



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO  
7<sup>th</sup> BRAZILIAN CONGRESS ON MANUFACTURING ENGINEERING  
20 a 24 de maio de 2013 – Penedo, Itatiaia – RJ - Brasil  
May 20<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup>, 2013 – Penedo, Itatiaia – RJ – Brazil

## MÉTODO DO DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO MODULAR APLICADO AO PROJETO E MANUFATURA SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS EM UMA EMPRESA DO SETOR METAL-MECÂNICO

Marcelo Bataglin<sup>1</sup>, marcelobataglin@yahoo.com.br  
João Carlos Espíndola Ferreira<sup>1</sup>, j.c.ferreira@ufsc.br

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Dep. Engenharia Mecânica, Florianópolis, SC, 88040-900, Brasil

**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 uma empresa do setor metal-mecânico da região Sul do país, de maneira que novos produtos proporcionem a utilização de processos e materiais que contribuam para a manufatura sustentável. Inicialmente 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 são importantes para o estudo, 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 montagem/desmontagem, descarte, manutenção, reutilização, reciclagem, entre outros, de forma a garantir que a manufatura sustentável seja efetivamente considerada desde o início do projeto nas decisões referentes à modularização de produtos. A sistemática para a implantação de produtos modulares sustentáveis foi aplicada a um equipamento para movimentação de bobinas de papel, 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.

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

### 1. INTRODUÇÃO

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.

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 bastante elevada 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 os produtos, o que aumentou as necessidades de gerenciamento do processo de projeto (Romeiro *et al.*, 2010).

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.

Considerando o contexto descrito, o objetivo deste trabalho é aplicar os princípios de modularização no suporte ao

projeto e manufatura sustentável de produtos. Para isto, é aplicado o método do Desdobramento da Função Modular (*Modular Function Deployment – MFD*) proposto por Erixon (1998), bem como é realizada a modularização de um equipamento para movimentação de bobinas de papel.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. 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, e com o objetivo claro de criar um produto ou serviço bem delimitado. Já um projeto modular considera que as partes de um produto (módulos) possam ser testadas de forma independente, e suas interfaces (a forma de conexão entre os módulos do produto) forem 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) (Rozenfeld *et al.*, 2006).

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). 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).

Segundo Prieto e Miguel (2006) um produto modular tem componentes individuais, os quais são projetados independentemente, mas que funcionam como um todo quando interconectados. Hölttä *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. Projeto de Produtos e a Manufatura Sustentável

A sustentabilidade 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).

Segundo Jeswiet e Hauschild (2004), 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, os quais podem ser determinados na fase de projeto. 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 (Romeiro *et al.*, 2010).

Conforme Altिंग e Legarth (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. 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 1 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.

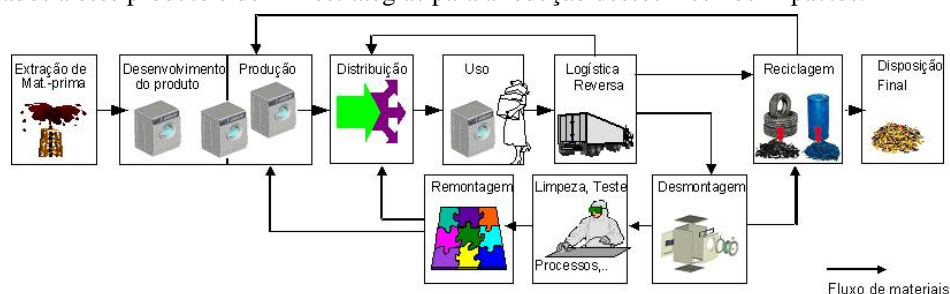


Figura 1. O ciclo de vida do produto segundo a perspectiva ambiental (Romeiro *et al.*, 2010).

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 (Romeiro *et al.*, 2010).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho proporciona a qualquer empresa a oportunidade de especificar sua própria ênfase e sistematicamente escolher o projeto modular em conformidade com seus objetivos. 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 (Fig. (2)). A sistemática para a implantação de produtos modulares sustentáveis foi aplicada a um equipamento para movimentação de bobinas de papel.

