

# MODELOS DE ESCALA REDUZIDA UTILIZADOS NA ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE PRODUTOS

SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF PRODUCT DESIGN USING REDUCED SCALE MODELS

## *Paulo Cesar Machado Ferroli*

Professor Doutor de Engenharia do Centro de Comunicação e Expressão do Departamento de Expressão Gráfica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis (SC), Brasil.

## *Lisiane Ilha Librelotto*

Professora Doutora de Engenharia do Centro Tecnológico (CTC) do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (Pós-ARQ) da UFSC – Florianópolis (SC), Brasil.

## *Letícia Mattana*

Engenheira Civil e mestranda do Pós-ARQ da UFSC – Florianópolis (SC), Brasil.

### **Endereço para correspondência:**

Paulo Cesar Machado Ferroli –  
Universidade Federal de Santa  
Catarina – Campus Reitor João  
David Ferreira Lima, s/n – Trindade –  
88040-900 – Florianópolis (SC),  
Brasil – E-mail: ferroli@cce.ufsc.br

## *RESUMO*

O conceito de design é, por vezes, reescrito pelo conceito moderno da sustentabilidade. O desenvolvimento ecologicamente correto, que era considerado um diferencial no final do século passado, passa a ser considerado obrigatório. Quando o objetivo do projetista é aliar a inovação com a questão ambiental, surgem dificuldades devido à complexidade do tema. Se por um lado o design busca a satisfação do cliente e a oferta contínua de novos produtos, por outro existe a preocupação em integrar o tecnicamente possível com o ecologicamente necessário, por meio do equilíbrio sustentável dos aspectos sociais, ambientais e econômicos. A contribuição do presente trabalho está na experimentação de modelos a partir da análise da sustentabilidade. A metodologia utilizada compreende a aplicação da ferramenta ESA, em que são consideradas questões ambientais, sociais e econômicas para avaliação dos protótipos. Como resultado, tem-se a demonstração de uma ferramenta de análise da sustentabilidade para aplicação em modelos volumétricos e em produtos.

**Palavras-chave:** modelos; sustentabilidade; design; produtos; inovação.

## *ABSTRACT*

The concept of design is rewritten by the modern concept of sustainability. The eco-friendly development, which was considered a differential at the end of the last century, now is considered obligatory. When the designer's goal is to combine innovation with environmental issues, some difficulties appear due to the complexity of the subject. If, on the one hand, the designer searches for the customer satisfaction and the continuous supply of new products, on the other, there is a concern to integrate the technically possible with the ecologically necessary. Furthermore, the integration must happen through sustainable balance of social, environmental and economic aspects. The contribution of this work is to experiment models through the analysis of sustainability. The methodology includes the application of ESA tool. This tool considers environmental, social and economic issues for the evaluation of the prototypes. As a result, there is a demonstration of an analysis tool of sustainability to use in volumetric models and products.

**Keywords:** prototypes; models; sustainability; design.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos produtos tem como objetivo a integração de pessoas, de ferramentas e de tecnologias com a proposta de obter ganhos econômicos. Quando há a intenção de integrar o desenvolvimento de novos produtos com a sustentabilidade, o projeto desses produtos passa a existir um grau adicional de complexidade (THOMÉ *et al.*, 2016).

Parte integrante da atividade projetual, os modelos volumétricos em escala reduzida são, basicamente, representações tridimensionais de objetos ou produtos em fase de desenvolvimento ou semiacabados, simulando determinadas propriedades dos objetos em estudo e, assim, permitindo a correção de possíveis defeitos e insuficiências do produto durante as etapas de projeto (PENNA, 2002). Essa representação dos objetos projetados por meio de modelos pode ser realizada nos meios físico ou virtual.

Segundo Manzini e Vezzoli (2008), design de produtos deve ser entendido de acordo com seu significado amplo e atual; não apenas aplicando o produto físico (definido por material, forma e função), mas estendendo-se ao “sistema-produto”, ou seja, ao conjunto integrado de produto, serviço e comunicação. Dentro dessa linha de pensamento, os autores destacam que o design é a atividade que deve “ligar” o tecnicamente possível com o ecologicamente necessário, atuando dentro de quatro níveis de interferência: redesign ambiental de produtos já existentes; projeto de novos produtos para substituição dos atuais; projeto de novos produtos e serviços intrinsecamente sustentáveis; e proposta de novos cenários para um novo estilo de vida sustentável.

Nesse contexto, observa-se que, até o momento, a atuação profissional dos envolvidos em atividades projetuais está, quase na totalidade dos casos, restrita aos dois primeiros níveis, sendo que tal atuação, embora útil e necessária, é insuficiente para atingir a sustentabilidade ambiental, garantida apenas pelos outros dois níveis (Design for Sustainability). Há, portanto, uma necessidade de alteração comportamental na atividade de projeto, de modo que se enfatizem mudanças de paradigmas toda vez que seja feito o projeto de um novo produto.

A incorporação da variável sustentabilidade em atividades projetuais é assunto consideravelmente deba-

tido na atualidade, sendo consenso entre os autores da área que (para que tenha efeito permanente e não apenas esporádico ou superficial) a sustentabilidade deve ser alicerçada na união das três dimensões básicas: econômica, social e ambiental. A forma de gerir a sustentabilidade, nessas três dimensões, está expressa no modelo de Sustentabilidade Econômica – Social – Ambiental (ESA) (LIBRELOTTO, 2009). Essa forma de gestão deve englobar também o projeto. Inserir os preceitos da sustentabilidade no projeto é a única solução possível para que ocorra a união entre a filosofia da melhoria contínua com a necessidade cada vez maior da preservação dos recursos naturais, qualidade de vida do homem e ao capitalismo vigente.

Tendo em vista que os conceitos relacionados à sustentabilidade são relativamente novos, a principal problemática de sua incorporação na atividade projetual reside em dois tópicos principais:

- a pouca disponibilidade de informações referentes à aplicação em casos reais das variáveis econômicas, sociais e ambientais da sustentabilidade em projeto de produtos e;
- a verificação de confiabilidade de algumas aplicações, tendo em vista o fato de vários estudos de casos não virem necessariamente acompanhados de validação pertinente.

Como forma de integrar a sustentabilidade na atividade projetual, sobretudo nas etapas de modelagem, o objetivo geral da pesquisa relatada no presente artigo foi demonstrar a importância do uso dos modelos volumétricos para análise da sustentabilidade, considerando as variáveis da sustentabilidade descritas no modelo ESA.

O desenvolvimento de novos produtos sustentáveis é uma área de pesquisa que está em constante crescimento (THOMÉ *et al.*, 2016). O presente artigo estrutura-se da seguinte forma: inicialmente, é feita uma breve revisão bibliográfica abordando os assuntos de design, sustentabilidade e ferramentas projetuais com ênfase ambiental; na sequência, apresenta-se o estudo de caso mediante a pesquisa de campo, com posterior elaboração e aplicação de ferramentas projetuais em modelos e protótipos.

