

O DESIGN FOR MASS CUSTOMIZATION (DFMC) NO PLM SUSTENTÁVEL¹

THE DESIGN FOR MASS CUSTOMIZATION (DFMC) IN PLM SUSTAINABLE

DIEGO DE CASTRO FETTERMANN²
MÁRCIA ELISA SOARES ECHEVESTE³

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre o processo de customização em massa e a abordagem de desenvolvimento de produto que suporta a customização de produtos, o Design for Mass Customization (DFMC). As técnicas do DFMC foram revisadas buscando identificar alternativas para a promoção da gestão do ciclo de vida do produto (PLM Sustentável). Os resultados demonstram que diversos princípios do DFMC, como o desenvolvimento de famílias de produtos, plataformas de produto, modularização podem contribuir para o desenvolvimento de produtos com menor impacto ao meio ambiente.

Palavras-chave: desenvolvimento de produto; gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM) sustentável; design for mass customization (DFMC).

ABSTRACT

This paper presents a literature review on the process of mass customization and product development approach that supports the mass customization of products, the Design for Mass Customization (DFMC). DFMC techniques were reviewed in order to identify alternatives for promoting the management of product life cycle (PLM Sustainable). The results show that several principles of the DFMC, like: the development of families of products, product platforms, modularization may contribute to the development of products with lower environmental impact.

Key-words: product development; product life cycle management (PLM) sustainable; design for mass customization (DFMC).

¹Data de recepção: 03/12/2010. Data de aprovação: 09/12/2010. Data de publicação: 22/12/2010.

²Mestre em Engenharia de Produção (UFRGS). E-mail: diego@producao.ufrgs.br

³Mestre em Engenharia de Produção pela UFRGS e Doutora em Engenharia de Produção pela UFRGS. Pós-Doutorado em Desenvolvimento de Produtos na EESC-USP. Professora da UFRGS. E-mail: echeveste@producao.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade consiste em um importante tema para a manutenção e desenvolvimento da competitividade para as empresas, sendo recente e discutido por autores de diversas linhas de pensamento e diferentes formações acadêmicas (DALMORO, 2009). Entretanto, as abordagens utilizadas para o desenvolvimento de produto ainda não são satisfatórias, principalmente em relação à economia de recursos. Em razão disso, é crescente a pressão para as empresas incorporarem os princípios de desenvolvimento sustentável em suas políticas e atividades (LABUSCHAGNE; BRENT, 2005). O desenvolvimento de produtos reside no conjunto de atividades nas quais se busca a partir das necessidades de mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas projetar um produto, sua manufatura, seu lançamento e acompanhar o seu desempenho no mercado (ROZENFELD et al., 2006). A análise sobre o ciclo de vida do produto é apresentada como uma abordagem indicada para minimizar o impacto dos produtos sobre o meio ambiente, principalmente se também considerar o seu desenvolvimento (UMEDA et al., 2008). O ciclo de vida de um produto abriga todas as fases de sua existência, desde o seu desenvolvimento, passando por sua manufatura, montagem, possíveis serviços associados a este produto até o seu descarte (ISHI et al., 1994). Entretanto, o maior impacto das melhorias propostas para o produto é decrescente no decorrer do seu ciclo de vida, por essa razão que as atividades executadas durante a fase de desenvolvimento do produto são as que mais contribuem para reduzir o impacto do produto no meio ambiente (ISHI et al., 1994). Com o objetivo de acompanhar todo o ciclo de vida do produto, desde a geração da ideia até a sua retirada do mercado e ainda com foco no meio ambiente que a abordagem PLM Sustentável (product life-cycle management) foi desenvolvida.

A abordagem de PLM também está direcionada à integração e disponibilização das informações produzidas durante as diversas fases que constituem

o ciclo de vida do produto (SUDARSAN et al., 2005). Consiste em um conjunto de métodos, modelos e ferramentas de informação utilizadas para administrar as informações sobre o produto, processos durante as diferentes fases do ciclo de vida do produto (ABRAMOVICI, 2007). Desta forma, surgiram diversos sistemas (tecnologias de informação) destinados a gerenciar informação na lógica PLM, entre estes os disponibilizados pelas fabricantes Dassault Systèmes, SAP, IBM, Siemens, Oracle Corporation e diversos outros. Entretanto, somente a adoção de uma determinada tecnologia ou sistema não proporciona a perfeita integração das informações durante o ciclo de vida do produto (VILA et al., 2005). O conceito de PLM passou a ter maior abrangência que a gestão das informações durante o ciclo de vida do produto e incorporou outras funcionalidades. Entre os novos enfoques dado ao PLM está o do impacto do ciclo de vida do produto no meio ambiente. Com isso, os efeitos da extração da matéria-prima, dos projetos do produto, da manufatura e do uso até o seu descarte, também passam a ser incluídos nesta abordagem. Muito destas modificações aconteceram por imposição dos requisitos mais ecológicos das novas regulamentações (TOFFEL, 2005), mas também pelo motivo de que o conhecimento sobre o ciclo de vida do produto ser indispensável para o desenvolvimento de produtos sustentáveis (WIMMER et al., 2005). Além da questão do impacto ambiental, a necessidade de desenvolver produtos que atendam mais precisamente as necessidades particulares de cada cliente também deve ser incorporada ao processo de desenvolvimento de produtos (PDP) para que os produtos minimizem seu impacto ao meio ambiente (JOHANSSON, 2002).

Justamente com este objetivo, de entregar produtos que atendam as necessidades individuais de cada cliente que a abordagem de Customização em Massa (CM) foi desenvolvida (PINE II, 1993). Com a crescente fragmentação do mercado, os consumidores devem ser tratados como únicos, sendo indispensável a sua integração ao processo

de desenvolvimento de produto a fim de poder interpretar suas reais necessidades (GILMORE; PINE II, 2000). Uma forma de compreender o conceito de Customização em Massa é a partir de uma comparação com a produção em massa. Neste caso, a produção em massa está organizada sobre a manufatura, direcionada para a produção de produtos seriados e padronizados (PINE II, 1993). A estratégia de produção em massa é indicada para um mercado de comportamento homogêneo, em que os clientes escolhem os produtos entre as diversas ofertas disponíveis no mercado (ANDERSON-CONNELL et al., 2002). Enquanto isso, a Customização em Massa é organizada por meio de um curto ciclo de desenvolvimento de produto e de manufatura, produzindo produtos com características específicas a fim de atender às necessidades individuais dos clientes (ANDERSON-CONNELL et al., 2002). Utilizando o conceito de Customização em Massa, os clientes são integrados ao processo desenvolvimento de produto como forma de repassar suas necessidades particulares e viabilizar o projeto do produto de acordo com estas necessidades (PILLER, 2004).