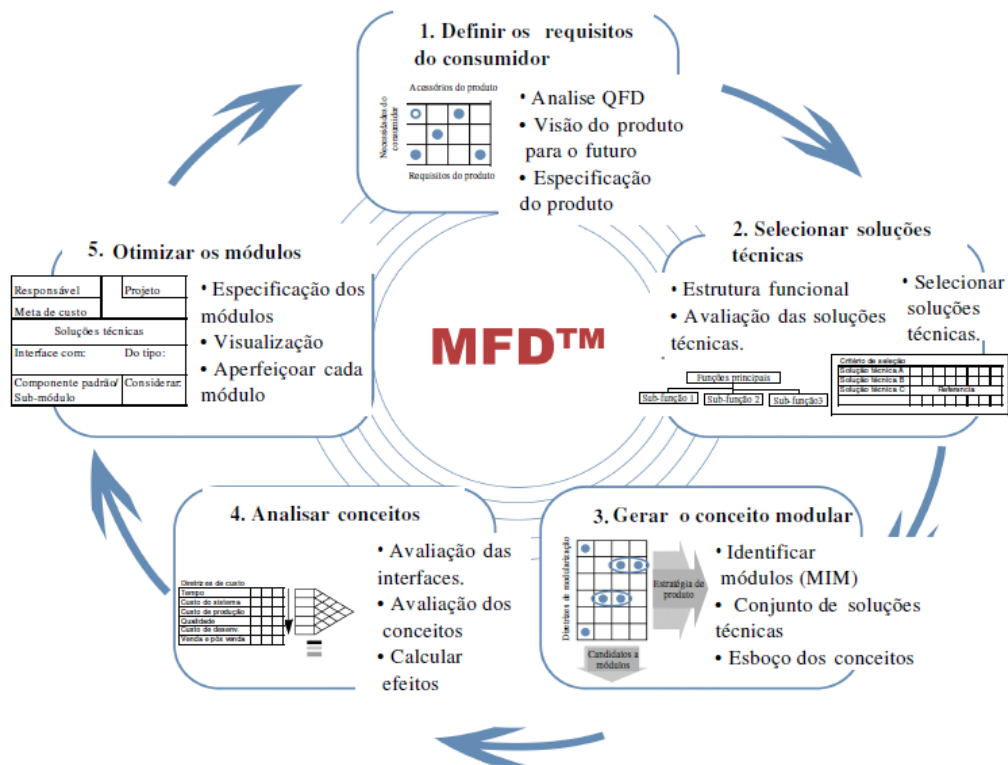


Figura 2. Visão geral do método MFD (Fleig, 2008).

#### 3.1. Definir os Requisitos do Consumidor

Na primeira etapa foram 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 surpreendê-lo positivamente. Para isto foram utilizadas técnicas conhecidas como o *Brainstorming* e o *Benchmarking*, bem como informações oriundas dos principais clientes por meio dos seus comunicadores (funcionário da empresa cliente responsável por transmitir informações referentes ao funcionamento do produto). Estas informações revelaram os principais requisitos do consumidor e as propriedades do produto, ambos relacionados em uma matriz QFD.

#### 3.2. Gerar e Selecionar Soluções Técnicas

Nesta fase do método as propriedades do produto levantadas na primeira etapa foram agrupadas de acordo com funções comuns, ou seja, as propriedades que possuem funções similares foram 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. As principais funções diagnosticadas foram:

- 1) Movimentar as bobinas sem provocar danos;
- 2) Permitir o manuseio de diferentes tamanhos de bobinas;
- 3) Realizar o transporte e manutenção da garra;
- 4) Prover segurança durante a utilização.

Como mostra a Fig. (3), para as referidas funções 1 e 2 as soluções técnicas foram as correspondentes aos itens de 1 a 13; para a função 3, os itens entre 14 e 17; e para a função 4, os itens entre 18 e 20.

