratória com dois braços superiores: Braço menor móvel e braço maior duplo.	GGBS 44 FD	4400	350 a 1850
	GGBS 22 MD	2200	500 a 1300
	GGBS 20 MD	2000	500 a 1550
	GGBS 28 MD	2800	500 a 1600
	GGBS 26 MD	2600	550 a 1850
	GGBS 38 MD	3800	600 a 1600
	GGBS 35 MD	3500	600 a 1850
	GGBS 44 MD	4400	350 a 1850

A proposta de Erixon (1998) de realizar o projeto de produto modular através do método MFD consiste na aplicação do método a produtos, sendo considerado apenas um produto de cada vez. Essa

proposta pôde ser aplicada neste estudo porque tem por finalidade realizar a modularização de um produto individualmente, e não a modularidade em si. A diferenciação entre os conceitos de modularização e modularidade já foi mencionada no Capítulo 2. É importante esclarecer que tanto a modularização quanto a modularidade contemplam aspectos que em algum momento são comuns a ambas, como por exemplo unidade comum. Mas neste trabalho o foco principal é a modularização, e para isso é utilizado o MFD e suas ferramentas de projeto.

Dessa forma, a garra giratória GGBS 20 FU foi selecionada para ser o centro do estudo do processo de modularização, lembrando que, posteriormente, pode-se aplicar o processo às demais garras e também aos demais produtos da empresa.

Com a finalidade de conhecer a quantidade de itens existentes na GGBS 20 FU, foi realizada uma análise da mesma em conjunto com a empresa, que revelou uma quantidade total de 638 itens. Esta análise considerou todos os itens, até mesmo porcas e parafusos. Desconsiderando estes itens e outros itens repetidos e de menor significância, este número foi reduzido para 452 itens.

A partir da definição do produto alvo do estudo, pôde-se iniciar a primeira fase do método MFD, que corresponde à definição dos requisitos do consumidor.

4.4 MODULARIZAÇÃO DE UM SISTEMA PARA MANUSEIO DE BOBINAS DE PAPEL

Como já mencionado, o método proposto por Erixon (1998) contempla cinco principais fases: Definir os requisitos do consumidor; Gerar e solucionar soluções técnicas; Gerar o conceito modular; Analisar os conceitos; e Aperfeiçoar os módulos. Dentro de cada uma destas fases propostas, as atividades realizadas foram identificadas e selecionadas pelo autor considerando a melhor execução do trabalho, onde em alguns momentos foram adicionadas atividades consideradas importantes ao método, como por exemplo, a viabilidade da aplicação do MFD. A Figura 23 ilustra todas as etapas envolvidas na modularização do sistema para manuseio de bobinas de papel.

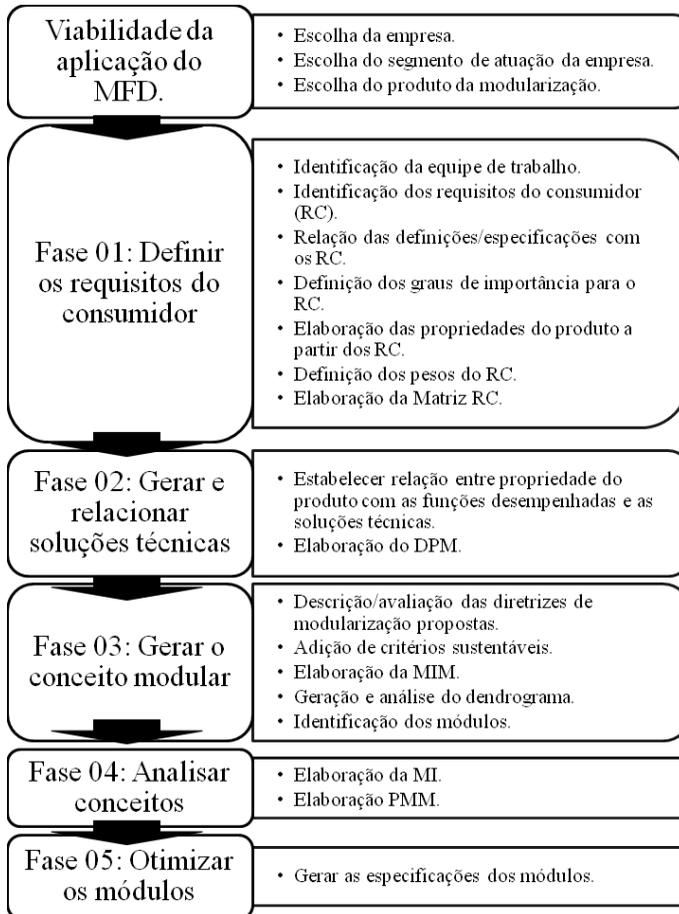


Figura 23 – Etapas da modularização.

4.4.1 Fase 01: Definir os requisitos do consumidor

Esta etapa é extremamente importante, pois aqui devem ser definidas as principais diretrizes para a execução do projeto modular, sobretudo entender e especificar o que o consumidor final do produto espera, o que ele realmente quer, o que ele mais precisa, e também o que pode surpreender o consumidor positivamente. Para Rozenfeld *et al.* (2006), quanto maior o conhecimento sobre os consumidores, maior a probabilidade da empresa atendê-los adequadamente ou melhor que seus concorrentes.

A realização deste estudo contou com o auxílio da equipe de projetos da empresa alvo do estudo, que trabalha diretamente com o segmento industrial ao qual a garra giratória pertence. Estas pessoas são responsáveis pelos novos projetos, atualizações, alterações da garra giratória e adaptações às empilhadeiras. O grau de formação e a especialidade e/ou função destas pessoas é indicada na Tabela 4.

Tabela 4 – Perfil do grupo

Formação	Especialidade / Função
Engenheiros Mecânicos	01 Gerente de Projetos 01 Projetista / Calculista 02 Consultores
Técnico Mecânico	01 Projetista
Ensino Médio	01 Coordenador da área industrial ²

Como método para identificar e priorizar os principais requisitos do consumidor foi realizado em conjunto com a equipe de projeto da área industrial a metodologia *Brainstorming*³. Além disso, a empresa realiza um trabalho diferenciado com seus principais clientes de garras, onde um funcionário da empresa cliente é designado como um comunicador, ou seja, é responsável por transmitir informações referentes ao funcionamento da garra, podendo desta forma sugerir melhorias e correções, pois é ele que, de fato, utiliza o produto em seu dia a dia.

Outra técnica muito conhecida e utilizada cotidianamente pelas empresas em geral quando desejam avaliar e melhorar seus produtos que foi utilizada é chamada de *Benchmarking*⁴. Para a empresa, e mais especificamente para o produto escolhido para realizar a modularização, há apenas um concorrente considerado de grande importância e que foi considerado para a realização do *Benchmarking*, o que pode ser considerado nas tomadas de decisão das etapas posteriores.

² Embora o coordenador da área industrial não possua nenhuma formação técnica ou superior, o mesmo atua na empresa há mais de 15 anos, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento do trabalho, trazendo seus conhecimentos adquiridos durante os vários anos de trabalho e cursos de curta duração por ele realizados.

³ Metodologia para busca de soluções criativas de problemas. Propõe a formação de um grupo de pessoas que sugerem soluções para o problema de maneira aleatória e sob um conjunto de regras simples (ROZENFELD *et al.*, 2006).

⁴ É o processo contínuo de medição de produtos, serviços e práticas em relação aos mais fortes concorrentes, ou às empresas reconhecidas como líderes em suas indústrias. (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A Tabela 5 mostra os principais requisitos identificados pela equipe de projeto através da utilização dos métodos anteriormente citados, e as referidas definições / especificações para cada requisito.

Tabela 5 – Requisitos do consumidor e Definições / Especificações identificados para a garra giratória.

Requisitos do consumidor	Definições / Especificações
1. Boa aparência	<ol style="list-style-type: none"> 1. Forma / Formato do conjunto final agradável. 2. Cor (tipo). 3. Design atraente e inovador que demonstre a robustez do equipamento. 4. Cordões de solda contínuos e com bom acabamento.
2. Alta qualidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perfeito alinhamento entre os componentes. 2. Uniformidade das cores. 3. Sem arestas cortantes e rebarbas de solda. 4. Baixo ruído ao fechar / abrir e pegar / largar produtos. 5. Sistema não permite vibração durante o funcionamento.
3. Menor dano ao papel	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não amassa / deforma as bobinas. 2. Bobina não escorrega em seu interior devido à falta de aderência e pressão das garras.
4. Visibilidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. Posição da garra facilita / dificulta visibilidade dos produtos.
5. Confiabilidade / Durabilidade	<ol style="list-style-type: none"> 1. Robustez. 2. Manter o desempenho de trabalho durante o ciclo de vida. 3. Longo ciclo de vida com uso rotineiro. 4. Baixo índice de falhas. 5. Materiais resistentes.
6. Facilidade de utilização	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instruções de uso do produto de fácil entendimento (Manual técnico de utilização que o acompanha). 2. Facilidade de utilização / operação. 3. Adesivos indicativos para movimentos da garra. 4. Olhais que servem para o içamento no momento de instalação ou remoção da garra.
7. Facilidade de manutenção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flexibilidade / facilidade para fixar / soltar os acessórios para realizar manutenção. 2. Projeto prevê o acesso fácil para substituição de componentes durante o ciclo de vida do produto.

8. Não agride o meio-ambiente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar no projeto a desmontagem do produto no final do ciclo de vida para reutilização de peças / componentes ou reciclagem. 2. Baixo tempo e esforço para desmontagem. 3. Processos de recuperação / reutilização que não agridam o meio-ambiente (limpeza, restauração). 4. Materiais / processos utilizados que não sejam nocivos ao meio-ambiente.
9. Segurança	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resistência dos materiais aplicados na estrutura do produto. 2. Trava de segurança. 3. Em caso de pane no sistema hidráulico não permitir que a garra se abra e a bobina caia. 4. Adesivos indicativos para perigo e movimentos da garra.
10. Baixo peso do equipamento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerando-se a mesma resistência, quanto menor o peso da garra, menor poderá ser a empilhadeira utilizada.
11. Várias faixas de aplicação	<ol style="list-style-type: none"> 1. São consideradas várias opções de capacidade de carga e abertura da garra.
12. Melhor aproveitamento dos espaços de armazenagem.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formato dos braços da garra que permite colocar / retirar bobinas em espaços pequenos.

Uma classificação em ordem de importância foi realizada em conjunto com a equipe de projeto com a finalidade de determinar o peso que será atribuído aos requisitos do consumidor na matriz QFD. Os requisitos estão dispostos em uma ordem de importância de 1 a 12, onde o número 1 corresponde ao requisito mais valorizado pelo consumidor, e o número 12 ao requisito que possui menor influência no momento da compra do referido produto. O resultado dessa análise é mostrado na Tabela 6.

A partir dos requisitos do consumidor e das definições e especificações mostradas na Tabela 5, foram identificados os requisitos de engenharia, ou seja, as necessidades do consumidor foram traduzidas em propriedades que o produto deve possuir do ponto de vista da engenharia, as quais estão listadas na Tabela 7.

Tabela 6 – Grau de importância dos requisitos do consumidor.

Requisitos do consumidor	Grau de Importância
Boa aparência	10
Alta qualidade	05
Menor dano ao papel	02
Visibilidade	04
Confiabilidade / Durabilidade	03
Facilidade de utilização	09
Facilidade de manutenção	11
Não agride o meio-ambiente	12
Segurança	01
Baixo peso do equipamento	06
Várias faixas de aplicação	07
Melhor aproveitamento dos espaços de armazenagem	08

Tabela 7 – Propriedades do produto.

Propriedades do Produto
1. Formato do equipamento que transmita robustez.
2. Cor uniforme.
3. Continuidade e penetração dos cordões de solda.
4. Resistência mecânica dos componentes estruturais.
5. Rigidez da estrutura.
6. Eficiência das partes hidráulicas.
7. Folga e alinhamento das partes.
8. Precisão no posicionamento das bobinas.
9. Aderência das garras.
10. Pressão das garras.
11. Nível de ruído.
12. Vibração do conjunto.
13. Eficiência ao pegar bobinas.
14. Visibilidade dos produtos.
15. Vida útil.
16. Fácil identificação para uso.
17. Operação do equipamento.
18. Transporte e instalação.
19. Manutenção e substituição de componentes.
20. Tempo e esforço para montagem / desmontagem.
21. Reciclagem.
22. Segurança em caso de pane hidráulica.
23. Adesivos indicativos de movimento / perigo.
24. Peso dos componentes.
25. Possibilidade de atualização do equipamento.
26. Formato e movimentação das garras.
27. Tamanho da garra.
28. Estabilidade durante o transporte e elevação.
29. Padronização de componentes.

Os requisitos do consumidor listados na Tabela 5 foram relacionados / confrontados com as propriedades do produto (Tabela 7) utilizando a matriz do QFD (Quadro 1). Para quantificar essa relação, foram utilizados os graus de importância estabelecidos na Tabela 6 para determinar o peso que cada requisito do consumidor representa, utilizando o critério estabelecido na Tabela 8.

Tabela 8 - Peso estabelecido de acordo com o grau de importância.

ORDEM	PESO
01 ou 02	05
03 ou 04	04
05, 06, ou 07	03
08, 09, ou 10	02
11 ou 12	01

O maior peso foi atribuído aos requisitos que podem fazer o consumidor adquirir o produto. Os pesos intermediários foram atribuídos aos requisitos que o consumidor pode não identificar na primeira compra do produto, mas é algo que ele identifica depois de adquirir o produto e que o faz adquirir novamente. Os demais requisitos são aqueles que o produto deve cumprir para permanecer no mercado.

Quanto à quantificação da relação entre os requisitos do consumidor vs. propriedades do produto na matriz QFD, os critérios utilizados foram os seguintes: Pontuação 09 para relação forte; Pontuação 03 para relação média, Pontuação 01 para relação fraca; e, sem pontuação ou em branco quando não há relação.

