

CONCEPÇÃO DE PLATAFORMA MODULAR DURANTE A ETAPA CONCEITUAL DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Fábio Ribeiro de Camargo¹

Carlos Cziulik, Ph.D.²

Resumo. O desenvolvimento de produtos com a utilização de plataformas modulares, estabelecido como estratégia organizacional, conduz a uma poderosa vantagem competitiva, devido entre outras razões à redução de custos, ao maior número de variações e opções de produtos para o consumidor e à redução do tempo para o lançamento. Contudo, esta estratégia, quase sempre, está direcionada para a etapa de definição da arquitetura do produto, i.e. durante a fase preliminar de projeto, a qual, muitas vezes, gera um conflito entre a redução de custos e a diferenciação de produtos. Este artigo explora e discute, por meio da revisão da literatura, modelos que podem ser utilizados para a elaboração de plataforma modular de produtos, ainda na fase conceitual de projeto e a construção de estruturas funcionais para produtos modulares e, assim, utilizar todos os benefícios da modularidade.

Palavras-Chave: desenvolvimento de produtos; produtos modulares; plataforma modular, projeto conceitual.

Abstract: The organizational strategy for product development process applying modular platforms, usually brings about a competitive advantage, because it allows: i/ cost reduction; ii/ several options to the customer; iii/ reduced lead time to product launching. However, this strategy normally focuses on the product architecture definition stage, i.e. during the embodiment design phase, which can generate several conflicts between cost reduction and product differentiation. This paper presents and discusses, from a literature point of view, design models that can be used for defining a modular platform for products during the conceptual design phase. Additionally, the elaboration of functional structures are also examined, as well as, the benefits of modularity.

¹ Graduado em Engenharia Mecânica. Mestrando em Engenharia Mecânica junto ao PPGEM da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. e-mail: sofia_alimentos@brturbo.com.br

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de Surrey-Inglaterra. Professor do PPGEM e do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. e-mail: cziulik@cefetpr.br

Keywords: product development; modular products; modular platform; conceptual design.

1. Introdução

A motivação para explorar as inúmeras possibilidades de solução em processos industriais flexíveis remonta à aplicação do método de fabricação de Henry Ford e sua linha de montagem, que trouxe precisão nos processos de manufatura, todavia, oferecia pouca diferenciação para o consumidor.

A necessidade de atender a uma demanda crescente por produtos industrializados e à competição entre as organizações por fatias do mercado consumidor conduziu os processos industriais a uma melhoria da eficiência, além de manter a precisão para uma produção em massa e de baixo custo. Contudo, o mercado consumidor tornou-se mais exigente e provocou uma evolução nos processos industriais, principalmente quanto ao desenvolvimento de produtos, conforme representado pela figura 1, os quais envolvem crescentemente a participação do consumidor.

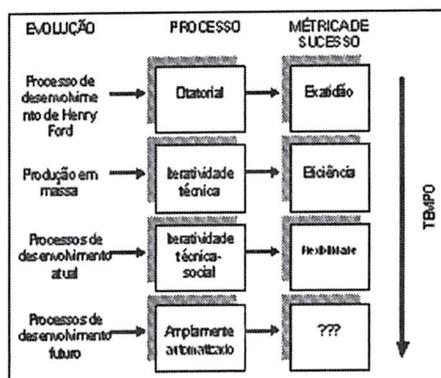
Atualmente, segundo afirmam Olewnik et al (2004), o sucesso de um desenvolvimento de produto pode ter como métrica de diferenciação a flexibilidade do processo, enquanto precisão e eficiência são fatores obrigatórios para manter a organização competitiva.

Uma das estratégias aplicadas por algumas organizações para aumentar a flexibilidade dos seus processos foi a iniciativa de desenvolver plataformas de produtos com o objetivo de utilizar alguns componentes, máquinas ou montagens em diferentes produtos, além de reutilizar processos, em conjunto com o esforço contínuo de redução de custos.

Em setores industriais cuja demanda provocada pelo consumidor exige opções e variações de produtos, e.g. a indústria automobilística, a utilização de arquiteturas modulares é corrente. Conforme afirma Egan (2004), a General Motors utiliza esta estratégia desde o início dos anos 80, e a Volkswagen atualmente utiliza 65 % de peças comuns em cinco diferentes modelos.

Segundo Egan (2004), o conflito desta estratégia de flexibilização é encontrar um equilíbrio entre a redução de custos e a diferenciação dos produtos. A busca pela otimização de custos em desenvolvimento de produtos e dos processos de manufatura envolve, quase sempre, investimentos significativos, além de que, a estratégia de controle de custos, em algumas organizações, tem conduzido a perda de oportunidades em harmonizar sua arquitetura de produtos com seus objetivos de negócio.

FIGURA 1 – Evolução do desenvolvimento de produtos, segundo Egan.



FONTE: Egan, 2004.

