

Revisão de práticas de projeto que permitam identificar as partes envolvidas com o ciclo de vida de um sistema-produto e as suas interfaces críticas para sustentabilidade

Daniel Augusto Hoppe ^a (danihoppe@gmail.com); Istefani Carísio de Paula ^b (istefani@producao.ufrgs.br)

^a LOPP/GEDEPRO, UFRGS, RS – BRASIL

^b LOPP/GEDEPRO, UFRGS, RS – BRASIL

Resumo

Métodos de projeto de produto da literatura de engenharia e design estão sendo adaptados para atingir a sustentabilidade. Na fase de definição do produto as equipes de projeto têm lidado com um conjunto cada vez maior de informações e necessidades das partes envolvidas com o ciclo de vida do produto, a partir das quais serão gerados os conceitos do produto ou do seu sistema. Entretanto, quais procedimentos estão disponíveis para auxiliar projetistas com a tarefa de identificar as necessidades e priorizar o que é crítico para o sistema? O objetivo deste artigo é analisar práticas e/ou procedimentos de projeto que permitam identificar as partes envolvidas com o ciclo de vida de um sistema-produto, levantar e tratar as informações provenientes dessas partes, de tal forma a reduzir a complexidade da informação e identificar o que é crítico para atingir os objetivos da sustentabilidade. O método de pesquisa utilizado foi levantamento bibliográfico realizado de forma sistemática. Os resultados indicaram que não existe um único procedimento que atende às necessidades de levantamento, tratamento das informações, redução de complexidade e análise de interfaces críticas. Entretanto, foram identificadas práticas que combinadas podem contribuir para atingir os objetivos estabelecidos.

Palavras-chave: ciclo de vida; método de projeto; parte envolvida; sistema-produto; sustentabilidade.

1 Introdução

A fase de definição do produto é o ponto de partida do projetista. Trata-se da primeira fase do ciclo de desenvolvimento de produto que inclui identificar ações apropriadas para que a equipe desenvolva e lance de forma bem sucedida produtos no mercado. Essa fase é alimentada por informações como necessidades dos clientes, informações sobre os concorrentes, assim como dados a respeito dos riscos tecnológicos, oportunidades oferecidas pelo mercado e padrões e regras ambientais, para posteriormente ser formado o conceito do produto. Normalmente se utilizam técnicas de pesquisa de mercado, e culmina na revisão do negócio, no qual o conceito do produto, o investimento necessário e o retorno sobre o investimento são escrutinizados para determinar se prosseguir para a fase de desenvolvimento é a melhor alternativa para a organização (CLARK, FUJIMOTO, 1991; WILSON, 1993; ROZENFELD et al., 2006).

Para Ferreira e Toledo (2001) as técnicas utilizadas para levantar informações sobre a concorrência e a voz do consumidor são as mais adequadas para aplicar durante a fase de definição do produto. Entretanto, uma das dificuldades que merece atenção nessa etapa está relacionada com o desafio de gerenciar um grande volume de informações, provenientes da ampliação da cadeia de valor para todo o sistema, incluindo uma vasta quantidade de exigências das partes envolvidas, e da sustentabilidade (HARDI, ZDAN, 1997; MARX, 2009; PETETIN et al., 2010).

A cadeia de valor, conceito criado por Michael Porter nos anos 80, sugeriu a necessidade da gestão de custos de planejamento, produção, marketing, distribuição e suporte a produtos e serviços (PORTER, 1991). Entretanto, com o aumento da competição entre as empresas, as inovações e o frequente desenvolvimento tecnológico, novas e variadas demandas e necessidades de distintas partes envolvidas passaram a existir, ampliando assim o conceito de valor (PETETIN et al., 2010). Atualmente, faz-se

necessário considerar que os produtos são sistemas complexos compostos de distintas partes envolvidas inter-relacionadas incluindo fornecedores, clientes internos, consumidores externos, entre outras partes dos sistemas de produção e consumo, cada qual com seus valores, necessidades e demandas (DAVIS et al., 1999). O próprio conceito de desenvolvimento sustentável da Brundtland Commission (1987) ampliou o conjunto de valores percebido, abrangendo todo o ciclo de vida dos produtos que deve considerar os aspectos ambiental, social e econômico de forma equilibrada no projeto de produtos (HARDI, ZDAN, 1997; MARGOLIN, 1998; GIANNETTI et al., 2003; CAPRA, 2006; UNEP, 2006; KOTA, CHAKRABARTI, 2007; THACKARA, 2008; PETETIN et al., 2010).

Apesar de haver variações, muitos autores convergem para o conceito de que o valor de um produto está relacionado com a percepção dos consumidores e que envolve a noção de troca de benefícios da fase de uso (utilidade) por custos econômicos. O conceito de valor ampliado pertinente ao produto também pode ser percebido a partir da integração dos conceitos de sistema e produto. O termo sistema-produto foi formalizado por Manzini na década de 1990 e por Mauri em 1996, situando o projeto entre os sistemas de produção e consumo, definindo que além dos aspectos materiais, um produto possui aspectos imateriais, tais como comunicação, experiência, serviços agregados, entre outros valores intangíveis (KRUCKEN, 2009). O conceito também incorpora a premissa básica da teoria geral dos sistemas (TGS) que os sistemas são constituídos de partes interdependentes e não podem ser compreendidos plenamente apenas pela análise exclusiva de cada uma de suas partes (MENDONÇA et al., 1972; RIBEIRO, 2004; CAPRA, 2006; HERRMANN, 2009).

Segundo Pessoa Jr. (2001) e Capra (2006), os sistemas apresentam uma característica de natureza orgânica, pela qual uma ação que produza mudança em uma das unidades do sistema, entendido neste trabalho como o próprio ciclo de vida do produto, deverá produzir mudanças em todas as outras unidades. O efeito total dessas alterações em cadeia proporcionará um ajustamento de todo o sistema, o que relaciona a TGS e a sustentabilidade. Essa característica, denominada de globalismo ou totalismo, permite afirmar que as únicas soluções viáveis para o desenvolvimento sustentável são aquelas definidas a partir de uma visão sistêmica consolidada (RIBEIRO, 2004). O entendimento das interfaces entre as partes envolvidas no ciclo de vida é, portanto essencial, pois do contrário, projetar um produto enfatizando apenas as exigências ligadas a uma fase, como por exemplo, a fase de uso/consumo, ou apenas atendendo uma parte envolvida no sistema, como por exemplo, o consumidor final, pode gerar problemas sócio-ambientais e de concepção (KOTA, CHAKRABARTI, 2007; HANSEN, ANDREANSEN, 2010).