## REVISÃO DA LITERATURA

Apesar da importância do desenvolvimento ecologicamente correto, algumas vezes a questão ambiental é tratada de modo superficial pelos profissionais, sendo vista como um fator para cumprimento de protocolo. Ferroli & Librelotto (2011a, p. 109) apresentam alguns importantes eventos que surgiram com a evolução dos processos fabris e produtivos:

- o emprego da metodologia científica no processo de produção, integrando as áreas de administração e engenharia, por Taylor;
- a inclusão da preocupação ergonômica em projetos de produtos e ambientes fabris, iniciada timidamente através do movimento *werkbund*, na Alemanha, e evoluindo para o conceito de ergonomia de produto a partir de 1950;
- os princípios da qualidade e a qualidade total, através de suas diversas correntes (gestão da qualidade total, gestão da produtividade total, gestão dos custos total, gestão da tecnologia total, gestão dos recursos total) e de suas várias ferramentas (Diagrama de Pareto, Ciclo PDCA, 5S, Diagrama de Causa-Efeito, Histograma, etc.) principalmente pelos trabalhos de W. E. Deming, Kaoru Ishikawa, Philip B. Crosby, Armand Feigenbaum e Joseph W. Juran;
- a globalização da economia e as associações internacionais de comércio forçando (ou tentando forçar) uma padronização internacional; dentre outras.

Com a evolução desses processos fabris e com os novos métodos e ferramentas desenvolvidos, houve alteração na forma como o conhecimento é adquirido, transmitido e aplicado no desenvolvimento de produtos. Nas primeiras etapas do projeto, há maior grau de liberdade para promover a criatividade, enquanto que nas etapas finais as restrições ficaram maiores, favorecendo a integração entre as diversas disciplinas que compõem o projeto, incluindo a relação do projeto com a sustentabilidade (FERROLI & LIBRELOTTO, 2011b).

Back *et al.* (2008) sugerem diferentes denominações para os projetos voltados ao meio ambiente, dentre elas é possível citar, por exemplo, o projeto para reciclagem, o projeto para sustentabilidade, o projeto para o fim de vida do produto e o projeto para descarte. Os autores complementam dizendo que “entre essas denominações, existem pequenas diferenças de enfoques, mas, em geral, o requisito fundamental é minimizar a utilização de recursos naturais, geração de resíduos, riscos à segurança e à saúde e a degradação ecológica”.

Vários incentivos têm sido encontrados na literatura científica a respeito do aumento da preocupação com a sus-

tentabilidade em etapas de projeto. Thomé *et al.* (2016) fizeram uma revisão sobre o tema *design* de produtos e a relação com a sustentabilidade em trabalhos científicos internacionais. Os autores mencionam que os assuntos mais abordados nesses trabalhos, nos últimos 25 anos, foram as avaliações dos ciclos de vida dos produtos, seguidas dos métodos multicritérios para seleção de produtos e materiais sustentáveis. Artigos mais recentes apresentam temas como os modelos de *design*, produtos sustentáveis e a disposição final dos resíduos desses produtos. Outros assuntos abordados em menor número são as relações entre usuários e fornecedores, suas visões da sustentabilidade e a otimização de modelos, por exemplo.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável também apresenta alguns incentivos em prol de uma economia verde sustentável, que repense o crescimento econômico a fim de assegurar a proteção ambiental e a igualdade social nas atividades rentáveis (RIO+20, 2012).

O Guia de Sustentabilidade da Dinamarca aborda conceitos sobre como produtos e serviços podem ser projetados sem prejudicar os seres humanos e o meio ambiente. O guia apresenta as possibilidades de integrar as questões ambientais com as empresas de projeto e com seus processos de desenvolvimento de produtos. Uma das abordagens é a consideração do ciclo de vida dos produtos (McALOONE & BEY, 2009).

McAloon & Bey (2009) sugerem o uso de uma atividade chamada de “*product life thinking*”, que envolve o mapeamento de todos os estágios do ciclo de vida do produto, considerando todos os fornecedores e situações relacionadas com o processo de produção. A Figura 1 mostra o mapeamento do ciclo de vida para um andaime de obras (produto), no qual é possível visualizar esse produto e as atividades relacionadas com sua produção. A partir do mapeamento, pode-se relacionar o consumo de recursos e as causas raízes dos impactos ambientais durante a produção do andaime.

A seleção de materiais no ciclo de vida do produto também é importante para os resultados sustentáveis. Isso ocorre por meio da avaliação das diversas interrelações dos materiais utilizados nos projetos com os impactos sobre a natureza e o meio, os efeitos sobre a saúde humana e as alterações nas reservas de recursos naturais.

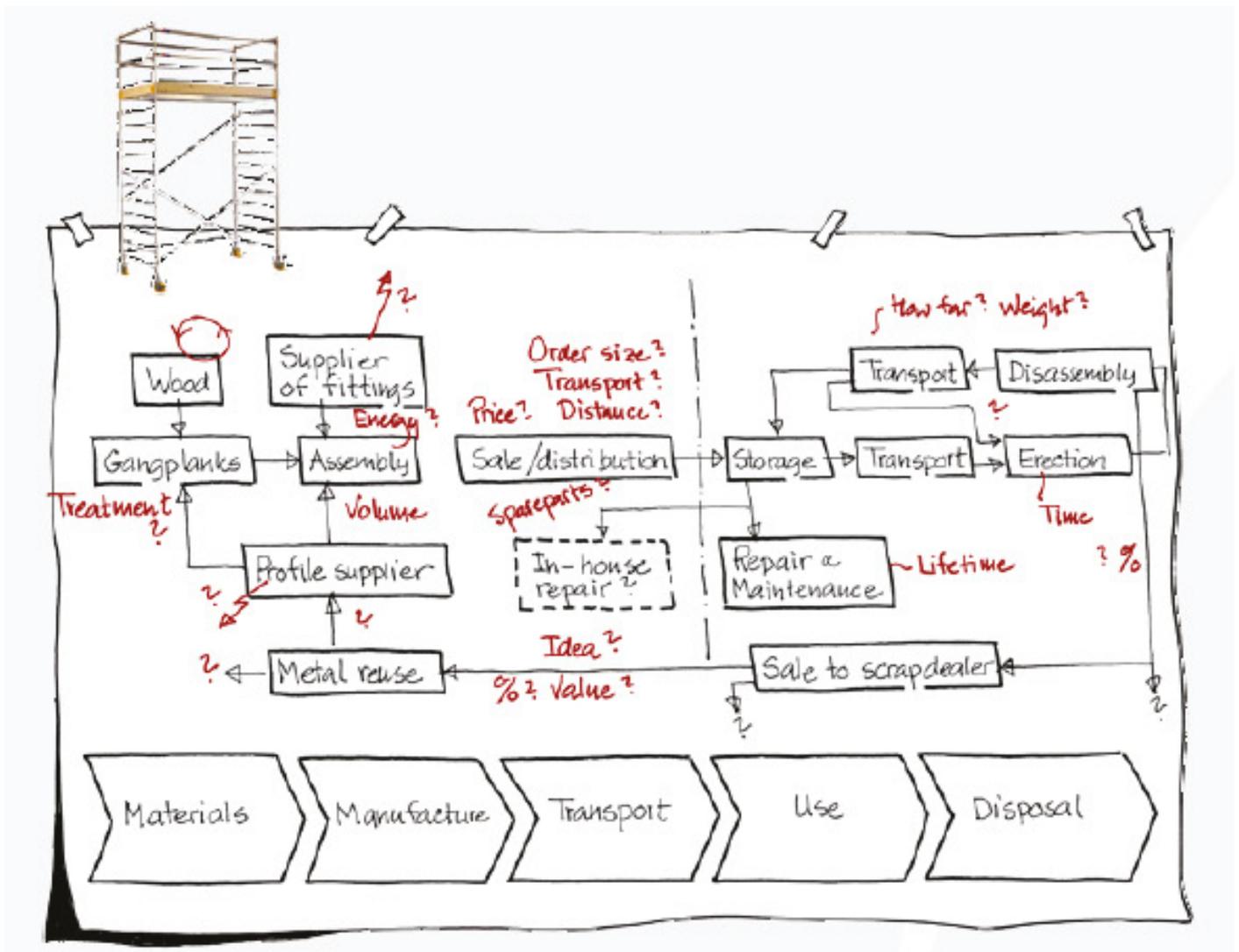
Percebe-se a existência de integração dos parâmetros da sustentabilidade contidos no modelo ESA com o processo de projeto do *design*. Esse passa a incluir as questões ambientais, econômicas e sociais de forma integrada no projeto de produtos (CALLISTER JUNIOR, 2006; FERROLI & LIBRELOTTO, 2012a).

