MATERIALIZAÇÃO DIGITAL:
Conceito e Aplicações

SOBRE OS AUTORES

Ivan Luiz de Medeiros | ivan.medeiros@ufsc.br

Doutor em Design pela Universidade Federal de Santa Catarina, pesquisa abordando os temas de Materialização e Fabricação Digital. Mestre em Engenharia de Produção - SOCIESC, com ênfase em Ergonomia. Especialista em Ergonomia pela UFPR. Graduado em Design, com habilitação em projeto de produto pela Univille. Atualmente professor Adjunto no curso de Design de Produto da Universidade de Santa Catarina, colaborando com o Laboratório PRONTO 3D.

Lattes: http://lattes.cnpq.br/0042907358082077

Gilson Braviano | gilson@cce.ufsc.br

Professor do Departamento de Expressão Gráfica da Universidade Federal de Santa Catarina desde 1996, na classe Titular desde 2014, com atividades de ensino em cursos de Graduação (Matemática, Engenharias e Design) e no Programa de Pós-Graduação em Design da UFSC.

É licenciado em Matemática pela UFSC (1987), mestre em Engenharia de Produção, na área de Pesquisa Operacional, também pela UFSC (1990) e doutor em Matemática Aplicada pela Université Joseph Fourier (Grenoble-França, 1995).

Suas pesquisas estão relacionadas à expressão gráfica e representação da forma (geometria dinâmica, desenho geométrico, hipermídia, ambientes virtuais de aprendizagem, interatividade) e a métodos de pesquisa, integrando o corpo de pesquisadores do Laboratório de Ambientes Hipermídia para Aprendizagem – HIPERLAB.

Lattes: http://lattes.cnpq.br/0394077169198868

MATERIALIZAÇÃO DIGITAL: CONCEITO E APLICAÇÕES

Digital materialization: Concept and Applications

Ivan Luiz de Medeiros | Gilson Braviano

Resumo:

Normalmente o Design de Produtos inicia-se de forma abstrata, passando posteriormente para o físico. Para minimizar os erros nas tomadas de decisões a materialização pode auxiliar desde o início do processo. Nesse aspecto se encontra a proposta deste capítulo, explorando a materialização mediada por meios digitais usados já nas etapas iniciais do processo projetual. Na metodologia utilizada houve revisão bibliográfica, realização de entrevistas com pesquisadores brasileiros e atividade de grupo focal composto por designers de produto. Foram hierarquizados critérios e criaram-se regras para compor o Protocolo. Os testes, realizados por meio de um site (leopardpro.com.br) elaborado especificamente para este fim, mostraram que os critérios de tomada de decisão identificados ao longo da pesquisa abrangem os aspectos relevantes quanto a aplicação de cortadora laser, impressão 3D e usinagem com CNC.

Palavras-chave: Design de Produto. Materialização Digital. Tomada de Decisão.

Abstract

Normally Industrial Design begins in an abstract way, going through a physical phase. To minimize mistakes during decision making phases the materialization can help from the beginning of the process. In this aspect the proposal of this chapter, exploring the materialization mediated by digital means already used in the initial stages of the design process. In the methodology used there was literature review, interviews with brazilian researchers and activity with a focal group by product designers. So, criteria were hierarchized and rules were created to composed the Protocol. The tests made through a website (leopardpro.com.br) that was created for this purpose, showed that decision making criteria identified throughout this research embraces relevant aspects regarding applications in equipment such as laser cutters, 3D printing and CNC milling.

***Keywords**: Product Design. Digital Materialization. Decision Making*

1. INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica digital tem avançado nas últimas décadas. Dentro das indústrias, na área de projeto de produto, isso se deve, em grande parte, ao rápido desenvolvimento no setor da computação e tecnologias de informação e comunicação, com a evolução constante dos hardwares e softwares.

O raciocínio humano passou a ser substituído, em alguns momentos, pelos computadores, e tarefas antes consideradas impossíveis de serem realizadas pela mente humana passaram a ser processadas rapidamente por softwares. O computador não só aumentou a capacidade de processamento de informações do ser humano, como passou a funcionar de forma conjunta para a resolução de problemas de grande complexidade (RIGHI & CELANI, 2008).