Por outro lado, a estratégia de flexibilização através da arquitetura de produtos modulares possibilita lançamentos para o mercado com maior rapidez, a qual torna a organização mais competitiva. Portanto, para explorar todos os benefícios da modularidade é necessário tratar a matéria não como uma reflexão tardia durante o processo de desenvolvimento de produtos, quando todos os componentes foram concebidos, mas tê-la em consideração ainda nas etapas iniciais do projeto.

Esta linha de raciocínio pressupõe que os módulos podem ser considerados como estruturas físicas que tem uma correspondência com estruturas funcionais e motiva o desenvolvimento deste artigo que apresenta e discute a abordagem de plataforma modular de produtos, concebida ainda na etapa conceitual de projeto, a qual pode minimizar os efeitos do conflito entre redução de custos e diferenciação de produtos.

Este artigo é estruturado em cinco seções: i) conceituação de plataforma modular; ii) descrição de estruturas para elaboração de arquitetura modular; iii) apresentação de estruturas funcionais para produtos modulares; iv) discussão através das considerações finais e v) conclusão.

2. A plataforma modular

Segundo Egan (2004), a plataforma de uma arquitetura de produto modular é uma estrutura lógica que define e controla sistemas, especificações dos módulos, do produto e das interfaces entre os módulos, baseados nos requisitos do negócio (não limitado somente aos requisitos de engenharia).

Uma arquitetura modular considera o desempenho de preço, qualidade, expectativas do produto, requisitos para distribuição dentro de custos determinados e de prazos de lançamento, entre outros.

Existem diferentes níveis de modularização em uma arquitetura de produto e, quando utilizada efetivamente, capacita às organizações industriais a obterem importantes vantagens estratégicas. Sanches (1999 e 2002, apud Eggen, 2003), identifica quatro vantagens estratégicas que podem ser consideradas como diretivas: i) aumento da variedade de produtos; ii) aumento da velocidade de atualização tecnológica dos produtos; iii) redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos e iv) redução de custos de desenvolvimento.

Outras diretivas podem contribuir como fator de geração de mudanças (Martin 1999). Estas diretivas são: i) requisitos do consumidor; ii) redução de custos; e iii) regulamentações/ padronizações, conforme quadro 1.

QUADRO 1 – Diretivas de geração de mudanças.

DIRETIVA	DESCRIÇÃO
Requisitos do consumidor	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de mudanças de desempenho (e.g. tamanho, estilo, peso, entre outros). • Mudança de condições ambientais (e.g. temperatura, umidade, vibração, entre outras). • Novas funções (atribuída para novos mercados ou novas tecnologias). • Melhoria de confiabilidade.
Redução de custos	<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de materiais. • Tipos de materiais. • Remoção de redundâncias. • Redução de tempo de montagem. • Redução do custo de utilização de tecnologia. • Melhoria na fabricação de componentes.
Regulamentações ou padronizações	<ul style="list-style-type: none"> • Mudanças em regulamentações ou padronizações do governo ou da indústria. • Introdução de competidores ou melhoria do produto. • Obsolescência de componentes.

FONTE: Martin (1999).

Para Dahmus et al (2001), existem quatro principais influências nas decisões durante o processo de desenvolvimento da arquitetura em um sistema de engenharia dividido em seções modulares, que são: i) as variações do mercado provenientes de cada consumidor, de cada segmento ou de cada marca de produto; ii) a variação de aplicação de acordo com a variação das necessidades de cada consumidor depois da compra do produto; iii) a mudança tecnológica a qual provoca atualizações em vários módulos e, segundo os autores; iv) o projeto para X, que pode ser entendido como um projeto elaborado com o objetivo de atender a diversos parâmetros estabelecidos (e.g. produção, suprimentos, distribuição, montagem, fabricação, meio ambiente, entre outros).

Para Huang (1999), arquitetura modular significa o relacionamento entre componentes, i.e. interfaces de componentes. Já Sanches (1996, apud Huang, 1999) estabelece como interfaces de componentes padronizados os co-relacionamentos funcionais, espaciais e outros, dentro de um projeto de produto. O quadro 2 resume as diferenças entre a abordagem convencional e a modular para definir, projetar e desenvolver novos produtos, segundo Huang, 1999.

QUADRO 2 – Definição, projeto e desenvolvimento de produto com abordagem convencional e modular.

TIPO	DESCRIÇÃO	PROJETO	DESENVOLVIMENTO
PROJETO CONVENCIONAL	Atributos do produto são determinados por pesquisa de mercado.	Funcionalidade desejada é decomposta dentro de componentes, mas as interfaces não são especificadas em detalhes.	Desenvolvimento de componentes e o projeto do produto são envolvidos em um processo iterativo. A arquitetura é definida pelo final do projeto do produto (i.e. a saída do processo de desenvolvimento).
PROJETO MODULAR	Produto é concebido com uma plataforma para alavancar variações do produto e aperfeiçoar modelos.	Arquitetura de produtos modulares com total especificação das interfaces dos componentes e implementa subseqüente desenvolvimento de componentes.	Processo de desenvolvimento de componentes é simultâneo, autônomo e distribuído. A arquitetura do produto não é alterada durante o desenvolvimento.