Como forma de viabilizar os objetivos da customização em massa, o processo de desenvolvimento de produto deve incorporar diversas práticas e técnicas. Esta forma de abordagem foi designada de Design for Mass Customization (DFMC) (TSENG; JIAO, 1996; 2001; JIAO et al., 2003, JIAO; TSENG, 2004; MARION et al., 2006). O principal objetivo do DFMC é ampliar a visão do desenvolvimento de um produto único para uma família de produtos (TSENG; JIAO, 1996, 1998a, 1998b, JIAO et al.; 2003). A vantagem do desenvolvimento integrado de uma família de produtos resulta em desempenhos superiores em termos de comunalidade de componentes e sub sistemas, padronização e modularização entre os produtos e entre as linhas de produtos (MEYER; LEHNERD, 1997), além de uma eficiente participação do cliente no processo (DURAY et al., 2000).

Apesar de não possuir como principal objetivo a sustentabilidade, o emprego dos conceitos que

propostos no DFMC também podem contribuir para a efetividade da abordagem do PLM sustentável. Diversos princípios do DFMC também estão incluídos entre os fatores de sucesso para o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis, tais como: melhor integrar os clientes durante o processo, a utilização de técnicas e ferramentas (JOHANSSON, 2002) e a modularidade dos subsistemas aplicada aos produtos (SELIGER et al., 2006; UMEDA et al., 2008), que também contribui para a questão de remanufatura (GRAY; CHARTER, 2006). Outro conceito empregado no DFMC é o desenvolvimento de famílias de produtos, que compartilham uma mesma plataforma, subsistemas e componentes entre si. Com a adoção deste princípio é possível reduzir o tempo de desenvolvimento e ainda torna mais rápida a atualização tecnológica dos produtos. Com o desenvolvimento de uma melhoria em um subsistema ou plataforma o processo de atualização dos produtos é mais curto, reduzindo o tempo de difusão da inovação no portfólio de produtos (MEYER; LEHNERD, 1997).

Como forma de incorporar os conceitos de sustentabilidade ao desenvolvimento e gestão do ciclo de vida dos produtos, está sendo trabalhada a abordagem de PLM sustentável. Como forma de reunir as melhores práticas e técnicas indicadas para minimizar o impacto do produto ao meio ambiente durante o seu ciclo de vida será necessária a revisão destas diversas práticas e técnicas utilizadas em outras abordagens, mas que também possam contribuir para o PLM sustentável atingir aos seus objetivos. Alinhado com este enfoque, este artigo tem por objetivo identificar os princípios incluídos no Design for Mass Customization (DFMC) que podem contribuir para a construção da abordagem de PLM sustentável.

MÉTODO DE TRABALHO

Como forma de atingir o objetivo proposto foi desenvolvida uma revisão de literatura sobre Customização em Massa e Design for Mass Customization (DFMC). A partir da compreensão dos princípios da Customização

em Massa e de seu processo de operacionalização, o DFMC é apresentado como a abordagem indicada para o desenvolvimento de produto atender aos objetivos propostos pela customização em massa. A partir desta revisão de literatura, são discutidas quais as práticas e técnicas que integram o DFMC podem também contribuir para o atendimento dos objetivos propostos pela abordagem do PLM sustentável. Estas práticas e técnicas são apresentadas de acordo com as fases que integram o processo de desenvolvimento de produto (PDP), sendo que, para isso, se utilizou como parâmetro as macrofases do modelo referencial de PDP proposto por Rozenfeld et al. (2006). Desta forma, este trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa exploratória, (GIL, 2007) e utiliza um o método qualitativo, baseado em revisão de literatura.

CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

O termo Customização em Massa (CM) foi elaborado durante a década de 1980, como a estratégia capaz de atender a grande quantidade de clientes dos mercados de massa, desenvolvidos durante a era industrial e, ao mesmo tempo, tratá-los individualmente, como na produção artesanal (DAVIS, 1987). São dois os principais princípios que sustentam a adoção dos objetivos propostos pela CM: a utilização de manufatura flexível (FMS) (KOTHA, 1995; DA SILVEIRA et al., 2001, FRANKE; PILLER, 2003; PILLER, 2004) e as técnicas e práticas aplicadas durante o processo de desenvolvimento de produto, principalmente a modularidade (SALVADOR et al., 2002, GILMORE; PINE II, 1997; JOSE; TOLLENARE, 2005).

A Customização em Massa implica na utilização de processos flexíveis com uma estrutura organizacional que viabilize a produção de produtos e serviços customizados a um baixo custo (HART, 1995) e ainda em

altos volumes (DA SILVEIRA et al., 2001). A Customização em Massa ainda pode ser definida como o desafio em atender às necessidades individuais dos clientes mantendo a eficiência da manufatura semelhante ao da produção em massa (JIAO; TSENG, 2004; KUMAR; PHROMMATHED, 2005).

Como forma de melhor atender às diversas necessidades dos clientes, muitas empresas adotam a estratégia de aumentar o seu portfólio de produtos (PINE II, 1993). Entretanto, a simples adoção desta estratégia normalmente resulta em uma redução do desempenho operacional da empresa, muito em razão de que a maior quantidade de produtos pode resultar em maiores custos de manufatura, custos indiretos, níveis de estoques e tempos de produção (SALVADOR et al., 2002). Como alternativa a este cenário, muitas empresas passaram a considerar a possibilidade de que a configuração do produto permita viabilizar simultaneamente os ganhos de escala de produção e o atendimento das necessidades dos clientes (KRISHNAN; GUPTA, 2001).

PROCESSO DE INTERFACE ENTRE CLIENTE E PRODUÇÃO PARA A CUSTOMIZAÇÃO DE PRODUTOS

A interface entre as demandas de customização dos clientes e a capacidade da produção em atender estas demandas orienta o processo de customização, assim como o seu resultado. O processo de customização é responsável por identificar e captar as demandas de customização dos produtos e transmiti-las para a produção, que é responsável por transformar estas demandas em produtos que atendam as necessidades de customização do cliente (DA SILVEIRA et al., 2001).