Por exemplo, a pontuação relativa à propriedade do produto do item 01 “formato do equipamento que transmita robustez”, na matriz QFD (Quadro 1), foi obtida pela multiplicação dos critérios utilizados para pontuação forte, média e fraca, ou seja, 09, 03 e 01 respectivamente, pelo peso relativo (05, 04, 03, 02 e 01) correspondente ao grau de importância: $[(09 \times 02) + (03 \times 04) + (09 \times 04) + (03 \times 05) + (01 \times 03)] = 84$.

Quadro 1 – Matriz QFD.

Requisitos do Consumidor	Propriedades do Produto										SOMATÓRIO																						
	Forma do equipamento que transmite robustez	Cor uniforme	Continuidade e penetração dos cordões de solda	Resistência mecânica dos componentes estruturais	Rigidez da estrutura	Eficiência das partes hidráulicas	Folga e alinhamento das partes	Preço no posicionamento das bobinas	Aderência das garras	Nível de ruído	Vibração do conjunto	Eficiência ao pegar bobinas	Visibilidade dos produtos	Vida útil	Fácil identificação para uso	Operação do equipamento	Transporte e instalação	Mantenção e substituição de componentes	Tempo e esforço para montagem / desmontagem	Reciclagem	Segurança em caso de pane hidráulica	Adesivos indicadores de movimento / peso	Peso dos componentes	Fossibilidade de atualização do equipamento	Formato e movimentação das garras	Tamanho da garra	Estabilidade durante o transporte e elevação	Padronização de componentes	Gran de importância	Peso Relativo			
Boa aparência	9	9	3			1																3								10	2	31	
Alta qualidade	3	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	9	3	1	3	9	3	9	9	5	3	157		
Menor dano ao papel				3	3	9	1	9	9	3	3	9			3						3									2	5	66	
Visibilidade	3											9			3															4	18		
Confiabilidade / Durabilidade	9		9	9	9	9	9	9	9	3	1	9			9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	1	9	3	3	4	149			
Facilidade de utilização						1						1	9	9																	11	1	47
Facilidade de manutenção												3			1																9	2	34
Não agride o meio ambiente	3	3				3																									12	1	18
Segurança	3	9	9	9	9	9	9	9	9	1	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3		9	1	9	1	1	3	168		
Baixo peso do equipamento	1	1	9	1	3	9																									6	3	51
Várias faixas de aplicação			3	3	9																										9	2	43
Melhor aproveitamento dos espaços de armazenagem																															8	2	61
PONTUAÇÃO	84	30	120	159	135	194	115	111	113	153	9	33	121	98	81	72	154	21	117	81	58	126	93	160	78	157	99	181	53				

4.4.2 Fase 02: Gerar e selecionar soluções técnicas

Nesta fase do método as propriedades do produto levantadas na primeira etapa são agrupadas de acordo com funções comuns, ou seja, as propriedades que possuem funções similares são reunidas em grupos para facilitar a elaboração das soluções técnicas para satisfazê-las. Desta forma, uma solução técnica pode ser a mesma solução encontrada para satisfazer uma ou mais propriedades do produto. Segundo Erixon (1998), a formulação de funções e soluções técnicas não deve tornar-se um objetivo em si, mas sim uma ferramenta eficiente para uma boa comunicação e cooperação entre os membros da equipe e outros funcionários dentro da empresa.

Apesar de Erixon (1998) não propor um método específico para realizar a análise das soluções técnicas encontradas vs. as propriedades do produto exigidas, o autor levanta alguns pontos importantes a serem considerados:

- Na concepção de soluções técnicas normalmente não há apenas uma única resposta verdadeira para as análises funcionais.
- A integração de uma ou mais funções não deve ser considerada neste momento (o produto deve ser visto como uma pilha de funções), pois a integração será testada mais tarde na visão mais ampla da modularidade.
- Também não se deve buscar a decomposição distante (por exemplo, a decomposição até "porcas e parafusos" é normalmente distante). É melhor parar a decomposição um pouco antes e, em seguida, se as perguntas na próxima seção não puderem ser respondidas, continuar a decomposição quando necessário.
- É muito importante documentar cada solução técnica diferente para as mesmas funções que existem, e questionar a sua existência.

Com base nesses argumentos, a Tabela 9 foi elaborada em conjunto com a equipe de projetos, através da observação das propriedades do produto (estabelecidas na Fase 01, Tabela 7) reunindo as mesmas de acordo com funções comuns que elas desempenham, e após, as soluções técnicas necessárias para satisfazer as propriedades foram encontradas.

Tabela 9 – Soluções técnicas para as funções e propriedades do produto.

PROPRIEDADES DO PRODUTO	FUNÇÃO	SOLUÇÃO TÉCNICA
<p>1. Formato do equipamento que transmita robustez.</p> <p>3. Continuidade e penetração dos cordões de solda.</p> <p>4. Resistência mecânica dos componentes estruturais.</p> <p>5. Rigidez da estrutura.</p> <p>6. Eficiência das partes hidráulicas.</p> <p>7. Folga e alinhamento das partes.</p> <p>8. Precisão no posicionamento das bobinas.</p> <p>9. Aderência das garras.</p> <p>10. Pressão das garras.</p> <p>12. Vibração do conjunto.</p> <p>13. Eficiência ao pegar bobinas.</p> <p>14. Visibilidade dos produtos.</p> <p>16. Fácil identificação para uso.</p> <p>17. Operação do equipamento.</p> <p>24. Peso dos componentes.</p> <p>26. Formato e movimentação das garras.</p> <p>28. Estabilidade durante o transporte e elevação.</p> <p>29. Padronização de componentes.</p>	<p>1. Movimentar as bobinas sem provocar danos.</p> <p>2. Permitir o manuseio de diferentes tamanhos de bobinas.</p>	<p>1. Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito.</p> <p>2. Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo.</p> <p>3. Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras.</p> <p>4. Corpo aparelho giratório.</p> <p>5. Aparelho giratório.</p> <p>6. Cilindros hidráulicos.</p> <p>7. Placas de contato.</p> <p>8. Concha.</p> <p>9. Motor Hidráulico.</p> <p>10. Redutor.</p> <p>11. Válvula de Giro.</p> <p>12. Conjunto limitador da concha.</p> <p>13. Mangueiras e conexões.</p>
<p>15. Vida útil.</p> <p>18. Transporte e instalação.</p> <p>19. Manutenção e substituição de componentes.</p> <p>20. Tempo e esforço para montagem / desmontagem.</p> <p>21. Reciclagem.</p> <p>25. Possibilidade de atualização do equipamento.</p>	<p>3. Realizar o transporte e manutenção da garra.</p>	<p>14. Olhal para içamento.</p> <p>15. Parafusos e porcas padronizados.</p> <p>16. Presilha inferior.</p> <p>17. Presilha superior.</p>
<p>2. Cor uniforme.</p> <p>11. Nível de ruído.</p> <p>22. Segurança em caso de pane hidráulica.</p> <p>23. Adesivos indicativos de movimento / perigo.</p>	<p>4. Prover segurança durante a utilização.</p>	<p>18. Assessórios de identificação.</p> <p>19. Válvula de retenção.</p> <p>20. Válvula de contra balanço</p>

A Figura 24 auxilia na visualização das soluções técnicas encontradas pela equipe de projeto na Tabela 9.

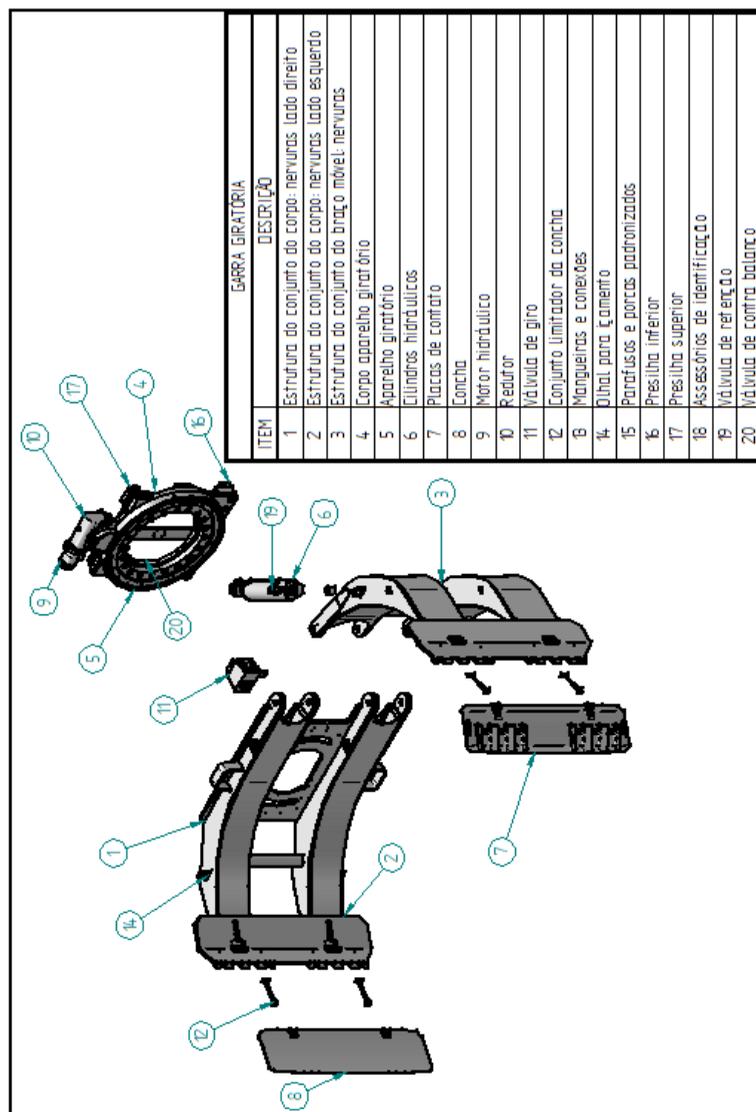


Figura 24 – Soluções Técnicas da Garra.

Esta decomposição do produto em funções e as correspondentes soluções técnicas normalmente se referem a uma decomposição funcional, que é a base para a criação de um bom projeto de produto modular, que começa com uma boa especificação e uma boa decomposição. Fine e Whitney (1996, *apud* Erixon, 1998) argumentam que a capacidade de decompor um produto ou um sistema, de cima para baixo, é uma habilidade básica estratégica que pode ser considerada uma competência essencial de uma empresa.

Durante esta fase do método várias soluções técnicas para as diferentes funções podem aparecer, de modo que um processo de seleção torna-se necessário. Erixon sugere os seguintes métodos como forma simples e estruturada para fazer essas escolhas: (a) a Matriz de seleção de Pugh (Pugh, 1981 e Tipnis, 1994 *apud* Erixon, 1998), pelo fato de não se tratar de uma matriz matemática, e sim um formulário que auxilia a esclarecer os critérios para a seleção e as diferentes ideias de uma forma amigável; (b) a Matriz de Projeto utilizada em Projeto Axiomático (Suh, 1990, *apud* Erixon, 1998); (c) a Árvore de Funções e Significados, utilizada em produtos complexos para organizar as funções e soluções técnicas na hierarquia correta (Svendsen & Thorp Hansen, 1993 *apud* Erixon, 1998); e (d) a Matriz das Propriedades do Produto (DPM), onde todas as soluções técnicas geradas são comparadas com as propriedades do produto para selecionar a melhor solução (PADAMATI, 2004).

Neste estudo foi utilizada a Matriz das Propriedades do Produto para auxiliar na seleção das melhores soluções. Em um processo semelhante ao empregado na Matriz QFD, as propriedades do produto foram avaliadas frente às soluções técnicas utilizando o seguinte critério: pontuação 09 quando ocorre uma relação considerada forte; pontuação 03 para relação média; pontuação 01 para relação fraca; e pontuação zero quando não há relação. A DPM para a garra giratória para bobinas pode ser vista no Quadro 2, e será utilizada posteriormente, juntamente com a Matriz de Identificação de Módulos para auxiliar no processo de identificação dos módulos (Fase 03 do método). Normalmente as partes que não possuem relação forte, média, ou fraca não são preenchidas, ou seja, ficam em branco. Entretanto, pelo fato de que esta matriz (DPM) será utilizada posteriormente para gerar os módulos em um software específico, a mesma já foi completada com zero para os devidos espaços não preenchidos.

Quadro 2 – Matriz das Propriedades do Produto (DPM).