FONTE: Huang, 1999.

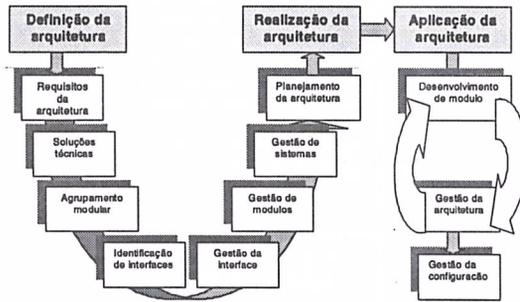
Observa-se que a literatura descreve diferentes diretivas e influências, contudo, segundo Dahmus et al (2001), os métodos propostos para desenvolver arquiteturas modulares oferecem poucas ferramentas para auxílio de projetistas e que, em geral, suas regras são conflitantes.

Ulrich e Eppinger (1995) afirmam que uma arquitetura modular deve exibir um complexo mapeamento entre funções e componentes, i.e. uma estrutura.

3. Estrutura para arquitetura modular

Egan (2004) propõe um processo de desenvolvimento de arquitetura modular implementado em um programa de três etapas: i) definição; ii) realização e iii) aplicação, conforme a representação esquemática da figura 2.

FIGURA 2 – As três etapas do processo de implementação da arquitetura do produto modular e suas interfaces, proposta por Egan.



FONTE: Egan, 2004.

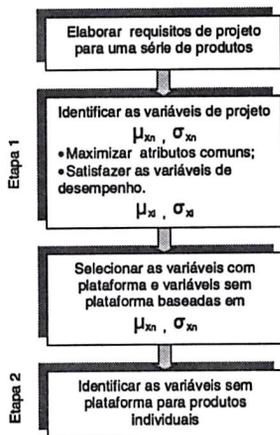
Na primeira etapa, são definidos os requisitos da arquitetura que utiliza dados multidisciplinares de entrada provenientes, e.g., do marketing, gestão do produto, fabricação, consumidores, fornecedores, engenharia, finanças e qualidade. Na etapa da realização, a arquitetura do produto é focada no estabelecimento de documentações e procedimentos de controle e, segundo o autor, é essencial para que o módulo do produto seja desenvolvido efetivamente e eficientemente. A etapa de realização inclui as interfaces com os sistemas e organizações requeridas para apoio a etapa de aplicação. A terceira etapa foca no desenvolvimento dos módulos e na gestão da arquitetura, inclusive domínios de propriedade, mudanças de gestão, configuração da gestão e controles.

Nayak et al (2000) apresentam a metodologia de plataforma baseada em variação representada esquematicamente na figura 3, cujo objetivo é satisfazer uma série de requisitos de desempenho com o uso da menor variação possível de plataforma de projeto de uma família de produtos. A primeira etapa da metodologia é encontrar a plataforma comum, cuja família de produtos a ser desenvolvida é identificada. Uma série de soluções é encontrada, representada pela média e pelo desvio-padrão das entradas das variáveis de projeto, para reunir uma série de diferentes requisitos de desempenho para a família de produtos.

Os requisitos de projeto neste modelo podem ser considerados como uma restrição ou como uma meta, e se o valor desejado ou o valor limite são iguais ou diferentes para cada produto da família. Em uma segunda etapa, a metodologia prevê que cada produto individualmente seja projetado baseado na plataforma comum.

Dahmus et al (2001) afirmam que o método heurístico proposto por Stone (2000) e o método de organização da função modular se complementam. Esta combinação é indicada pela representação esquemática proposta por Eggen (2003), apresentada na figura 4 e as heurísticas propostas por Stone (2000) são descritas na seção 4.

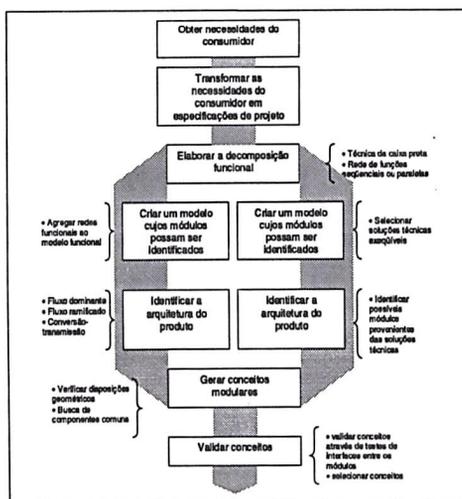
FIGURA 3 – Representação esquemática da metodologia de plataforma baseada em variação para o projeto de uma família de produtos, conforme Nayak et al.



FONTE: Nayak et al, 2000.