Nesse sentido, o fluxo de informações entre o cliente e a produção é determinante para o sucesso da customização, assim como as atividades que acontecem durante este processo. Como forma de representar a

interface entre cliente e produção para a customização, observa-se a necessidade de uma estrutura para o processo de customização de produtos (FIGURA 1). A interface entre cliente e produção é representada em cinco fases. O desenvolvimento da plataforma de produto é apresentado como um processo que proporciona a customização do produto, assim

como os condicionantes da customização são considerados como pré-requisitos para o projeto da plataforma de produto e posterior customização do mesmo. Ainda são apresentadas as tecnologias de manufatura, de projeto e metodologias e processos, considerados como facilitadores da customização dos produtos.

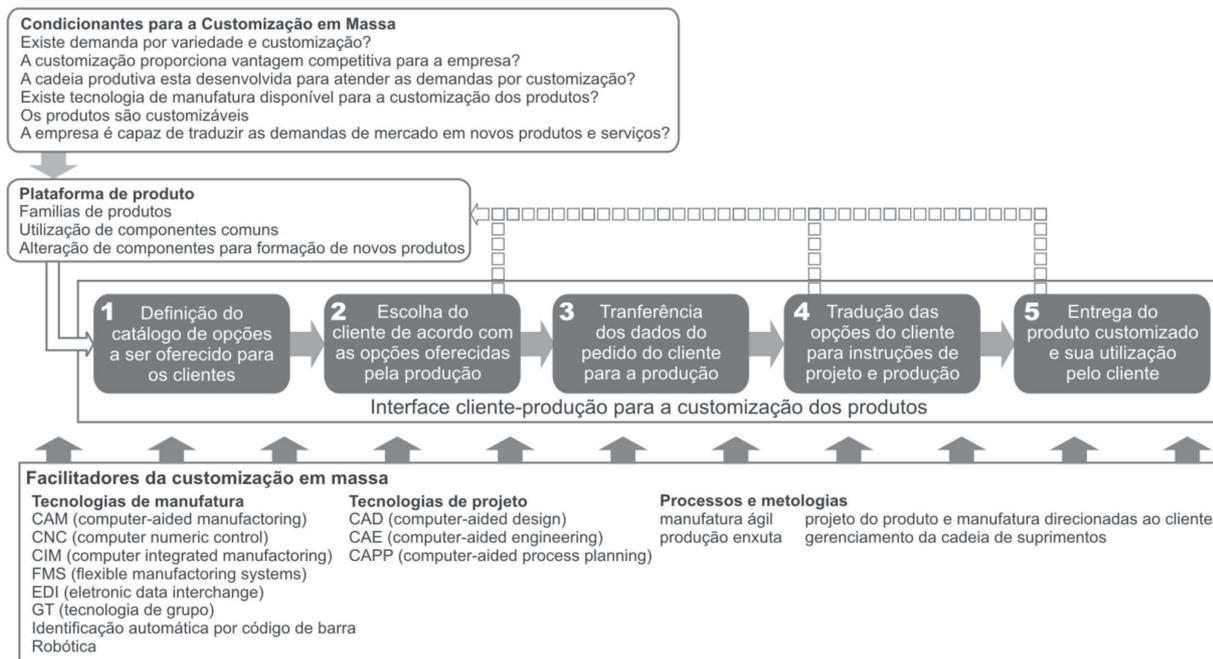


FIGURA 1 - Mapeamento do processo de customização de produtos. Baseado em (GILMORE; PINE II, 1997; DURAY et al., 2000; DA SILVEIRA et al., 2001)

A primeira etapa, (i) definição do catálogo de opções a ser oferecido para os clientes, define as opções oferecidas para a customização e, por consequência, o nível de customização para o produto (DA SILVEIRA et al., 2001). Este catálogo de produtos deve ser alimentado pelos produtos derivados da plataforma utilizada pela empresa para a customização. O projeto da plataforma de produto é a forma de gerenciar a necessidade de customização do cliente com a necessidade de comunalidade de componentes (ROBERTSON; ULRICH, 1998). Entretanto, a utilização da estratégia de customização ainda demanda o atendimento de alguns condicionantes, tais como a real necessidade

de customização de produtos, a viabilidade de customizar os produtos e a disponibilidade de tecnologias e logística para estas atividades (DA SILVEIRA et al., 2001). Nesta etapa, são entradas importantes o conhecimento das necessidades de customização dos produtos e das possibilidades tecnológicas para o atendimento destas solicitações, que serão reunidas no projeto da plataforma de produto. Nesta etapa, é importante a utilização das tecnologias de projeto, tais como CAD (computer aided design), CAE (computer aided engineering) e CAPP (computer-aided process planning) (DURAY et al., 2000).

A segunda etapa, (ii) escolha do cliente de acordo com as opções oferecidas pela

produção, considera a forma como o cliente opta pelas oportunidades de customização oferecidas pela produção. Este processo pode acontecer com o cliente selecionando as opções diretamente em uma interface individualmente, a partir de um contato e auxílio dado por um vendedor, ou até com a interação com um técnico ou projetista que desenvolve um arranjo dos componentes direcionado para melhor atender as necessidades do cliente (DA SILVEIRA et al., 2001). Recomenda-se que os resultados das seleções dos clientes sejam analisados e utilizados para otimizar a manufatura e a própria plataforma de produto.

A terceira etapa, (iii) transferência dos dados do pedido do cliente para a produção, consiste na forma como as opções de customização do cliente são transferidas desde o ponto de venda para a produção. Esses dados são normalmente transmitidos via rede integrada de computadores ou mesmo utilizando a web (DA SILVEIRA et al., 2001).

A quarta etapa, (iv) tradução das opções do cliente para instruções de projeto e manufatura, inicia quando a plataforma de produtos é acionada na produção para o atendimento das necessidades dos clientes. Neste processo, as tecnologias de manufatura disponibilizam grande suporte para transformação dos projetos customizados em produtos. Entre estas tecnologias, os sistemas CAD e CAM destacam-se para a transformação dos projetos em instruções de manufatura (KOTHA, 1995; DA SILVEIRA et al., 2001).