Pahl *et al.* (2005, p. 244), ao comentarem o projeto considerando a reciclagem, sugerem as seguintes alternativas para economizar e reaproveitar as matérias primas envolvidas na produção:

menor utilização de material por meio de um melhor aproveitamento do material e menos desperdício de

produção; substituição das peças fabricadas com matérias-primas escassas e, portanto, mais custosas, por outras fabricadas com matérias-primas mais baratas e disponíveis por mais tempo; reciclagem por retorno dos refugos de produção, do produto ou dos componentes de um produto para reutilização ou retrabalho.

Kai *et al.* (2014) propuseram um modelo conceitual baseado no 3BL (*Triple Bottom Line*) para analisar as operações dentro de indústrias gráficas e apoiar as boas práticas de sustentabilidade nessas operações. Eles sugerem que há necessidade de mudar a estratégia e, algumas vezes, de modificar processos produtivos das empresas, a fim de obter os resultados pretendidos com a susten-



Fonte: McAlone e Bey (2009).

Figura 1 – Mapeamento do ciclo de vida de um andaime.

tabilidade. Além disso, mencionam a importância dos *stakeholders* no desenvolvimento sustentável das empresas e a influência deles nos resultados.

Alblas *et al.* (2013) mencionam que os fornecedores e os clientes têm papel decisivo na adoção da sustentabilidade por parte das empresas e que eles devem fazer parte do processo de projeto. Os autores demonstram, ainda, que grande parte das rotinas organizacionais de empresas que desenvolvem novos produtos não facilita a organização de atividades voltadas para a sustentabilidade.

Em relação ao *design*, na pesquisa de Santos (2000), são mostrados alguns conceitos interessantes, como o de Chermayeff, o qual afirma que “às vezes, fazer *design* é não fazer muita coisa, apenas identificar um problema e torná-lo mais simples” (CHERMAYEFF *apud* SANTOS, 2000, p. 20). Santos (2000) ainda faz uma abordagem sobre o conceito do *design*, afirmando que ele é um sistema processador de informações de várias áreas (engenharia, produção, ergonomia, *marketing*, sociologia, economia, entre outros), no qual existem entrada e saída. Essa abordagem evoluiu para o método de projeto conhecido como MD3E (Método de Desdobramento em 3 Etapas) ou Método Aberto de Design (SANTOS, 2005), conforme ilustra a Figura 2, adaptada de Santos (2005).

Ferrolli & Librelotto (2012b, p.3) mencionam que “a busca de procedimentos sistemáticos ligados ao projeto tem por objetivo, claramente, a melhoria da qualidade

do atendimento das necessidades das pessoas, obtido pela solução de um problema específico mediante o projeto de um produto”. A solução deve contemplar tanto a satisfação às necessidades dos usuários quanto o tripé da sustentabilidade: aspectos sociais, ambientais e econômicos aliados ao processo de projeto do produto.

Ashby & Johnson (2011) afirmam que o mercado é um poderoso motivador para o *design* de produtos e que é o desejo do usuário e a vontade de ter determinado produto que movimenta o mercado. Isso significa que não é somente a necessidade de ter determinado produto que amplia o crescimento e também não é somente o *designer* que movimenta o mercado, mas são os desejos dos usuários que criam essas motivações e mudanças.

Para Baxter (2000), deve existir integração entre as diferentes disciplinas envolvidas no desenvolvimento de novos produtos, dentre elas as atividades de *marketing*, engenharia de produtos e processos, aplicação de conhecimentos sobre estética e estilo. Como resultado dessa integração, surge um produto mais equilibrado. Além disso, o autor menciona a necessidade de pesquisa, planejamento e controle no desenvolvimento de novos produtos.

A integração comentada por Baxter (2000) em suas pesquisas pode ser obtida em um ambiente que busque a melhoria contínua nos seus processos de produção. A integração entre o projeto, a produção e o

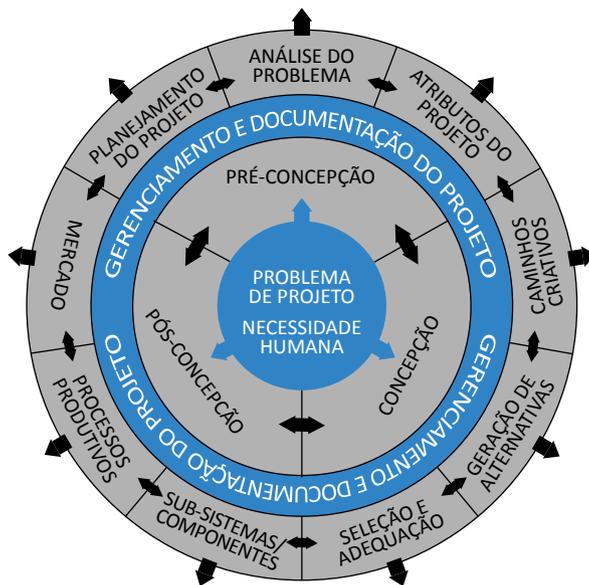


Figura 2 – Metodologia MD3E.

produto final pode ser obtida por meio do aperfeiçoamento da qualidade do produto e pela busca constante da satisfação do usuário. Para a consideração da sustentabilidade integrada ao processo de desenvolvimento de produtos, alguns critérios fundamentais devem ser envolvidos, com base no que está demonstrado na Tabela 1,

estando eles apresentados na Tabela 2 (FERROLI & LIBRELOTTO, 2012b).

Esses critérios, se agrupados de forma diferente, contemplam a tríade ESA da sustentabilidade e devem ser analisados pelo projetista, levando-se em consideração o ciclo de vida do produto.