Os métodos de projeto com ênfase na sustentabilidade ainda não se consolidaram e os métodos tradicionais estão sendo adaptados com o intuito de considerar a análise do ciclo de vida dos produtos, gerenciar as demandas de diferentes partes envolvidas e criar soluções de caráter sistêmico que tenham menores impactos no globo (MARGOLIN, 1998; McDONOUGH, BRAUNGART, 2002; CROSS, 2008; THACKARA, 2008; VEZZOLLI, MANZINI, 2008). Baumann et al. (2002) e Kara et al. (2005) ressaltam que pesquisas que tratam de práticas e procedimentos para o projeto de produtos sustentáveis são abundantes, mas aquelas destinadas à aplicação nas fases iniciais, de definição do produto, não são tão frequentes.

Essa pesquisa contempla o tema projeto de produto sustentável e na sua delimitação trata de procedimentos aplicáveis à fase de definição de um sistema-produto sustentável. O objetivo deste artigo é analisar práticas de projeto que permitam identificar as partes envolvidas com o ciclo de vida de um sistema-produto, levantar e tratar as informações provenientes dessas partes, de tal forma a reduzir a complexidade da informação e identificar o que é crítico para atingir a sustentabilidade. O método de pesquisa utilizado, que será detalhado posteriormente, teve abordagem qualitativa e foi realizado através de um levantamento sistemático da literatura. O trabalho se delimitou em abordar referências recentes, de definição do produto, que visam à sustentabilidade, e/ou consideraram todo o sistema relacionado ao produto. O artigo está dividido em cinco partes: (I) apresentação do artigo e objetivos; (II) apresentação do método desta pesquisa; (III) revisão bibliográfica das práticas de projeto de produtos; (IV) discussão sobre as práticas; e (V) considerações finais.

2 Método

Pesquisas científicas podem ser classificadas pela sua natureza, sua forma de abordagem, pelo caráter dos objetivos e dos procedimentos técnicos adotados (GIL, 1991; SILVA, MENEZES, 2001). O trabalho se baseou em pesquisa bibliográfica sobre literatura que aborda a fase de definição do produto, que visam à sustentabilidade, e/ou consideram todo o sistema relacionado ao produto. Os critérios usados para selecionar as fontes de informação foram: terem sido publicadas nos últimos 10 anos; serem provenientes de bases de dados acadêmicas e livros de projeto de produto com ênfase em sustentabilidade.

Os livros utilizados nessa pesquisa foram adquiridos, ou consultados na biblioteca da Escola de Engenharia da UFRGS. As principais bases digitais utilizadas para busca de artigos científicos foram: Google Acadêmico (scholar.google.com.br), Scielo (scielo.br), Portal do Conhecimento da Engenharia de Produção da UFRGS (producao.ufrgs.br/publicacoes.asp) e Web of Knowledge (isiknowledge.com). Aproximadamente 110 referências foram consultadas e previamente analisadas em relação aos critérios científicos adotados e conteúdos apresentados. Cerca de metade das referências foram julgadas inadequadas para essa pesquisa, portanto descartadas. Foram buscadas referências compreendidas entre o período de 2000 até 2010. As publicações mais antigas consultadas, compreendidas entre o período de 1972 e 1999, foram incorporadas pelo respaldo científico dos autores nas discussões acadêmicas sobre design, métodos, produto, projeto, sistema e/ou sustentabilidade, ou para contextualizações históricas das abordagens.

As palavras-chave, em português e inglês, utilizadas nos mecanismos de busca foram: levantamento de informações de mercado; definição de produto; desenvolvimento de produto; design de produto; design de sistema; engenharia do produto; engenharia de sistema; gestão de requisitos; método; interfaces; partes envolvidas; ciclo de vida de produto; pensamento sistêmico; prática projetual; procedimento de projeto; produto sustentável; projeto de produto; projeto de sistema; projeto sistêmico; propriedade sistêmica; sistema-produto; sistema produto-serviço; sustentabilidade; teoria geral dos sistemas; visão sistêmica.

Na sequência, realizou-se a leitura e análise dos materiais selecionados. Para fins de comparação das práticas de projeto foram definidos os seguintes parâmetros: (I) práticas que enfatizam o levantamento e tratamento de informações em requisitos; (II) práticas que enfatizam a identificação das partes envolvidas, análise das interfaces entre as partes e definição de papéis; (III) práticas que enfatizam a investigação sobre distintas fases do ciclo de vida e a interdependência das partes. Nas etapas finais, a partir das práticas/procedimentos de projeto levantados, foram discutidas as práticas/procedimento de projeto de produto conforme os critérios para comparação. A última etapa contemplou as conclusões da pesquisa, incluindo pesquisas futuras a serem realizadas.

3 Práticas de projeto empregadas na fase de definição do produto

Para realização desta etapa do trabalho foram definidos os seguintes parâmetros de análise dos textos de livros e artigos. Localizar nos textos: (I) práticas que enfatizam o levantamento e tratamento de informações em requisitos; (II) práticas que enfatizam a identificação das partes envolvidas, análise das interfaces entre as partes e definição de papéis; (III) práticas que enfatizam a investigação sobre distintas fases do ciclo de vida e a interdependência das partes.

As palavras-chave: ‘desenvolvimento de produto’; ‘design de produto’; ‘definição de produto’; ‘gestão de requisitos’; ‘levantamento de informações de mercado’; ‘engenharia de sistema’; ‘gestão de requisitos’ trouxeram os autores e práticas mencionadas a seguir. Bonsiepe (1984), Baxter, (1998), Rozenfeld et al. (2006); Back et al., (2008) propõem fases de gerenciamento das atividades de projeto com ênfase sobre a definição do produto e a importância dos requisitos do mercado. Os autores apresentam a técnica de pesquisa de mercado, que pode ser considerada como uma prática para o levantamento das informações durante o projeto. Essa técnica permite gerar maior efetividade no conceito do produto em relação às expectativas dos agentes entrevistados. Após a etapa de pesquisa de mercado, na qual são levantadas e convertidas as necessidades ou características do produto demandadas pelo consumidor em objetivos ou parâmetros técnicos, ocorre uma atividade complexa e

fundamental do projeto de produto. Considerando que muitos requisitos são antagônicos e mutuamente exclusivos, é preciso hierarquizar e selecionar aqueles que serão atendidos, necessidade que já havia sido apontada por Mendonça et al. (1972). Assim, define-se a direção que o projeto irá tomar impactando diretamente no sucesso do produto.

A ferramenta QFD é uma prática projetual que pode ser incorporada para gerenciamento dos requisitos por meio do tratamento de informações (RIBEIRO, et al., 2000; CROSS, 2008). O QFD opera com matrizes que permitem analisar as interdependências e relações existentes entre algumas fases de um sistema-produto. Fundamentalmente quatro principais tipos de requisitos estão inclusos: (I) os do mercado, (II) os de funcionalidade do produto, (III) os de produção e (IV) os normativos e legais (CLARK, WHEELWRIGTH, 1993; BAXTER, 1998).