A customização do produto ou serviço também pode acontecer durante a (v) entrega e na utilização do produto pelo cliente, sendo que o fabricante pode não ter conhecimento explícito desta adaptação. Estes casos acontecem com produtos ou serviços em que o seu uso é previsível a partir de um conjunto padronizado de componentes (GILMORE; PINE, 1997), como no caso de prateleiras modulares (ROYER, 2007).

Ao analisarmos o processo de customização verificamos que existe uma constante interação com o cliente, que o caracteriza como um processo intensivo em troca de informações (PILLER et al., 2004). Os clientes definem, configuram, escolhem e modificam as soluções individuais de forma a criar maior valor ao produto (PILLER, 2004). Também existe uma ênfase nas questões de economias de escopo e escala desde o início do processo de desenvolvimento de produto. Como forma de atender a estes princípios, o DFMC foi idealizado com o objetivo de atender as diversas demandas do mercado ao mesmo tempo em que é mantida a eficiência do sistema produtivo e o baixo custo (TSENG; JIAO, 1996, 2001).

DESIGN FOR MASS CUSTOMIZATION (DFMC)

Durante o projeto do produto são consideradas e decididas grande parte das questões que impactam no desempenho do produto no mercado e sua relação com o meio ambiente. Aproximadamente 85% do custo do produto é determinado durante as fases iniciais do projeto (CLARK; FUJIMOTO, 1991; ROZENFELD et al., 2006) e 80% dos custos de manufatura também são determinados durante o projeto do produto (SIMCHI-LEVI et al., 2003). Alinhado com este pensamento, o DFMC busca considerar as questões de economia de escopo e escala desde as fases iniciais do desenvolvimento de produto. Para atingir estes objetivos, é ampliado o limite de abrangência desde um desenvolvimento de produto único para incorporar o projeto simultâneo de uma família de produtos, incorporando o processo de venda, marketing, distribuição e serviços (JIAO et al., 2003). Os benefícios desta abordagem são reconhecidos tanto pela academia quanto pela indústria (MEYER; LEHNERD, 1997; SIMPSON, 2004). A FIGURA 2 representa as implicações do DFMC relacionado ao contexto de escopo do projeto de desenvolvimento e do produto.

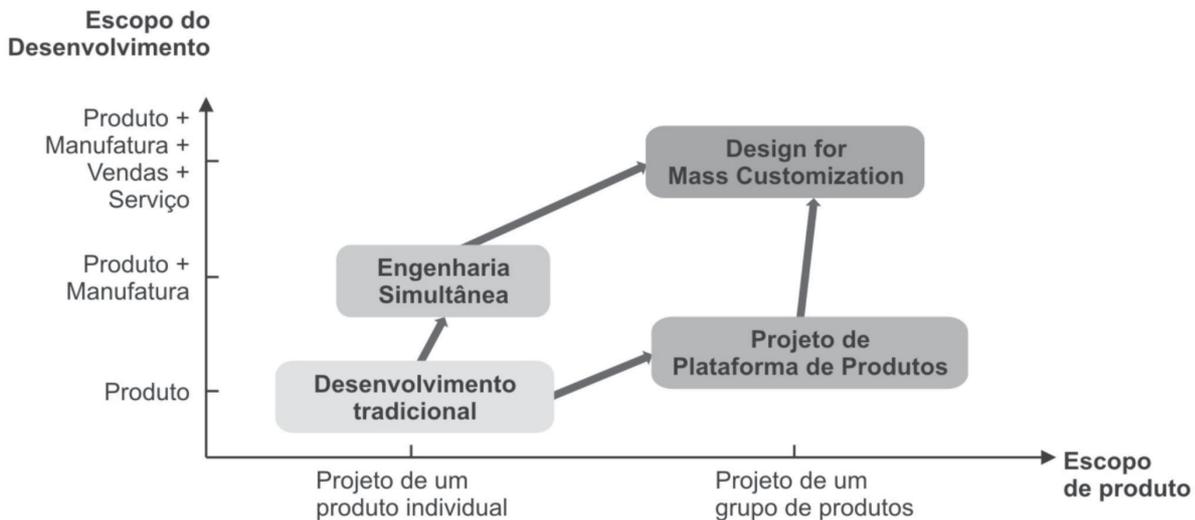


FIGURA 2 - Design for Mass Customization (DFMC). Adaptado de Tseng e Jiao (1998a, 1998b, 2001) e Jiao et al. (2003)

Como forma de suportar a customização dos produtos, o desenvolvimento de uma plataforma de produto deve atender aos requisitos definidos ao mesmo tempo que permite a rápida configuração e alteração de módulos e componentes de modo a atender as necessidades específicas de cada clientes. Na operacionalização da DFMC são utilizadas diversas técnicas, sendo a modularização dos produtos a prática mais comum empregada (SALVADOR et al., 2002). Sendo que esta técnica é mencionada como a principal estratégia relacionada ao desenvolvimento de produto que viabiliza a aplicação dos conceitos de customização em massa (GILMORE; PINE II, 1997; JOSE; TOLLENARE, 2005).

O conceito de modularidade é definido como a estratégia para organizar produtos e processos complexos de forma a economizar recursos (BALDWIN; CLARK, 2000), decompondo sistemas complexos em partes mais simples (JOSE; TOLLENARE, 2005). Enquanto que a plataforma de produto é definida como a utilização de um conjunto de componentes, módulos ou partes comuns que compõem uma quantidade maior de produtos derivados que podem ser rapidamente desenvolvidos e lançados (MEYER; LEHNERD,

1997). Plataforma de produto também pode ser definida como a utilização de um módulo padrão compartilhado entre diferentes produtos derivados (JOSE; TOLLENARE, 2005). Da mesma forma que a modularidade, Robertson e Ulrich (1998) definem a utilização de plataforma de produto como a melhor forma para desenvolver a customização em massa. O conceito de família de produtos consiste em um grupo de produtos relacionados destinados a atender uma variedade de segmentos de mercado compartilhando um conjunto de componentes, módulos e/ou subsistemas (SIMPSON et al., 2006).

O desenvolvimento de uma família de novos produtos envolve um planejamento sistemático de modularidade e padronização, assim como sua relação com as questões técnicas, funcionais e estruturais dos produtos (JIAO et al., 2007). A customização do produto parte da combinação de uma plataforma de produto com os módulos e/ou componentes, que podem ser incorporados e/ou editados de forma rápida para atender as necessidades específicas dos clientes. As possíveis composições entre a plataforma de produtos e os módulos/componentes disponibilizam

uma maior quantidade de alternativas de produtos, chamados produtos derivados. O grupo destes produtos derivados constitui a família de produtos, que é resultado do

aproveitamento de uma mesma plataforma e da combinação de módulos e/ou componentes de acordo com as necessidades específicas do cliente (FIGURA 3).