Para Pupo (2009), não há dúvidas que a era digital revolucionou e reconfigurou a relação entre concepção e produção de projeto. Formou-se um elo que não é mais desassociado entre o que pode ser concebido e o que pode ser construído. A mesma autora afirma que os processos de trabalho nas construções têm mudado substancialmente desde a introdução dos primeiros sistemas CAD/CAM (*computer-aided design / computer-aided manufacturing*, Projeto e Manufatura Assistida por computador).

A função dos sistemas CAM está na geração de programas para operações de torneamento, eletro-erosão e fresamento, que corresponde a sua principal aplicação. Nas operações de fresamento, podemos destacar softwares CAM para geração de usinagens simples com 2½ eixos de movimentação, usinagens com três eixos, e usinagens mais complexas com até cinco eixos programáveis (SOUZA e COELHO, 2003). Hoje, os projetos não são somente criados digitalmente, mas também produzidos digitalmente, seja pela prototipagem rápida[1] ou por processos de fabricação digital[2] sendo numericamente controlados por computador (CNC), comumente chamados de processos "*file-to-factory*" (PUPO, 2011). A tradução literal do processo "*file-to-factory*" como sendo "do arquivo para a fábrica", se caracteriza quando o modelo digital 3D se comunica diretamente com as máquinas programáveis (MEDEIROS et al., 2014).

A integração, a sincronia e a rapidez entre as várias etapas do desenvolvimento de produtos fundamentam características chave na competitividade entre as empresas. Assim, a transição rápida do conceito do produto à produção é um incremento de competitividade que a prototipagem oferece às empresas como meio determinante para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos (FERREIRA et al., 2006).

No processo de desenvolvimento de produtos, a trajetória mais comum é iniciar no abstrato (pensamento) e transcorrer para o físico (produto), cabendo ao designer tomar decisões importantes ao longo desse processo. Para minimizar os erros nas tomadas de decisões, a materialização de soluções, já na fase de concepção do processo de desenvolvimento, surge como uma alternativa projetual para agilizar e construir com maior precisão. Mesmo com a atual facilidade ao acesso as tecnologias 3D capazes de materializar diretamente do arquivo virtual, existe um predomínio na área de projetos da utilização dos protótipos virtuais.

Dessa maneira, vale lembrar que os atuais sistemas CAD, que vão muito além dos recursos para representações bidimensionais, são capazes de produzir detalhamento técnico e apresentações virtuais (*renders*) de projetos. Eles têm o poder de suportar dados mais elaborados relacionados ao artefato projetado, como por exemplo: modelagem geométrica, análise de elementos finitos, planejamento do processo de fabricação, avaliação do fator humano e algoritmos de otimização (ZENG e HORVÁTH, 2012).

1 O termo prototipagem rápida designa um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador (CAD). Tais métodos são bastante peculiares, uma vez que eles agregam e ligam materiais, camada a camada, (sistemas aditivos) de forma a constituir o objeto desejado (GORNI, 2001)

2 Os equipamentos que fazem parte das tecnologias de fabricação digital são associados aos sistemas de controle numérico computadorizado (CNC). Os principais tipos são as cortadoras laser, as routers e as impressoras tridimensionais, que interpretam modelos digitais fazendo a transposição do virtual para o material de forma precisa e direta, facilitando a prototipagem quanto à produção de produtos customizados (COSTA-NETO, et al., 2015) e (ALVARADO e BRUSCATO, 2009).

ISBN: 978-65-5550-141-4

A utilização de ferramentas computacionais de apoio à concepção e ao desenvolvimento de produtos é uma constante no setor industrial. Elas se utilizam da modelagem geométrica em duas e três dimensões, realidade virtual, simulações computacionais e da prototipagem virtual, ferramentas essas destinadas ao Design Virtual de Produtos. Na sua aplicação, almeja-se agilidade no processo de desenvolvimento de produto industrial. Os recursos tecnológicos são utilizados com finalidade de virtualização e, atualmente, a maioria das empresas faz o uso de algum tipo de ferramenta virtual (CARNIEL e AYMONE, 2010).