Em relação ao gerenciamento de requisitos, tradicionalmente no uso da ferramenta QFD não são destacados aspectos de sustentabilidade ou contempladas as partes envolvidas e fases do produto. Por ser flexível, o QFD tem recebido adaptações para suprir diversas necessidades, entre elas a análise por múltiplas partes envolvidas. O *Quality Function Deployment for Environment* (QFDE) é um exemplo de QFD adaptado que incorpora o aspecto ambiental e permite gerenciar os requisitos de forma ambientalmente correta. Algumas das aplicações são identificar emissões de substâncias tóxicas e quantificar a ecoeficiência em relação ao ciclo de vida (ABELE et al., 2005; MARX, 2009).

Marx (2009) propõe um método de gestão de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis baseado no gerenciamento e engenharia de requisitos dos sistemas de informação. A proposta tem o objetivo de preencher a lacuna relacionada com a dificuldade de levantamento e tratamento das informações existente no desenvolvimento de produtos. O método contribui com o alinhamento dos produtos com os objetivos da sustentabilidade (objetivos ambientais, econômicos, sociais), contemplando requisitos de produto, organizacionais e externos, sendo esses subdivididos em outras categorias. Essa proposta recebe destaque pela tentativa de gerenciar os sistemas-produto a partir dos requisitos de todas as partes envolvidas através do mapeamento do cenário e as interdependências de seus elementos.

A partir da análise de seis modelos de gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), Marx (2009) sintetizou nove fases relacionadas com a gestão dos requisitos, sendo: (I) o mapeamento do cenário, (II) a identificação dos *stakeholders*, (III) o levantamento das necessidades dos *stakeholders*, (IV) a conversão das necessidades em requisitos dos *stakeholders*, (V) a análise de conflitos, negociação e priorização dos requisitos, (VI) a obtenção dos requisitos do sistema-produto, (VII) a conversão dos requisitos em funções, (VIII) o desdobramento dos requisitos e (IX) o controle dos requisitos. O método incorpora três etapas (definição dos objetivos de sustentabilidade do negócio, definição dos requisitos do negócio e definição dos requisitos iniciais do sistema-produto), cada qual com quatro atividades (elicitação, análise e negociação, documentação e validação, controle de mudanças), nas fases do PDP.

Marx et al. (2010) apresentam um método de identificação dos requisitos preliminares para orientar o desenvolvimento de produtos e definir políticas públicas. O trabalho tem como premissa contribuir para o desenvolvimento sustentável brasileiro, a partir da constatação de que a necessidade e o interesse pelo desenvolvimento de produtos sustentáveis tem se intensificado. Por essa razão, as autoras apresentam um estudo de caso, no qual foi aplicado o método de levantamento de requisitos baseado em entrevistas qualitativas. Após o levantamento das fases do ciclo de vida dos produtos, o objetivo do trabalho foi levantar requisitos do produto através da identificação de fatores que favorecessem e desfavorecessem a aquisição, utilização, e descarte de produtos sustentáveis de limpeza doméstica sob o ponto de vista de consumidores tradicionais e orientados ecologicamente. Peroba (2008) corrobora a proposta de Marx et al. (2010) afirmando que no mercado prevalecerão as empresas que gerenciarem os requisitos das partes envolvidas globalmente, demonstrando respeito ao ambiente e à sociedade, assim como, as que atuarem no mercado de forma transparente e ética.

Em relação às palavras-chave: ‘design de sistema’; ‘método’; ‘interfaces’; ‘partes envolvidas’; ‘ciclo de vida de produto’; ‘pensamento sistêmico’; ‘prática projetual’; ‘produto sustentável’; ‘projeto

sistêmico'; 'sistema-produto'; 'sistema produto-serviço'; 'sustentabilidade'; e 'visão sistêmica' destacaram-se os métodos, práticas e procedimentos descritos a seguir.

Segundo Guimarães (2006) e Peroba (2008) as soluções de projetos efetivamente sustentáveis pressupõem que haja inclusão social no sentido mais amplo da expressão, responsabilidade social corporativa e por vezes da definição de uma Cadeia de Suprimentos Sustentável (*Green Supply Chain*). A concepção deve focar na hierarquização dos requisitos para as necessidades básicas (saúde, alimentação, habitação, transporte, vestuário, trabalho, lazer). Os parâmetros para tomada de decisão deveriam priorizar segurança, conforto e prazer de todos os usuários (primários, intermediários ou finais) para posteriormente planejar o uso do produto, a cadeia produtiva à qual esse pertence, o rastro social deixado e seu destino após o primeiro uso (GUIMARÃES, 2006; PEROBA, 2008).

Hansen e Andreassen (2010) discutem os resultados da atividade projetual através da comparação de duas perspectivas diferentes: ênfase no objeto físico (artefato) e ênfase em todo o sistema do objeto a ser projetado. Os autores afirmam que os projetistas que enfatizam a problematização no artefato obtêm resultados de menor qualidade se comparados com aqueles que enfatizam a totalidade do sistema. Por essa razão é apontada a necessidade de múltiplos focos, considerando as fases do ciclo de vida do produto, as partes envolvidas e os processos do sistema relacionado. Hansen e Andreassen (2010) propõem que o projetista do produto deveria ser alguém imparcial em relação a todo o sistema do produto, de forma a agregar as características do produto que são equilibradas ao conjunto complexo de partes envolvidas.

O trabalho de Hansen e Andreassen (2010) é baseado em uma adaptação do conceito de '*Total Design*, de Pugh'. Entende-se por esse conceito, aumentar o objeto de design do artefato em si para o sistema a qual este implicaria. Os autores indicam a necessidade de levantar os fatores ideais em cada fase do ciclo de vida do produto para cada parte envolvida. São apontadas as fases de manufatura, distribuição, venda, uso, manutenção e disposição. Os valores associados a um produto estão relacionados com o restante do sistema ao qual pertence. A transparência e exposição da rastreabilidade do produto através do mapeamento de uma cadeia de valor fortalecem os valores que passam a produção e o consumo (THACKARA, 2008; KRUCKEN, 2009).