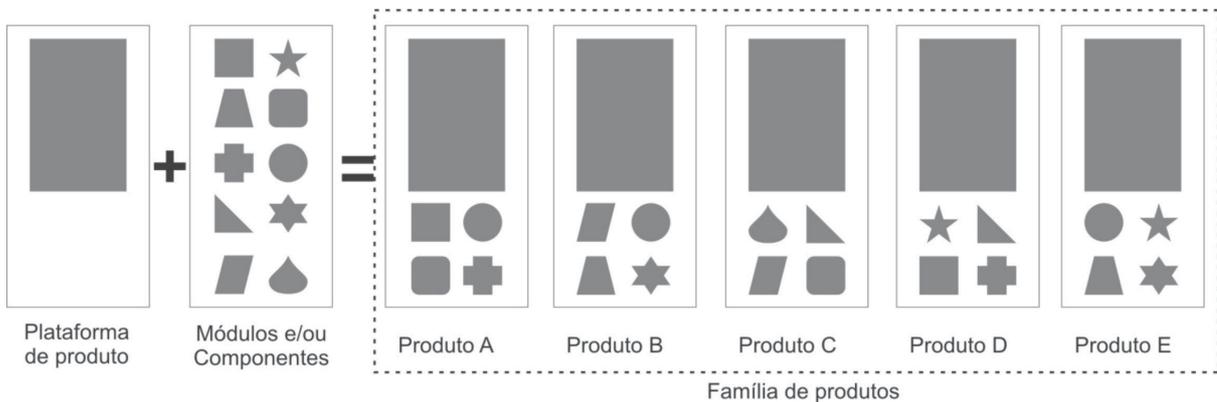


FIGURA 3 - Representação dos conceitos de plataforma de produto, módulos/componentes e família de produtos

A questão da composição da família de produtos enquanto resultado da combinação dos diversos módulos/componentes sobre uma plataforma comum pode ser tratada seguindo dois princípios básicos: a (i) modularidade (module-based product family) e a (ii) edição dos produtos (scale-based product family) (SIMPSON, 2004).

Na (i) modularidade, os produtos são compostos adicionando, substituindo ou removendo um ou mais módulos funcionais da plataforma a fim de atender as necessidades específicas do cliente (SIMPSON, 2004). Trata-se da composição da estrutura física do produto a partir da adição dos elementos funcionais um a um ou muitos em um. Esta composição ainda pode acontecer de modo modular, em que um ou mais elementos funcionais compõem a estrutura do produto, como no caso dos computadores pessoais (PCs). Ou ainda de forma integral, quando se verifica uma maior complexidade na composição dos elementos funcionais ou em suas interfaces na construção da estrutura do produto, como no caso dos automóveis (SIMPSON, 2004).

Na (ii) edição, a família de produtos é desenvolvida a partir da modificação das

variáveis em uma ou mais dimensões a fim de “esticar” ou “encolher” a plataforma e viabilizar produtos com desempenhos diferentes que atendam às demandas específicas de cada segmento de mercado (SIMPSON, 2004), como no caso do Modelo T de Ford com o chassi “esticado” para viabilizar a picape Modelo TT, com 1ton de limite de carga (ALIZON et al., 2009).

CONTRIBUIÇÕES DO DFMC NO PLM SUSTENTÁVEL

O DFMC possui como seus principais princípios a incorporação dos processos de vendas, marketing, distribuição e serviços para o atendimento das necessidades específicas dos clientes ao mesmo tempo em que são mantidas as economias de recursos e o baixo custo (JIAO et al., 2003). Entretanto, a aplicação destes conceitos não se restringe a algumas fases específicas do PDP, podendo ser aplicadas ao longo de todo o processo.

De acordo com o modelo de desenvolvimento de produto de Rozenfeld et al. (2006), o processo pode ser dividido em três macrofases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. As

macrofases são também subdivididas em um total de nove fases, sendo que estas fases são delimitadas por um conjunto de resultados (deliverables) que são avaliados nos pontos de checagem ao final da fase, os gates (ROZENFELD et al., 2006). Embora as fases estejam representadas de forma seqüencial, existe uma sobreposição das atividades

segundo os conceitos de engenharia simultânea. O modelo proposto pelos autores é indicado para o desenvolvimento de produtos de bens duráveis de capital e de consumo duráveis, sendo que cobre uma importante lacuna para a área de desenvolvimento de produto no Brasil (MIGUEL, 2008).

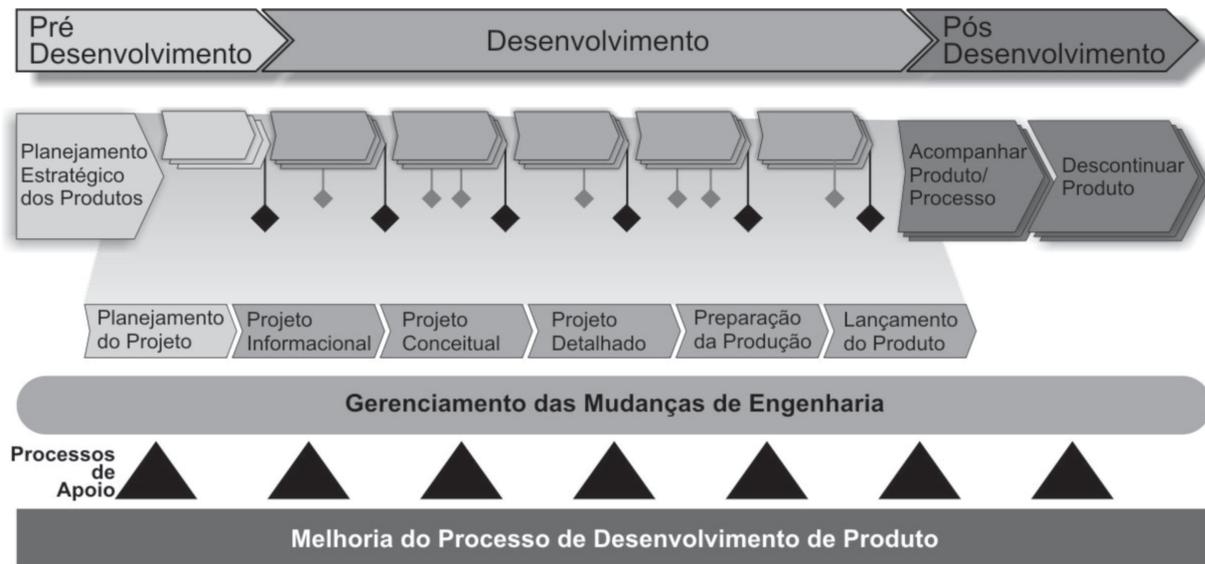


FIGURA 4 - Visão geral do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos. Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