Dahmus et al (2001) propõem que o processo para desenvolver uma arquitetura modular deve iniciar por determinar quais tecnologias podem ser utilizadas e por estabelecer os limites da família de produtos que devem compartilhar módulos comuns.

FIGURA 4 – Representação esquemática da metodologia unificada do projeto da arquitetura do produto modular, segundo Eggen.

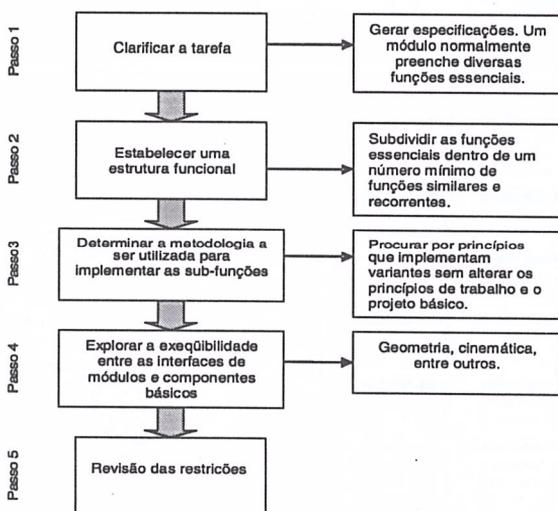


FONTE: Eggen, 2003.

Os autores afirmam que o primeiro passo é desenvolver a estrutura funcional para cada produto conceitual. Estas estruturas funcionais são unidas dentro de uma ampla estrutura funcional da família de produtos, que indica os inter-relacionamentos de função para todos os produtos.

Pahl e Beitz (1996) resumem em cinco passos o desenvolvimento de produtos modulares de acordo com a representação da figura 5. Os autores afirmam que os módulos devem ser desenvolvidos de acordo com a função que implementam; e.g. um módulo básico implementa funções básicas não variáveis no princípio funcional e são fundamentais para um produto ou sistema. Um módulo auxiliar corresponde a funções auxiliares usadas em conjunto com os módulos básicos para gerar produtos variados. Módulo adaptativo integra módulos ou sistemas para outros produtos e sistemas. Finalmente, os componentes individuais são aqueles que implementam funções para atender necessidades específicas do consumidor. Estabelecer a correspondência entre os módulos funcionais, e a estrutura física na etapa conceitual é o desafio dos pesquisadores desta área do conhecimento.

FIGURA 5 – Representação do desenvolvimento de produtos modulares conforme Pahl e Beitz.



FONTE: (Adaptado de Pahl e Beitz, 1996).

Blanchard e Fabrycky (1990) salientam que está estabelecido e amplamente aceito que as etapas iniciais de um projeto de produto são as mais críticas para a possibilidade de sucesso técnico e econômico. Os autores afirmam que a maior parte do desempenho do produto é determinada na etapa conceitual e mais de 75 % dos custos relativos ao ciclo-de-vida são comprometidos durante esta etapa.

Contudo, na etapa conceitual, ainda não é possível ter uma idéia clara do produto, ou de uma família de produtos.

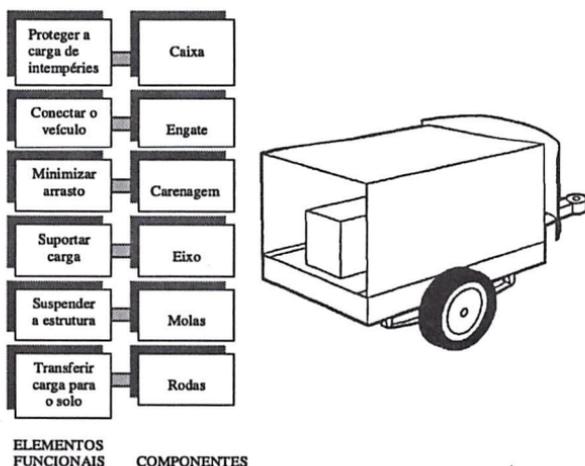
Ao se estabelecer uma relação entre os modelos anteriormente apresentados para o desenvolvimento da arquitetura de uma família de produtos durante a etapa conceitual do projeto, percebe-se que a visualização da estrutura funcional e a divisão das funções essenciais em subfunções é interessante para se estabelecer previamente uma arquitetura modular. A verificação do fluxo dominante de uma estrutura funcional pode ser considerada como a plataforma dos produtos modulares conceituais.

4. Estruturas funcionais

Segundo Ulrich e Eppinger (1995), uma arquitetura modular tem uma correspondência do tipo um-a-um entre módulos e funções, ilustrado na figura 6.

O primeiro passo para obter esta correspondência entre módulos e funções, segundo Pahl e Beitz (1996), é estabelecer três fluxos: i) energia (e.g. mecânica, térmica, elétrica, química, ótica, nuclear, entre outros); ii) material (e.g. gás, líquidos, sólidos, pós, névoas, entre outros) e iii) sinal (e.g. magnitude, acionamentos, controles, dados, informação, entre outros), que serão convertidas em entradas e saídas por uma função global.