Para Kazazian (2005), as empresas são as partes críticas para o sucesso da sustentabilidade por meio de uma mudança cultural industrial sobre o consumismo, denominado pelo autor de 'Acordo Fértil'. Nesse acordo, o responsável pelo desenvolvimento de produtos é o agente fundamental e capaz de alavancar essa revolução pela oportunidade de promover soluções transdisciplinarmente. Para tanto, as atividades do projetista iniciam pelo entendimento do cenário, gerenciamento das relações dinâmicas do sistema, antecipação sobre os problemas para, posteriormente, ser proativo à ecoeficiência. Para se atingir a sustentabilidade, propõe-se que os projetistas considerem as propriedades dos sistemas nos produtos, sendo: (I) interdependência, considera um produto como um sistema aberto com interfaces com outros sistemas, portanto também é interdependente desses outros; (II) optimum, representa o ponto de equilíbrio entre as demandas e a capacidade de auto-regulação dos sistemas após haver intercâmbios de recursos e/ou energias; (III) tempo, considera que cada sistema possui uma determinada duração, como por exemplo, um produto que possui um tempo para desenvolvimento e comercialização, mas por fim torna-se obsoleto. O fim de um sistema ocorre devido a aspectos como evolução, ao consumo insustentável, as mudanças nos hábitos, entre outros, e a interdependência; e (IV) ciclo, considera que as partes de um sistema no fim do seu tempo reincorporam a outros sistemas, completando um ciclo (KAZAZIAN, 2005).

Não foi identificado em Kazazian (2005) o método detalhado para atingir essas metas, pois a abordagem utilizada é filosófica, e não metodológica. Entretanto, é apontada a necessidade de implantação de ferramentas contratuais, como por exemplo, selos de gerenciamento do ambiente industrial (ISO séries 14000 e 9000), ou quaisquer métodos *Win-Win*, que são aqueles que tanto a empresa quanto o ambiente são ganhadores ao mesmo tempo.

Abele et al. (2005) apresentam o método de projeto de produtos ambientalmente corretos denominado Processo Integrado de Desenvolvimento de Produto (IPPD, do inglês *Integrated Process and Product Development*) baseado na norma VDI 2221 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1987). O IPPD

aborda cada fase do ciclo de vida do produto em cada uma das fases do PDP, destacando o gerenciamento de requisitos. Em contrapartida à visão e consideração do produto como um sistema, a norma base do IPPD considera que a solução global de um problema é a soma das soluções de todos os subproblemas (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1987; ALMEIDA, 2000; CROSS, 2008).

O Ecodesign (apesar de causar discussões, adotou-se nesse artigo o termo como sinônimo de Ecoconcepção e DfE, do inglês *Design for Environment*) tem por princípio tornar a economia mais leve. Trata-se de uma abordagem que consiste em reduzir os impactos de um produto, mantendo a mesma qualidade de uso (funcionalidade, desempenho) e agregando valor à qualidade de vida dos usuários atuais e futuros. Por meio dessa prática, os projetos recebem importâncias equivalentes em quatro dimensões: (I) ambiental, (II) exequibilidade técnica, (III) controle de custos e (IV) demandas do mercado (PAPANEK, 1985; FUAD-LUKE; 2002; KAZAZIAN, 2005, VEZZOLLI, MANZINI, 2008; FIKSEL, 2009).

O Ecodesign preconiza primeiramente prever o futuro do produto, verificando a possibilidade de reciclagem ou reuso do material após seu descarte, reintegrando os recursos em novos ciclos ou diferentes ambientes. Posteriormente, projeta-se reduzindo os impactos ambientais em todo o ciclo de vida, dando preferência pela utilização de recursos de baixo impacto. O produto é considerado um sistema constituído de subsistemas, como por exemplo, peças para troca, suportes publicitários, embalagens e outros. São observadas as fases de extração de recursos, transformação, embalagem e empacotamento, distribuição, disposição, aquisição, uso e o primeiro descarte. Após essa fase, é analisada e projetada a utilização e recuperação da energia e dos materiais durante os ciclos de vida do produto, incluindo os ciclos de utilização posteriores ao primeiro (KOTA, CHAKRABARTI, 2007; SCHENDEL, BIRKHOFFER, 2007; VEZZOLLI, MANZINI, 2008; FIKSEL, 2009).

O método *Cradle to Cradle* (C2C) (McDONOUGH, BRAUNGART, 2002), baseado no *Intelligent Product System* (IPS) proposto em 1986 por Michael Braungart, contempla a valorização do produto no fim do seu ciclo de vida que é incorporado no DfE. A idéia consiste em gerar produtos do berço ao berço contrapondo o antigo conceito do berço ao túmulo, no qual no projeto conceitual é planejado antecipadamente o destino final do produto em um novo ciclo. Quanto mais ciclos um produto apresentar, mais verde será. O método também proporciona certificação aos elementos do sistema (materiais, materiais reutilizados, energia, água, responsabilidade social) (MBDC, 2007).

O método ZERI (*Zero Emissions Research Initiative*) apresenta metas de emissão zero nos sistemas e é baseado em estratégias econômico-ecológicas que agregam valor para todos os envolvidos nos sistemas estabelecidos. As fases são seqüenciadas da seguinte maneira: (I) aproveitamento total dos *inputs* em relação aos *outputs*, (II) busca criativa de valor agregado aos *outputs* em relação aos *inputs*, (III) modelos de conglomerados industriais, (IV) identificação de avanços tecnológicos e (V) planejamento de políticas industriais (PAULI, 1996; PAULI, 1998; GUIMARÃES, 2006).

Uma tentativa de atingir os objetivos do ZERI ocorre por meio da estratégia sistêmica Ecologia Industrial, a qual admite que tanto as empresas, como os recursos e produtos são sistemas interdependentes e integrados que apresentam eficiência de acordo com o seu metabolismo. Nessa abordagem, os sistemas são projetados interligadamente em parques eco-industriais através da gestão de trocas de fluxos. O objetivo é agrupar organizações com processos complementares para estabelecer o balanceamento de *inputs* e *outputs* em um sistema fechado, sem emissão de poluição, onde os resíduos de uns são insumos para outros (GIANNETTI et al., 2003; GUIMARÃES, 2006). Não foi identificado na literatura pesquisada técnicas de levantamento e tratamento das informações a respeito dos requisitos das diversas partes envolvidas que são pertinentes aos conglomerados industriais.

A ferramenta Pegada Ecológica pode oferecer suporte ao projeto de sistema-produto. A proposta foi elaborada pelo *World Wildlife Fund* (WWF) e o resultado de sua aplicação fornece a comparação entre duas dimensões, uma em relação à sociedade e outra em relação ao consumo dos recursos ecológicos. O resultado da aplicação da ferramenta aponta a insuficiência da produtividade biológica para sustentabilidade do globo em poucos anos (KAZAZIAN, 2005). A ferramenta pode ser indicada para quantificar o ponto de equilíbrio entre as demandas de consumo e produção nos sistemas.