A macrofase de pré-desenvolvimento compreende as fases de planejamento estratégico do produto e planejamento do projeto. Entre os seus objetivos está a garantia do direcionamento estratégico da organização relacionado ao portfólio de produtos. Os princípios do DFMC estão fortemente relacionados a esta fase do PDP, principalmente na definição do portfólio a partir das famílias de produto. No DFMC, o desenvolvimento da família de produtos consiste em compreender as diferenças entre os segmentos de mercado e por meio da utilização das mesmas tecnologias e processos produtivos atender as necessidades particulares de cada segmento. As questões de processo e tecnologia são antecipadas para o planejamento do portfólio de produtos, sendo que a empresa estrategicamente administra e

define a família de produtos baseada na plataforma do produto e nos produtos derivados (SIMPSON, 2004). Com a padronização da plataforma e dos módulos funcionais, os projetistas podem se concentrar mais na compreensão das necessidades dos consumidores, integrar os subsistemas modulares e nas suas melhorias (MEYER; LEHNARD, 1997). Como resultado, o DFMC consegue atingir uma mais eficiente coordenação do portfólio de produtos para a empresa (BARE; COX, 2008), uma economia dos recursos utilizados durante o processo de desenvolvimento e, conseqüentemente, uma redução do time to market (MEYER; LEHNARD, 1997).

Seguindo estes conceitos, a Ford Motor Company produziu 15 milhões de Modelo T, no período de outubro de 1908 até maio de

1927, mais que todos os outros fabricantes americanos combinados. A partir de uma mesma plataforma “T” foram desenvolvidos onze principais modelos de carros cada um direcionado a um específico segmento de mercado. Ainda somados a estes modelos, foram adaptados a partir da mesma plataforma “T” diversos outros tipos de veículos, como o trator Modelo TT, o caminhão 3ton, além de diversos outros veículos para fins diversos, como para neve, mini ônibus, carro de bombeiros entre outros (ALIZON et al., 2008). Neste sentido, com a aplicação dos conceitos do DFMC, a plataforma “T” conseguiu estender o seu ciclo de vida no mercado, proporcionou o desenvolvimento de uma diversidade de modelos e a sua possibilidade de customização atendeu mais especificamente as necessidades dos clientes. A utilização da mesma plataforma e módulos comuns entre a família de produtos proporcionou um maior reaproveitamento de peças e mais facilidade no reparo, características estas que também são contidas nos conceitos de design for multiple lifecycle e design for upgrade (GRAY; CHARTER, 2006).

Na macrofase de desenvolvimento estão incluídas as fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação para produção e lançamento do produto. As atividades destas fases consistem nas mais estruturadas do PDP, desde o entendimento do desenvolvimento de produto como uma atividade projetual faseada, tal como apresentado por Pahl e Beitz (1996). Neste sentido, a aplicação dos conceitos de DFMC durante a macrofase de desenvolvimento proporciona principalmente a otimização do produto e do processo produtivo. Como forma de obter os ganhos de escala de produção e baixo custo sem comprometer a diferenciação do produto, o DFMC procura padronizar as soluções técnicas em módulos que possam ser compartilhados por uma maior quantidade de produtos. Algumas técnicas como: matriz de decomposição de produto (ROBERTSON;

ULRICH, 1998; JIAO et al. 2003), índices de comunalidade (FISHER et al., 1999; THEVENOT; SIMPSON, 2006) e análise de cluster (JIAO et al., 2003) podem contribuir para se atingir aos objetivos do DFMC. As economias de recursos obtidos a partir da otimização do produto e do processo produtivo permitem uma associação com desenvolvimento de produtos sustentáveis. Entretanto, a principal vantagem que o DFMC disponibiliza para este fim é a possibilidade de aumentar o impacto que as soluções com melhor desempenho ambiental nos produtos. No momento que uma solução mais eficiente é desenvolvida, ela pode ser incorporada em seu respectivo módulo funcional e passa a ser disponibilizada em todos os produtos que utilizam este módulo. Desta forma, as inovações são incorporadas aos produtos com maior rapidez e o ciclo de difusão de seus benefícios na sociedade é reduzido.

A macrofase de pós-desenvolvimento compreende as fases de acompanhar o produto/processo e descontinuar o produto. Nesta macrofase estão contidas as atividades de monitoramento do desempenho do produto no mercado e acompanhamento do ciclo de vida do produto, incluindo as atividades de planejamento e execução da finalização do produto. A participação do cliente no projeto do produto consiste em um dos princípios para o desenvolvimento de produtos sustentáveis (JOHANSSON, 2002). Neste sentido, o DFMC pode contribuir para a sua operacionalização, visto que esta participação é um requisito para a operacionalização do DFMC (DURAY et al., 2000). O levantamento e análise das solicitações de customização dos produtos por parte dos clientes está previsto no processo de customização de produtos (FIGURA 1) e pode se tornar uma importante informação para o desenvolvimento de produtos ainda mais específicos para o atendimento das necessidades do cliente. As necessidades dos clientes não estão restritas ao produto em si,

podendo incluir uma maior participação de serviços associados ao produto. A desmaterialização do produto trata-se do principal conceito proposto pela abordagem product-service system (PSS) (MONT; TUKKER, 2006), sendo que a maior participação de serviços associados ao produto contribuem para uma aproximação do DFMC ao conceito de PSS.

As vantagens que o DFMC disponibiliza aos objetivos propostos pelo PLM sustentável são apresentadas de forma resumida no Quadro 1. Verifica-se que as vantagens estão mais concentradas durante a macrofase de pré desenvolvimento, isto em razão de que muitos dos objetivos do PLM sustentável estarem mais direcionados à estratégia da empresa. Mesmo assim verifica-se que muitos dos objetivos são comuns, podendo ser incluídas as práticas e técnicas empregadas no DFMC em todas as macrofases do desenvolvimento do PLM sustentável.