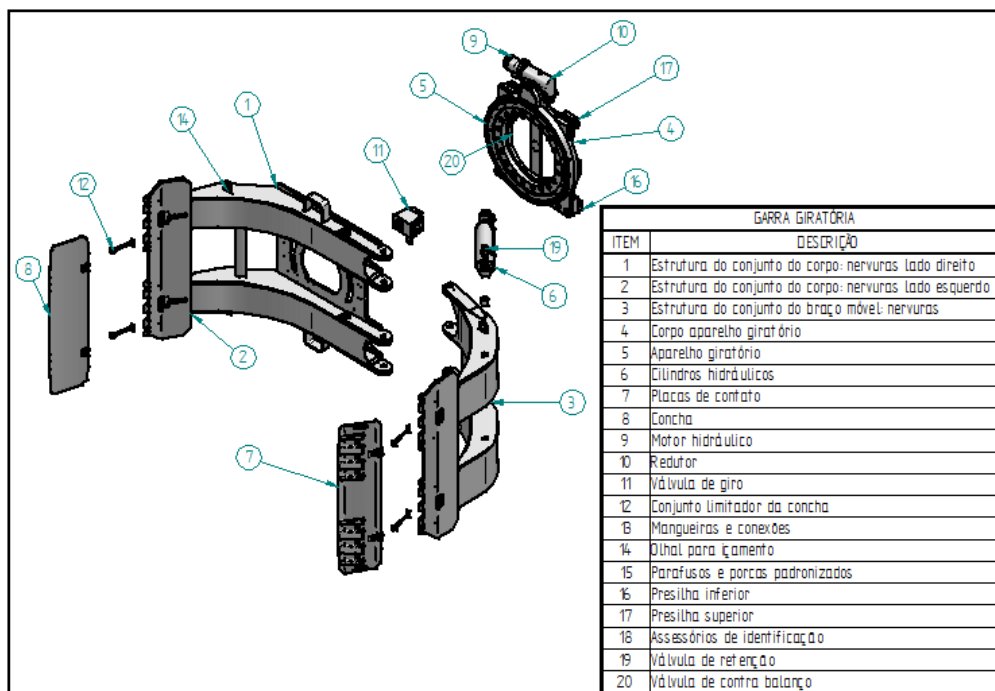


Figura 3. Soluções técnicas da garra.

### 3.3. 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 utilizadas são: Acumular Conhecimento, Evolução Tecnológica, Alterações de Projeto Planejadas, Especificações Técnicas, Unidade Comum, Organização e Processo, Testes Individuais ou Separados, Fornecedores Estratégicos, Manutenção e Serviço, Atualização, e Reciclagem.

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, neste trabalho foram estabelecidos novos critérios mais específicos para conferir à 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. São elas: Montagem / Desmontagem, Reutilização, Remanufatura / Recondicionamento, Descarte (materiais utilizados), Padronização de Componentes, Manufatura / Produção, e Marketing Verde.

É importante salientar que os novos critérios estabelecidos têm o intuito de complementar os demais sugeridos. Assim, 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.

Devido à quantidade de informações contidas nessa nova matriz, esses dados, também chamados de vetores, foram introduzidos em um *software* estatístico para fazer uma ramificação hierárquica e gerar um dendograma para revelar a sua similaridade, como mostra a Fig. (4).

A partir do dendograma, os seguintes módulos foram gerados (Fig. (5)):

- Módulo A: Estrutura do conjunto do corpo e braço (estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado direito, estrutura do conjunto do corpo: nervuras lado esquerdo, estrutura do conjunto do braço móvel: nervuras, e olhal para içamento);
- Módulo B: Aparelho giratório (corpo aparelho giratório, aparelho giratório, presilha inferior, presilha superior, e válvula de contra balanço);
- Módulo C: Sistema de manuseio das bobinas (placas de contato, concha, e conjunto limitador da concha);
- Módulo D: Mangueiras e conexões;

- Módulo E: Parafusos e porcas padronizados;
- Módulo F: Assessorios de identificação;
- Módulo G: Sistema hidráulico de força (motor hidráulico e redutor);
- Módulo H: Válvulas e cilindros hidráulicos (cilindros hidráulicos, válvula de retenção, e válvula de giro).