FIGURA 6 – Correspondência um-a-um entre elementos funcionais e componentes físicos.

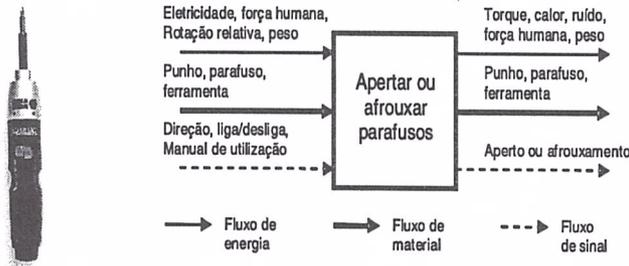


FONTE: Ulrich e Eppinger (1995).

Back (1983), observa que nos sistemas técnicos somente os três importantes aspectos é que serão transformados: propriedades e estado da energia, material e sinal, bem como seu fluxo, i.e. os complicados fenômenos em sistemas

técnicos podem ser reduzidos para um número finito de operações físicas. Para a obtenção destes fluxos pode ser utilizada a técnica da caixa-preta, conforme exemplo da figura 7 para uma parafusadeira elétrica sem fio.

FIGURA 7 – Técnica da caixa-preta para uma parafusadeira sem fio.



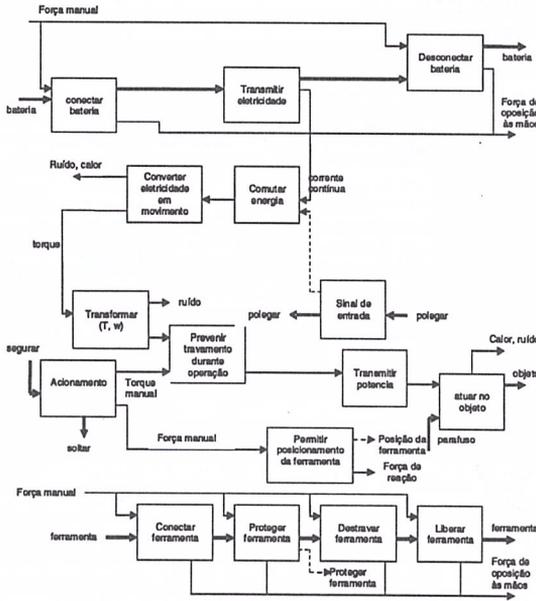
FONTE: Stone, 2000.

Uma função global (e.g. apertar ou afrouxar parafusos), segundo Pahl e Beitz (1996) pode, geralmente, ser dividida em sub-funções correspondentes a sub-tarefas do sistema. O relacionamento entre sub-funções e a função global é orientada, usualmente, por restrições, visto que algumas sub-funções devem ser satisfeitas antes de outras. Por outro lado, é possível ligar sub-funções de vários modos e, conseqüentemente, gerar variantes do sistema.

Estabelecer a estrutura funcional facilita a descoberta de soluções devido à simplificação da busca e auxilia ainda, a elaboração de soluções para as sub-funções separadamente. Hubka e Eder (1988), afirmam que a representação das alternativas de estruturas funcionais é obtida através de fluxogramas, em que cada ponto de junção representa um elemento e cada ligação entre elementos representa um relacionamento.

Segundo Ullman (1997), cada bloco do diagrama implementa uma função e seus inter-relacionamentos são definidos como um fluxo lógico. Para encontrar a estrutura funcional de um sistema, o autor propõe quatro diretrizes: i) os limites do sistema devem ser claramente identificados; ii) os fluxos de energia e materiais devem ser conservadores (e.g. uso do menor consumo); iii) todas as interfaces entre os elementos devem ser conhecidas e cada elemento do sistema deve ser identificado e iv) para acrescentar o fluxo de informações ao diagrama (i.e. sinais), deve-se assegurar que todo o sistema esteja representado. Por sua vez, Otto e Wood (1998), propõem uma abordagem para a estrutura funcional baseada em esquemas de fluxos, conforme representado na figura 8 para o exemplo da figura 7. Para cada necessidade do consumidor, um fluxo é identificado através da técnica da caixa-preta. Este fluxo é traçado sem interrupção, através de uma seqüência de sub-funções. Estas cadeias independentes são absorvidas dentro de uma estrutura funcional completa e é inclusiva das necessidades do consumidor (e.g. uso da ferramenta QFD para obtenção dos requisitos de projeto).

FIGURA 8 – Representação esquemática da estrutura funcional de uma parafusadeira sem fio.



FONTE: Stone, 2000.