**Tabela 1 – Critérios para integração entre as diferentes disciplinas envolvidas.**

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
Fabris e produtivos	O <i>designer</i> precisa estar em constante comunicação com os profissionais da área fabril, pois o projeto deve originar um produto fabricável e que respeite as restrições referentes aos materiais que serão utilizados na sua produção (disponibilidade, por exemplo). Além disso, deve respeitar os métodos de fabricação disponíveis, as máquinas necessárias para a produção (por exemplo: equipamentos, ferramentas e outros dispositivos), a produtividade desejada durante todas as fases do ciclo de vida do produto, a flexibilidade produtiva necessária para o atendimento de mudanças comportamentais do consumidor, entre outras questões.
Mercadológicos e sociais	Todo e qualquer produto é projetado para atender a necessidades e desejos de certo público. Aspectos referentes à regionalização e às expectativas próprias de cada população influenciam tanto quanto aspectos técnicos. O <i>marketing</i> do produto e a observação contínua dos produtos concorrentes são essenciais para o reconhecimento de um produto. Novas tendências de materiais, formas, cores e estilos são aspectos que devem ser considerados.
Financeiro e econômico	Os custos são fortemente influenciados pelos processos fabris e características mercadológicas. É possível tornar o produto inviável ou inacessível ao público alvo se não forem considerados os diversos aspectos já mencionados, como aquisição de maquinário, projetos de dispositivos ou ferramental complementar de chão de fábrica e os treinamentos e capacitações da mão de obra. Nessa análise, devem ser considerados também os custos dos materiais que serão usados no produto e os gastos que envolvem o processo de produção (energia elétrica, água, controle de resíduos, tratamentos superficiais e térmicos, e outros).
Estética e apresentação do produto	A primeira relação do usuário com o produto que se está adquirindo é visual; e a primeira intenção na escolha de um produto, feita pela maioria das pessoas, é a questão da estética. Posteriormente, a primeira impressão pode ser modificada por outros critérios como, por exemplo, os fatores ergonômicos (sensação de conforto proporcionado pelo produto), fatores financeiros (preço do produto) e a tendência da “moda” atual (que pode influenciar desde detalhes e cores até o material empregado no produto). Esses são fatores que podem alterar a escolha inicial do usuário.
Ergonomia e segurança do produto	A satisfação do usuário está diretamente relacionada à percepção de conforto existente no produto, que por sua vez proporciona a segurança devida. Nesse sentido, deve-se levar em conta o uso inesperado do produto por parte do usuário e garantir a segurança por meio de incrementos tecnológicos que tragam a confiabilidade e evitem qualquer dano ao usuário. Medidas antropométricas, biomecânica e cognição, por exemplo, devem ser testadas em diferentes momentos do projeto, por meio de simulações físicas e virtuais.
Ecológicos e ambientais	São os fatores inseridos no chamado <i>eco-design</i> , que consideram os índices de reciclabilidade dos materiais empregados; a questão da possível reutilização dos materiais; a redução de componentes e gastos energéticos (incluindo a água); a análise total do ciclo de vida (tanto do projeto como do produto em si) e outros. Esses critérios não devem ser considerados como fatores de sustentabilidade, uma vez que a sustentabilidade atua durante todo o processo de desenvolvimento do produto.

## O uso de modelos físicos em *design* de produtos

Os modelos físicos são representações tridimensionais que simulam propriedades de objetos em estudo, permitindo avaliações e correções durante etapas prévias do processo de projeto. Em diversas etapas do desenvolvimento de produtos, é possível utilizar os modelos e protótipos, que podem ter diferentes funções e níveis de complexidade. Quanto às funções, os modelos podem ser utilizados para apresentar o novo produto ao cliente, para auxiliar o *designer* no desenvolvimento de novas ideias que necessitem de entendimento em três dimensões e podem ser usados para visualizar a integração entre os diversos componentes do produto. A complexidade do modelo físico aumenta quando surgem necessidades de responder questões mais específicas sobre o referido produto durante o seu processo de desenvolvimento (FERROLI & LIBRELOTTO, 2012b).

Existem diferentes tipos de modelos físicos para representações de objetos no processo de desenvolvimento de novos produtos. As principais classificações dos modelos físicos são os modelos preliminares, o *Moch-up*, os Modelos em escala reduzida ou maquete e os protótipos. Os modelos preliminares são pré-modelos usados para avaliação volumétrica. Não consideram detalhes construtivos das peças. Geralmente, são usados em estudos preliminares e são executados com qualquer material de fácil manuseio, baixo custo e que permitam alterações rápidas (ASHBY & JOHNSON, 2011).

Já os modelos experimentais, recebem a denominação de *Mock-up* e são executados na escala real (1:1). Têm a função de testar funções ergonômicas, funcionais e verificação do acabamento do produto.

**Tabela 2 – Classificação dos critérios segundo o ESA para análise dos modelos físicos.**

Critérios econômicos		Critérios sociais		Critérios ambientais	
Critério	ESA	Critério	ESA	Critério	ESA
Preço de aquisição do material	E1	Quantidade de fornecedores na região	S1	Possibilidade de reciclagem do material usado no modelo	A1
Quantidade de material utilizado	E2	Disponibilidade do material – tempo de espera para efetivar compra	S2	Possibilidade de reaproveitamento do material usado no modelo	A2
% de aproveitamento do material considerando dimensões comerciais disponíveis no mercado.	E3	Existência, na região, de materiais alternativos (mesmo custo) na impossibilidade de uso do material de primeira escolha.	S3	Origem da matéria-prima	A3
Quantidade de ferramentas necessárias	E4	Geração de renda para a região	S4	Gasto energético total na fabricação do modelo	A4
Custo de energia elétrica	E5	Quantidade de empresas capazes de fabricar a matéria-prima empregada no modelo (na região)	S5	Quantidade de subprodutos sem utilidade no processo fabril	A5
Tempo de fabricação do modelo	E6	Capacitação da mão de obra na região especializada na produção da matéria-prima empregada na fabricação do modelo	S6	Quantidade de subprodutos que podem ser vendidos para reciclagem ou reaproveitamento	A6

São executados com diversos materiais (MDF, Poliestireno, Polipropileno e outros). Os modelos em escala reduzida, ou maquete, são aqueles executados em escalas reduzidas, geralmente usados para as maquetes nos cursos de Arquitetura. Eles têm como função o estudo de volumes, cores, formas e outros. Diferentemente dos modelos, os protótipos são realizados nas etapas finais do projeto, em escala real, igual ao produto final. No protótipo, devem-se utilizar os mesmos materiais e acabamentos do novo produto (FERROLI & LIBRELOTTO, 2012b).

A modelagem geométrica, a seleção de materiais e o uso de protótipos estão presentes nas etapas do processo de *design*, independentemente do método de projeto adotado. Alguns autores fazem considerações a respeito da estrutura de um processo de projeto ou

de *design*. Dentre eles, pode-se citar Back *et al.* (2008) e Rozenfeld *et al.* (2006), que apresentam em suas pesquisas uma estrutura de processo para projeto que contempla a utilização de modelos e protótipos conforme é ilustrado na Figura 3.

Rozenfeld *et al.* (2006) apresentam o processo de desenvolvimento de projetos em cinco etapas, conforme mostra a Figura 4: projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação para produção e lançamento do produto. Os autores afirmam que o uso de modelos e protótipos para projeto deve ser adequado às necessidades de cada etapa específica. Ferrolli & Librelotto (2012b, p.8) ressaltam que “nem sempre é necessário o emprego de um modelo ou protótipo físico, podendo o estudo ser realizado de modo virtual”.