Macrofase Pré Desenvolvimento

- Atendimento das necessidades individuais do cliente (PINE II,1993)
- Aumento do ciclo de vida do produto (ALIZON et al.,2009)
- Economia de recursos e baixo custo (PINE II,1993; DA SILVEIRA et al.,2001)
- Gestão do portfólio de produtos (MEYER; LEHNARD,1997; BARE; COX,2008)

Macrofase Desenvolvimento

- Otimização dos recursos do processo produtivo (JIAO; TSENG,2004)
- Modularização e padronização de componentes (BALDWIN; CLARK,2000; JIAO; TSENG, 2003, 2004; JOSE; TOLLENARE, 2005)
- Rápido aproveitamento das inovações nos produtos (MEYER; LEHNARD,1997)
- Aproveitamento das solicitações dos clientes para melhorias no produto (DA SILVEIRA et al.,2001)

Macrofase Pós Desenvolvimento

- Maior participação de serviços associados ao produto (JIAO; TSENG, 2003, 2004)

-Maior personalização dos produtos(PILLER, 2004; FRANKE et al. 2010)

Quadro 1 - Resumo das possibilidades de contribuição do DFMC ao PLM sustentável

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão de literatura sobre Customização em Massa e DFMC indicam que a gestão do ciclo de vida do produto e o desenvolvimento de produtos sustentáveis, os principais objetivos do PLM sustentável, podem ser apoiados com a adoção de práticas e técnicas contidas na abordagem do DFMC. Apesar de não possuir um enfoque direcionado à sustentabilidade, o DFMC incorpora diversas práticas que potencializam a disseminação da filosofia do desenvolvimento sustentável relacionadas ao portfólio de produto. Práticas de desenvolvimento de produto como: modularidade, plataforma e família de produtos, arquitetura modular e comunalidades permitem uma economia na utilização de recursos, tanto materiais quanto humanos durante a concepção do produto e na sua manufatura. A maior padronização dos subsistemas que compõem o produto ainda permite que as inovações desenvolvidas nesses subsistemas sejam rapidamente distribuídas para toda família de produtos, reduzindo o tempo de implantação das melhorias no portfólio de produto da empresa. A busca do atendimento das necessidades individuais dos consumidores resulta em uma decisiva participação do cliente durante o processo de desenvolvimento. Esta maior interação permite o desenvolvimento de produtos mais direcionados ao atendimento das reais necessidades de cada cliente, e também associando um maior nível de serviços ao produto. Apesar de o DFMC não possuir uma ênfase nas questões de sustentabilidade e inovação, permite potencializar o resultado destas abordagens durante o desenvolvimento de produto.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVICI, Michael . Future trends in product lifecycle management. In: **The Future of product development, Proceedings of 17th CIRP Design Conference**, Springer Berlin Germany, 2007.
- ALIZON, Fabrice; SHOOTER, Steven B.; SIMPSON, Timothy W. Henry Ford and the Model T: lessons for product platforming and mass customization. **Design Studies**, v.30, n.5, p. 588-605, sept. 2009.
- ANDERSON-CONNEL, Lenda .J.; ULRICH, PamelaV.; BRANNON, Evelyn L. A consumer-driven model for mass customization in apparel market. **Journal of Fashion Marketing and Management**, v.6, n.3, p.240-258, 2002.
- BARE, Marshal; COX, Jordan J. Applying principles of mass customization to improve the empirical product development process. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.19, n.5, p.565-576, 2008.
- BALDWIN, Carliss Y.; CLARK, Kim B. Managing in an age of modularity. In GILMORE, J. H.; PINE II, J. B. **Markets of one: creating customer-unique value through mass customization**. Harvard Business School Press, Boston, MA, 2000.
- CLARK, Kim B.; FUJIMOTO, Takahiro. **Product development performance: strategy, organization, management in the world auto industry**. Boston: Harvard Business School Press, 1991.
- DALMORO, Marlon A visão da sustentabilidade na atividade empreendedora: uma análise a partir de empresas incubadas, **Revista Gestão Organizacional**, v.2, n.1, 2009.
- DA SILVEIRA, Giovani; BORENSTEIN, Denis; FOGLIATTO, Flávio S. Mass customization: literature review and research directions. **International Journal of Production Economics**, v.72, n.1, p.1-13, 2001.
- DAVIS, Stan. **Future Perfect**. 1ed. ed. Reading: Addison Wesley P, 1987.
- DURAY, Rebecca; WARD, Peter T.; MULLIGAN, Glenn W.; BERRY, William L. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. **Journal of Operations Management**, v.18, n.6, p.605-625, 2000.
- FRANKE, Nikolaus; PILLER, Frank T. Key reserch issues in user interaction with configuration toolkits in mass customisation. **The International Journal of Technology Management**, v.26, n. 5/6, p.578-599, 2003.
- FRANKE, Nikolaus; SCHREIRER, Martin; KAISER, Ulrike. The 'I designed it myself' effect in mass customization. **Management Science**, v.56, n.1, p.125-140, jan. 2010.
- FISHER, Marshall.; RAMDAS, Kamalini; ULRICH, Karl. Component sharing in the management of product variety: a study of automotive braking systems. **Management Science**, v.45, n.3, p.297-315, mar. 1999.
- HART, Christopher W.L. Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. **International Journal of Service Industry Management**, v.06, n.2, p.36-45, 1995.
- GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Editora Atlas S.A., 4ed. São Paulo, 2007.
- GILMORE, James H.; PINE II, Joseph B. The four faces of mass customization. **Harvard Business Review**, p.90-102, jan./feb. 1997.
- GILMORE, James. H.; PINE II, Joseph. B. Markets of one: creating customer-unique value through mass customization. **Harvard Business School Press**, Boston, MA, 2000.
- GRAY, Casper; CHARTER, Martin. **Remanufacturing and product design – designing for the 7th generation**. The Centre for Sustainable Design, 2006.
- ISHII, Kosuke; EUBANKS, Charles F.; DI MARCO, Patrick Design for product retirement and material life cycle. **Material & Design**, v.15, n.4, p.225-233, 1994.
- JIAO, J.; MA, Q.; TSENG, M.M. Toward high-added products and services: mass customization and beyond. **Technovation**, v.23, p.809–821, 2003.
- JIAO, Jianxin R.; TSENG, Mitchell. Customizability analysis in design for mass customization. **Computer-Aided Design**, v.36, n.8, p.745-757, jul. 2004.
- JIAO, J Jianxin R.; SIMPSON, Timothy W.; SIDDIQUE, Zahed. Product family design and platform-based product development: a state-of-art review. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.18, n.1, p.5-29, 2007.
- JOSE, Alberto; TOLLENARE, Michel. Modular and plataform methods for product family design: literature analysis. **Journal of Intellingent Manufacturing**, v.16, n.3, p.371-390, 2005.
- JOHANSSON, Glenn. Success factor for integration of ecodesign in product development: a review of state of the art. **Enviromental Management and Health**, v.13, n.1, p.98-107, 2002.
- KOTHA, Suresh. Mass customization: implementing the emerging paradigm for competitive advantage. **Strategic Management Journal**, v.16, n.1, p.21-42, 1995
- KRISHNAN, V.; GUPTA, Saurabh. Appropriateness and impact of platform-based product development. **Management Science**, v.47, n.1, p. 52–68, jan. 2001.