Contudo, os estudos de Chandrasegaran (2013); Buswell et al., (2007); Lan (2009); Park, Fujimoto e Hong (2012) e Sokovic e Kopac (2006) apontam que o Design é um processo complexo e ferramentas computacionais como CAD e CAM favorecem a redução do tempo de projeto melhorando as soluções propostas, além de contribuir para a liberdade do designer no processo criativo com a modelagem paramétrica. Essa característica permite que todas as dimensões de um produto modelado por um sistema CAD estejam relacionadas entre si através de um parâmetro. Quando se altera o valor numérico desse parâmetro, todos os valores atrelados a ele se alteram automaticamente (SOUZA e COELHO, 2003).

Pode-se também reconhecer a impressão 3D como um novo processo de fabricação; sua importância aparece principalmente quando os produtos têm grande complexidade formal, se mostrando mais eficientes frente a processos tradicionais de materialização como fresagem e torneamento, por vezes limitados. Salienta-se também a aplicação da impressão 3D de metal para a criação de ferramental, agilizando o processo produtivo (ARAYICI, 2007); (VAYRE, VIGNAT e VILLENEUVE, 2012).

Os estudos de Maropoulas e Ceglarek (2010) e Gerber e Carroll (2012) enfatizam a importância dos protótipos para reduzir falhas e facilitar as mudanças corretivas no produto, colaborando, dessa maneira, para o ciclo de desenvolvimento. Salienta-se que o uso da prototipagem de baixa fidelidade para a visualização de várias ideias permite reformular a proposta trabalhada construindo uma oportunidade de aprendizagem para toda a equipe alocada na atividade projetual.

Saura (2003) corrobora essas afirmações quando apresenta a questão da percepção da função dos protótipos ao afirmar que a percepção espacial de uma peça muitas vezes é de difícil interpretação. O autor conclui argumentando que quando apresentada em uma forma "virtual", seja em desenho bidimensional no papel ou computador, seja na forma tridimensional computacional (CAD), acarreta um considerável tempo para sua total compreensão. Já a percepção tridimensional tátil que desfruta no protótipo possibilita melhor entendimento do objeto, conforme ilustra a Figura 1.

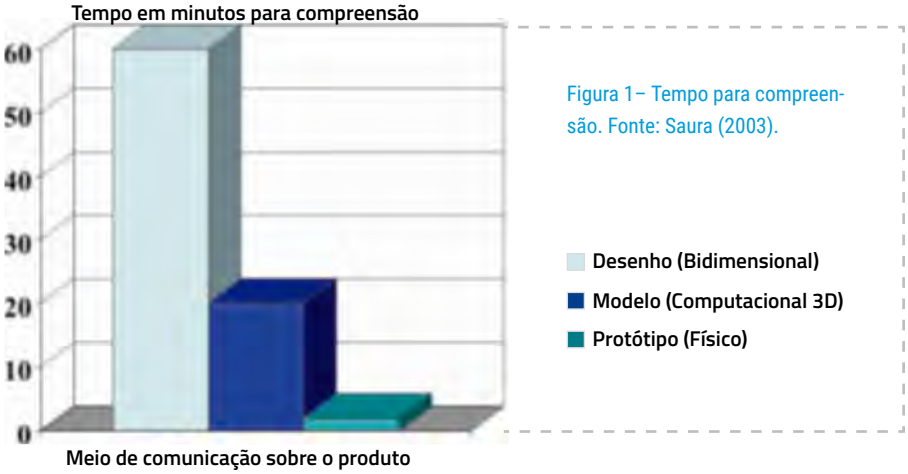


Figura 1– Tempo para compreensão. Fonte: Saura (2003).

Todas essas novas propostas de manufatura possibilitam aos designers um pensar diferente sobre a construção de modelos e protótipos; aquilo que outrora era custoso e moroso agora pode ser um diferencial competitivo trabalhado com mais evidência no processo de desenvolvimento de produtos.