Para garantir a sustentabilidade no globo, Kazazian (2005) acredita que as indústrias deveriam consumir 10% do que consomem hoje. Para realizar essa mudança as diretrizes do *Product-Service System* (PSS) propõem a desmaterialização dos produtos através da redução dos *inputs* do sistema-produto. Assim, a economia não está linearmente dependente da exploração de materiais-primas, e sim interligada ao domínio dos conhecimentos científicos e tecnológicos, a transferência de informações e estratégias de organização (VEZZOLLI, MANZINI, 2008).

No PSS, serviços são agregados ao produto através de uma estratégia econômica e esse conjunto de tangíveis e intangíveis passa a ser denominado pacote de valor. De acordo com Norman (2009), pelo fato de nenhum produto ser um elemento isolado, quanto mais apurado for o entendimento da complexidade do sistema, maior será a capacidade de agregar valor ao produto. A relação entre fornecedores e clientes passa a ser mais estreita e destacada pela confiança. A organização também integra às suas atividades um trabalho mais complexo de re-manufatura, manutenção e assistência ao cliente (VEZZOLLI, MANZINI, 2008). A compreensão das fases do ciclo de vida, as partes envolvidas e as interfaces nos sistemas são fundamentais para o sucesso do PSS, entretanto não foi apresentado com clareza na literatura pesquisada como realizar o levantamento e tratamento de informações durante o projeto de um pacote de valor.

A ferramenta de suporte ao PSS e ao Ecodesign, a Intensidade de Material Por unidade de Serviço (MIPS, do inglês *Material Intensity Per unit of Service*, ou também denominada Mochila Ecológica) permite gerar um indicador para realizar o balanço de fluxo de materiais necessários ao longo do ciclo de vida e em seguida ser comparado ao benefício oferecido. O Instituto Wupperthal, através de estudos com a ferramenta MIPS, calculou que para produzir um litro de suco de laranja industrializado no Brasil são utilizados 22 litros de água, dez mililitros de essência e um metro quadrado de terra, além de outros *inputs*. A aplicação da ferramenta em sucos de outros fabricantes permitiria a comparação e a definição do MIPS com menor fluxo de *inputs* (KAZAZIAN, 2005).

Como limitação, a MIPS não define o que é um fluxo adequado para o desenvolvimento sustentável, entretanto a ferramenta Pegada Ecológica pode oferecer esse suporte. O mesmo instituto também apresenta a estratégia de suporte 'Fator 4 e Fator 10', a qual deve ser aplicada em produtos com MIPS inadequados. A estratégia consiste em reduzir os fluxos de materiais dividindo por quatro a quantidade de *inputs* dos sistemas-produto no prazo de 25 anos, e por dez em 50 anos (KAZAZIAN, 2005).

O Design para Sustentabilidade (DfS, do inglês *Design for Sustainability*) considera uma visão estratégica da concepção e do desenvolvimento de soluções sustentáveis nos sistemas de produtos e serviços. Diferente do DfE (que atribui maior importância ao aspecto ambiental), Manzini e Vezzolli (2002) propõem através do DfS a integração do aspecto social da sustentabilidade com as diretrizes que os autores já haviam proposto no DfE e no PSS, projetando soluções sócio-ambientais corretas, focadas no ciclo de vida do produto e na redução do descarte, melhorando o consumo de *inputs* e agregando valor ao produto desmaterializado. O DfS requer um alto grau de participação social e visão sistêmica de todas as partes envolvidas e efetividade na comunicação.

A UNEP (2006), através de um manual também apresenta o DfS (variando a sigla para D4S), se sustenta nos pilares: pessoas, lucro, e planeta que são confrontados com as fases do ciclo de vida dos produtos. As soluções de D4S devem atender preferencialmente: (1) a segurança e o bem-estar, reduzindo a desigualdade entre as pessoas; (2) prevenir o consumo de *inputs* não renováveis e otimizar a utilização desses; (3) criar valor justo para todas as partes envolvidas na cadeia global de valor.

O manual auxilia a colocar o D4S em prática, abordando passos, regras fundamentais, diretrizes de implementação, exemplos e estudos de caso. Além disso, estão incorporadas no D4S para dar apoio aos projetos, conceitos como: redesign; projeto para reuso; matriz de forças e fraquezas, oportunidade e ameaças; *benchmark*; ciclo de vida de vendas; Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); Produto Interno Bruto (PIB); Índice de Crescimento Competitivo (ICC); gráfico radar; variações de *brainstorming*; entre outras técnicas para estimular a criatividade (UNEP, 2006).

Para facilitar a tarefa de gestão da matéria e concepção utilizando o justo necessário, a ferramenta de Análise de Valor pode ser empregada, que procura tanto aumentar os serviços agregados nos produtos quanto reduzir os recursos necessários à obtenção do serviço. A Análise de Valor é um processo para a

avaliação das relações entre as funções desempenhadas pelas características do sistema-produto e os custos associados. Os objetivos são prover ao cliente as funções essenciais do produto, otimizar o custo da previsão dessas funções e identificar as características marginais do produto que podem ser eliminadas, gerando a maximização de resultado na relação benefício e custo (JURAN, 1992; PEREIRA FILHO, 1994). A aplicação dessa ferramenta e de técnicas multicriteriais de avaliação de projetos pode apontar a necessidade de produtos modulares, por exemplo, que permitem o aumento de combinações de oferta e podem ser incorporados com a estratégia *Do It Yourself* (DIY ou Monte você mesmo). Através da DIY a indústria economiza em custos de produção, distribuição, embalagem e volume de estoque (BAXTER, 1998; KAZAZIAN, 2005).

Donaldson et al. (2006), da Universidade de Stanford/EUA, propuseram o método *Customer Value Chain Analysis* (CVCA) como um procedimento a ser aplicado durante a fase de definição do produto. O procedimento, composto de sete etapas, permite que a equipe de projeto possa de forma compreensível identificar partes envolvidas no sistema-produto, suas interfaces e papéis em relação ao ciclo de vida do produto. Pela aplicação da CVCA a equipe de projeto reconhece os requisitos do produto e suas prioridades relativas ou críticas, para a elaboração do *briefing* de projeto contendo os requisitos de negócio que serão desdobrados durante o desenvolvimento do produto.

Independente do método *Win-Win*, é imprescindível que seja visualizada a totalidade do ciclo de vida do produto, notadamente no seu fim de vida, através da etapa de valorização. O destaque é que, assim como na natureza, as empresas devem rejeitar o conceito de resíduo. Para isso, a prática científica exaustiva de Análise de Ciclo de Vida (ACV), que é pertinente as práticas anteriormente descritas IPPD, DfE, C2C, ZERI, Ecologia Industrial, PSS, MIPS, contribui para a visão do sistema através da geração de um inventário dos fluxos de entrada (matéria e energia), ciclos processuais (extração, fabricação, distribuição e utilização), e fluxos de saída (resíduos, emissões líquidas e gasosas) e avalia os impactos potenciais de um produto ou serviço sobre o meio ambiente, durante todo o ciclo de vida (McDONOUGH, BRAUNGART, 2002; KAZAZIAN, 2005).