Propriedades do Produto		Formato do equipamento que transmite robuex	Cor uniforme	Continuidade e penetração dos cordões de solda	Resistência mecânica dos componentes estruturais	Rígidez da estrutura	Eficiência das partes hidráulicas	Folga e alinhamento das partes	Preço no posicionamento das bobinas	Aderência das garras	Pressão das garras	Nível de ruído	Vibração do conjunto	Eficiência ao pegar bobinas	Estabilidade dos produtos	Vida útil	Fácil identificação para uso	Perigo do equipamento	Transporte e instalação de componentes	Mantimento e substituição de peças	Tempo e esforço para montagem / desmontagem	Reciclagem	Segurança em caso de pane hidráulica / Avarias indicativas de movimento / perigo	Peso dos componentes	Possibilidade de atualização do equipamento	Formato e volume das garras	Tamanho da garras	Estabilidade durante o transporte e elevação	Padronização de componentes		
1	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito.	9	3	9	9	9	0	3	1	0	0	0	9	3	0	9	0	0	0	0	3	9	0	0	9	3	9	9	0		
2	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo.	9	3	9	9	9	0	3	1	0	0	0	9	3	0	9	0	0	0	0	3	9	0	0	9	3	9	9	0		
3	Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras.	9	3	9	9	9	0	3	1	0	0	0	9	3	0	9	0	0	0	0	3	9	0	0	9	3	9	9	0		
4	Corpo aparelho giratório.	3	3	9	9	9	0	3	1	0	0	0	0	0	0	9	0	3	0	9	9	9	3	0	0	0	3	9	0		
5	Aparelho giratório	3	0	9	9	9	0	3	1	0	0	3	9	0	9	0	9	0	9	0	9	3	0	0	0	0	3	9	0		
6	Cilindros hidráulicos.	0	0	9	9	9	0	3	3	9	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0	3	9	0	3		
7	Faixas de contato.	0	3	9	9	9	0	0	0	9	3	3	9	0	9	0	9	0	0	0	9	9	0	0	9	9	9	9	9		
8	Concha.	0	0	9	0	0	0	0	0	9	3	0	9	9	0	9	0	0	0	0	9	9	0	0	9	9	9	9	9		
9	Motor Hidráulico.	1	0	0	0	0	9	0	3	1	9	3	9	9	9	9	0	3	0	3	9	1	3	0	9	9	0	0	9		
10	Redutor.	1	0	0	0	0	9	0	3	1	9	3	9	9	9	9	0	3	0	3	9	1	3	0	9	9	0	0	9		
11	Válvula de Giro.	0	3	9	3	3	0	0	1	1	0	3	3	0	0	9	0	0	1	3	9	0	0	0	1	9	3	9	9		
12	Conjunto limitador da concha	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	3	0	3	9	1	0	0	9	9	0	0	9	
13	Mangueiras e conexões.	1	0	9	9	0	0	0	0	0	3	0	0	1	9	0	9	0	9	9	0	1	3	0	0	3	0	0	0	9	
14	Óleia para lãmento.	1	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	9	9	0	1	9	1	0	0	0	0	0	9	
17	padronizados.	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	9	9	3	9	0	0	3	0	3	0	0	9	
18	Presilha inferior.	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	9	9	3	9	0	0	9	9	0	0	3	9	
19	Presilha superior.	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	9	9	3	9	0	0	9	9	0	0	3	9	
20	Assessores de identificação.	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	0	3	9	0	0	9	9	0	0	0	3	9
22	Válvula de retenção.	0	0	0	0	0	9	0	0	0	9	0	0	0	0	9	0	3	0	3	9	1	9	0	0	9	9	0	0	0	9
23	Válvula de contra balanço	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3	0	3	9	1	9	0	0	9	9	0	0	0	9
		45	30	81	95	84	57	27	23	24	46	12	111	67	45	180	45	65	54	79	110	103	37	9	159	94	66	54	132	84	
		SOMATÓRIO																													

4.4.3 Fase 03: Gerar o conceito modular

Na terceira fase do método MFD as soluções técnicas decorrentes da fase anterior foram transferidas para a Matriz de Indicação de Módulos (MIM). Erixon (1998) introduz essa ferramenta para conectar as diretrizes de modularização com as soluções técnicas de acordo com sua importância para o projeto. Desta forma, a MIM permite verificar a coerência entre as diretrizes de modularização e as soluções técnicas. A Matriz indica e revela quais as funções que apresentam uma maior tendência para a formação de módulos e quais podem ser agrupadas para a formação de um módulo.

Essa ferramenta baseia-se em 12 diretrizes propostas por Erixon (1998), relacionadas às razões pelas quais um produto deve ser modularizado, considerando características de todo o ciclo de vida do produto, em um procedimento semelhante ao empregado no QFD.

As diretrizes que foram utilizadas neste estudo são descritas a seguir:

- Acumular Conhecimento: uma parte ou um subsistema de um produto já existente pode ser reutilizado em um novo produto, isto é, pode migrar de uma geração anterior de um produto para uma nova geração, ou de uma família de produtos para outra. Isto pode evitar futuros retrabalhos.
- Evolução Tecnológica: o projeto do produto modular deve permitir alterações para acompanhar a evolução de novas tecnologias, novos materiais, normas, regulamentações dos mercados, etc. Uma parte ou subsistema do produto pode passar por uma mudança de tecnologia durante seu ciclo de vida, como por exemplo, um mecanismo puramente mecânico que passa a utilizar um sistema mecatrônico, resultante das exigências de seus consumidores, e até mesmo forçado pela concorrência. Isso o torna como um fator decisivo para a sua competitividade, e desta forma é necessária uma atenção especial aos concorrentes.
- Alterações de Projeto Planejadas: uma estratégia de desenvolvimento do produto deve ser elaborada. Cada produto reflete na organização e no seu processo de desenvolvimento. A integridade do produto depende das escolhas estratégicas que foram feitas e qual tecnologia foi escolhida para desenvolver. Isto requer renovação constante do produto para satisfazer o consumidor.

- Especificações Técnicas: o projeto do produto modular deve proporcionar variabilidade, ou seja, deve permitir a montagem de diferentes tipos de acessórios no mesmo produto para atender os requisitos dos consumidores.
- Unidade Comum: adotando-se o mesmo módulo para diversos produtos, a demanda desse módulo aumenta e com isso se obtém o ganho de escala, ou seja, os custos da cadeia de fornecimento são diluídos com o maior consumo do mesmo item.
- Organização e Processo: áreas menores podem ser formadas com equipes de trabalho para atender as necessidades de um módulo, principalmente se uma tarefa específica é realizada pela equipe. Isso também melhora a possibilidade de automação das operações similares e permite também a reutilização de equipamentos, de processos, e de habilidades. A produção organizada gera oportunidade de desenvolvimento para o trabalhador do chão de fábrica aumentando sua satisfação no trabalho. Etapas ou subconjuntos que tenham um tempo de montagem que diferem extremamente dos outros módulos também requerem atenção especial.
- Testes Individuais ou Separados: Uma função pode ser separada em um módulo quando essa função puder ser testada separadamente. Se cada módulo puder ser testado antes de ser fornecido para a linha principal de montagem, uma resposta imediata sobre a qualidade do módulo em questão pode ser fornecida, evitando retrabalhos futuros nos testes finais do produto, bem como a sucessão de produtos com um mesmo erro.
- Fornecedores Estratégicos: Um fornecedor de um módulo completo pode ser mais vantajoso do que vários fornecedores de componentes distintos que formarão o mesmo módulo. Além disso, fornecedores locais podem, muitas vezes, reduzir custos com transporte, além de alavancar o comércio local. O fornecedor pode ser também uma linha ou setor da própria empresa.
- Manutenção e Serviço: Um módulo danificado, ao ser substituído ou reparado, deve ter sua desmontagem, troca ou reparação, e montagem, realizados no menor tempo possível. A reparação do módulo deve observar também a possibilidade do centro de serviço especializado ser localizado estrategicamente para redução do tempo.

- Atualização: uma versão mais recente de um mesmo modelo de produto deve contemplar que o modelo antigo possa ser atualizado, e que lançamentos futuros também possam considerar esta sistemática. Desta forma, o cliente entende que, mesmo possuindo um produto mais antigo, o mesmo poderá ser atualizado sem ter a necessidade de compra um novo, criando uma relação de fidelidade entre cliente e fornecedor.
- Reciclagem: A quantidade de diferentes materiais pode ser limitada em cada módulo. Materiais que agridem o meio-ambiente ou sejam facilmente recicláveis podem ser mantidos em separado nos módulos, para que a desmontagem dos produtos para reciclagem ou descarte seja simplificada.

A ferramenta MIM foi escolhida por se tratar de uma matriz que pode ser alterada conforme a necessidade imediata e local de um projeto ou empresa. Embora seus critérios originais abordem aspectos de manufatura e sustentabilidade de forma superficial, como manutenção e serviço, atualização e reciclagem, novos critérios mais específicos foram estabelecidos para conferir a MIM características de uma ferramenta apoiada na manufatura sustentável. Estes critérios possibilitam à equipe de projeto nortear suas decisões para soluções que contemplem aspectos decisivos na concepção de um produto sustentável.

Para o produto deste estudo foram estabelecidos os seguintes critérios:

- Montagem / Desmontagem: deve prever a utilização de ferramentas convencionais e padronizadas, sem a utilização de equipamentos complexos, e também considerar aspectos ergonômicos do trabalho realizado. Os módulos devem permitir a solução do problema sem a danificação de nenhum componente ou até mesmo de outro módulo.
- Reutilização: alguns componentes podem ser reutilizados no mesmo produto (reutilização continuada, p.ex. botijões de gás que podem ser recarregados) quando atendem a mesma função, ou até mesmo em um novo produto (continuação da utilização, p.ex. pneus usados como amortecedores) quando atendem a uma nova função (PAHL e BEITZ *et al.*, 2005).
- Remanufatura / Recondicionamento: para reutilizar alguns componentes de produtos é necessário que ocorra antes o seu recondicionamento ou remanufatura, que consiste das seguintes

etapas: desmontagem completa; lavagem; teste; reutilização de peças que justifiquem sua recuperação, reparo das áreas submetidas à abrasão, retrabalho de peças ajustáveis, substituição de peças inaproveitáveis por peças novas; remontagem; e teste (PAHL e BEITZ *et al.*, 2005).

- Descarte (materiais utilizados): a inutilização de um componente ou até mesmo de todo um módulo deve prever questões relacionadas ao fim que será dado ao mesmo, ou seja, se o mesmo possui um processo de reciclagem que pode ser realizado, ou se trata de material perigoso ou nocivo que deve ser armazenado, ou até mesmo se antes de ser descartado o material precisa passar por algum outro processo. Um exemplo que pode ajudar no descarte consiste na identificação do material, por exemplo, os componentes plásticos que podem ser identificados conforme normas específicas, como pode ser visto na Figura 25. Outro aspecto referente aos materiais é a sua compatibilidade, tratada por Pahl e Beitz *et al.* (2005), que sugerem que até que os materiais sejam definidos pela ciência dos materiais e pela indústria metalúrgica de forma aplicável genericamente, como mostra a Figura 26 sobre a compatibilidade de plásticos, essa compatibilidade dos materiais deve ser esclarecida entre o projetista e os respectivos especialistas, principalmente para produtos fabricados em série, para os quais a reciclagem tem relativa importância.

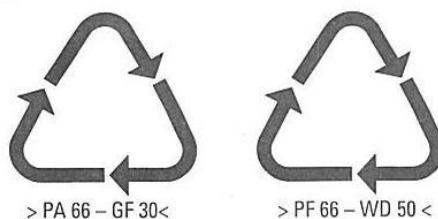


Figura 25 - Exemplo de identificação de peças de plástico de acordo com a DIN ISO 11469, DIN 7728 Parte 1 e DIN ISO 1042. (PAHL e BEITZ *et al.*, 2005).

		Material complementar												
Material básico	Importantes materiais plásticos para projetos	PE	PVC	PS	PC	PP	PA	POM	SAN	ABS	PBTB	PETP	PMMA	
		PE	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		PVC	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○
		PS	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		PC	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
		PP	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
		PA	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○
		POM	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		SAN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		ABS	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		PBTB	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		PETP	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		PMMA	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

- Compatível
- ◐ Compatível com restrições
- ◑ Compatível em pequenas quantidades
- Incompatíveis

Figura 26 - Compatibilidade de materiais plásticos. (KÄUFER, 1990 e VDI-RICHTLINIE 2243, 2000, *apud* PAHL e BEITZ *et al.*, 2005).

- Padronização de Componentes: alguns componentes mais simples e até em alguns casos outros mais complexos podem ser utilizados em um mesmo produto, basta rever a sua aplicação e considerar se realmente há a necessidade ou não de utilizar dois componentes distintos ao invés de apenas um. Um exemplo corriqueiro que pode ser citado ocorre na utilização de parafusos, muitas vezes são utilizados diversos tamanhos e tipos diferentes em um produto, quando poderia ser reduzida essa quantidade através de uma melhor observação e estudo da real necessidade dos mesmos. Isso pode gerar uma redução significativa da variedade dos componentes utilizados e assim reduzir estoques, além de facilitar a utilização de ferramentas, pois sua quantidade é reduzida na realização das montagens.
- Manufatura / Produção: normalmente, quando se pensa em manufatura ou produção, logo aparecem como objetivos principais a redução do tempo e do custo de produção, porém sem diminuir a qualidade do produto. Neste trabalho, contudo, o enfoque está em visualizar a manufatura de produtos considerando os aspectos sustentáveis envolvidos nos processos de fabricação, ou seja, consiste em avaliá-los do ponto de vista ambiental como forma selecionadora entre um processo ou outro. Em determinadas situações existe a possibilidade de escolher entre um ou outro processo, e essa escolha pode ser influenciada e/ou decidida, quando desejada, pelos projetistas, ao serem considerados os fatores ambientais envolvidos no processo de fabricação. Pahl e Beitz *et al.* (2005) consideram que esse poder

de influência ou decisão dos projetistas ou engenheiros pode ter influência sobre: os processos de produção a serem considerados; as máquinas operatrizes a serem empregadas, incluindo-se as ferramentas e os instrumentos de medição; a produção interna ou produção terceirizada, com larga utilização de peças repetitivas, produzidas na empresa, bem como as peças apropriadas padronizadas ou produzidas por terceiros; uma seleção conveniente de materiais, assim como seu aproveitamento; e as possibilidades de inspeções de qualidade. Atenção especial pode ser dada aos processos de conformação, corte e de soldagem.

- Marketing Verde: se refere ao processo de venda de produtos e serviços com base nos seus benefícios ambientais. Um produto ou serviço pode ser ambientalmente responsável em si mesmo, pelo modo como é produzido ou pelo modo como ele é vendido e embalado. Consiste na conscientização ambiental por parte do mercado consumidor. Segundo Voltolini (2006 *apud* Stringhini, 2009), o Marketing Verde é, em essência, um ajuste das estratégias mercadológicas de empresas às exigências de um novo tempo no qual consumidores desejam, mais do que produtos, compromissos firmes. Para Stringhini (2009), práticas indicam a consciência do consumidor, e divulgá-las a partir do Marketing Verde, passando a informação de como a empresa emprega seu produto no mercado e o que ela faz para minimizar o impacto, é o caminho a ser trilhado pelas empresas que pretendem entrar no Mercado Verde.