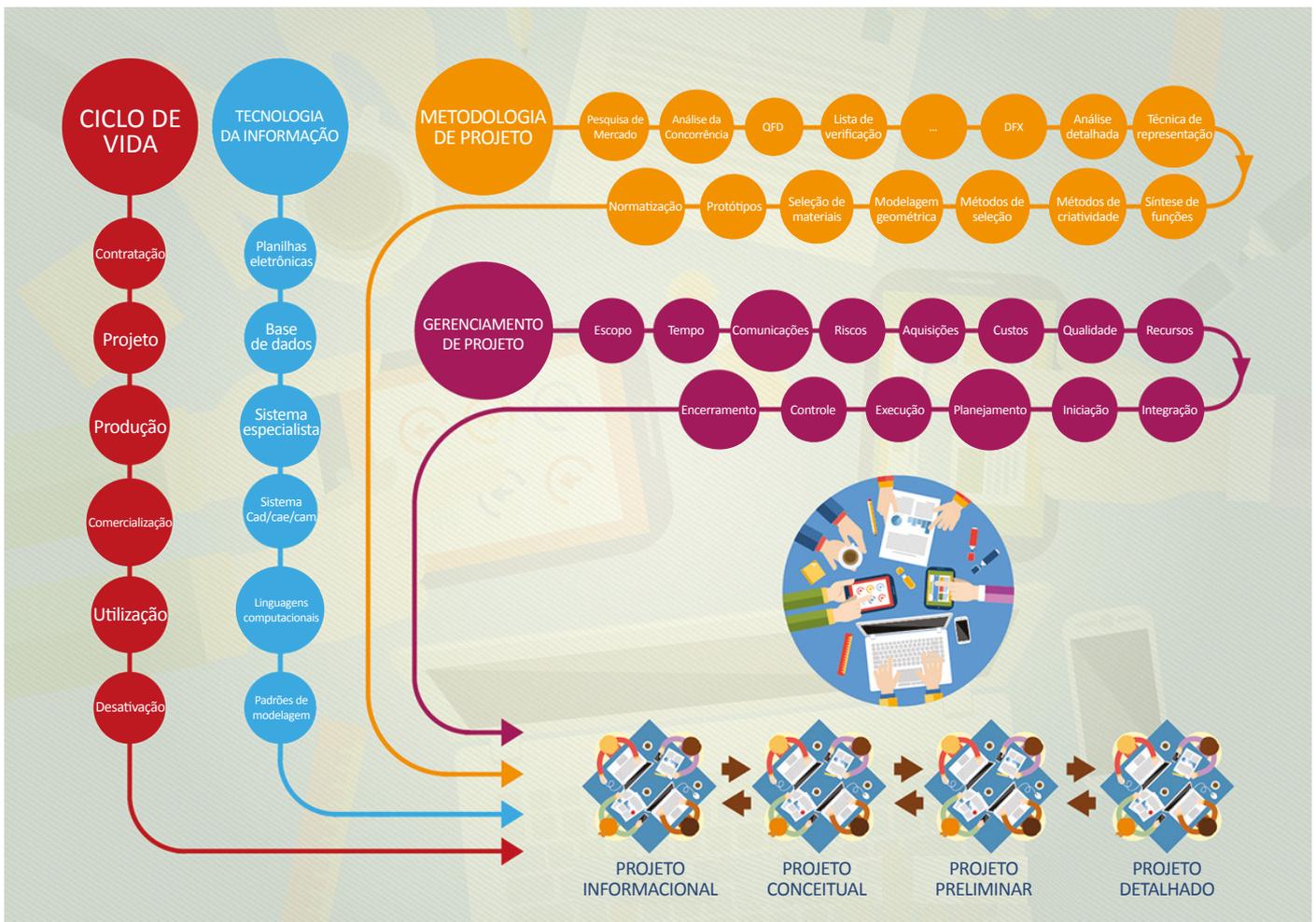


Figura 3 – Estrutura de projeto.

## Sustentabilidade aplicada em modelos volumétricos

Carvalho & Sposto (2012) associam a sustentabilidade às habitações de interesse social. Em sua pesquisa, as autoras comentam que o equilíbrio entre as três dimensões da sustentabilidade (econômica, social e ambiental) nasce da integração de atividades de desenvolver e conservar. Os três pilares da sustentabilidade enfatizam a necessidade do equilíbrio entre o lucro dos investidores, a equidade social e a conservação do meio.

Ferrolli & Librelotto (2012a, p. 115) complementam que: “os investidores devem ter o retorno financeiro, a comunidade local deve usufruir dos benefícios da atividade empresarial, os funcionários devem ter seu retorno em qualidade de vida e equidade social, e tudo isso, não deve prejudicar [...] o meio ambiente, do qual todos necessitam para sobreviver”.

Assegurar e garantir que as gerações futuras terão acesso às opções econômicas, sociais e ambientais presentes nos dias atuais é uma das propostas da aplicação da sustentabilidade. A sustentabilidade é válida tanto para aplicação no desenvolvimento de produtos, como para o desenvolvimento de projetos das mais diversas áreas, podendo inclusive ser aplicada dentro de empresas. Librelotto (2009) utiliza o modelo ESA para avaliação da sustentabilidade em empresas do setor da construção civil nestas três dimensões:

- Dimensão social: envolve os preceitos da responsabilidade social e gestão de pessoas na estrutura-conduta-desempenho da indústria.

- Dimensão ambiental: associa a estrutura-conduta-desempenho da indústria à preservação do ecossistema ou minimização dos impactos das atividades industriais sobre esse.
- Dimensão econômica: associa a estrutura-conduta-desempenho à garantia de retorno dos investimentos aos intervenientes do processo (proprietários, clientes, funcionários e comunidade em geral).

A ferramenta ESA, desenvolvida por Librelotto (2009), é adaptável para outras situações e outros setores em que se deseja avaliar a sustentabilidade. No caso de uma empresa, o desempenho sustentável nas dimensões social, econômica e ambiental pode ser influenciado pelas condutas adotadas pela empresa, pela sua estrutura e pela organização interna.

Uma das adaptações do Modelo ESA refere-se à aplicação para avaliação da sustentabilidade de produtos. Para isso, deve ser feito um correlacionamento das dimensões originais do ESA por meio do uso do cubo da sustentabilidade. A figura 5 demonstra essa situação. Ferrolli & Librelotto (2012, p.34) explicam que “o posicionamento da empresa ou produto será avaliado conforme a localização nos cubos”.

O cubo ESA original define as empresas em três dimensões: desempenho, pressão e conduta. A partir dessas dimensões, é possível avaliar as empresas nas