4 Discussão sobre as práticas

Por meio da revisão de literatura, foram identificados 26 práticas, procedimentos e conjuntos de diretrizes de projeto de produto, que foram classificados conforme os critérios de comparação (I); (II) e (III) e sintetizados em um quadro (o quadro está publicado e pode ser conferido no seguinte link: https://docs.google.com/leaf?id=0BwQjLWR0rhusMzgwYTZhMGEtM2FkYS00ZWFKLThhNTktNWQ0NTc3ODlmZjMy&hl=en_US&authkey=CJSb0LMM).

No que diz respeito à etapa de **definição do produto, ênfase no levantamento e tratamento de informações em requisitos**, os primeiros autores abordados nessa pesquisa, como Bonsiepe (1984), Clark e Wheelwright (1993), Baxter (1998) e Back et al. (2008), destacam em suas obras um conjunto de técnicas e recomendações para levantamento e gerenciamento de informações, enfatizando o atendimento dos requisitos dos consumidores. A lacuna percebida nessas referências, sob os conceitos de sistema e sustentabilidade, relaciona-se com a hierarquização dos diversos requisitos identificados.

A ferramenta QFD pode tratar as informações geradas pela ACV e recebe grande importância nessa etapa para desdobrar e priorizar os requisitos de um sistema. As características positivas que um novo ou melhorado sistema-produto (ou serviço) deveria possuir são extraídas tradicionalmente de demandas de determinado público através de pesquisa quali-quantitativa. A visão do consumidor pode ser considerada como fundamental, entretanto possivelmente esse agente teria apenas capacidade de contemplar as demandas da fase de uso. No projeto de sistema-produto sustentável, a ferramenta deve ser utilizada com diferentes partes envolvidas em cada uma das oito fases identificadas do ciclo de vida de um sistema-produto, a fim de gerar soluções globais.

Marx (2009), através de seu método, além de contemplar requisitos estratégicos e tático-operacionais, destaca os aspectos de sustentabilidade do negócio. Como ponto negativo não foi identificado o aprofundamento sobre como priorizar os requisitos. O objetivo da proposta de Marx (2009) é interessante ao extrair aspectos da gestão de requisitos do desenvolvimento de softwares e incorporá-los dentro do PDP. Dentre as fases levantadas na pesquisa da autora, as seis primeiras são essenciais e

poderiam ser incorporadas em novos métodos de projeto de produto. São elas: (I) mapeamento do cenário, (II) identificação dos stakeholders, (III) levantamento das necessidades dos stakeholders, (IV) conversão das necessidades em requisitos dos stakeholders, (V) análise de conflitos, negociação e priorização dos requisitos, (VI) obtenção dos requisitos do sistema-produto.

O método de Marx et al. (2010) para identificação dos requisitos preliminares para orientar o desenvolvimento de produtos e definir políticas públicas possui grande valor ao projeto de produtos, pois viabiliza a extração de informações importantes (fatores/requisitos/barreiras) através de pesquisas de mercado (entrevistas com consumidores). O método facilmente poderia ser adaptado para as demais fases e demais partes envolvidas do sistema-produto, gerando assim requisitos sob perspectivas variadas, definindo-se assim soluções equilibradas para sistemas complexos. Tal qual ao método anterior, o resultado final do método de Marx et al. (2010) é parte do resultado final do PDP e poderia ser considerada uma ferramenta sob uma ótica mais abrangente do PDP.

Ainda com respeito ao critério de categorização das práticas com ênfase no levantamento e tratamento de informações, além da gestão de requisitos, as ferramentas ACV e QFD também recebem destaque. De uma forma geral, na literatura pesquisada, os projetos que estão ligados com maior importância ao caráter ecológico da sustentabilidade, do que econômico ou social, recebem suporte através da aplicação da ferramenta ACV. Como verificado, a ACV é uma prática que está presente em diversos procedimentos metodológicos, proporcionando o aumento da capacidade sistêmica em um projeto de produto por levantar informações de todo o ciclo de vida do sistema-produto. A aplicação dessa prática é pertinente ao projeto de sistema-produto, entretanto as informações levantadas por essa posteriormente devem ser tratadas através de outras práticas/procedimentos.

Em relação à **ênfase na identificação das partes envolvidas, análise das interfaces entre as partes e definição de papéis**, a revisão bibliográfica permitiu identificar oito fases a partir de Bonsiepe (1984), Baxter (1998), Fuad-luke (2002), McDonough e Braungart (2002), Kazazian (2005), Kota e Chakrabarti (2007), Schendel e Birkhofer (2007), Vezzoli e Manzini (2008) e Marx et al. (2010). A compilação indica as fases, sendo: (1) extração de recursos, (2) manufatura, (3) embalagem, (4) distribuição, (5) disposição para comercialização, (6) aquisição, (7) utilização e (8) descarte, valorização ou disposição final.

O método CVCA é interessante por apresentar boa estruturação metodológica para definir o sistema-produto a partir da identificação das partes envolvidas no sistema-produto, suas interfaces e papéis em relação ao ciclo de vida do produto, definindo o que é crítico para os objetivos do negócio. Na aplicação apresentada no trabalho de Donaldson et al. (2006), os objetivos do negócio não contemplam aspectos de sustentabilidade. Além disso, os requisitos e relações tratadas são provenientes do conhecimento empírico do interessado na aplicação do método. A combinação do método CVCA com o método de Marx et al. (2010) poderia ser uma alternativa interessante para levantar informações através de entrevistas qualitativas e contemplar aspectos e fatores relacionados com a sustentabilidade.

Em relação às **práticas/procedimentos que consideram todo o sistema relacionado ao produto com ênfase da investigação sobre distintas fases do ciclo de vida e a interdependência das partes**, grande parte das referências permitiram a identificação de contribuições parciais, visto que não existiam procedimentos metodológicos efetivos para estabelecer as interdependências de um sistema.

Algumas contribuições são extraídas de Kazazian (2005). Em sua obra, o objetivo foi apresentar estratégias de projeto pelas quais tanto as empresas quanto o meio-ambiente são ganhadores ao mesmo tempo. O destaque da obra é a apresentação das propriedades dos sistemas (interdependência, optimum, tempo e ciclos) que devem ser incorporadas nas abordagens de projetos de produto. O ponto negativo do livro em relação ao tema dessa pesquisa é que a apresentação das práticas de Kazazian (2005) possui abordagem filosófica, sendo limitada sob o ponto de vista metodológico.