É importante salientar que os novos critérios estabelecidos vêm com o intuito de complementar os demais sugeridos. Além disso, percebem-se algumas similaridades entre alguns deles, como por exemplo, reciclagem, que é um critério estabelecido por Erixon (1998), e os critérios de reutilização, remanufatura e descarte, propostos neste trabalho. Como já mencionado, esta expansão permite aumentar o foco no projeto de um produto modular sustentável, considerando não somente a reciclagem em geral, mas cada uma das etapas que a compreendem.

Dentre os critérios propostos por Erixon (1998), 11 deles foram utilizados para o estudo da modularização da garra giratória, não tendo sido incluído apenas o critério de estilo, pelo fato de a equipe de projeto entender que sua utilização não seria tão importante quanto os demais. Estes 11 critérios são apontados no Quadro 3 e estão agrupados abaixo

do título “diretrizes de modularização – modelo atual 01”. Da mesma forma, os novos critérios elaborados e agora já utilizados podem ser visualizados abaixo do título “diretrizes de modularização – manufatura sustentável 02”, pois dizem respeito aos critérios de sustentabilidade adicionados ao método.

Pode-se verificar ainda que alguns dos critérios propostos estão com cores iguais às de alguns critérios de manufatura sustentável. Isto se deve ao fato de que alguns dos critérios propostos, de certa forma, já englobavam aspectos de sustentabilidade, como comentado ao longo deste trabalho. Mas como a proposta é de torná-los decisivos nas escolhas, os mesmos foram subdivididos em novos grupos mais específicos e abrangentes, mas que possuem alguma relação com os atuais, como pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10 - Relação entre os critérios atuais e os que contemplam a manufatura sustentável.

DIRETRIZES DE MODULARIZAÇÃO	
MODELO ATUAL	MANUFATURA SUSTENTÁVEL
Unidade comum	Padronização de Componentes
Manutenção e serviço	Montagem / Desmontagem
Reciclagem	Reutilização Remanufatura/Recondicionamento Descarte (materiais utilizados)

A correta avaliação da Matriz de Indicação de Módulos (MIM) e da Matriz das Propriedades do Produto (DPM) é fundamental para que os resultados esperados possam ser tão verdadeiros e úteis como se espera. Por se tratar de duas matrizes cujo preenchimento é manual, deve-se tomar extremo cuidado e atenção de forma que não ocorra nenhuma tendência ou mascaramento das informações nelas contidas.

Com os dados obtidos através das duas matrizes, pode-se agora formar uma nova matriz (Quadro 4), que conterá as informações necessárias para gerar os possíveis módulos do produto. Devido à quantidade de informações contidas nessa nova matriz, esses dados, também chamados de vetores, são introduzidos então em um *software* estatístico para fazer uma ramificação hierárquica e gerar um dendograma, conforme recomenda Erixon (1998).

Uma ramificação hierárquica, também chamada dendograma, é um diagrama que, por meio da análise estatística dos dados, indica o melhor agrupamento e ordenação das soluções técnicas de acordo com as suas similaridades. Para gerar o dendograma foi utilizado o Software JMP® (*Statistical Discovery Software*)⁵, e a opção escolhida foi a análise de *Cluster*.

Segundo Fleig (2008), a análise de *Cluster* deve ser utilizada sempre que houver necessidade de classificar uma grande quantidade de informações em conjuntos de informações gerenciáveis. O algoritmo utilizado na análise de *Cluster* tem como objetivo reunir objetos em conjuntos maiores sucessivos, usando alguma medida de similaridade ou distância. A similaridade é um conjunto de regras que serve como critério para agrupar ou separar itens. A medida de similaridade pode se basear em uma única dimensão ou múltiplas dimensões, com cada uma delas representando uma regra ou condição para o agrupamento de objetos.

Neste trabalho as medidas de similaridade consideradas foram as mesmas utilizadas para a Matriz do QFD, para a Matriz MIM, e para a Matriz DPM, ou seja: 09 para uma relação forte; 03 para uma relação média; 01 para uma relação fraca; e zero quando não há relação (pelo fato de ser utilizado um *software* onde não se pode deixar nenhum campo em branco).

⁵ O Software JMP® foi escolhido por ser um *software* completo e confiável. Uma versão experimental gratuita foi utilizada durante um período de 30 dias para gerar o dendograma. Outros *softwares* estatísticos também podem ser utilizados, como, por exemplo, o *Software* InfoSat, disponível em <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=37>.

O dendograma gerado a partir dos vetores do Quadro 4 pode ser visualizado na Figura 27, onde para este caso foi utilizada a opção de 06 grupos (*clusters*). Primeiramente foi verificado o dendograma para uma opção de 05 grupos, mas ocorreu que as soluções técnicas geradas estavam muito concentradas (APÊNDICE A), ou seja, soluções com pouca ou nenhuma relação acabaram ficando um mesmo grupo. Posteriormente experimentou-se a opção de 07 grupos, porém esta também não resultou em bons resultados, pois algumas funções ficaram expandidas demais, ou seja, os grupos formados ficaram dispersos demais e em alguns casos com pouca ou nenhuma similaridade (APÊNDICE B). A opção que melhor representou a seleção de soluções técnicas foi a que contemplou 06 grupos, além do fato de que a equipe de projeto precisou posteriormente intervir em alguns pontos do dendograma, para realizar a melhor escolha dos módulos.



Figura 27 - Dendograma para geração dos módulos.

A análise do dendograma permite verificar quais soluções técnicas possuem maior afinidade e, desta forma, tornaram a formar os seis grupos, identificados pelos respectivos marcadores, a saber:

- GRUPO 01 (○): Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito. Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo. Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras.
- GRUPO 02 (+): Corpo aparelho giratório. Aparelho giratório.

- c. GRUPO 03 (◇): Placas de contato. Concha.
- d. GRUPO 04 (✕): Conjunto limitador da concha. Olhal para içamento. Presilha inferior. Presilha superior.
- e. GRUPO 05 (△): Mangueiras e conexões. Parafusos e porcas padronizados. Assessorios de identificação.
- f. GRUPO 06 (Υ): Cilindros hidráulicos. Motor Hidráulico. Redutor. Válvula de Giro. Válvula de retenção. Válvula de contra balanço.

Embora o dendograma revele uma grande similaridade entre as soluções técnicas que, por conseguinte, formaram os seis grupos, uma nova análise foi realizada juntamente com a equipe de projetos para validar esses resultados. Neste ponto do projeto modular a experiência da equipe se torna fundamental, pois sua contribuição é extremamente importante para a realização de um ótimo projeto de produto com a perspectiva modular. Também foram observadas as etapas de produção da garra giratória, onde foi realizado um acompanhamento de cada etapa que compõe o processo de desenvolvimento, fabricação, e montagem final, onde os colaboradores foram ouvidos com a finalidade de aproximação entre soldadores, montadores, pintores, etc., e projetistas e engenheiros.

Muitas vezes esse diálogo não ocorre, ou mesmo quando ocorre, não é de forma clara e satisfatória. Por este motivo, muitas sugestões relativas aos processos envolvidos na fabricação do produto, e até mesmo ao projeto do produto, não são levadas adiante, perdendo o colaborador, que poderia ser melhor aproveitado, o projetista ou engenheiro, que futuramente terá de identificar esses problemas talvez em momentos inoportunos, e conseqüentemente o cliente, que perderá em termos de qualidade, preço e inovação.

Desta forma, a Tabela 11 apresenta o resultado final da modularização já realizados os devidos ajustes antes descritos. É importante esclarecer que a empresa não possui nenhum procedimento, método, ou documentação que evidencie a modularização, contudo, a ideia de módulos está presente na cultura da empresa, mas de forma abstrata e não no entendimento de todo o grupo e de uma forma comum a todos. Assim, a Tabela 11, nova para a empresa, torna-se fundamental para a identificação dos novos módulos formados e para a compreensão de quais soluções técnicas estão agrupadas em cada módulo.

Tabela 11 – Módulos gerados a partir do dendograma.

GRUPOS: GERADOS A PARTIR DO DENDOGRAMA	SOLUÇÕES TÉCNICAS	MÓDULOS
01 (○)	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito.	A: Estrutura do conjunto do corpo e braço.
01 (○)	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo.	
01 (○)	Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras.	
04 (✕)	Olhal para içamento.	B: Aparelho giratório.
02 (+)	Corpo aparelho giratório.	
02 (+)	Aparelho giratório.	
04 (✕)	Presilha inferior.	
04 (✕)	Presilha superior.	
06 (Y)	Válvula de contra balanço.	C: Sistema de manuseio das bobinas.
03 (◇)	Placas de contato.	
03 (◇)	Concha.	
04 (✕)	Conjunto limitador da concha.	D: Mangueiras e conexões.
05 (△)	Mangueiras e conexões.	
05 (△)	Parafusos e porcas padronizados.	E: Parafusos e porcas padronizados.
05 (△)	Assessórios de identificação.	F: Assessórios de identificação.
06 (Y)	Motor hidráulico.	G: Sistema hidráulico de força.
06 (Y)	Redutor.	
06 (Y)	Cilindros hidráulicos.	H: Válvulas e cilindros hidráulicos.
06 (Y)	Válvula de retenção.	
06 (Y)	Válvula de giro.	

Os módulos gerados e visualizados na Tabela 11 podem ser melhor compreendidos por meio das imagens dos componentes que os formaram, mostradas na Figura 28.

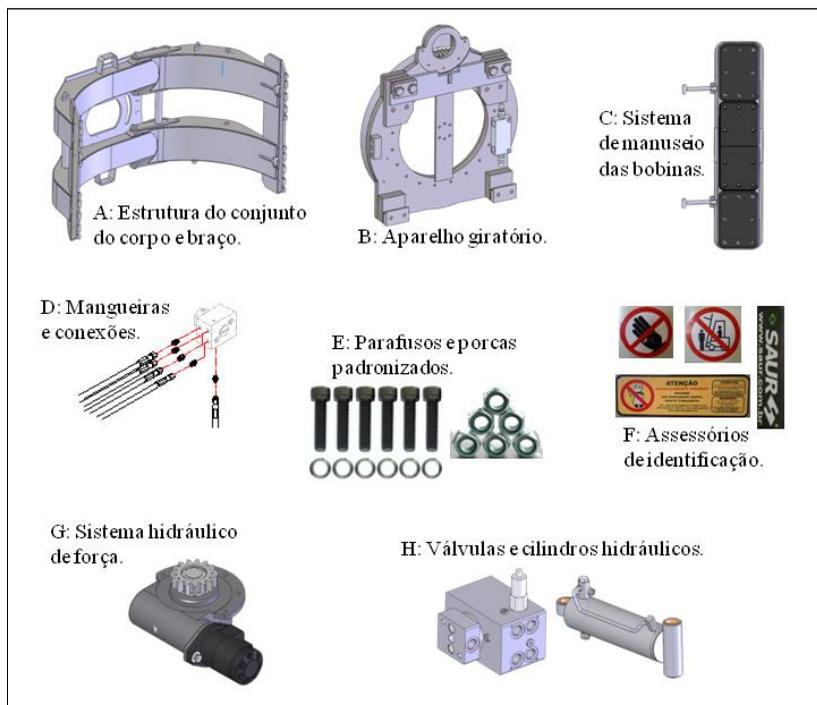


Figura 28 – Módulos finais gerados com base no dendograma.

4.4.4 Fase 04: Analisar os conceitos

A Fase 04 do método consiste em avaliar os conceitos gerados através da Matriz de Interfaces (MI), onde um cruzamento entre os módulos é realizado e o modelo de interface existente entre eles é indicado. As interfaces podem ser: espacial (S), de fixação (A), de transferência (T), de campo (F), de ambiente (E), ou de controle ou comunicação (C). Para os casos em que não há interação entre algum par de módulos, a célula permanece em branco.

A Matriz de Interfaces para o produto do estudo pode ser visualizada no Quadro 5.

Quadro 5 – Matriz de Interfaces.

Tipos de Interfaces: A - conexão T - transferência C - controle S - espacial F - campo E - ambiente	Estrutura do conjunto do corpo e braço.	Aparelho giratório	Sistema de manuseio das bobinas	Mangueiras e conexões	Parafusos e porcas padronizados	Assessórios de identificação	Sistema hidráulico de força	Válvulas e cilindros hidráulicos
Estrutura do conjunto do corpo e braço.		A,T,C	A,T,S,F		A	A		A,T,S,F
Aparelho giratório.			T	A,T	A		A,T,C,S	A,T,C
Sistema de manuseio das bobinas					A,C		C	A,C,S
Mangueiras e conexões					A		A,T,F,E	A,T,F,E
Parafusos e porcas padronizados							A	A
Assessórios de identificação								
Sistema hidráulico de força								T,C,F,E
Válvulas e cilindros hidráulicos								

Um importante elemento nesta fase do método de analisar os conceitos é o Mapa de Gerenciamento do Produto (PMM), que mostra uma visão ampla do processo de modularização. O PMM é elaborado a partir das três principais matrizes utilizadas no método MFD: a Matriz QFD, que relaciona os requisitos do consumidor com as propriedades de produto; a DPM, que relaciona as propriedades do produto e as soluções técnicas; e a MIM, que estabelece uma relação entre as soluções técnicas e as diretrizes de modularização.

Para Oliveira (2010) o PMM é um documento “vivo”, ou seja, mesmo depois de elaborado, ainda durante o projeto, há a necessidade de revisá-lo para eventuais alterações. Por vezes, decisões tomadas em fases iniciais do projeto não se mostram factíveis com o desenvolver do processo, como por exemplo uma solução técnica inovadora que se mostre muito cara, ou um fornecedor estratégico que seja impedido de firmar contrato com a empresa. Nesses casos é necessário voltar ao PMM para avaliar quais os impactos dessas mudanças, quais as propriedades de produto impactadas, e eventuais necessidades de cliente que possam não ser atendidas por essa alteração.