Sendo assim, o processo de desenvolvimento de produto, que apresenta natureza multi e interdisciplinar, utiliza os modelos físicos tridimensionais para contribuir neste processo. Apesar do interesse crescente em simulações tridimensionais virtuais de produtos, obtidas com computação gráfica, algumas sensações, como segurança, manuseio, aroma e percepção formal, somente são compreendidas com modelos físicos tridimensionais, razão pela qual modelos e protótipos são elementos importantes para o desenvolvimento de produto (VOLPATO et al., 2007).

A criação de modelos sempre foi uma ferramenta essencial para obter a sensação real de um conceito. Os modelos podem ser simbólicos (como uma equação matemática) ou físicos. Um modelo físico lindamente detalhado pode receber muitos elogios, mas ser totalmente inadequado para a etapa de Design. Portanto, é importante o designer ser capaz de selecionar o modelo mais adequado e eficiente em termos de custo para a etapa de Design que está sendo realizada, a fim de não desperdiçar recursos preciosos em um modelo que não trará grande contribuição para o design final (MORRIS, 2010).

Até o presente, o termo Prototipagem Rápida é usado no sentido de abranger os processos de Impressão 3D (aditivos) aplicados tanto na confecção de protótipos como de peças finais. Já a Fabricação Digital agrupa os processos de impressão 3D, corte a laser e usinagem por (CNC), processos substrativos, aplicados também para a construção de protótipos e/ou peças finais, dependendo do tipo de material, escala e acabamento.

Recentemente, um novo termo utilizado é *Digital Materiality*, que em uma livre tradução pode ser nominado Materialidade Digital. Caracteriza-se a Materialidade Digital pela precisão, sendo um processo de concepção e construção controlado em todos os seus detalhes, resultando em uma "desmistificada" compreensão das tecnologias digitais e uma mais livre utilização do computador (WILLMANN et al., 2013; GRAMAZIO e KOHLER, 2008).

Portanto, compreende-se o termo Materialização Digital englobando os conceitos de Prototipagem Rápida, Fabricação Digital e *Digital Materiality,* assumindo que esta representa a Materialização de objetos físicos mediada por sistemas digitais.

A partir dessas potencialidades aqui apresentadas, pelas tecnologias da Materialização Digital em conjunto com a quantidade de informação que os modelos físicos desencadeiam no processo decisório, acredita-se que essas informações apresentam importância para os designers responsáveis pelo desenvolvimento de produtos, para que sejam capazes de selecionar, dentre as técnicas de materialização por meios digitais, a mais adequada a ser utilizada na fase de concepção do desenvolvimento de produto, não impedindo que estas técnicas sejam aplicadas em outras etapas do processo de projeto.

Levando-se em conta que o desenvolvimento de produtos é estratégico para empresas e que esse método deve ser sistemático para diminuir os riscos de investimentos ao longo das fases projetuais, organizar por meio de Protocolo a tomada de decisão estabelece um diferencial que pode se tornar fundamental em uma sequencia de ações.

A partir do exposto, apresentam-se as etapas que levaram ao desenvolvimento de um Protocolo de identificação e priorização de critérios para os processos de Materialização Digital a ser aplicado na fase de conceituação, com base em Medeiros (2016).

ISBN: 978-65-5550-141-4

2. ETAPAS DA PESQUISA

A seguir, são detalhados os procedimentos adotados em cada Etapa e os critérios de seleção amostral desta pesquisa.

- **ETAPA 1**

  A primeira etapa constou de uma revisão de literatura com uma abordagem mais generalista sobre o tema, procurando identificar a importância e técnicas da materialização mediada por meios digitais, processos de desenvolvimento de produto e a importância da materialização para designers.

- **ETAPA 2**

  Essa etapa se concentrou em análises das atividades da Materialização Digital partindo de uma leitura dos artigos e projetos de conclusão de curso realizados na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC -, que tiveram ações de construção de modelos e protótipos desenvolvidos no Laboratório Pronto3D, instalado no campus de Florianópolis.