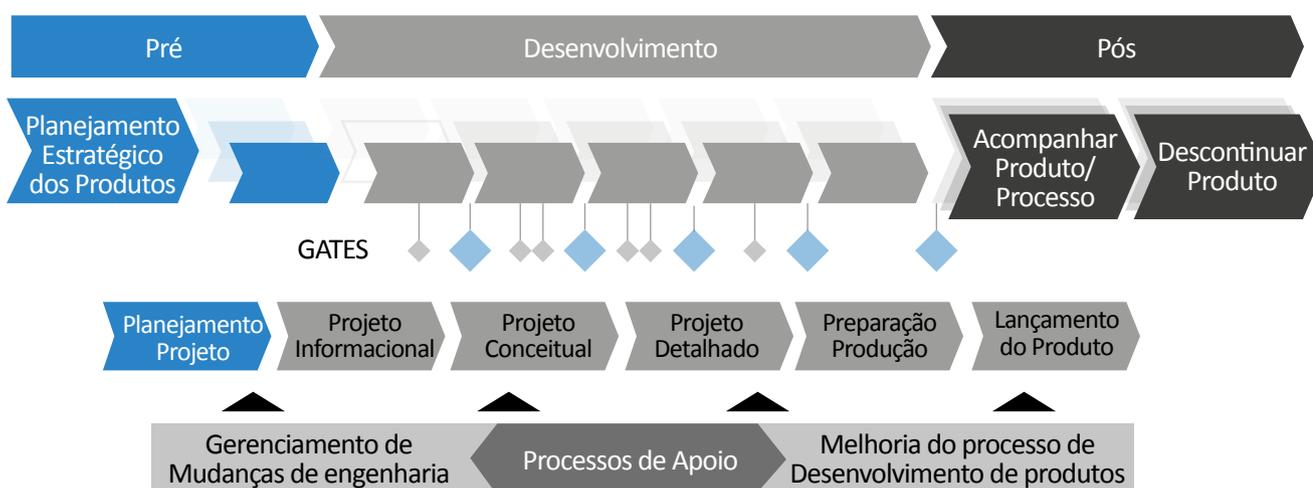


Figura 4 – Processo de Desenvolvimento de Produto.

seguintes características: derrotada, sofrível, responsável, indiferente, oportunista ou pioneira. O cubo ESA adaptado identifica os estados transitórios definidos originalmente no modelo, considerando as novas dimensões como: a social, a econômica e a ambiental. O cubo adaptado permite a avaliação de produtos e modelos nas seguintes características: inadequado,

mediano, indiferente, inovador, eficaz ou adequado, conforme sua posição no cubo de correlação.

Librelotto (2009) complementa que há uma tendência de deslocamento do objeto avaliado para os quadrantes da extremidade do cubo, e que é difícil que o objeto se desloque da parte inferior do cubo para o superior ou vice-versa, sem que ocorra uma mudança nas condições de mercado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este item apresentará a aplicação do modelo ESA de sustentabilidade em modelos e protótipos desenvolvidos em projetos de *design* de produto. Quanto à adaptação do modelo ESA para o caso específico de modelos e protótipos: o eixo de desempenho avaliou o critério econômico da sustentabilidade; o eixo da conduta avaliou o critério ambiental da sustentabilidade; e o eixo referente às pressões avaliou o critério social da sustentabilidade. A posição no cubo determinará o grau de “sustentabilidade” do modelo segundo uma abordagem ampla, contemplando as três variáveis: econômica, social e ambiental. Na verdade, assume-se que cada eixo (estrutura, conduta e desempenho) possui também um cubo de correlação no que se refere às variáveis mencionadas.

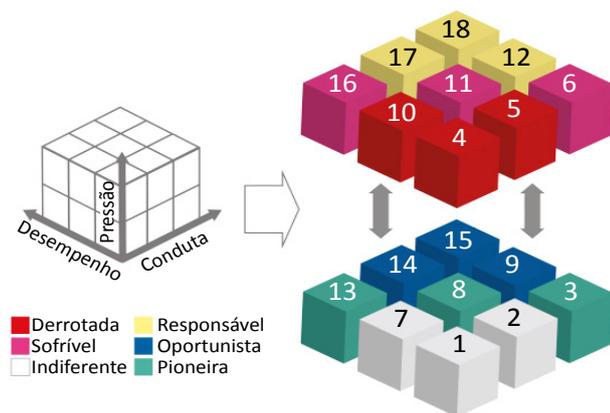
Para a realização dos experimentos práticos, foram utilizados trabalhos desenvolvidos em disciplinas de graduação em Design Industrial, Design de Produto e Arquitetura e Urbanismo. Foram escolhidos aleatoria-

mente alguns modelos para teste e validação da adaptação original do modelo ESA, dos quais seis foram mostrados no presente artigo.

Para o caso específico de análise de modelos ou protótipos de *design*, foi necessária uma adaptação das nomenclaturas utilizadas na modelo ESA original, aplicado na indústria da construção civil. A adaptação teve início em aspectos nos quais as pressões do mercado (que, neste caso, representa a questão social da sustentabilidade) são pequenas, de modo que:

- o termo “pioneira” foi substituído por “adequado”, ou seja, representa um modelo e/ou protótipo construído dentro de princípios modernos de sustentabilidade, considerando os critérios econômico e ambiental, já que a questão social não é forte.
- o termo “oportunista” foi substituído por “eficaz”, que representa um modelo e/ou protótipo construído dentro do esperado do ponto de vista econô-

ESA ORIGINAL



ESA ADAPTADO PARA MODELOS E PROTÓTIPOS



Fonte: adaptado de Librelotto (2009).

Figura 5 – Avaliação do posicionamento das empresas.

mico e ambiental, em um ambiente social que não apresenta pressões demasiadas.

- o termo “indiferente” será mantido, pois representa um modelo e/ou protótipo construído em um ambiente com pouca ou nenhuma pressão do ponto de vista social, sendo nele usados materiais normais, sem a ocorrência de preocupação demasiada com os aspectos ambiental ou econômico dos materiais utilizados. No entanto, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, não foram usados materiais muito caros ou comprovadamente nocivos, de modo que o modelo não inova, mas também não compromete a sustentabilidade.

Nos pontos em que as pressões de mercado são maiores e, por isso, as consequências da escolha equivocada dos materiais, modelos e/ou protótipos serão mais graves, tem-se as seguintes alterações:

- o termo “derrotada” foi substituído por “inadequado”, representando um modelo e/ou protótipo projetado e executado de forma incorreta, com custo muito elevado e utilização de materiais nocivos ao meio ambiente.
- o termo “sofrível” foi substituído por “mediano”, e representa um modelo e/ou protótipo que atende parcialmente à questão ambiental e econômica, em um ambiente onde as pressões sociais são elevadas, ou seja, é um modelo construído com materiais de preço elevado e de difícil reciclagem e/ou reaproveitamento, por exemplo.
- o termo “responsável” foi substituído por “inovador”, representando um conceito oposto ao inadequado. É um modelo construído com materiais pré-selecionados, representando uma boa inovação, atendendo aos requisitos de projeto de forma responsável.
- Para a classificação dos modelos, os itens considerados para posicionamento do modelo no cubo do modelo ESA foi definido conforme listagem abaixo. Foram padronizados dois critérios para cada fator: material de confecção do modelo e processo de fabricação.

A classificação do modelo e/ou protótipo, segundo o modelo ESA, considera: eixo x, ambiental; eixo y, social; e eixo z, econômico. O primeiro passo da classificação é o posicionamento segundo a pressão social, sendo:

Eixo y: notas de 0,0 a 4,9, com possibilidade dos modelos *adequado*, *indiferente* e *eficaz*.

Eixo y: notas de 5,0 a 10,0, com possibilidades dos modelos *inadequado*, *mediano* e *inovador*.