Assim, o PMM permite verificar se as diretrizes de modularização estão alinhadas com as soluções técnicas, com as propriedades do produto, e com os requisitos do consumidor. O Quadro 6 mostra a relação encontrada entre essas informações.

4.4.5 Fase 05: Aperfeiçoar os módulos

A fase final do método MFD proposto por Erixon (1998) é extremamente importante, pois consiste em documentar tudo o que foi realizado até o momento, ou seja, especificar cada um dos módulos gerados e fornecer dados suficientes de entrada para a realização do detalhamento do projeto. Desta forma, uma planilha preenchida em forma de formulário com as especificações e descrições dos módulos foi elaborada para o módulo proposto neste trabalho.

A Tabela 12 ilustra as especificações para o Módulo A - Estrutura do conjunto do corpo e braço, enquanto a Tabela 13 mostra as especificações para o Módulo B – Aparelho giratório.

Tabela 12 - Especificação do Módulo A - Estrutura do conjunto do corpo e braço.

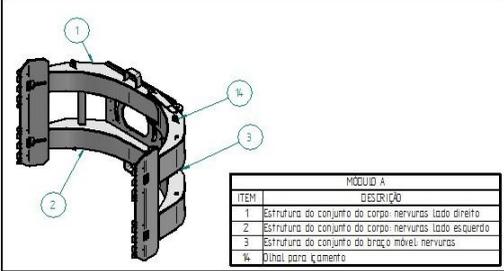
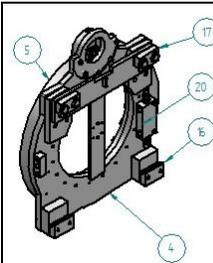
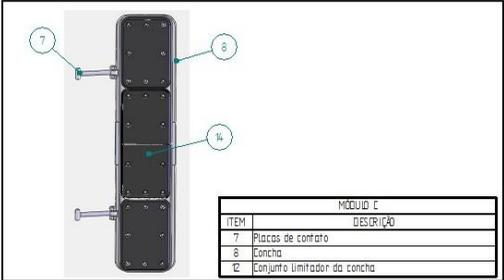
Nome do módulo: Estrutura do conjunto do corpo e braço													
Descrição: Estrutura mecânica da garra que contém o corpo e o braço da mesma e o sistema para transporte. Não deve deformar-se quando em carregamento de bobinas.													
Desenho (esboço):	 <table border="1" data-bbox="688 507 960 603"> <thead> <tr> <th colspan="2">MODULO A</th> </tr> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Olhal para içamento</td> </tr> </tbody> </table>	MODULO A		ITEM	DESCRIÇÃO	1	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito	2	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo	3	Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras	4	Olhal para içamento
MODULO A													
ITEM	DESCRIÇÃO												
1	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito												
2	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo												
3	Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras												
4	Olhal para içamento												
Diretrizes de modularização:													
Unidade comum.	Reciclagem.												
Alterações de projeto planejadas.	Reutilização.												
Especificações técnicas.	Remanufatura / recondiçãoamento.												
Acumular conhecimento.	Descarte (materiais utilizados)												
Organização e processo.	Padronização de componentes.												
Atualização.	Manufatura / produção.												
Soluções técnicas (MIM):													
Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito.	Estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo.												
Estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras.	Olhal para içamento.												
Interface com (MI):													
Sistema de manuseio das bobinas.	Aparelho giratório.												
Parafusos e porcas padronizados.	Acessórios de identificação.												
	Válvulas e cilindros hidráulicos.												
Considerar: (Propriedades do produto - QFD)													
Formato do equipamento que transmita robustez.	Vibração do conjunto.												
	Vida útil.												
Continuidade e penetração dos cordões de solda.	Reciclagem.												
	Peso dos componentes.												
Resistência mecânica dos componentes estruturais.	Formato e movimentação das garras.												
	Tamanho da garra.												
Rigidez da estrutura.	Estabilidade durante o transporte e elevação.												

Tabela 13 - Especificação do Módulo B – Aparelho giratório.

Nome do módulo: Aparelho giratório.															
Descrição: Realiza o giro da estrutura da garra e através das presilhas pode ser montado/desmontado na empilhadeira. Deve suportar o peso das bobinas sem pender para um lado ou outro.															
Desenho (esboço):	 <table border="1" data-bbox="599 470 901 598"> <thead> <tr> <th colspan="2">MÓDULO B</th> </tr> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>Corpo aparelho giratório</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Aparelho giratório</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>Presilha inferior</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>Presilha superior</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>Válvula de contra balanço</td> </tr> </tbody> </table>	MÓDULO B		ITEM	DESCRIÇÃO	4	Corpo aparelho giratório	5	Aparelho giratório	16	Presilha inferior	17	Presilha superior	20	Válvula de contra balanço
MÓDULO B															
ITEM	DESCRIÇÃO														
4	Corpo aparelho giratório														
5	Aparelho giratório														
16	Presilha inferior														
17	Presilha superior														
20	Válvula de contra balanço														
Diretrizes de modularização:															
Evolução tecnológica. Alterações de projeto planejadas. Especificações técnicas. Acumular conhecimento. Organização e processo. Testes individuais ou separados. Fornecedores estratégicos. Manutenção e serviços.	Atualização. Reciclagem. Montagem / desmontagem. Reutilização. Remanufatura / recondicionamento. Descarte (materiais utilizados). Padronização de componentes. Manufatura / produção.														
Soluções técnicas (MIM):															
Corpo aparelho giratório. Aparelho giratório. Presilha inferior.	Presilha superior. Válvula de contra balanço.														
Interface com (MI):															
Estrutura do conjunto do corpo e braço. Sistema de manuseio das bobinas.	Mangueiras e conexões. Parafusos e porcas padronizados. Sistema hidráulico de força. Válvulas e cilindros hidráulicos.														
Considerar: (Propriedades do produto - QFD)															
Resistência mecânica dos componentes estruturais. Rigidez da estrutura. Vida útil. Operação do equipamento. Manutenção e substituição de componentes.	Tempo e esforço para montagem / desmontagem. Reciclagem. Peso dos componentes. Possibilidade de atualização do equipamento. Estabilidade durante o transporte e elevação.														

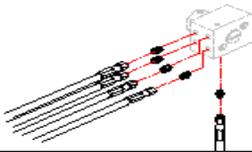
A Tabela 14 ilustra as especificações para o Módulo C - Sistema de manuseio das bobinas.

Tabela 14 - Especificação do Módulo C - Sistema de manuseio das bobinas.

Nome do módulo: Sistema de manuseio das bobinas.											
Descrição: Onde ocorre de fato o contato com as bobinas em sua movimentação. Não pode ocorrer deslizamento algum.											
Desenho (esboço):	 <table border="1" data-bbox="680 635 960 715"> <thead> <tr> <th colspan="2">MÓDULO C</th> </tr> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>Placas de contato</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Concha</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Conjunto limitador da concha</td> </tr> </tbody> </table>	MÓDULO C		ITEM	DESCRIÇÃO	7	Placas de contato	8	Concha	9	Conjunto limitador da concha
MÓDULO C											
ITEM	DESCRIÇÃO										
7	Placas de contato										
8	Concha										
9	Conjunto limitador da concha										
Diretrizes de modularização:											
Evolução tecnológica.	Montagem / desmontagem.										
Alterações de projeto planejadas.	Reutilização.										
Especificações técnicas.	Remanufatura / recondicionamento.										
Acumular conhecimento.	Descarte (materiais utilizados).										
Manutenção e serviços.	Padronização de componentes.										
Atualização.	Manufatura / produção.										
Soluções técnicas (MIM):											
Placas de contato.	Conjunto limitador da concha.										
Concha.											
Interface com (MI):											
Estrutura do conjunto do corpo e braço.	Sistema de manuseio das bobinas.										
Aparelho giratório.	Parafusos e porcas padronizados.										
	Válvulas e cilindros hidráulicos.										
Considerar: (Propriedades do produto - QFD)											
Continuidade e penetração dos cordões de solda.	Peso dos componentes.										
Vibração do conjunto.	Formato e movimentação das garras.										
Eficiência ao pegar bobinas.	Tamanho da garra.										
Vida útil.	Estabilidade durante o transporte e elevação.										
Reciclagem.	Padronização de componentes.										
Tempo e esforço para montagem / desmontagem.											

A Tabela 15 ilustra as especificações para o Módulo D - Mangueiras e conexões.

Tabela 15 - Especificação do Módulo D - Mangueiras e conexões.

Nome do módulo: Mangueiras e conexões.	
Descrição: Compreende a ligação entre válvulas, cilindros, motor e reductor hidráulicos.	
Desenho (esboço):	
 <p>O diagrama mostra um módulo hidráulico retangular com uma face superior plana. Várias mangueiras pretas e vermelhas saem da base do módulo, conectando-se a componentes hidráulicos. Uma mangueira vermelha é conectada a um cilindro hidráulico, enquanto outras mangueiras pretas e vermelhas se conectam a outros pontos do sistema. O diagrama ilustra a configuração de um sistema hidráulico modular.</p>	
Diretrizes de modularização:	
Atualização.	Padronização de componentes.
Montagem / desmontagem.	Marketing verde.
Manufatura / produção.	
Soluções técnicas (MIM):	
Mangueiras e conexões.	Sistema hidráulico e de força.
Parafusos e porcas padronizados.	Válvulas e cilindros hidráulicos. Aparelho giratório.
Interface com (MI):	
Estrutura do conjunto do corpo e braço.	Sistema de manuseio das bobinas. Parafusos e porcas padronizados.
Aparelho giratório.	Válvulas e cilindros hidráulicos.
Considerar: (Propriedades do produto - QFD)	
Visibilidade dos produtos.	Manutenção e substituição de componentes.
Vida útil.	
Transporte e instalação.	Estabilidade durante o transporte e elevação.
Padronização de componentes.	

A Tabela 16 ilustra as especificações para o Módulo E - Parafusos e porcas padronizados.

Tabela 16 - Especificação do Módulo E - Parafusos e porcas padronizados.

Nome do módulo: Parafusos e porcas padronizados.	
Descrição: Realiza a função de união entre componentes, sendo possível sua retirada quando necessário.	
Desenho (esboço):	
	
Diretrizes de modularização:	
Unidade comum.	Remanufatura / recondicionamento
Evolução tecnológica.	Descarte (materiais utilizados).
Acumular conhecimento.	Padronização de componentes.
Montagem / desmontagem.	Manufatura / produção.
Reutilização.	
Soluções técnicas (MIM): Parafusos e porcas padronizados.	
Interface com (MI):	
Estrutura do conjunto do corpo e braço.	Sistema de manuseio das bobinas. Sistema hidráulico de força.
Aparelho giratório.	Válvulas e cilindros hidráulicos.
Mangueiras e conexões.	
Considerar: (Propriedades do produto - QFD)	
Folga e alinhamento das partes.	Manutenção e substituição de componentes.
Vida útil.	Estabilidade durante o transporte e elevação.
Fácil identificação para uso.	
Transporte e instalação.	Padronização de componentes.
Reciclagem.	

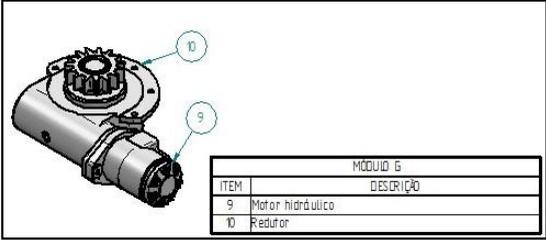
A Tabela 17 ilustra as especificações para o Módulo F - Assessorios de identificação.

Tabela 17 - Especificação do módulo F - Assessorios de identificação.

Nome do módulo: Assessorios de identificação.									
Descrição: Componentes que servem para identificar ou facilitar a identificação de algo.									
Desenho (esboço):	  								
Diretrizes de modularização:	<table> <tr> <td>Unidade comum.</td> <td>Testes individuais ou separados.</td> </tr> <tr> <td>Especificações técnicas.</td> <td>Padronização de componentes.</td> </tr> <tr> <td>Organização e processo.</td> <td>Manufatura / produção.</td> </tr> <tr> <td>Fornecedores estratégicos.</td> <td>Marketing verde.</td> </tr> </table>	Unidade comum.	Testes individuais ou separados.	Especificações técnicas.	Padronização de componentes.	Organização e processo.	Manufatura / produção.	Fornecedores estratégicos.	Marketing verde.
Unidade comum.	Testes individuais ou separados.								
Especificações técnicas.	Padronização de componentes.								
Organização e processo.	Manufatura / produção.								
Fornecedores estratégicos.	Marketing verde.								
Soluções técnicas (MIM): Assessorios de identificação									
Interface com (MI): Estrutura do conjunto do corpo e braço.									
Considerar: (Propriedades do produto - QFD)									
Cor uniforme.	Transporte e instalação.								
Vida útil.	Adesivos indicativos de								
Fácil identificação para uso.	movimento / perigo.								
Operação do equipamento.	Padronização de componentes.								

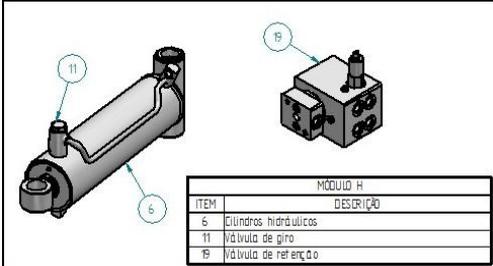
A Tabela 18 ilustra as especificações para o Módulo G - Sistema hidráulico de força.

Tabela 18 - Especificação do Módulo G - Sistema hidráulico de força.