  A partir da leitura e avaliação desta etapa, foram confrontados os critérios adotados para selecionar e aplicar as tecnologias de Materialização Digital, com informações obtidas na Etapa 1.

- **ETAPA 3**

  Esta fase da pesquisa destinou-se a reunir informações acerca dos procedimentos utilizados por equipes de pesquisadores que atuam no mesmo tema. Para realizar tal tarefa, foram selecionados docentes de instituições de ensino superior brasileiras, pertencentes a grupos devidamente cadastrados no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq.

  Foram, então, convidados os coordenadores de cada grupo de pesquisa identificado, realizando a primeira aproximação por e-mail para agendar a realização das entrevistas, efetuadas foi por meio de ferramentas de comunicação digitais, como vídeo conferência.

  De posse dos dados coletados, e em conjunto com informações da Etapa 1, foi elaborada a estrutura, bem como os itens do Protocolo, para selecionar os processos de Materialização Digital na fase conceitual de desenvolvimento de produtos. Tais elementos permitiram a organização da etapa seguinte.

- **ETAPA 4**

  O Protocolo desenvolvido na terceira etapa foi apresentado, via email, para um Grupo Focal, (designers de produto). Esse grupo avaliou o protocolo desenvolvido individualmente e posteriormente em uma reunião presencial pode trazer sua visão sobre os critérios utilizados na tomada de decisão para a construção de *mock-ups*, modelos e protótipos e os critérios expostos no Protocolo desenvolvido, bem como as respostas sugeridas pelo sistema.

3. ETAPA 1: REVISÃO DA LITERATURA

A seguir apresenta-se a revisão de literatura para este trabalho, destacando as finalidades dos protótipos, modelos e *mock-ups* bem como suas características construtivas. Posteriormente aborda-se as técnicas de manufatura de um laboratório de fabricação digital.

3.1. FINALIDADES E CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS E PROTÓTIPOS

O estudo de Verlinden e Horváth (2009) apresenta as opiniões e reflexões dos designers quando questionados sobre os fatores que apoiam a inclusão de protótipos físicos na prática. São eles: facilidade de compreensão física de um produto, necessidade de avaliar o projeto com os usuários finais e colaborar para a tomada de decisão dos líderes do projeto.

Segundo Youmans (2011), o designer deve, em primeiro lugar, sentir a necessidade de experimentar fisicamente a forma projetada, sendo que sua pesquisa sugere a existência de benefícios importantes quando realizada a materialização. O mesmo autor comenta que no seu estudo a interação física com materiais melhorou a originalidade e a funcionalidade do projeto desenvolvido. Dependendo do meio de Design, "sujar as mãos" com os seus materiais pode, portanto, ser um método barato de melhorar o pensamento criativo.

Para Ankarbranth e Mårtenson (2013), as exigências sobre os tipos de materialização diferem de acordo com o grau de progresso no desenvolvimento que o produto atingiu. As definições são frequentemente caracterizadas pela utilização prevista e pelas definições específicas para certas áreas, e isso contribui para um grande número de termos e definições de protótipos. O mesmo autor sugere classificações para os tipos de protótipos:

- **MODELO PROPORCIONAL:** Deve apoiar o intercâmbio rápido de comunicação sobre as propriedades do produto que se destina e permitir um rápido consenso sobre a ideia do produto. Ele deve mostrar a forma externa e as funções mais importantes.

- **MODELO ERGONÔMICO:** é destinado a apoiar a decisão rápida sobre viabilidade. Pode mostrar funções de certa importância.

- **MODELO STYLING:** tem a aparência exterior muito próxima ao produto real e deve ter excelente acabamento superficial. Pode permitir que clientes opinassem sobre o produto em um estágio inicial.

- **MODELO FUNCIONAL:** mostra algumas ou todas as funções importantes, mas não é necessário ter a forma exterior final. Montagem, manutenção e cinemática, são alguns dos testes que podem ser realizados.