- KUMAR, Sammer; PHROMMATHED, Promma. **New product development**: an empirical study of the effects of innovation strategy, organizational learning, and market conditions. Springer, New York, 2005.
- LABUSCHAGNE, Carin; BRENT, Alan C. Sustainable project life cycle management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. **International Journal of Project Management**, v.23, n.2, p.159-168, 2005.
- MARION, Tucker J.; FREYER, Matthew; SIMPSON, Timothy W.; WYSK, Richard A. Design for mass customization in the early stages of product development. **Proceedings of ASME**, Philadelphia, Pennsylvania, September, 2006.
- MEYER, Marc H.; LEHNERD, Alvin P. The power of product platforms: building value and cost leadership. New York: Free Press, 1997.
- MONT, Oksana; TUKKER, Arnold. Product-Service Systems: reviewing achievements and refining the research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v.14, n.17, p.1451-1454, 2006.
- MIGUEL, Paulo A.C. Implementação da gestão de portfólio de novos produtos: um estudo de caso. **Produção**, v.18, n.2, p.388-404, 2008.
- PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Engineering design**: a systematic approach. London: Springer, 1996.
- PILLER, Frank T. Mass customization: reflections on the state of the concept. **The International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v.16, n.4, p.313-334, 2004.
- PILLER, Frank T.; MOESLEIN, Kathrin; STOKO, Christof M. Does mass customization pay? An economic approach to evaluate customer integration. **Production Planning & Control**, v.15, n.4, p.435-444, jun., 2004.
- PINE II, Joseph B. **Mass customization**: the new frontier in business competition. Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1993.
- ROBERTSON, David; ULRICH, Karl. Planning for product platform. **Sloan Management Review**, v.39, n.4, p.19-31, summer, 1998.
- ROYER, Rogério. Implantação da customização em massa na estratégia da manufatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, Foz do Iguaçu, 2007. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.
- ROZENFELD, Henrique.; FORCELLINI, Fernando A.; AMARAL, Daniel.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, Sérgio .L.; ALLIPRANDINI, Dario H.; SCALICE, Régis K. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SALVADOR, Fabrizio.; FORZA, Cipriano; RUNGTUSANATHAM, Manus. Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions. **Journal of Operations Management**, v.20, n.5, p.549-575, sep. 2002.
- SELIGER, Günther; KERNBAUM, Sebastian; ZETTI, Marco. Remanufacturing approaches contributing to sustainable engineering. **Gestão e Produção**, v.13, n.3, p.367-384, set./dez. 2006.
- SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY, Phill.; SIMCHI-LEVI, Edith. **Cadeia de suprimentos**: projeto e gestão, conceitos, estratégias e estudo de caso. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- SIMPSON, Timothy W. Product platform design and customization: status and promise. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v.18, p.3-20, 2004.
- SIMPSON, Timothy .W.; HOLTITA-OTTO, Katja; WECK, Olivier; KOKKOLARAS, Michael; SHOTTER, Steven B. Platform-based design and development: current trends and needs in industry. **Proceedings of IDETC/CIE – ASME2006 International Design Engineering Technical Conferences & Computer and Information in Engineering Conference**, september 10-13, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2006.
- SUDARSAN, Rachuri; FENVES, Steven J.; WANG, S. A product information modeling framework for product lifecycle management. **Computer-Aided Design**, v.37, n.13, p. 1399-1411, 2005.
- THEVENOT, Henry .J.; SIMPSON, Timothy W. Commonality indices for product family design: a detailed comparison. **Journal of Engineering Design**, v.17, n.2, p.99-119, apr. 2006.
- TOFFEL, Michael W. The Growing Strategic Importance of End-of-Life Product Management. **California Management Review**, v.45, n.3, spring, 2003.
- TSENG, M.M.; JIAO, J. Design for mass customization. **Annals of the CIRP**, v.45, jan. 1996.
- TSENG, Mitchell M.; JIAO, Jianxin. Design for mass customization by developing product family architecture. **Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences**, September, Atlanta, Georgia, 1998a.
- TSENG, Mitchell M.; JIAO, Jianxin. Concurrent design for mass customization. **Business Process Management Journal**, v.4, n.1, 1998b.
- TSENG, Mitchell M.; JIAO, Jianxin. Mass Customization. In: SALVENDY, G. (Org.). **Handbook of Industrial Engineering**. 3ed. USA: John Wiley & Sons Inc., 2001.

UMEDA, Yasushi; FUKUSHIGE, Sshinichi; TOKOIKE, Keita; KONDOH, Shinsuke Product modularity for life cycle design, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v.57, n.1, p.13-16, 2008.

VILA Carlos, ROMERO Fernando, GALMES Vanesa., AGOST Ma J., Collaborative solution for cooperation, coordination and knowledge management in the ceramic tile design chain. In. **Cooperative Design, Visualization, and Engineering**, Springer Berlin / Heidelberg, 2005.

WIMMER, Wolfgang; ZUST, Rainer; LEE, Kun-Mo. **Ecodesign Implementation**: a systematic guidance of integration environmental consideration into product development. Series: Alliance for Global Sustainability Bookseries , v.6, 2005.