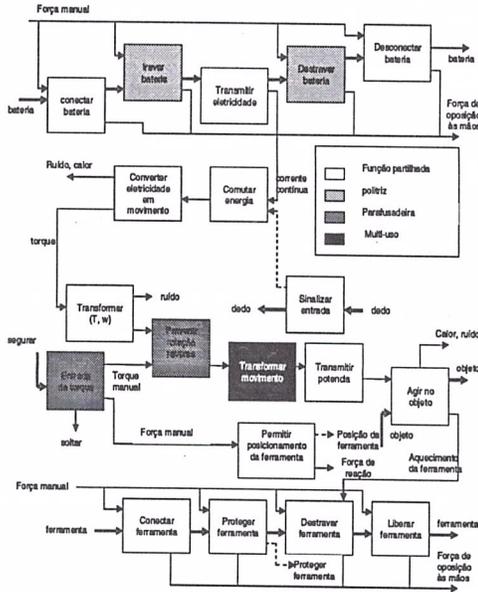
Após a elaboração das estruturas funcionais de cada produto da família, deve-se reuni-las em uma única estrutura. A união das estruturas funcionais é estabelecida por um único diagrama que contém as funções de todos os produtos e seus fluxos de interações, conforme exemplifica a figura 9. No exemplo, a estrutura funcional de uma família de ferramentas elétricas é fundamentada em um fluxo principal, representado na figura 8.

Stone et al (1998) afirmam que um requisito para se obter um ótimo resultado em um projeto modular é a independência funcional, a qual conduz a um projeto modular robusto com mínimas interações. Stone (2000) propõe três heurísticas que podem ser utilizadas para identificar módulos em uma estrutura funcional. Estas heurísticas são divididas em três tipos: i) fluxo dominante; ii) fluxo descendente (ou ramificado) e iii) conversão-transmissão.

A heurística do fluxo dominante examina o fluxo através da estrutura funcional do seu início até sair do sistema ou ser transformado dentro de outro fluxo, i.e. a série de subfunções cujo fluxo percorre, proveniente de uma entrada ou devido à formação de um outro fluxo no sistema até sua saída ou conversão, define um módulo, conforme representação da figura 10.

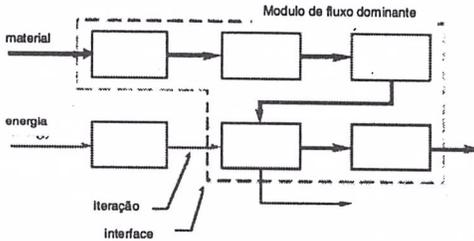
A heurística do fluxo descendente examina fluxos que se ramificam ou convergem de uma cadeia de funções paralelas. Cada ramificação do fluxo pode estabelecer um módulo, conforme ilustra a figura 11.

FIGURA 9 – Representação gráfica da estrutura funcional de uma família de produtos.



FONTE: Stone, 2000.

FIGURA 10 – Representação do fluxo dominante.



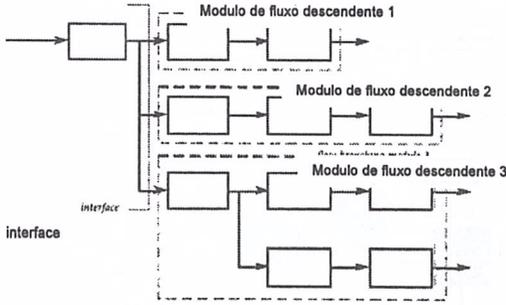
FONTE: Stone, 2000.

A conversão-transmissão examina fluxos que são convertidos de um tipo de fluxo para outro. Um módulo conversão-transmissão converte uma energia ou material em outra forma, então transmite a nova forma de energia ou material.

O método heurístico aplicado à modularização da estrutura funcional do portfólio divide as funções em dois tipos: i) funções compartilhadas e ii) funções exclusivas. As funções compartilhadas podem ser utilizadas como um meio para definir módulos do portfólio. Um grupo funcional compartilha fluxos e funções similares e aparecem múltiplas vezes em uma estrutura funcional do portfólio. As funções exclusivas são aquelas específicas para um único produto ou sub-série de produtos. Tais funções devem ser agrupadas dentro de um módulo.

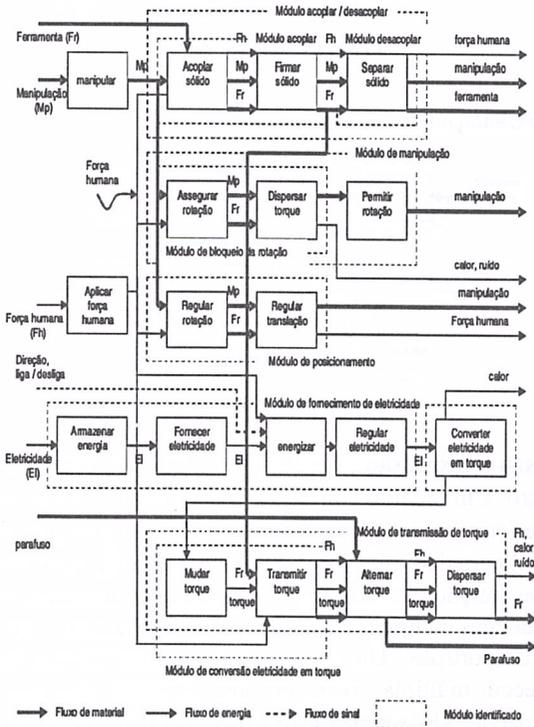
A representação gráfica da estrutura funcional fundamentada nas três heurísticas é ilustrada na figura 12, para o exemplo da figura 7.