- **PROTÓTIPO:** se assemelha ao produto final. Uma das diferenças em relação ao produto produzido em série pode ser, por exemplo, o processo de produção. Permite ainda vários testes e prepara para a introdução no mercado**.**

ISBN: 978-65-5550-141-4

Antes de se produzir um protótipo é importante definir a sua finalidade, a fim de ma-ximizar o valor com do uso e minimizar os recursos (Liou, 2008).

Liou (2008) afirma que o protótipo pode ser utilizado para resolver a incerteza nas fases iniciais do processo de desenvolvimento, validar a evolução e os requisitos dos usuários, servindo também para uma demonstração de marketing. Testes preliminares, mesmo com um protótipo rudimentar, ajudam a identificar potenciais problemas e reduzir o risco. A estratégia de criação de protótipos iniciais permite uma maior adaptação no início do processo, enquanto a flexibilidade ainda é elevada e as mudanças possuem baixo custo.

Com base no que foi apresentado, pode-se sintetizar as funções dos protótipos (Figura 2) em: Exploração, Verificação, Aprendizagem, Comunicação, Integração, Especificação de Processo e Marcos Temporais.

Figura 2 – Funções do Protótipo. Fonte: dos autores.

É fato que existe uma diferença conceitual nas palavras protótipo e modelo. Há, entretanto, uma nomenclatura que adjetiva os protótipos como sendo rudimentares ou de baixa fidelidade, comumente utilizada para caracterizar materializações outrora conhecidas como modelos ou *Mock-ups*, tema este apresentado a seguir.

3.2 MODELOS FÍSICOS

Para Rodgers, Brodhurst e Hepburn (2005), embora os modelos possam ser vistos apenas como um estágio de exploração de ideias dos produtos ou uma forma de Design conceitual, através deles pode-se apresentar os projetos aos clientes com materiais e acabamentos semelhantes. Os autores concluem que através dos modelos podemos visualizar os conceitos do Design, comunicar ideias, estimular a criatividade, auxiliar a compreensão, identificar dificuldades de produção e permitir modificação da forma.

Consideram-se, a partir deste momento, os seguintes tipos de modelos:

1. Volumétrico, cuja função é gerar visualização sem muitos detalhes;
2. Estrutural, que assegura a integração das peças;
3. Funcional, possibilitador da verificação do funcionamento de sistemas;
4. Ergonômico, em escala real, útil para testes com usuários;
5. E de Apresentação, com bom acabamento superficial, para comunicação a clientes.

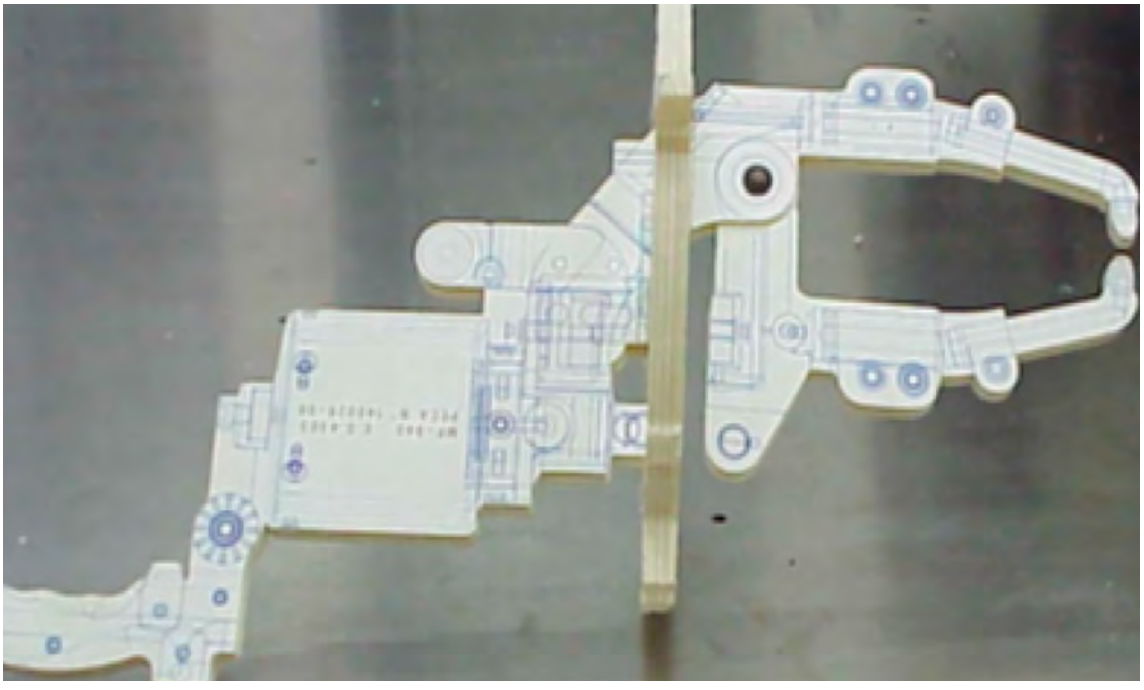
Os modelos possuem diversas funções no processo projetual, algumas sendo similares às do protótipo. Destacam-se também a diferença pelo tipo de material a ser utilizado e os níveis de acabamentos superficiais.