Nome do módulo: Sistema hidráulico de força.									
Descrição: Sistema que gera a força hidráulica para o funcionamento da garra.									
Desenho (esboço):	 <table border="1" data-bbox="647 536 978 616"> <thead> <tr> <th colspan="2">MÓDULO G</th> </tr> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>Motor hidráulico</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Redutor</td> </tr> </tbody> </table>	MÓDULO G		ITEM	DESCRIÇÃO	9	Motor hidráulico	10	Redutor
MÓDULO G									
ITEM	DESCRIÇÃO								
9	Motor hidráulico								
10	Redutor								
Diretrizes de modularização:									
Evolução tecnológica.	Atualização.								
Alterações de projeto planejadas.	Reciclagem.								
Especificações técnicas.	Montagem / desmontagem.								
Acumular conhecimento.	Reutilização.								
Organização e processo.	Remanufatura / recondicionamento								
Testes individuais ou separados.	Descarte (materiais utilizados).								
Fornecedores estratégicos.	Manufatura / produção.								
Manutenção e serviços.	Marketing verde.								
Soluções técnicas (MIM):									
Motor hidráulico.									
Redutor.									
Interface com (MI):									
Aparelho giratório.	Parafusos e porcas padronizados.								
Sistema de manuseio das bobinas.	Válvulas e cilindros hidráulicos.								
Mangueiras e conexões.									
Considerar: (Propriedades do produto - QFD)									
Eficiência das partes hidráulicas.	Tempo e esforço para montagem / desmontagem.								
Pressão das garras.									
Vibração do conjunto.	Peso dos componentes.								
Eficiência ao pegar bobinas.	Possibilidade de atualização do equipamento.								
Visibilidade dos produtos.									
Vida útil.	Estabilidade durante o transporte e elevação.								

A Tabela 19 ilustra as especificações para o Módulo H - Válvulas e cilindros hidráulicos.

Tabela 19 - Especificação do Módulo H - Válvulas e cilindros hidráulicos.

Nome do módulo: Válvulas e cilindros hidráulicos.											
Descrição: Realizam / permitem o movimento das garras.											
Desenho (esboço):	 <table border="1" data-bbox="528 486 837 577"> <thead> <tr> <th colspan="2">MÓDULO H</th> </tr> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>Cilindros hidráulicos</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Válvula de giro</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>Válvula de retenção</td> </tr> </tbody> </table>	MÓDULO H		ITEM	DESCRIÇÃO	6	Cilindros hidráulicos	11	Válvula de giro	15	Válvula de retenção
MÓDULO H											
ITEM	DESCRIÇÃO										
6	Cilindros hidráulicos										
11	Válvula de giro										
15	Válvula de retenção										
Diretrizes de modularização: Unidade comum. Evolução tecnológica. Alterações de projeto planejadas. Acumular conhecimento. Organização e processo. Testes individuais ou separados. Fornecedores estratégicos.	Manutenção e serviços. Atualização. Montagem / desmontagem. Reutilização. Remanufatura / recondicionamento Manufatura / produção. Marketing verde.										
Soluções técnicas (MIM): Cilindros hidráulicos. Válvula de retenção.	Válvula de giro.										
Interface com (MI): Estrutura do conjunto do corpo e braço Sistema de manuseio das bobinas. Mangueiras e conexões. Parafusos e porcas padronizados.	Válvulas e cilindros hidráulicos. Aparelho giratório.										
Considerar: (Propriedades do produto - QFD) Eficiência das partes hidráulicas. Pressão das garras. Vibração do conjunto. Vida útil. Peso dos componentes.	Possibilidade de atualização do equipamento. Estabilidade durante o transporte e elevação. Tempo e esforço para montagem / desmontagem.										

Finalizada quinta fase do Método MFD considera-se o mesmo concluído, e passa-se então para a análise dos resultados obtidos com o processo de modularização proposto pelo presente trabalho.

4.5 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MODULARIZAÇÃO PROPOSTO

Tendo sido realizada a modularização do produto alvo do estudo, a garra giratória para bobinas, algumas considerações foram elaboradas sobre o processo de modularização, as quais são descritas a seguir.

4.5.1 CULTURA DA EMPRESA ALVO DO ESTUDO

O fato de a empresa ainda não utilizar nenhuma metodologia no desenvolvimento dos seus produtos contemplando o conceito de projeto de produto modular, esta proposta contribuiu para despertar o interesse da empresa na aplicação do método MFD aos seus produtos, em especial à garra para bobinas giratória. Desde as primeiras tratativas houve um interesse especial nos resultados que poderiam ser obtidos, ou simplesmente para constatar se a forma com que este produto vinha sendo projetado e fabricado até o presente momento se enquadrava com o conceito modular.

Esta expectativa, além de motivar o trabalho, se traduziu em fatores extremamente importantes como: acesso à empresa, disponibilidade de informações relevantes, acesso aos processos de produção e contato direto com pessoas envolvidas na produção do produto considerado, contato com as diversas áreas atuantes em todo o ciclo de desenvolvimento da garra giratória, entre outros. Se o resultado da modularização foi alcançado, em grande parte isso se deve à disponibilidade incondicional da empresa.

No entendimento da empresa, a mesma já produz produtos modulares, no entanto pode-se inferir que não há nenhuma metodologia ou até mesmo um roteiro de projeto que contemple as etapas da modularização, ou seja, isto não está claro para todos dentro da empresa. Além disso, os aspectos ambientais relacionados aos processos de fabricação poucas vezes são considerados como fator decisivo na escolha de um ou outro processo para fabricar seus produtos. Estes aspectos são, é claro, de preocupação da empresa, mas no que se refere ao cumprimento da legislação vigente, e não na consideração dos processos aplicados a manufatura dos produtos.

4.5.2 Resultados da Fase 01: Definir os Requisitos do Consumidor

Entender de forma clara a objetiva o que o cliente quer em um determinado produto é o primeiro passo para o sucesso do seu desenvolvimento. Nesta fase, foram levantadas e questionadas, principalmente, as necessidades do consumidor a fim de chegar a pontos comuns e alinhar o projeto modular. Esta não é uma tarefa fácil, pois envolve diferentes pessoas, com diferentes funções dentro e fora da empresa, e com opiniões diferentes sobre o produto alvo do estudo. O que por vezes para um é importante, para outro não o é da mesma forma, e entrar em um consenso requer organização e cautela, diálogo constante entre todos, e, principalmente, ferramentas adequadas para tal. Neste aspecto, o MFD mostrou-se satisfatório, pois as ferramentas indicadas cumpriram com suas finalidades.

Nesta fase, a equipe de projeto pode refletir um pouco mais sobre os requisitos do consumidor, como é o caso do requisito Segurança. Na tabela 06, Segurança aparece em primeiro lugar como grau de importância, mas é importante ressaltar que, nas primeiras reuniões com a equipe de projeto, este critério não estava entre as primeiras colocações, e somente após alguns períodos de diálogo e discussão a segurança ocupou a sua posição atual. Isto ocorreu devido ao fato de a equipe de projeto, em sua pré-concepção do produto, considerar a segurança como um requisito que não deveria ser discutido, ou seja, o produto deveria ser seguro de qualquer forma, independente do projeto ser modular ou não. Esse fato reforça a importância de que uma metodologia de projeto, neste caso a modularização, é necessária, e deve ser conduzida de forma eficaz para que não ocorram interpretações erradas, e que não seja influenciada por vícios de fábrica ou de projeto.

4.5.3 Resultados da Fase 02: Gerar e Selecionar Soluções Técnicas

Nesta etapa as principais funções do produto foram identificadas e uma lista com soluções técnicas foi elaborada para satisfazer as funções. As funções da garra giratória podem se resumir a quatro grupos: a movimentação de bobinas sem danificá-las, o manuseio de diferentes tamanhos de bobinas, a manutenção e transporte da barra, e a segurança durante sua utilização. As soluções técnicas foram estabelecidas com base na experiência da equipe de projeto, e também com o auxílio da avaliação do seu principal concorrente.

A DPM mostrou-se eficiente para classificar as propriedades do produto frente às soluções técnicas. As propriedades do produto que obtiveram maior pontuação foram: vibração do conjunto, vida útil,

tempo e esforço para montagem / desmontagem, peso dos componentes, e estabilidade durante o transporte e elevação. Estas informações são importantes para a finalização da fase 03, em que são agrupadas com as diretrizes de modularização para gerar os vetores para o dendograma que auxiliará na identificação dos módulos.

4.5.4 Resultados da Fase 03: Gerar o Conceito Modular

Considera-se esta fase como a mais importante para o conceito de projeto modular, pois aqui, com o auxílio da MIM, são gerados os módulos que vão constituir o produto. A MIM é utilizada para conectar as diretrizes de modularização com as soluções técnicas de acordo com sua importância para o projeto. Das 12 diretrizes propostas, apenas uma não foi considerada neste estudo, a de Estilo. O principal motivo deve-se ao fato de, historicamente, os principais clientes da empresa não buscarem por este aspecto como fator decisivo na hora da compra, e em comum acordo com a empresa este critério não foi considerado.

A grande vantagem da MIM é sua flexibilidade, o que permitiu este trabalho considerar aspectos até então não muito importantes ou até mesmo não considerados no projeto, mas agora decisivos no projeto do produto, a saber, os que se relacionam a práticas de manufatura sustentável. Estes critérios são: montagem / desmontagem, reutilização, remanufatura / recondicionamento, descarte (materiais utilizados), padronização de componentes, manufatura / produção, e marketing verde. Estes novos critérios complementam os demais, e reforçam a importância de práticas sustentáveis no projeto do produto. Um cuidado em relação à MIM é que, por se tratar de uma matriz de preenchimento manual, deve-se ter o cuidado de não o realizar de forma tendenciosa ou de maneira superficial, pois os principais indicativos de módulos surgirão com base nesta matriz.

Devido à quantidade de informações da MIM e da DPM é necessário utilizar um software estatístico para realizar a ramificação hierárquica ou dendograma destes vetores. Através desta análise pode-se observar o agrupamento e ordenação das soluções técnicas de acordo com suas similaridades. A opção de *Cluster* foi escolhida para tal finalidade devido à grande quantidade de informações, e a opção que melhor representou a seleção de soluções técnicas foi a que contemplou 06 grupos. Como resultado obteve-se então o dendograma utilizado para a geração dos módulos.

A utilização do dendograma auxilia na visualização dos módulos, mas nesse momento destaca-se a importância de uma equipe de projetos

alinhada e com um mesmo objetivo, pois, embora ele revele essas similaridades, ainda é necessária uma análise crítica para validar os módulos formados. Este aspecto, ponto chave do método, necessita melhores estudos e acompanhamento na adaptação ou elaboração de uma ferramenta que auxilie na formação dos módulos. Os módulos gerados podem ser identificados na Tabela 11 juntamente com suas soluções técnicas e visualizados na Figura 28.

As alterações realizadas a partir do dendograma para o projeto da garra para bobina giratória e que consideram agora 08 grupos são:

- a. Adição dos olhais de içamento ao antigo Grupo 01 que formou o Módulo A (Estrutura do conjunto do corpo e braço): por considerar o olhal um componente que é soldado na estrutura do conjunto, operação esta que pode ser realizada junto com a solda do conjunto, e também serve para movimentação da estrutura até sua montagem final (Figura 29).

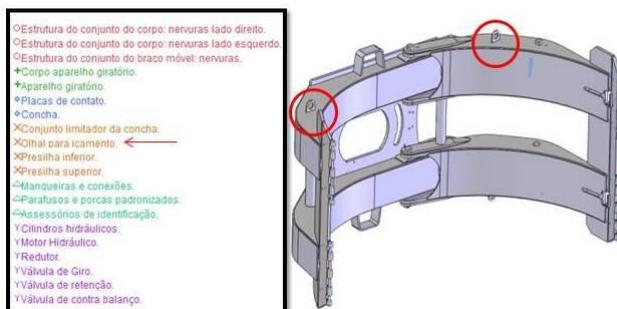


Figura 29 – Alterações no Módulo A.

- b. Adição das presilhas inferior e superior e da válvula de contrabalanço ao Grupo 02 que formou o Módulo B (Aparelho giratório): o fato de as presilhas ficarem em um grupo separado do Grupo 02 deve-se à função que elas desempenham, que consiste em permitir a montagem e desmontagem da garra à empilhadeira. Já a válvula de contrabalanço ficou alocada no Grupo 06 juntamente com os demais componentes hidráulicos, mas do ponto de vista funcional isto não é possível, tendo em vista que sua montagem é realizada no processo final de montagem do aparelho giratório à estrutura da garra, além de desempenhar função diferente das demais válvulas. Como o dendograma realiza a formação de grupos por similaridade, este

já era um fato esperado e que deveria ser tratado com atenção (Figura 30).

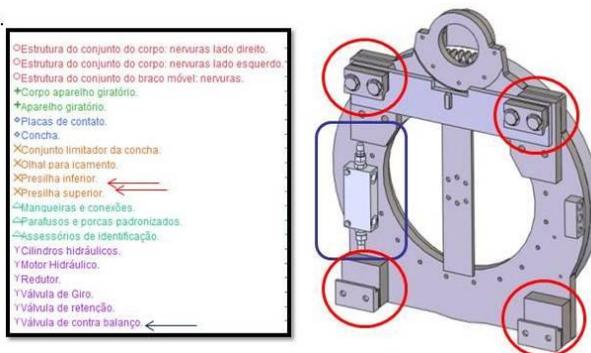


Figura 30 – Alterações no Módulo B.

- c. Adição do Conjunto limitador da concha ao Grupo 03 formando o Módulo C (Sistema de manuseio das bobinas): o limitador realiza função de ligação e limitação entre a placa de contato e a concha (Figura 31).



Figura 31 – Alterações no Módulo C.

- d. Separação das soluções pertencentes ao Grupo 05 em três módulos distintos: mangueiras e conexões formaram o Módulo D, parafusos e porcas padronizados formaram o Módulo E, e os acessórios de identificação formaram o Módulo F. Esta separação foi realizada por entender que tanto as mangueiras e conexões quanto os acessórios de identificação, que não possuem relação alguma, são adicionados ao produto no final da sua montagem, e os parafusos e porcas, que são utilizados ao longo

de toda a fabricação, também foram colocados em um módulo separado.