O segundo passo da classificação é o estabelecimento do posicionamento no eixo y (questão social fraca ou forte). As demais médias funcionarão como pares ordenados, sendo assim classificadas:

- indiferente: pressão social fraca, com fator econômico de 0,00 a 6,65, associado a um fator ambiental de 0,00 a 6,65 (se um dos fatores estiver no cubo 7, por exemplo, o outro fator deverá ter média máxima de 3,32 e vice-versa, conforme Figura 5).
- eficaz: pressão social fraca, sendo que um dos fatores (econômico ou ambiental) deverá estar com índice entre 6,67 a 10,00, ou ambos com índice no mínimo entre 3,33 e 6,66;
- adequado: pressão social fraca, com ambos os fatores devendo estar com nota mínima de 6,67;
- inadequado: mesma situação numérica que o modelo classificado como indiferente, porém aqui a pressão social é elevada;
- mediano: mesma situação numérica que o modelo classificado como eficaz, porém aqui a pressão social é elevada;
- inovador: mesma situação numérica que o modelo classificado como adequado, porém aqui a pressão social é elevada.

Os valores colocados nas planilhas classificatórias foram relacionados com os seguintes fatores:

- Econômicos:
  - Material de confecção do modelo: preço de aquisição do material (R\$), quantidade de material utilizado (kg), porcentagem de aproveitamento do material considerando dimensões comerciais disponíveis no mercado (%);
  - Processo de fabricação: quantidade de ferramentas necessárias (unidades); custo de energia elétrica (kwh x custo do kwh, em R\$), tempo de fabricação do modelo (min);

- **Sociais:**
  - Material de confecção do modelo: quantidade de fornecedores na região (unidade); disponibilidade do material, ou seja, tempo de espera para efetivar a compra (dias); existência na região de materiais alternativos (de mesmo custo) na impossibilidade de uso do material de primeira escolha (sim ou não).
  - Processo de fabricação: geração de renda para a região, ou seja, se a matéria-prima empregada no modelo é fabricada na região (sim ou não); quantidade de empresas capazes de fabricar a matéria-prima empregada no modelo na região (quantidade); capacitação da mão de obra na região especializada na produção da matéria-prima empregada na fabricação do modelo (medida de observação qualitativa).
- **Ambientais:**
  - Material de confecção do modelo: possibilidade de reciclagem do material usado no modelo (% de material do modelo que pode ser reciclado); possibilidade de reaproveitamento do material usado no modelo (% de material do modelo que pode ser reaproveitado); origem da matéria-prima (virgem, reciclada ou mista).
  - Processo de fabricação: gasto energético total na fabricação do modelo (R\$); quantidade de subprodutos sem utilidade gerados no processo fabril (kg); quantidade de subprodutos que po-

dem ser vendidos para reciclagem ou reaproveitamento gerados no processo fabril (kg).

Na aplicação do ESA, as notas foram atribuídas mediante comparações quantitativas e qualitativas com outros possíveis materiais que poderiam ter sido utilizados para a construção do modelo, respeitando-se aos requisitos técnicos e estéticos. Observa-se que, para efeito do proposto na presente pesquisa, o modelo desenvolvido em determinado material foi comparado com outros dois possíveis materiais. O limite de dois exemplos foi estabelecido somente para efeitos desta pesquisa, ressaltando-se que não existem limites determinados para uma aplicação prática. Para o preenchimento das planilhas, utilizou-se a classificação mostrada na Tabela 2.

Observações a respeito do preenchimento dos quadros de aplicação:

- preço de aquisição do material: incluiu-se, nesse quesito, não somente o valor do material base, mas também materiais de apoio, como tintas, lixas, massa acrílica, tecido, cola etc.
- quantidade de material utilizado e porcentagem de aproveitamento considerando dimensões comerciais disponíveis no mercado: nesses quesitos, considerou-se apenas o material base.
- no fator social, a região foi delimitada como a Grande Florianópolis, incluindo os municípios de Florianópolis, São José, Biguaçu e Palhoça.

## APLICAÇÕES PRÁTICAS DO MODELO ESA EM MODELOS VOLUMÉTRICOS

Este item apresenta alguns modelos desenvolvidos em aulas práticas de oficina em cursos de Design Industrial, Design de Produto e Arquitetura e Urbanismo. Dentre vários modelos desenvolvidos, selecionaram-se alguns para serem demonstrados aqui.

O primeiro modelo utilizado para teste de aplicação do modelo ESA foi desenvolvido em papelão tipo couro (pedra) pela técnica do empilhamento. A Figura 6 mostra o resultado final (modelo desenvolvido) e a Tabela 3 demonstra a aplicação (teste) do modelo ESA. Para o referido modelo, os materiais de comparação para aplicação do ESA foram: bloco de

Poliuretano (PU) e argila. Pela análise da planilha, a pressão social é alta. Considerando-se então as demais notas obtidas, o modelo foi classificado como mediano.

O segundo modelo escolhido foi desenvolvido originalmente em resina de poliéster. Após, foram realizados modelos em PU e em clay para comparação do método. A Figura 7 ilustra os modelos: preto (resina de poliéster), creme (PU) e cinza (clay). A aplicação do ESA no modelo está registrada na Tabela 4. A análise considerou o modelo em resina de poliéster como escolhido para fabricação e os demais para efeitos comparativos. Pela análise



Figura 6 – Etapa de construção do modelo e apresentação final.

Tabela 3 - ESA aplicado ao modelo.

APLICAÇÃO DO MODELO ESA - MODELO 1														
	Critérios econômicos				Critérios sociais					Critérios ambientais				
	Papelão	Argila	PU	Nota	Papelão	Argila	PU	Nota	Papelão	Argila	PU	Nota		
E1	R\$ 21,00	R\$ 12,00	R\$ 65,00	5,00	S1	4	5	2	7,00	A1	50%	0%	0%	7,00
E2	95 g	245 g	134 g	8,00	S2	1	1	2	6,00	A2	80%	0%	60%	7,00
E3	90%	90%	85%	7,00	S3	muitos	vários	poucos	9,00	A3	reciclada	virgem	virgem	8,00
E4	9	6	7	7,00	S4	não	pouco	não	5,00	A4	R\$ 4,90	R\$ 5,90	R\$ 7,45	7,00
E5	R\$ 3,32	R\$ 1,72	R\$ 4,00	6,00	S5	0	4	0	4,00	A5	0%	10%	55%	5,00
E6	156 min	146 min	187 min	7,00	S6	não há	médio	não há	5,00	A6	20%	0%	0%	7,00
Média				6,67					6,00					6,83



Figura 7 – Modelos desenvolvidos em resina, clay e PU.

da planilha, a pressão social é alta. Considerando-se então as demais notas obtidas, o modelo foi classificado como mediano também.

A Figura 8 mostra o modelo desenvolvido para experimentação em Arquitetura, simulando o congresso nacional. Para esse modelo, construído em argamassa, os materiais de comparação para aplicação do ESA foram: bloco de MDF revestido com massa acrílica e gesso reforçado. A Tabela 5 mostra a aplicação do ESA. Pela análise da planilha, a pressão social é baixa. Conside-

rando-se, então, as demais notas obtidas, o modelo foi classificado como adequado.

Mediante o estudo de caso apresentado, percebe-se que o modelo ESA adaptado para análise de modelagem física em *design* e arquitetura pode trazer boas informações para que o *designer* possa analisar, do ponto de vista da sustentabilidade, o modelo gerado. Consequentemente, essa análise pode ser ampliada para o escopo de todo projeto, abrangendo todo o ciclo de vida do produto.