3.3 MOCK-UP

Mock-up é um modelo preliminar em tamanho natural, construído em material de baixo custo e de rápida modelagem. Não requer moldes ou ferramentas. Segundo Macarrão (2003), seu principal atributo é o curtíssimo prazo, em geral horas ou no máximo poucos dias, em que é fabricado. Na Figura 3, apresenta-se um exemplo de um *Mock-up* em cartolina para a representação física de uma pinça de solda. Este tipo de representação permite que sejam avaliados todos os movimentos da pinça em relação à carroceria de um veículo a ser soldada. Se a movimentação da pinça não for satisfatória, seu projeto poderá ser alterado antes que o veículo entre em produção.

O *Mock-up* tem sido bastaste usado para reprodução e avaliação de aspectos de produtos no processo de Design.

Figura 3 – Mock-up.
Fonte: Macarrão (2003).



Realizados em escala 1:1, os materiais mais aplicados na sua construção são: chapas finas de PS (poliestireno), papel, papelão, espumas de poliuretano, madeira, isopor e gesso, juntamente com lápis e caneta, usados para colocar informações verbais e pictóricas em sua superfície (FERROLI e LIBRELOTTO, 2012; ALCOFORADO, 2014).

3.4 MATERIALIZAÇÃO DIGITAL

Para compreender melhor a aplicação da Materialização Digital é interessante observar os elementos que compõem um FabLab (Laboratório de Fabricação Digital). Este tipo de laboratório é, geralmente, equipado com um conjunto de ferramentas flexíveis controladas por computador, que cobrem diversas escalas de tamanho e diferentes materiais, com o objetivo de construir "quase tudo". Isso inclui produtos tecnológicos geralmente vistos como limitados apenas para produção em massa ou protótipos. Embora os FabLabs ainda não compitam com a produção em massa e a economia de escala associada à fabricação de produtos amplamente distribuídos, eles já demonstraram potencial para capacitar indivíduos a criar dispositivos inteligentes para si mesmos. Esses dispositivos podem ser adaptados às necessidades locais ou pessoais de maneira que não são práticos ou econômicos usando a produção em massa (ORCIUOLI, 2012).

Acredita-se que equipamentos de Impressão 3D, corte a laser e fresadoras CNC colaboram para a personalização em massa e para a materialização, podendo, desta maneira, ser também utilizados por designers antecipadamente no processo projetual de desenvolvimento, materializando as primeiras alternativas de produto. Existe, aí, a possibilidade para produzir novos conceitos de objetos e solucionar problemas formais e construtivos antecipadamente.

3.4.1 MÉTODOS AUTOMATIZADOS

Com a finalidade de compreender a correta aplicação da Materialização Digital na fase de concepção de produtos, é necessário conhecer as possibilidades e limitações dos processos de produção automatizados e a suas aplicações.

Para Pupo (2009), os números de dimensões na produção automatizada existente são: duas dimensões (2D), duas dimensões e meia (2.5D) e três dimensões (3D), conforme apresenta a Figura 4.