- e. O Grupo 06, na sua maioria, foi dividido em dois módulos: Módulo G (Sistema hidráulico de força) que contemplou motor hidráulico e redutor, e Módulo H (Válvulas e cilindros hidráulicos) com os cilindros hidráulicos e válvulas de retenção e de giro (Figura 32). Neste grupo (06) ficaram reunidas todas as soluções técnicas relativas à parte hidráulica do produto, e como esclarecido anteriormente, as mesmas possuem a similaridade de sua função principal, mas não no mesmo módulo. Isto mostra que o método proposto funciona do ponto de vista de realizar o agrupamento das soluções técnicas, mas em contrapartida é fundamental que a equipe de projeto efetue uma análise dos resultados para verificar a funcionalidade das soluções técnicas frente aos novos módulos gerados.

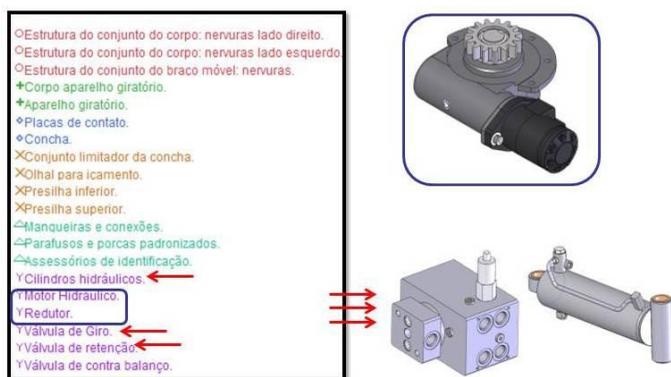


Figura 32 – Alterações nos Módulos G e H.

Como etapa final da terceira fase foram realizados os desenhos de cada módulo para melhor identificação de cada módulo.

4.5.5 Resultados da Fase 04: Analisar os Conceitos

Nesta fase do método as interfaces existentes entre os módulos foram verificadas, e para isto utilizou-se a Matriz de Interface (Quadro 5). Esta matriz permite verificar que o Módulo A (estrutura do conjunto do corpo e braço) e o Módulo 1 (aparelho giratório) possuem uma relação de conexão ou fixação, devido a sua união e forma construtiva; de transferência, devido a transferência de força e movimento do

Módulo B para o Módulo A; e de controle ou comunicação, devido ao aparelho giratório controlar a posição da garra tanto em relação à sua abertura quanto ao seu giro.

Além disso, foi realizado o Mapa de Gerenciamento do Produto (Quadro 6), que permite a visualização do processo de modularização de forma ampla ao passo que contempla o caminho percorrido durante a modularização. Essa matriz auxilia a equipe de projetos na verificação de que as soluções técnicas estão alinhadas com os requisitos do consumidor e também com as diretrizes de modularização.

É uma visão ampla da estrutura de modularização do produto, que pode ser utilizada tanto pelos projetistas da empresa na distribuição das tarefas, quanto às demais pessoas envolvidas durante o processo de fabricação do produto. Portanto, o PMM não é importante somente para o processo de modularização, mas sim durante todas as etapas que envolvem a fabricação do produto.

4.5.6 Resultados da Fase 05: Aperfeiçoar os Módulos

O aperfeiçoamento dos módulos gerados só pode ser realizada após a elaboração da documentação de cada módulo, fato este que foi realizado nesta última fase do método através do preenchimento de planilhas em forma de formulários com as especificações e descrições de cada módulo. É importante salientar que estas planilhas ou formulários são de grande utilidade para as seguintes atividades, quando necessárias:

- a. Compreender o processo de modularização e de que forma ele ocorreu, ou seja, quais os critérios que foram considerados quando o referido módulo foi caracterizado, suas importâncias e pesos durante as seleções, e o que de fato foi decidido como mais importante na hora de gerar um módulo.
- b. Verificar toda e qualquer informação relativa à modularização, por qualquer pessoa que precisa dessa informação, até mesmo alguém que não participou do referido processo.
- c. Por fim, realizar toda e qualquer alteração por meio da verificação de como cada módulo se comporta no contexto do produto global, ou seja, em relação aos demais módulos, agilizando e/ou evitando assim, etapas que já foram realizadas anteriormente, na solução de novas necessidades relacionadas ao produto.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões deste estudo sobre o Desdobramento da Função Modular ao projeto e manufatura sustentável de produtos de uma empresa do setor metal-mecânico. Neste estudo, a metodologia de projeto de produtos modulares denominada MFD (*Modular Function Deployment* – Desdobramento da Função Modular) foi aplicada a uma garra giratória para bobinas de uma empresa do setor metal-mecânico fabricante de equipamentos para empilhadeiras.

Inicialmente, uma revisão geral dos métodos para projeto de produtos foi realizada, com a finalidade de identificar as principais etapas que envolvem um bom projeto de produto, e, em paralelo, foram analisados os métodos de projeto que visam a estruturação do produto sob a perspectiva modular, buscando identificar as principais características destes processos, direcionando sempre o foco para os aspectos relacionados à manufatura sustentável. O método MFD mostrou-se uma alternativa interessante para obtenção dos resultados, o que veio a se confirmar após o processo de modularização.

A busca por uma empresa parceira para a aplicação do método envolveu grandes esforços, pois muitas empresas não abrem suas portas para pessoas que não são seus colaboradores realizarem estudos e pesquisas. Por meio da empresa considerada neste trabalho, pôde-se obter total acesso a informações relativas ao projeto e fabricação da garra giratória para bobinas, o que permitiu realizar este trabalho com dados e informação reais, coletadas muitas vezes no próprio chão de fábrica, na forma de observação do processo em si. Isso se deve, principalmente, pelo fato de a gerência da empresa entender a importância da sustentabilidade em seus processos, e reconhecer que, no momento, cumpre as legislações vigentes sobre meio-ambiente, porém acredita na possibilidade de poder em um futuro próximo apresentar seus produtos sob a nova perspectiva sustentável.

A escolha do produto para a aplicação do método foi importante, pois, se o método se apresentasse eficiente, poderia ser estendido aos demais produtos da empresa, criando uma cultura de projeto de produtos modulares e sustentáveis.

A criação de uma equipe de trabalho permitiu que diferentes pessoas, com formações e cargos distintos pudessem interagir sobre um mesmo projeto. Nesse aspecto, as reuniões mostraram que, embora todos trabalhem na mesma empresa, e o conceito de projeto modular do grupo

seja similar, as opiniões sobre o que é importante ou o que considerar no projeto variam significativamente. Mais uma vez, entende-se que o método proposto permitiu conduzir a equipe de projeto a pensar de uma mesma forma sob o ponto de vista do projeto modular de produtos, priorizando, assim, aspectos que realmente deveriam ser considerados, e convergindo para as mesmas soluções técnicas. Assim, o projeto do produto, sob a perspectiva modular, permite atender de forma mais eficiente os reais desejos e necessidades dos seus clientes.

A forma de condução do projeto proposta pelo método mostrou-se fundamental para organizar os eventos relacionados ao projeto, ou seja, permitiu um cuidado maior com as informações obtidas e o correto tratamento destas, facilitando assim toda a documentação realizada posteriormente.

A análise do método MFD e de suas ferramentas de projeto do ponto de vista da manufatura sustentável, buscou identificar quais diretrizes de modularização poderiam contribuir para o estudo, quais não seriam abordadas, e quais poderiam ser adicionadas como critérios de sustentabilidade. Das doze diretrizes apenas uma não foi considerada neste estudo, o Estilo, por não ser considerado um aspecto importante no produto aplicado e principalmente pelo fato de os principais clientes da empresa não manifestarem sua importância quando questionados sobre o assunto. Foram adicionadas sete novas diretrizes que podem ser consideradas como um estímulo ao projetista para que, no momento em que ele estiver analisando as diretrizes, ele possa considerá-las como de elevada importância no projeto em questão.

O motivo fundamental da escolha do método MFD é justamente a possibilidade de o projetista fazer uma análise do que o grupo (composto por consumidores, técnicos, projetistas, engenheiros, etc.) considera importante para o projeto. Ou seja, pode-se adicionar ou excluir diretrizes de modularização, além de poder mensurar em grau de importância essas diretrizes frente às soluções técnicas encontradas para satisfazer o que o consumidor realmente deseja. Neste aspecto, o método MFD foi extremamente eficiente em realizar essa verificação, onde pôde-se observar que as diretrizes consideradas mais importantes foram: Montagem / Desmontagem, Remanufatura / Recondicionamento, Manufatura / Produção. Esta análise permite agora direcionar os esforços da equipe de projeto para satisfazer essas diretrizes e obter os melhores retornos do projeto.

Por se tratar de uma matriz relativamente simples com relação ao seu preenchimento, a empresa pode, rapidamente, definir novos critérios que julga serem importantes para um determinado produto. Assim, de

forma simples e prática, obtém-se informações sobre a modularização, ao mesmo tempo em que, durante a execução do projeto deste produto, caso surjam novas informações ou tendências para o produto, a matriz poderá ser alterada rapidamente, gerando-se novos resultados.

Devido à grande quantidade de informações contidas nas matrizes MIM e DPM, o software estatístico utilizado mostrou-se importante no tratamento destas informações, sendo que, de outra forma, o tempo ou as dificuldades poderiam tornar-se um grande empecilho na execução da tarefa. Este resultado obtido sob a forma de um dendograma permitiu um entendimento efetivo por parte de todos sobre cada novo módulo formado.

A identificação dos módulos ocorreu através da observação do dendograma, onde as soluções técnicas foram agrupadas por similaridade, e posteriormente vieram a compor os módulos do produto. Nesse ponto, a experiência da equipe de projeto na área foi importante para realizar esta verificação, e algumas alterações mostraram-se necessárias para aperfeiçoar os novos módulos.

Com relação ao fato de a empresa considerar que seus produtos são modulares, mas não havendo nenhum registro ou documentação explícita sobre isso, a aplicação do método MFD foi importante no sentido de verificar se realmente existem ou não indícios de modularização no projeto do produto alvo do estudo, bem como de identificar de que forma ocorre o processo. O método mostrou que há aspectos modulares no produto, mas não de forma geral, sendo que o principal problema verificado não reside no projeto do produto, mas na cultura da empresa sobre a forma de pensar a modularização.

Neste sentido, é importante estabelecer um roteiro de projeto que contemple a modularização, para que possa ser seguido por todos os projetistas e envolvidos no projeto de um produto qualquer. Assim, a execução de um projeto pode ser conduzida de forma que as informações estejam disponíveis no momento certo, e que todos saibam onde as encontrar de forma clara e simples.

Ainda, percebe-se que, em geral, nas empresas, devido a diversos motivos, ocorre a contratação e demissão de pessoas nos departamentos da empresa. Um roteiro de projeto bem estruturado contemplando as etapas da modularização evita a perda de informações no caso da ausência de alguma pessoa. É muito comum nas empresas ocorrer algum problema que não pode ser solucionado porque a pessoa responsável, muitas vezes o único que sabe como solucioná-lo, está ausente. De posse de um procedimento estruturado de projeto de produtos, um novo colaborador, até mesmo que já tenha experiência em projetos modulares, poderá ter

ciência de como a empresa conduz o processo de modularização dos seus produtos, alinhando o seu pensamento com a equipe de projeto, otimizando assim seu potencial de trabalho.

Alguns benefícios podem ser observados diretamente no produto modularizado, a saber:

- Com relação aos materiais utilizados na construção da garra giratória para bobinas, a nova configuração modular permite sua reciclagem. Os Módulos A e B (um fixado ao outro por meio de parafusos), predominantemente constituídos de chapas de aço, têm a possibilidade de serem reciclados com facilidade.
- Embora haja essa possibilidade de reciclagem, segundo a empresa, isso normalmente não ocorre, devido ao fato destes componentes da garra serem recondicionados e reutilizados novamente, a pedido dos seus clientes.
- O processo de soldagem da estrutura do Módulo A é todo realizado em uma etapa do processo, evitando-se maiores deslocamentos.
- Os aspectos de montagem / desmontagem foram ampliados, pois a utilização de componentes padronizados (parafusos, porcas, entre outros) proporciona facilidade na sua execução, não requerendo ferramentas especiais.
- O Módulo B proporciona facilidade e agilidade no acoplamento à empilhadeira.
- As mangueiras e conexões foram consideradas em um módulo separado devido ao fato do óleo ser um agente agressivo ao meio ambiente, proporcionando, assim, um cuidado maior quando da montagem e desmontagem do sistema, evitando contaminações.
- Os cilindros e válvulas podem ser testados em um local separado para evitar contaminações, e também para evitar que no final do processo de montagem perceba-se que existe algum defeito ou dano aos mesmos.
- Os acessórios de identificação podem ser adicionados ao produto somente no final de sua montagem, evitando que possam ser danificados durante o processo, e sendo isso realizado em uma única etapa, antes de ser enviado ao cliente.

- O sistema de manuseio de bobinas pode ser especificado pelo cliente, onde a placa de contato pode ser de diferentes materiais tal qual sua necessidade (aço fundido, borracha, poliuretano).
- O sistema hidráulico de força requer uma montagem mais cuidadosa, pois qualquer sujeira pode danificá-lo. Também é importante o cuidado com sua desmontagem, pois, devido ao óleo presente, podem ocorrer contaminações. Por isso, um local em separado é necessário.

Por fim, o projeto modular permite realizar atualizações futuras no produto considerando as interfaces existentes entre os módulos (verificadas na Matriz de Interface), e através da documentação gerada na última etapa do método torna-se mais fácil a obtenção de qualquer informação sobre o processo de modularização, viabilizando a execução de alterações que sejam necessárias.

Considerando que a modularização da garra para bobinas giratórias deu-se em um processo de validação do método proposto, e verificando-se a sua eficiência na realização deste, entende-se que a empresa pode utilizar o mesmo para comparação dos novos projetos frente aos já realizados, buscando sempre envolver aspectos relacionados à manufatura sustentável dos seus produtos. Seria interessante aplicar o método proposto a outros produtos e verificar se os resultados são semelhantes.