**Tabela 4 – ESA aplicado ao modelo.**

Aplicação do modelo ESA - Modelo 2														
	Critérios econômicos				Critérios Sociais					Critérios Ambientais				
	Resina	Clay	PU	Nota		Resina	Clay	PU	Nota		Resina	Clay	PU	Nota
E1	R\$ 37,00	R\$ 22,00	R\$ 33,00	5	S1	2	0	2	7	A1	0%	0%	20%	7
E2	76 g	121 g	89 g	8	S2	1	3	2	8	A2	0%	30%	60%	3
E3	90%	90%	85%	7	S3	poucos	nenhum	poucos	9	A3	virgem	virgem	virgem	5
E4	4	8	7	6	S4	não	não	não	5	A4	R\$ 1,10	R\$ 1,45	R\$ 5,43	8
E5	R\$ 1,89	R\$ 1,22	R\$ 1,10	6	S5	0	0	0	5	A5	0%	10%	30%	6
E6	108 min	180 min	134 min	8	S6	não há	não há	pouco	5	A6	0%	0%	0%	5
Média				6,67					6,50					5,67



**Figura 8 – Etapas construtivas do modelo.**

Tabela 5 – ESA aplicado ao modelo.

APLICAÇÃO DO MODELO ESA - MODELO 3														
	CRITÉRIOS ECONÔMICOS					CRITÉRIOS SOCIAIS					CRITÉRIOS AMBIENTAIS			
	Arga-massa	MDF	Gesso	Nota		Arga-massa	MDF	Gesso	Nota		Arga-massa	MDF	Gesso	Nota
E1	R\$ 134,00	R\$ 198,00	R\$ 231,00	8,00	S1	7	5	7	5,00	A1	0%	0%	0%	5,00
E2	632 g	545 g	438 g	7,00	S2	1	1	1	5,00	A2	0%	30%	0%	4,00
E3	90%	76%	85%	9,00	S3	poucos	poucos	poucos	5,00	A3	virgem	virgem	virgem	5,00
E4	4	11	14	9,00	S4	não	não	não	5,00	A4	R\$ 5,65	R\$ 8,65	R\$ 12,32	9,00
E5	R\$ 6,70	R\$ 3,21	R\$ 3,33	4,00	S5	várias	poucas	várias	5,00	A5	30%	10%	50%	8,00
E6	213 min	321 min	378 min	8,00	S6	não há	não há	pouco	4,00	A6	0%	20%	0%	5,00
Média				7,50					4,83					6,00

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises decorrentes da presente pesquisa, viu-se que a escolha dos materiais utilizados na confecção de modelos físicos e/ou protótipos utilizados em *design* de produtos é mais do que a consideração de atributos técnicos e produtivos. Um bom produto precisa atender às necessidades de todos os grupos de usuários, envolvendo aspectos produtivos, econômicos, ergonômicos, sociais, ambientais e estéticos. Além disso, os materiais adequados ao produto devem estar em conformidade com tais aspectos.

O modelo ESA, originalmente concebido para aplicação na construção civil, pode ser adaptado a contento no intuito de fornecer aos *designers* um modo quantitativo/qualitativo de avaliar a sustentabilidade nas dimensões econômica, social e ambiental.

Pela aplicação vista, pode-se enumerar as seguintes considerações:

- a adaptação do modelo ESA, desenvolvido por Librelotto (2009), mostrou-se satisfatória para análise dos modelos físicos e/ou protótipos em *design*, permitindo uma abordagem global da sustentabilidade;

- o preenchimento correto das planilhas originadas é muito importante. Devido à natureza das variáveis, pequenas oscilações podem alterar o posicionamento do modelo/protótipo no cubo de classificação, podendo ocasionar conclusões precipitadas e incorretas;
- é necessário um novo estudo propondo ponderação das variáveis sob a forma de pesos, testando-se a ferramenta GUT (Gravidade – Urgência – Tendência) para que se possam analisar, caso a caso, as particularidades de cada modelo/protótipo.

Como recomendação para futuros trabalhos, deve ser observado que o modelo ESA foi constituído objetivando uma aplicação na construção civil. Os autores do presente artigo perceberam no ESA uma potencialidade para analisar a sustentabilidade de qualquer produto. Há de se considerar, no entanto, as características próprias de cada setor. Devido a isso, o modelo ESA, adaptado para uso em produtos de *design*, deve ser testado com mais profundidade. Também é necessária, antes de aplicações profissionais, a elaboração de um conjunto de diretrizes que possam orientar o *designer* (ou equipe de projeto) a melhorar o posicionamento das variáveis econômicas, sociais e ambientais no modelo gráfico do ESA.

## REFERÊNCIAS

---

- ALBLAS, A.; PETERS, K.; WORTMANN, H. Can process management enable sustainable new product development?: an empirical investigation of supplier and customer involvement in fuzzy front end of sustainable product development. *In: EurOMA Conference, Dublin, 2013. Anais...* Dublin: Universidade Tecnológica de Eindhoven, 2013. p.1-10.
- ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. *Materiais e design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. *Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem*. Barueri: São Paulo, 2008.
- BAXTER, M. *Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos*. 2nd ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- CALLISTER JÚNIOR, W. D. *Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada*. 2nd ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 207-225, jan./mar. 2012.
- FERROLI, P. C. M.; LIBRELOTTO, L. I. Aplicação das ferramentas FEAP-SUS, FEM e ESA em modelo funcional de escala reduzida. *Design e Tecnologia*, Porto Alegre, n. 4, p. 24-34, 2012a.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Integração da sustentabilidade em ferramenta projetual: FEAP-SUS. *Revista Produção Online*, Florianópolis, v. 11, n. 2, p. 447-475, abr. 2011a. DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v11i2.662>
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. *Modelagem física com instrumento de análise da sustentabilidade no design de produtos*. Relatório (Pesquisa) – Departamento de Expressão Gráfica, Centro de Comunicação e Expressão, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011b.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Uso de modelos e protótipos para auxílio na análise da sustentabilidade no design de produtos. *Gestão da Produção, Operação e Sistemas*, ano 7, n. 3, p. 107-125, jul./set. 2012b.
- KAI, D. A.; CONCEIÇÃO, R. I.; LIMA, E. P.; COSTA, S. E. C. Modelo conceitual para a introdução das práticas de sustentabilidade nas operações da indústria gráfica. *Gestão da Produção, Operação e Sistemas*, Bauru, ano 9, n. 4, p. 1-18, out./dez. 2014. DOI: 10.15675/gepros.v9i4.1175
- LIBRELOTTO, L. I. *Modelo para avaliação de sustentabilidade na construção civil nas dimensões econômica, social e ambiental (ESA): aplicação no setor de edificações*. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2009.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: EdUSP, 2008.
- McALOONE, T. C.; BEY, N. *Environmental improvement through product development: a guide*. Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency, 2009.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. *Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PENNA, E. *Modelagem: modelos em design*. São Paulo: Catálise, 2002.
- RIO+20 – Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. *O Futuro que queremos*. Rio de Janeiro, 2012.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, F. A. N. V. *MD3E (Método de Desdobramento em Três Etapas): uma proposta de método aberto de projeto para uso no ensino de design industrial*. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

\_\_\_\_\_. *O design como diferencial competitivo*. Itajaí: Editora UNIVALI, 2000.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, A.; CERYNO, P. S.; REMMEN, A. Sustainable new product development: a longitudinal review. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 18, n. 7, p. 2195-2208, 2016. DOI: 10.1007/s10098-016-1166-3