Visto que os produtos devem ser considerados sistemas, a grande contribuição de Hansen e Andreasen (2010) é aumentar a ênfase da atividade de projeto do objeto físico (artefato) para o sistema como um todo. A proposta de enfatizar a totalidade do sistema-produto através da interação entre todas partes envolvidas, para que oportunidades de inovações e melhorias sejam identificadas, poderia ser

viabilizada a partir da adaptação do método de Marx et al. (2010) para todas as fases e partes relacionadas ao sistema de um produto. Dessa forma, seriam identificados os fatores que influenciam para que um sistema complexo seja equilibrado sob múltiplos focos das partes envolvidas.

O ponto positivo de maior destaque do método C2C é a importância atribuída para a fase de valorização do produto no fim do seu ciclo de vida durante a definição do produto. No método também é dada grande importância para a ferramenta ACV, o que facilita o entendimento dos ciclos e interfaces de um sistema. Assim como o DfE, o C2C pode incorporar menor peso para as questões sociais e econômicas na tomada de decisões, e não questionar os padrões de consumismo e produção.

Na aplicação apresentada no trabalho de Donaldson et al. (2006), os autores conseguem estabelecer as interdependência entre as partes envolvidas e identificar partes críticas, tendo como norteador os objetivos do negócio, embora não exista ênfase sobre as dimensões da sustentabilidade.

O método de projeto de produtos proposto por Abele et al. (2005) possui boa estruturação quanto a fases, etapas e gestão do PDP. Outro ponto positivo, extremamente ligado a capacidade sistêmica de um projeto, é a abordagem do ciclo de vida do produto e gerenciamento de requisitos. Como ponto fraco, que contraria a teoria sistêmica, o método propõe a forma cartesiana de resolução de problemas, portanto desconsiderando os efeitos de inter-relação pertinente a interdependência dos sistemas.

Por fim, algumas práticas como Pegada Ecológica, MIPS, ‘Fator 4 e Fator 10’ e Análise de Valor, foram encontradas na literatura pesquisada e servem para dar suporte para projetos de produtos sustentáveis. Os resultados de suas aplicações geram importantes indicadores em relação aos sistemas, seja pelo uso de recursos finitos durante a produção de bens, ou pelo consumo de produtos. As ferramentas dependem de planejamento durante o projeto para o aproveitamento de seus resultados.

5 Considerações finais

A revisão bibliográfica dessa pesquisa identificou práticas usadas nas fases iniciais de desenvolvimento de produto, algumas com ênfase sobre a sustentabilidade. Parte dos autores referenciados aborda as práticas sob um ponto de vista filosófico, enquanto outros aprofundam as práticas de forma sistemática com fins operacionais. Portanto, não foi possível discutir igualmente todas as práticas identificadas na literatura com a mesma profundidade, frente a cada critério de categorização definido. Foram abordadas 26 práticas, procedimentos e conjunto de diretrizes que contemplassem, pelo menos, algum dos três critérios de comparação definidos nesta pesquisa.

A revisão bibliográfica nessa pesquisa considerou mais de 50 referências válidas e indicou a evolução da área de projeto de produto, destacando muitas práticas como criativas soluções para os desafios existentes nas atividades de projeto e sustentabilidade. Em contrapartida, dentre as obras pesquisadas nas bases de dados, não foi identificado nenhum método completo que, isoladamente, fosse capaz de permitir a identificação das partes envolvidas com o ciclo de vida de um sistema-produto, o levantamento e tratamento das informações provenientes dessas partes, de tal forma a reduzir a complexidade da informação e identificar o que é crítico para atingir os objetivos da sustentabilidade. Todavia, verificaram-se práticas que suprem partes dessas necessidades de projeto e que devem ser combinadas no intuito de facilitar os desafios relacionados com o projeto de sistemas-produto sustentáveis. Sendo assim, lacunas metodológicas existem e devem ser supridas com a combinação de referências e/ou o desenvolvimento de métodos alinhados aos objetivos dessa pesquisa.

A partir das referências levantadas, foi possível compilar informações úteis para construção do conhecimento necessário para o desenvolvimento de trabalhos futuros sobre projeto de produto. Dessa maneira, alguns trabalhos podem ser sugeridos na mesma linha de pesquisa, como: (I) desenvolvimento e/ou combinação de práticas/procedimentos para identificação das interfaces críticas entre as partes envolvidas com o ciclo de vida de um sistema-produto sustentável; (II) detalhamento dos processos de gestão de requisitos e conflitos entre diferentes partes envolvidas com base na ênfase de todo o sistema; (III) definição de técnicas para ponderar/hierarquizar requisitos de diversas partes envolvidas, diminuindo a dimensionalidade/complexidade da informação; (IV) criação de indicadores de sustentabilidade para o sistema-produto. Por meio de contribuições como essas sugeridas, o tema

projeto de sistema-produto ganha fundamentação, tornando possível a geração de soluções e permitindo a consolidação dos pilares da sustentabilidade.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq, pelo apoio que foi disponibilizado, viabilizando essa pesquisa.

Referências

- ABELE, E.; ANDERL, R.; BIRKHOFFER, H. G. *Environmentally-friendly product development: methods and tools*. Londres: Springer, 2005.
- ALMEIDA, Francisco José de. Estudo e escolha de metodologia para o projeto conceitual. *Revista de Ciência e Tecnologia*, Piracicaba, v.8, p. 31-42, dezembro, 2000.
- BACK, Nelson et al. *Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem*. Barueri: Manoele, 2008.
- BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. Mapping the green product development field: Engineering, policy and business perspectives. *Journal of Cleaner Production*, Dublin, v. 10, p. 409–425, 2002.
- BAXTER, Mike. *Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos*. 2. ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BONSIEPE, Guy. *Metodologia experimental: desenho industrial*. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1984.
- BRUNDTLAND COMMISSION. *Brundtland report: our common future*. World commission on environment and development. ONU, 1987. Disponível em: <www.un-documents.net/ocf-02.htm#I>. Acesso em: 29 set 2009.
- CAPRA, Fritjof. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix, 2006.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*. Boston-Mass: Harvard Business School Press, 1991.
- CLARK, K. B.; WHEELWRIGTH, S. C. *Managing new product and process development: text and cases*. New York: The Free Press, 1993.
- CROSS, Nigel. *Engineering design methods: strategies for product design*. 4th ed. England: John Wiley & Sons, 2008.
- DAVIS, M.; CHASE, R.B.; AQUILANO, N.J. *Fundamentos da administração da produção*. 3. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1999.
- DONALDSON, Krista M.; ISHII, Kosuke; SHEPPARD, Sheri D. *Customer value chain analysis: Research in Engineering Design*, London, v. 16, p. 174–183, 2006.
- FERREIRA, H. S. R.; TOLEDO, J. C. Metodologias e ferramentas de suporte à gestão do processo de desenvolvimento de produto (PDP) na indústria de autopeças. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2001, Salvador. *Anais do XXI ENEGEP*. Salvador: ABEPRO, 2001.
- FIKSEL, Joseph. *Design for environment: a guide to sustainable product development*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2009.
- FUAD-LUKE, Alastair. *Manual de diseño ecológico*. Palma de Mallorca: Cartago S.L., 2002.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; BONILLA, S. H. Implementação de eco-tecnologias rumo à ecologia industrial. *RAE-eletrônica*, São Paulo, v. 2, n. 1, [s.p.], janeiro/junho, 2003. Disponível em: <www.rae.com.br>. Acesso em: 18 set 2009.
- GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1991.
- GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo. Pela sustentabilidade de um design brasileiro. *Revista D.: design, educação, sociedade e sustentabilidade*. N. 1. Porto Alegre: Editora UniRitter, 2006.
- HANSEN, C. T.; ANDREASEN, M. M. On the content and nature of design objects in designing. In: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE, 11., 2010, Cavtat-Dubrovnik. *Proceedings of XXI IDC*. Cavtat-Dubrovnik: Design Society, 2010. p. 761-770.