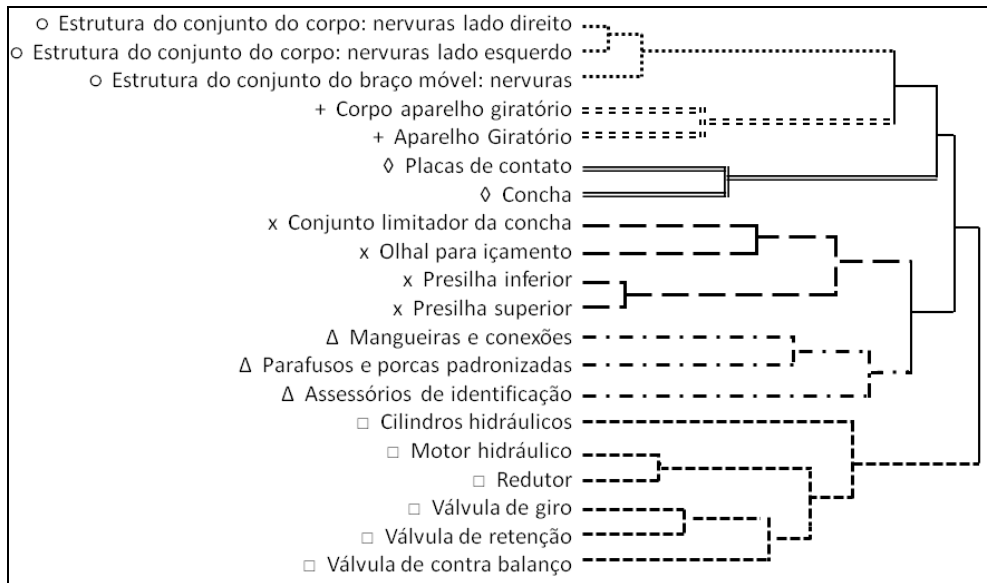


Figura 4. Dendrograma para geração dos módulos.

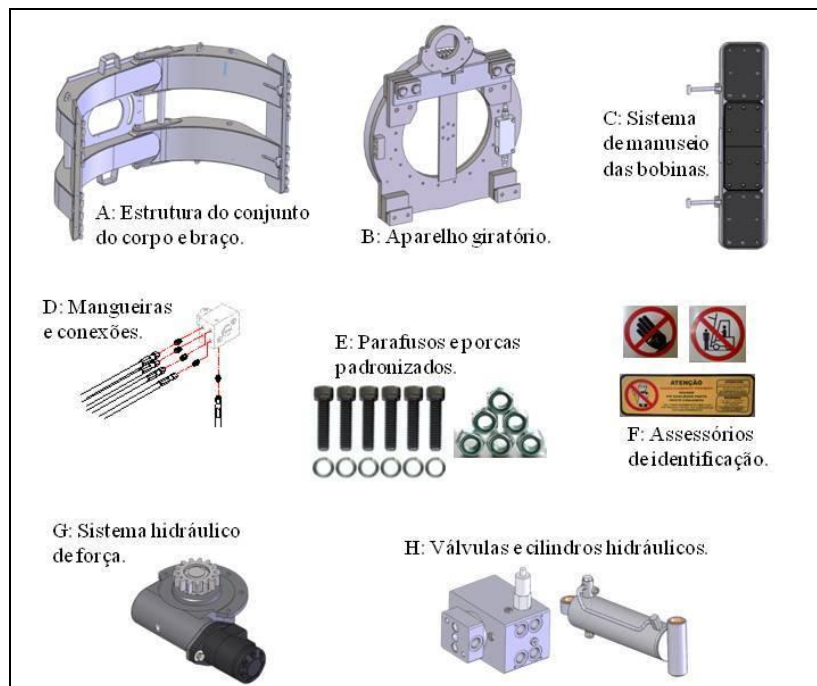


Figura 5. Módulos finais gerados com base no dendrograma.

### 3.4. Analisar os Conceitos

A fase 4 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, como mostra a Fig. (6).

### 3.5. Aperfeiçoar os Módulos

A fase final do método MFD consistiu em documentar tudo o que foi realizado até o momento, ou seja, especificar cada um dos módulos gerados para poder fornecer dados suficientes de entrada para a realização do detalhamento do

projeto. Esta documentação foi realizada com o preenchimento de uma planilha com as informações relevantes de cada módulo.

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	
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								

Figura 6. Matriz de interfaces.

#### 4. RESULTADOS

O primeiro passo para o sucesso do desenvolvimento de um produto consiste em entender de forma clara e objetiva o que o cliente quer no produto. Na primeira fase do método foram levantadas e questionadas, principalmente, as necessidades do consumidor a fim de chegar a pontos comuns e alinhar o projeto modular. Na segunda fase, as principais funções do produto foram identificadas e uma lista com soluções técnicas foi elaborada para satisfazer essas funções.

A terceira fase pode ser considerada a fase mais importante para o conceito de projeto modular, pois nela, com o auxílio da MIM, são gerados os módulos que constituíram o produto. A MIM é utilizada para conectar as diretrizes de modularização com as soluções técnicas de acordo com sua importância para o projeto. 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 novos critérios complementam os propostos por Erixon (1998), e reforçam a importância de práticas sustentáveis no projeto do produto.