FIGURA 11 – Representação do fluxo descendente.



FONTE: Stone, 2000.

FIGURA 12 – Representação da estrutura funcional de uma parafusadeira sem fio, conforme as heurísticas propostas por Stone, 2000.



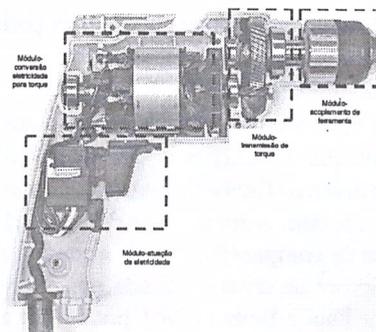
FONTE: Stone, 2000.

4. Considerações finais

Atualmente, predominam pesquisas que utilizam a plataforma modular no desenvolvimento da arquitetura do produto durante a etapa preliminar de projeto, após a definição do conceito ou da obtenção de alternativas de solução. Há uma série de estudos da arquitetura orientados por esta taxionomia. A argumentação é que nesta etapa de projeto pode-se compreender os relacionamentos entre componentes do sistema e suas interfaces, em detrimento de encaminhar restrições para a fase de detalhamento (e.g. Wie et al, 2001; Sosa et al, 2000; Hillstrom, 1994, apud Wie et al, 2001; entre outros).

Reconhece-se a necessidade de obtenção de arranjos espaciais e compatibilidade de materiais, *ad hoc*, é necessária a definição do corpo do produto, conforme ilustra a figura 13, como exemplo de arquitetura modular de uma ferramenta elétrica portátil.

FIGURA 13 – Definição da arquitetura de um produto dividido em módulos.



FONTE: Wie et al, 2001.

A flexibilização do desenvolvimento de produtos através da arquitetura modular mostra-se como um instrumento útil para a redução de custos e redução de tempo para o lançamento de novos produtos no mercado. Contudo, a abordagem de plataforma modular de produtos, cuja concepção prévia é estabelecida durante a etapa conceitual do desenvolvimento apresentada neste artigo, pode conduzir a uma exploração de todos os benefícios da modularidade. Contudo, desenvolver conceitos modulares exige a identificação clara dos objetivos. As taxionomias apresentadas neste artigo orientam para propostas de plataforma modular como inserções em modelos de desenvolvimento de produtos industriais amplamente conhecidos (e.g. Pahl e Beitz, 1996).

A obtenção de soluções técnicas nas propostas apresentadas converge para a decomposição de funções através da técnica da caixa-preta e do estabelecimento da estrutura funcional do produto. O objetivo é encontrar uma plataforma de uso comum para uma família de produtos, através de agrupamento modular,

médias matemáticas ou heurísticas. A compreensão desta tarefa possibilita identificar funções que atendam a diversos requisitos comuns e conduza a diferentes soluções técnicas.

Aplicar a abordagem da plataforma modular na etapa conceitual permite incluir inovação e diferenciação em uma série de alternativas de solução. É necessário considerar que a estrutura funcional é uma técnica que auxilia o projetista a encontrar alternativas de solução e identificar potenciais módulos funcionais.

Entretanto, a tarefa de dividir grupos que possuem entradas e saídas com muitos fluxos pode não ser tão clara, devido à dificuldade de obter uma visualização simultânea do compartilhamento de funções para múltiplos produtos de uma família.

Para transpor esta dificuldade, autores como Dahmus et al (2001) e Erixon (1996) propõem elaborar matrizes de modularidade que auxiliam o projetista a visualizar ou refinar os inter-relacionamentos das funções, identificar funções partilhadas e simular diferentes alternativas de arquitetura. A abordagem das matrizes de modularidade e a abordagem da estrutura funcional são complementares entre si. Os conceitos gerados pelas duas abordagens podem ser comparados e contrastados ao se utilizar uma técnica de seleção como proposto por Pugh (1990). Contudo, a seleção pelo método de comparação relativa, conforme sugere Dahmus et al (2001), pode não ser eficiente para eleição de conjuntos modulares, devido ao grau de inter-relacionamentos de funções e suas interfaces; i.e. não é desejável avaliar um conceito com diversos fluxos de material, energia e sinal através de um critério comparando apenas com outro sistema de inter-relações semelhantes.