5.2 LIMITAÇÕES

Um problema preocupante e que ocorreu durante a escolha da empresa para a realização do estudo consiste no fato de que algumas empresas ainda não consideram a possibilidade de abrir suas portas para trabalhos de acadêmicos que não são de seus funcionários. É compreensível tal atitude em virtude da forte e ampla concorrência existente, mas é importante destacar que isso muitas vezes dificulta ou impossibilita a execução da pesquisa acadêmica, que poderá ser bastante útil para a empresa.

Desde os primeiros momentos de diálogo entre a empresa e o autor deste trabalho, demonstrou-se grande interesse pelo estudo a ser desenvolvido. Contudo, uma interrogação surgia à medida que o estudo avançava, sobre qual seria a real utilização deste estudo na prática e no dia a dia da empresa. Por se tratar de uma empresa já estabelecida no mercado de soluções de movimentação de materiais do país, com seus produtos em plena fabricação, uma nova forma de pensar sobre o projeto modular teve de ser trabalhada nos setores integrantes da pesquisa.

Deve-se mencionar que alterações na cultura de uma empresa são bem mais complexas e delicadas do que uma alteração no próprio processo de fabricação ou de projeto de um produto.

Quebrar essa barreira do novo, do inovador, da visão estratégica focada na sustentabilidade como forma de alcançar novos mercados, inclusive no exterior, foi um trabalho que exigiu bom senso e determinação, principalmente pelo fato de a empresa considerar seu produto modular e sustentável, mas de forma intrínseca ao pensamento de alguns, e não na visão geral do todo.

Nesse sentido, alguns pontos considerados como limitadores ao projeto do produto modular podem ser descritos:

- O primeiro aspecto relaciona-se à maneira da equipe de projeto de pensar sobre modularização, ou seja, o que por vezes é importante para alguém neste processo pode não ser para outro. Nesse sentido, opiniões diferentes sobre um mesmo produto já fabricado e agora em estudo, ainda continham diferentes formas de visão sobre o que realmente deveria ser importante no seu projeto. A visão modular que uma pessoa possui, quando não documentada e organizada por um método ou procedimento, passa muitas vezes distante do que outros colaboradores conseguem visualizar sobre o assunto, ou até mesmo se perde com o tempo, principalmente se esta pessoa sai da empresa e leva todas essas informações.
- Um primeiro questionamento realizado na empresa foi sobre quantos componentes, repetidos ou não, existiam na garra giratória, o que causou estranhamento por parte dos projetistas, pois muitos não sabiam o número, e tampouco onde encontrar a informação. Posteriormente isso foi resolvido e informado. O processo de documentação das informações evita esses desencontros.
- Pelo fato de a empresa produzir a garra giratória há pelo menos 30 anos, muitos acreditam que não havia mais o que melhorar no seu projeto ou na sua fabricação. Entretanto, ficou evidenciado através deste trabalho que pequenas modificações podem resultar em um novo conceito de projeto de produto.
- Na etapa de classificação dos requisitos do consumidor (Fase 01 do método) ficou evidente a dificuldade de a equipe de projeto ter uma linha de pensamento tênue sobre o produto. Por exemplo, o requisito Segurança havia ficado como um dos menos importantes, e quando questionados sobre o fato, a resposta foi unânime: deve

ser o primeiro. Isto ocorre porque alguns projetistas, engenheiros na sua maioria, já trazem na sua bagagem intelectual o conceito de que qualquer máquina, seja qual for a sua finalidade, é imprescindível que seja segura. Mas por esse requisito não ser evidenciado, acabou ficando como uma das últimas colocações em ordem de importância. Isso foi verificado e posteriormente, em nova reunião, foi alterado. Detalhes às vezes considerados como pequenos devem ser sempre trazidos ao grupo, e documentados durante a execução do projeto.

- Na terceira fase do método, que corresponde à geração do conceito modular, é pertinente observar que foi exigida uma intervenção da equipe de projeto para finalizar os módulos. Embora a utilização de um software estatístico auxilie muito no agrupamento por similaridade das soluções técnicas, o software não é capaz de perceber se alguma solução técnica ficou deslocada em relação ao seu grupo. A presença do ser humano supervisionando os processos realizados por máquinas e equipamentos é necessária, evitando-se assim que ocorram erros graves no projeto do produto.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A metodologia proposta neste trabalho sugere a utilização de diversas ferramentas para a execução do projeto de produto modular. Contudo, algumas sugestões foram elaboradas para que, em trabalhos futuros, este método possa ser ampliado e também possa ser utilizado por mais empresas, independente do setor ou ramo de atuação.

Este trabalho não abordou o fator Custos para o projeto modular, e sabe-se que este fator é extremamente importante nas decisões sobre alterações em projetos bem como na sua execução. Recomenda-se que, em alguma das etapas do método possa ser considerado o custo de investimento ou de alterações no projeto, para aproximar ainda mais os resultados daquilo que hoje as empresas mais buscam para tornarem-se competitivas.

Outro fator não considerado na modularização e de grande importância é a manutenção, que poderia ser considerada principalmente do ponto de vista de contaminações com o óleo quando realizada, observada tanto em possíveis vazamentos quanto no seu descarte. Empresas tem hoje disponibilizado grandes quantias de seu orçamento em investimentos relativos a diminuição ou eliminação do óleo justamente preocupadas com questões ambientais.

Com relação à metodologia aplicada, principalmente a que corresponde à seleção dos módulos (fase três do método), apesar de o dendograma apresentar os possíveis módulos agrupados por similaridade, a experiência da equipe de projeto mostrou que esta etapa precisa ser melhorada, a fim de evitar tendências ao projeto por parte da equipe.

Outro aspecto refere-se à realização das análises dos módulos de forma individual, ou seja, identificar em cada módulo suas particularidades, e direcionar assim a sua solução. Uma ferramenta que poderia ser utilizada seria a casa da qualidade, aplicada de forma individual a cada módulo, mas considerando os critérios e requisitos estabelecidos no início do projeto, a fim de verificar se cada módulo cumpre ou não os objetivos do projeto como um todo.

O processo de modularização compreende basicamente a decomposição de um produto em uma lista de itens ou soluções técnicas que serão rearranjados dentro de grupos ou módulos com certo grau de afinidade. Já a modularidade expressa a intercambiabilidade (facilidade de troca, permutação) entre os módulos, a fim de gerar a família de produtos. Desta forma, propõe-se aplicar o método MFD e considerar não somente a modularização, mas também a modularidade entre módulos de produtos que possuem alguma semelhança. Assim, o método poderá abranger uma maior gama de produtos dentro da empresa, proporcionando resultados mais interessantes não somente do ponto de vista do projeto e manufatura, mas também do custo envolvido, além dos aspectos ambientais relacionados a toda a cadeia produtiva daqueles produtos aos quais o método será aplicado. Portanto, investimentos necessários, trocas ou alterações de processos de fabricação, entre outras mudanças na fabricação podem ser melhor justificadas quando se envolvem diversos produtos com soluções afins.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. J. **Estudo e Escolha de Metodologia para o Projeto Conceitual**. Revista de Ciência & Tecnologia, V. 8, Nº 16 – pp. 31-42. 2000.
- ALTING, L.; LEGARTH, J. **Life cycle engineering and design**. Annals of the CIRP v. 44/2, p 569-579, 1995.
- ARAUJO, J. B. **Desenvolvimento de método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade**. Tese de doutorado - EESC/USP. São Carlos. 2010.
- ARNHEITER E. D.; HARREN. H. **Quality management in a modular world**. The TQM Magazine. Hartford. Vol. 18 nº 1, 2006.
- ARCHER, J. A. **Proposta de arquitetura modular para coifas e depuradores de ar**. Trabalho de Conclusão. UDESC. Joinvile. 2010.
- BACK, N.; OGLIARI, A. **Apostila da Disciplina: Gerenciamento de Projetos 3 – Desenvolvimento do Produto: Aspectos Gerais**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis. 2000.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. **Managing in the age of modularity**. Harvard Business Review. 1997.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. (2004). **Modularity in the Design of Complex Engineering Systems**. Disponível em: <<http://www.people.hbs.edu/cbaldwin/DR2/BaldwinClarkCES.pdf>>. Acesso em: 01 de out. 2010.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia p´ratico para o design de novos produtos**. 2ª edição. Editora Blucher. São Paulo-SP. 2000.
- BERONIUS, A. **Case study of modularization in the industry**. Proceedings from the 2nd Seminar on Development of Modular Products. Suécia. 2004.

CAMUFFO, A. (2000). **Rolling Out a World Car: Globalization, Outsourcing and Modularity in the Auto Industry**. Disponível em: <<http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/719/camuffo1.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 de out. 2010.

DEDINI, F. G. **Metodologia e sistemática de projeto**. Apostila. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2000.

EMBRAPA. BNDES. **Corpos d'Água**. Disponível em: <<http://www.bndes.cnpm.embrapa.br/textos/corpos.htm>>. Acesso em: 12 de mar. 2012.

ERICSSON, A.; ERIXON, G. (2006). **Modular Function Deployment**. Disponível em: <<http://www.sme.org/cgi-bin/get-newsletter.pl?LEAN&20060609&1>>. Acesso em: 01 de out. 2010.

ERIXON, G. **Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation**. Tese de Doutorado. Sweden. 1998.

ERIXON, G.; Yxkcill, A.; Arnstrom, A. **Modularity - The Basis for Product and Factory Reengineering**. Annals of the CIRP, vol.45/1/1996. 1996.

FLEIG, A. M. **Sistematização da Concepção de Produtos Modulares: Um Estudo de Caso na Indústria de Refrigeração**. Dissertação de Mestrado - UFSC. Florianópolis. 2008.

GIMENEZ, M. C. **Proposta de Reestruturação de uma Família de Chassis de Ônibus através de Análise Modular**. Dissertação de Mestrado. Campinas. 2008.

GÓES, F.; GOULART, I. **Ecologia Industrial - Artigo sobre o Ecoprojeto**. CEDET: Centro de Desenvolvimento Profissional e Tecnológico. 2009.

HOLTTÄ, K., VICTOR T.; WARREN P. S. **Modularizing product architectures using dendrograms**. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1721.1/3809>>. MIT. Cambridge. 2003.

JESWIET, J.; HAUSCHILD, M. **Eco-Desing and Future Environmental Impacts**. Materials e Desing. Elsevier. 2004.

JIN, X.; HIGH, K. A. **Application of Hierarchical Life Cycle Impact Assessment in the Identification of Environmental Sustainability Metrics**. 2004.

LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A.C.; VAN ERCK, R.P.G. **Assessing the Sustainability Desempenhos of Industries**. Journal of Cleaner Production. 2004.

LANGE, M. W. **Modular Function Deployment: Proficiency Training**. Modular Management. Stockholm. 2008.

LOPES, H. **Modularidade no Desenvolvimento do Produto – Parte 2: Ampliação na Quantidade de Casos**. 15º Congresso de Iniciação Científica / 5ª Mostra Acadêmica UNIMEP. Piracicaba. 2007.

MIGUEL, P. A. C.; NETTO, O. V. C.; MARIOKA, S. N. **Uma Investigação sobre a adoção da Modularidade no Projeto de novos Produtos e na Produção em uma Montadora Automotiva**. Produto & Produção, vol. 10, n. 3, p. 07. 18 de out. 2009.

MIÑO, A. V. P.; RADOS, G. J. V. **Sistemática de Projeto Conceitual com Abordagem Modular – Ambiental para o Desenvolvimento de Produtos**. 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Florianópolis. 2001.

OLIVEIRA, J. E. **Proposta de um Procedimento Didático para o Estudo de Projetos Modulares**. Trabalho de Conclusão de Curso. UDESC. Joinvile. 2010.

PADAMATI, M. R. **Methods for modularization**. Proceedings from the 2nd Seminar on Development of Modular Products. Suécia. 2004.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações**. Editora Edgard Blücher. São Paulo. 2005.

PIRRUNG, C. **Comparison of Different Methods of Modularisation and their best Application.** Proceedings from the 2nd Seminar on Development of Modular Products. Suécia. 2004.

PORTER, M. E.; LINDE, C. **Green and Competitive: Ending the Stalemate.** Harvard Business Review. 1995.

PRIETO, E.; MIGUEL, P. A. C. **Consolidação da Cadeia Modular Automotiva e a Progressividade na Transferência de Valor no Desenvolvimento de Produto entre os Fornecedores Estratégicos e de Segundo Nível: Um Caso Exploratório.** XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. Fortaleza. 2006.

RAUTMANN, R.; (2009). **Produtos Modulares.** Disponível em: <<http://www.elemaq.com.br/modules/smartsection/item.php?itemid=121&keywords=modular>>. Acesso em: 02 out. 2010.

ROMEIRO, E. F.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A. C.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, R. M.; **Projeto do Produto.** Editora Elsevier. Rio de Janeiro. 2010.

ROZENFELD, H. **Modelo de Referência para o Desenvolvimento Integrado de Produtos.** Anais do XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP. Gramado. 1997.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para melhoria do processo.** São Paulo. Editora Saraiva. 2006.

SAUR. **Site da empresa.** Disponível em: <<http://www.saur.com.br/>>. Acesso em 01 out. 2011.

SILVA, O. F. M.; CAVENAGHI, V.; BARROS, G. C. S. **Desempenho nos Sistemas de Operações: A Contribuição da Manufatura Sustentável em uma Empresa Gráfica.** 3rd International Workshop: Advances in Cleaner Production. São Paulo. 2011.

STRINGHINI, S. A. **Implantação do marketing verde nas empresas - case Philips.** Trabalho de conclusão de curso. Monografia. São Paulo. 2009.

APÊNDICE A – DENDOGRAMA PARA CINCO GRUPOS



APÊNDICE B – DENDOGRAMA PARA SETE GRUPOS