A utilização do dendograma ainda na terceira fase auxilia na visualização dos módulos, mas deve-se destacar nesta fase a importância de uma equipe de projetos alinhada e com um mesmo objetivo, pois, embora o dendograma revele essas similaridades, ainda é necessária uma análise crítica para validar os módulos formados. Algumas alterações foram necessárias, tais como:

1) A adição dos olhais de içamento ao Módulo A, 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 a sua montagem final (Fig. (7));

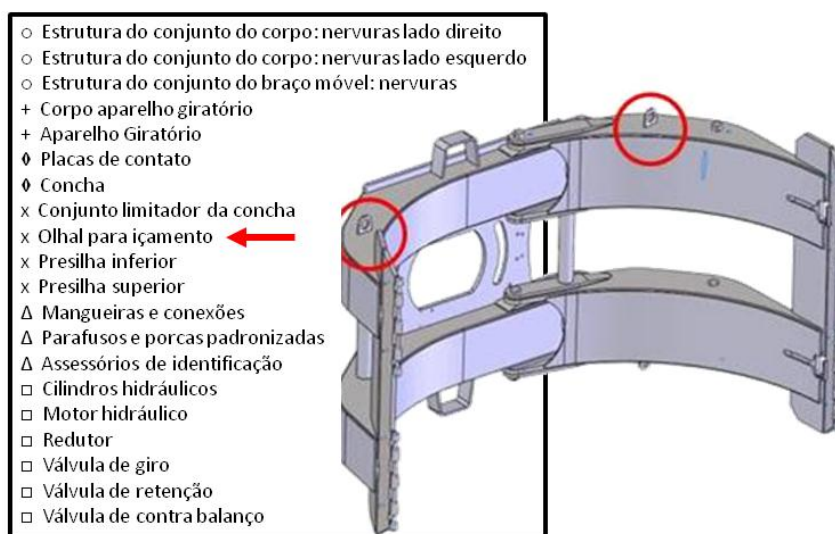


Figura 7. Alterações no Módulo A.

2) Adição das presilhas inferior e superior e da válvula de contrabalanço ao Módulo B (Fig. (8)): o fato de as presilhas ficarem em um grupo separado 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 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;

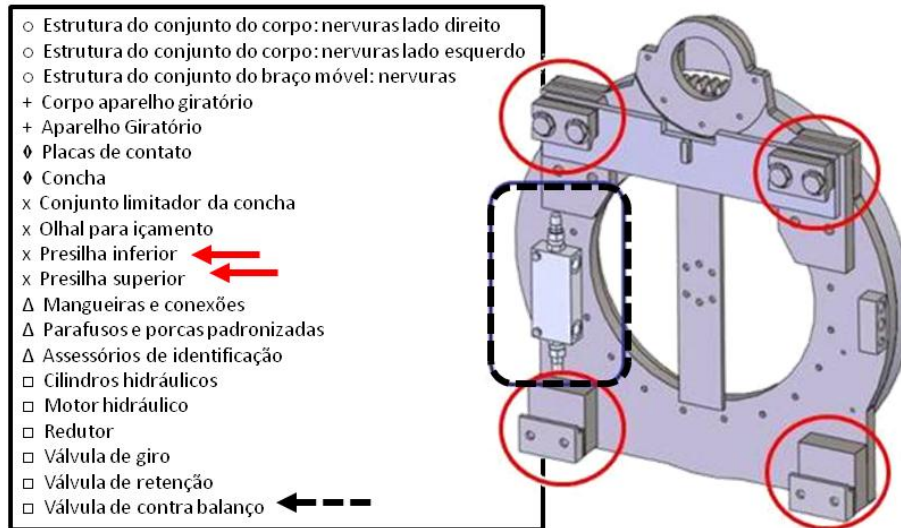


Figura 8. Alterações no Módulo B.