Portanto, métodos de comparação absoluta como a análise de decisão proposta Thurton (1990), árvore de critérios citada por Starkey (1992) e matriz de comparação sugerida por Pahl e Beitz (1996), podem ser adequadas ao processo de eleição das alternativas com melhor potencial de sucesso para uma família de produtos modulares.

6. Conclusões

Este artigo apresentou as principais diretrizes que norteiam o desenvolvimento de plataformas para produtos modulares através de modelos que propõem antecipar a elaboração de arquiteturas de famílias de produtos da etapa preliminar para a etapa conceitual do processo de desenvolvimento com o auxílio da técnica da estrutura funcional.

A proposta de modularidade pode ser considerada como importante abordagem para flexibilização dos processos de desenvolvimento de produtos e atribui ganhos de competitividade às empresas.

Identificar interfaces entre módulos pode ser uma tarefa da etapa conceitual e, deste modo, obtêm-se todos os benefícios que a plataforma de produtos modulares pode apresentar e, portanto, introduzir importantes vantagens estratégicas para a organização.

7. Referências

- BACK, Nelson. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- BLANCHARD, Benjamin S.; FABRYCKY, Walter J. **Systems Engineering and Analysis**. 2ª ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1990.
- DAHMUS, Jeffrey B.; GONZALEZ-ZUGASTI, Javier P.; OTTO, Kevin N. Modular Product Architecture. **Design Studies**, vol. 22, 2001, p. 409-424.
- EGAN, Michael. Implementing a Successful Modular Design-PTC's Approach. In: **7th Workshop on Product Structuring-Product Platform Development**. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2004.
- EGGEN, Oystein. Modular Product Development: A Review of Modularization Objectives as well as Techniques for Identifying Modular Product Architectures, Presented in a **Unified Model**. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2003, 12 p.
- ERIXON, Gunnar. Modular Function Deployment (MFD), Support for Good Product Structure Creation. In: **2nd WDK Workshop on product structuring**, Delft, Holland, 1996.
- HUBKA, V., EDER, W. E. **Design Science: Introduction to the Needs, scope and organization of engineering design knowledge**. 2ª ed. Londres: Springer, 1996.
- HUANG, Chun-Che. Overview of Modular Product Development. National Chinan University, Puli, Taiwan, **ROC**, vol. 24, n. 3, 1999, p. 149-165.
- MARTIN, Mark V. Design For Variety: A Methodology for Developing Product Platform Architectures, Stanford, 1999. 172 p. **Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy**. Department of Mechanical Engineering, Stanford University, 1999.
- NAYAK, Raviraj U.; CHEN, Wei; SIMPSON, Timothy W. A Variation-Based Methodology for Product Family Design. In: **ASME 2000 International Design Engineering Technical Conferences and Computer and Information in Engineering Conference**, Baltimore, Maryland, USA, 2000.
- OLEWNIK, Andrew; BRAUEN, Trevor; FERGUSON, Scott; LEWIS, Kemper: A Framework for Flexible Systems and Its Implementation in Multiattribute Decision Making. **Journal of Mechanical Design**, vol. 126, Maio-2004, p. 412-420.
- OTTO, K; WOOD, K. Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology. **Research in Engineering Design**. vol. 10, n. 4, 1998, p. 226 – 243.
- PAHL, G; BEITZ, W. **Engineering Design: A Systematic Approach**. 2ª ed. London: Springer, 1996.

PUGH, Stuart. Total Design: Integrate Methods for Successful Product Engineering. London: Addison-Wesley, 1990.

SOSA, M.E.; EPPINGER, S.D.; ROWLES, C.H. Designing Modular and Integrative Systems. In: **ASME 2000 International Design Engineering Technical Conferences and Computer and Information in Engineering Conference**, Baltimore, Maryland, USA, 2000.

STARKEY, C.V. Engineering Design Decisions. London: Edward Arnold, 1992.

STONE, R; WOOD, K.; CRAWFORD, R.: A Heuristic Method to Identify Modules from a Functional Description of a Product. In: **ASME Design Engineering Technical Conferences**, Atlanta, Georgia, USA, 1998.

STONE, Robert B. A Heuristic Method for Identifying Modules for Product Architecture. University of Texas, Austin, USA, 2001, 27 p.

THURSTON, D. A Formal Method for Subjective Design Evaluation with Multiple Attributes. **Research in Engineering Design.** vol.3, n. 2, 1990, p. 105 – 122.

ULLMAN, David G. The Mechanical Design Process. 2ª ed. Singapore: McGraw-Hill, 1997.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven. Product Design and Development. New York: McGraw-Hill Companies Inc., 1995.

WIE, Mike J. V.; GREER, James L.; CAMPBELL, Matthew I.; STONE, Robert B.; WOOD, Kristin L. Interfaces and Product Architecture. In: **ASME 2001 International Design Engineering Technical Conferences and Computer and Information in Engineering Conference**, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2001.

8. Nota de responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluído neste artigo.