- HARDI, P.; ZDAN, T. *Assessing sustainable development: principles in practice*. Winnipeg: IISD, 1997.
- HERRMANN, Thomas. Systems design with the socio-technical walkthrough. In: WHITWORTH, B.; DE MOORE, A. *Handbook of research on socio-technical design and social networking systems*. Hershey: Idea Group Publishing, 2009. p. 336-351. Disponível em: <<https://web-imtm.iaw.ruhr-uni-bochum.de/sociotech-lit/Herr09-SDw.pdf>> Acesso em: 06 out 2009.
- JURAN, J. M. *Juran on quality by design: the new steps for planning quality into goods and services*. New York: Free Press, 1992.
- KARA, S.; HONKE, I.; KAEBERNICK, H. An integrated framework for implementing sustainable product development. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING, 4., 2005, Tokyo, Japan. *Proceedings of the Fourth ISECDIM*. Tokyo: editor, 2005, p. 684-691.
- KAZAZIAN, Thierry. *Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.
- KOTA, Srinivas; CHAKRABARTI, Amaresh. Use of DfE methodologies and tools – major barriers and challenges. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 16., 2007, Paris. *Proceedings of XVI ICED*. Paris: Indian Institute of Science, 2007. (cd-rom)
- KRUCKEN, L. *Design e território: valorização de identidades e produtos locais*. São Paulo: Studio Nobel, 2009.
- MANZINI, Ezio; VEZZOLLI, Carlo. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 367 p.
- MARGOLIN, Victor. *O design e a situação mundial*. Rio de Janeiro: UERJ/ESDI, 1998. Arcos – design, cultura, material e visualidade, v. 1.
- MARX, Ângela Maria. *Proposta de método de engenharia de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis*. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- MARX, Ângela Maria; PAULA, Istefani Carísio de; SUM; Fabiane. Sustainable Consumption in Brazil: identification of preliminary requirements to guide product development and the definition of public policies. *Natural Resources Forum*, United Nations, v. 34, n. 1 p. 51-62, 2010.
- MBDC. McDONOUGH BRAUNGART DESIGN CHEMISTRY. *Cradle to cradle certification program*. Charlottesville: LCC, 2007. Disponível em: <www.mbdc.com> Acesso em: 19 out 2009.
- McDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. *Remaking the way we make things: cradle to cradle*. New York: North Point Press, 2002.
- MENDONÇA, F. et al. *Engenharia de sistemas: planejamento e controle de projetos*. Petrópolis: Vozes, 1972.
- NORMAN, Donald A. Systems thinking: a product is more than the product. *Interactions*, New York, v. 16, n. 5, p. 52-54, sept-oct, 2009.
- PAPANÉK, Victor. *Design for the real world: human ecology and social change*. 2. ed. Chicago: Academy Chicago Publishers, 1985.
- PAULI, Gunter. *Emissão zero: a busca de novos paradigmas: o que os negócios podem oferecer à sociedade*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1996.
- PAULI, Günter. *Upsizing: Como gerar mais renda, criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição*. Porto Alegre: L&PM, 1998.
- PEREIRA FILHO, R. R. *Análise do valor: processo de melhoria contínua*. São Paulo: Nobel, 1994.
- PEROBA, Ana Rita Valverde. *Design social: um caminho para o designer de moda?* 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.
- PESSOA JR., Osvaldo. *Auto-organização e complexidade: uma introdução histórica e crítica*. 2001. 52 p. Pesquisa para Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001. Disponível em: <www.filch.usp.br/df/opessoa/AO&C-tex.pdf>. Acesso em: 15 abr 2010.

- PETETIN, F.; BERTOLUCI, G.; BOCQUET, C. A value approach in innovative product development: are conventional methods and tools sufficient? In: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE, 11., 2010, Cavtat-Dubrovnik. *Proceedings of XXI IDC*. Cavtat-Dubrovnik: Design Society, 2010. p. 403-412.
- PORTER, M.E. *Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência*. Rio de Janeiro: Campus, 1991.
- RIBEIRO, J. L.; ECHEVESTE, M. E.; DANILEVICZ, A. M. *A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços*. Porto Alegre: PPGEP/UFRGS, 2000. Série Monográfica.
- RIBEIRO, Adagenor Lobato. *Sistemas, indicadores e desenvolvimento sustentável*. Belém: UFPA, 2004. 25 p. Disponível em: <www2.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sti/_publicacoes/indBrasOpoDesafios/saber/adagenor.pdf> Acesso em: 15 out 2009.
- ROZENFELD, H. et al. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo*. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SCHENDEL, C.; BIRKHOFER, H. Implementation of design for environment principles and methods in a company – practical recommendations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 16., 2007, Paris. *Proceedings of XVI ICED*. Paris: Indian Institute of Science, 2007. (cd-rom)
- SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.
- THACKARA, J.. *Plabo B: o design e as alternativas viáveis em um mundo complexo*. São Paulo: Saraiva, 2008.
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Design for sustainability a practical approach for developing economies*. Paris: UNEP, 2006.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. Professional Engineers' Body. *VDI Guideline 2221, systematic approach to the design of technical systems and products*. Dusseldorf: VDI Verlag, 1987.
- VEZZOLLI, Carlo; MANZINI, Ezio. *Design for environmental sustainability*. London: Springer, 2008.
- WILSON, E. Maximizing designers' impact on market success through product definition. *Design Manage Journal*, California, v. 4, n.4 p. 62–68, fall 1993.