3) Adição do Conjunto limitador da concha ao Módulo C, pois o limitador realiza função de ligação e limitação entre a placa de contato e a concha (Fig. (9));

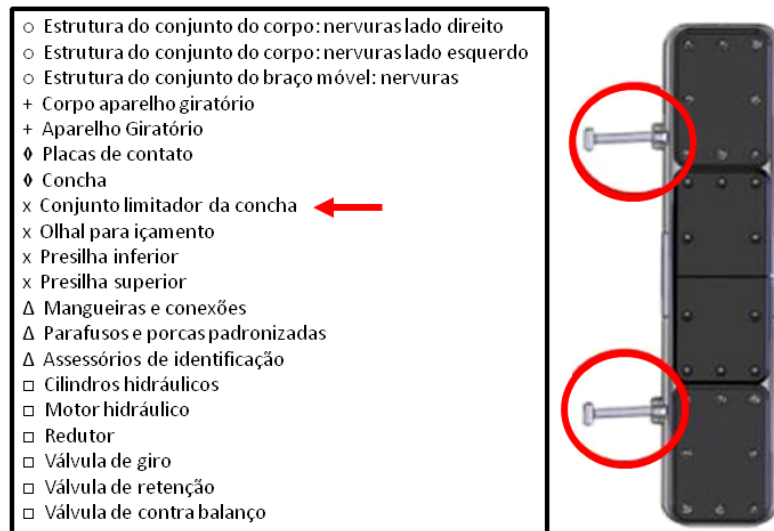


Figura 9. Alterações no Módulo C.

4) Separação das seguintes soluções em três módulos distintos: mangueiras e conexões formaram o Módulo D, parafusos e porcas padronizados formaram o Módulo E, e os assessorios 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;

5) Formação de dois módulos separados: 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 (Fig. (10)).

A quarta fase do método identificou as interfaces existentes entre os módulos através da Matriz de Interface. Por exemplo, verificou-se que o Módulo A (estrutura do conjunto do corpo e braço) e o Módulo B (aparelho giratório) possuem uma relação de conexão ou fixação, devido à sua união e forma construtiva; de transferência, devido à 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. Assim, a MI permitiu verificar as conexões existentes entre cada módulo.

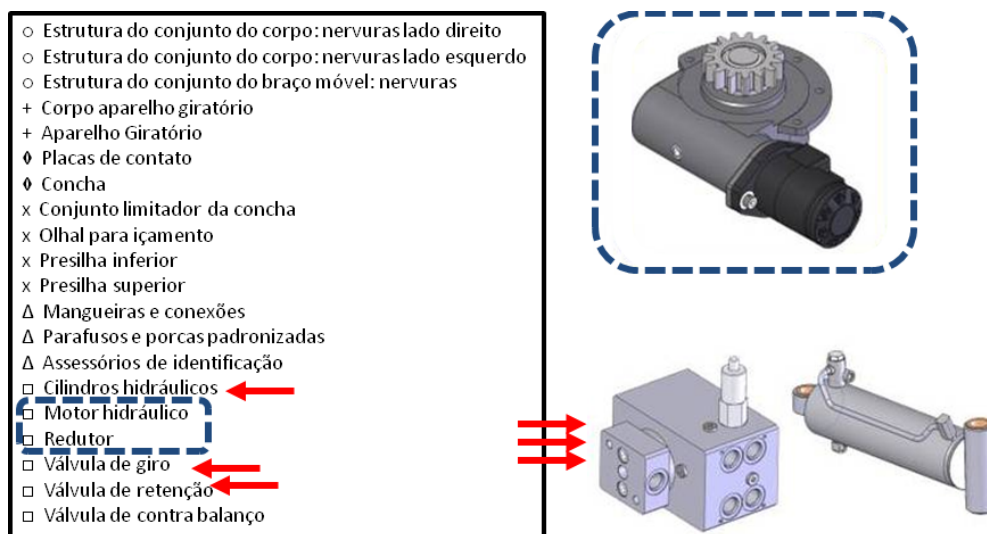


Figura 10. Alterações nos Módulos G e H.

A quinta e última fase do método consistiu no aperfeiçoamento dos módulos, permitindo: 1) A compreensão do 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; 2) A verificação de toda e qualquer informação relativa à modularização, por qualquer pessoa que precisa dessa informação, até mesmo alguém que não participou do referido processo; 3) A realização de 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-se e/ou evitando-se etapas que já foram realizadas anteriormente, na solução de novas necessidades relacionadas ao produto.

## 5. CONCLUSÕES

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.

A análise do método MFD e de suas ferramentas de projeto do ponto de vista da manufatura sustentável identificou as diretrizes de modularização que poderiam contribuir para este estudo do ponto de vista da sustentabilidade. Sete novas diretrizes foram adicionadas com a finalidade de estimular o projetista no momento em que estiver analisando essas diretrizes, 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. 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.

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, cujos benefícios podem ser observados diretamente no produto modularizado:

- 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 reconicionados 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, e através da documentação gerada torna-se mais fácil a obtenção de qualquer informação sobre o processo de modularização, viabilizando a execução de alterações que sejam necessárias no futuro.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa na qual o trabalho foi aplicado, pela oportunidade de viabilizar e desenvolver este projeto, bem como pelo apoio e contribuição. Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS

- Alting, L. and Legarth, J., 1995, "Life Cycle Engineering and Design", *Annals of the CIRP* v. 44/2, p 569-579.
- Baldwin, C.Y. and Clark, K.B., 1997, "Managing in the Age of Modularity", *Harvard Business Review*, 10p.
- \_\_\_\_\_, 2004, "Modularity in the Design of Complex Engineering Systems", *Harvard Business School Working Paper*, No. 04-055.
- Baxter, M., 2000, "Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos", Ed. Edgard Blücher, 2ª edição, São Paulo, 262 p.
- Erixon, G., 1998, "Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation", Ph.D. thesis, Sweden.
- Fleig, A. M., 2008, "Sistematização da Concepção de Produtos Modulares: Um Estudo de Caso na Indústria de Refrigeração", *Dissertação de Mestrado - UFSC. Florianópolis*.
- Höltkä, K., Tang, V., & Seering, W., 2003, "Modularizing Product Architectures using Dendrograms", *International Conference on Engineering Design, ICED03, Stockholm*.
- Jeswiet, J. and Hauschild, M., 2004, "Eco-Design and Future Environmental Impacts", *Materials e Design, Elsevier*.
- Labuschagne, C., Brent, A.C., and Van Erck, R.P.G., 2004, "Assessing the Sustainability Performances of Industries", *Journal of Cleaner Production, Elsevier*.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K., 2005, "Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações", Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 432 p.
- Prieto, E. and Miguel, P.A.C., 2006, "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*.
- Romeiro, E.F., Ferreira, C.V., Miguel, P.A.C., Gouvinhas, R.P., Naveiro, R.M., 2010, "Projeto do Produto", Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 384 p.
- Rozenfeld, H., 1997, "Modelo de Referência para o Desenvolvimento Integrado de Produtos", *Anais do XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, Gramado*.
- Rozenfeld, H., Forcellini, F.A., Amaral, D.C., Toledo, J.C., Silva, S.L., Alliprandini, D.H., Scalice, R.K., 2006, "Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para melhoria do processo", Ed. Saraiva, São Paulo, 576p.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO  
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**  
**7<sup>th</sup> BRAZILIAN CONGRESS ON MANUFACTURING ENGINEERING**  
**20 a 24 de maio de 2013 – Penedo, Itatiaia – RJ - Brasil**  
**May 20<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup>, 2013 – Penedo, Itatiaia – RJ – Brazil**

## **METHOD OF MODULAR FUNCTION DEPLOYMENT USED TO DESIGN AND SUSTAINABLE MANUFACTURE OF PRODUCTS IN BUSINESS SECTOR OF METAL-MECHANIC**

**Marcelo Bataglin<sup>1</sup>, marcelobataglin@yahoo.com.br**  
**João Carlos Espíndola Ferreira<sup>1</sup>, j.c.ferreira@ufsc.br**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Dep. Engenharia Mecânica, Florianópolis, SC, 88040-900, Brasil

**Abstract:** *This paper presents the study of design methodology for modular products called MFD (Modular Function Deployment), and its application in a company of the metal-mechanical sector in the southern region of Brazil, so that new products provide the use of materials and processes that contribute to sustainable manufacturing. First, an analysis and evaluation of the MFD method and its design tools is carried out, from the viewpoint of sustainable manufacturing, in order to verify which of the modularization guidelines are important for the study, as well as which guidelines related to sustainability may be added, in order to allow the assessment of whether the product/module contributes positively or negatively to the environment. These guidelines contain aspects of assembly/disassembly, disposal, maintenance, reuse, recycling, among others, to ensure that sustainable manufacturing is actually considered since the beginning of the design in decisions related to the modularization of products. The method for implementing sustainable modular products was applied to a device for handling paper rolls, and the proposed method was 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, beside the fact of questioning the final destination of the parts and components used, providing sufficient information to allow the company to develop a modular products design policy for sustainable manufacturing. The main systems and components of the device were identified and grouped based on their similarities, and thus the modules have been identified, resulting in a list of technical specifications for detailing the modularization process.*

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

### **RESPONSIBILITY NOTICE**

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.