Os sistemas que produzem objetos em duas dimensões (2D) são compostos pelas cortadoras que simplesmente cortam placas de diversos materiais e espessuras. Dois exemplos de sistemas de duas dimensões são: cortadoras de vinil (cortam papel ou outros materiais maleáveis e finos) e cortadoras a laser (podem cortar MDF, acrílico, cortiça, papelão etc.), em espessuras maiores. O processo que caracteriza o método de produção em duas dimensões e meia (2.5 D) trabalha com uma fresa de controle numérico com um *spindle* (eixo) que pode "esculpir" figuras planas e executar relevos, porém não é capaz de produzir modelos tridimensio-nais complexos (PUPO, 2009).

Já as fresas de três, quatro ou cinco eixos, ou um sistema de impressão 3D, são considerados, efetivamente, métodos tridimensionais. Esses equipamentos podem produzir, em alguns casos, protótipos ou peças em escala real 1:1, em três dimensões, sem a necessidade de montagem (PUPO, 2009).

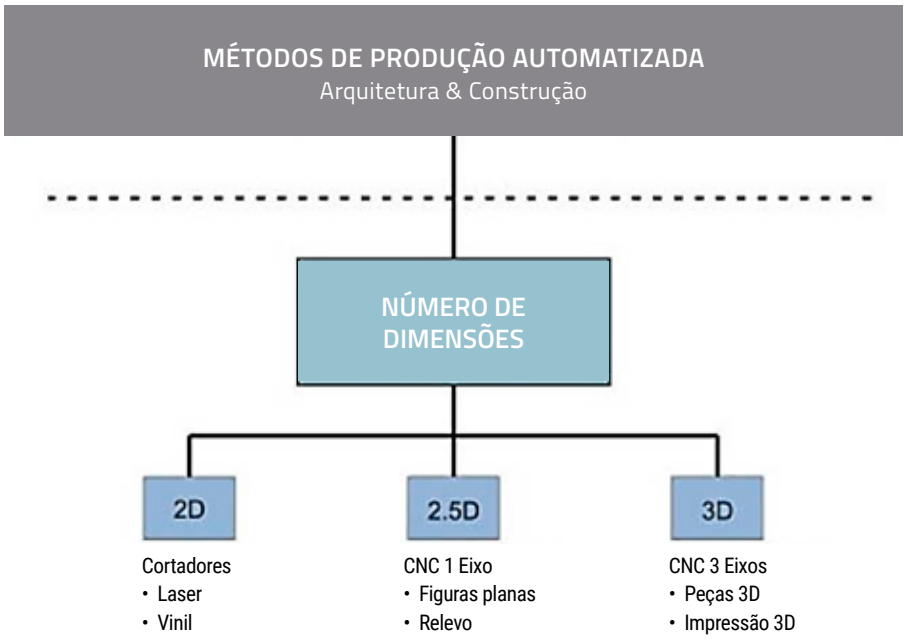


Figura 4- Número de dimensões dos métodos automatizados. Fonte: Pupo (2009).

4. ETAPA 02: ANÁLISE DE ATIVIDADES DE MATERIALIZAÇÃO DIGITAL

A seguir, são apresentados dois casos de aplicação dos processos de Materialização Digital, realizados no laboratório PRONTO 3D. Esse estudo contribuiu para identificar os critérios de seleção dos processos de Corte a Laser, Impressão 3D e Usinagem com CNC, permitindo que esta pesquisa gerasse regras decorrentes dessas aplicações.

Cada um destes relatos é apresentado a partir de cinco aspectos:

1° Contexto e Demanda;

2° Identificação dos critérios de seleção;

3° Descrição dos procedimentos técnicos aplicados;

4° Análise descritiva dos procedimentos;

5° E extração das regras de seleção dos processos de Materialização Digital.

4.1 ÓCULOS DE SOL

- **CONTEXTO E DEMANDA**

  A atividade foi executada na disciplina de Projeto de Produto (Projeto 21 - Baixa Complexidade), durante o segundo semestre de 2014, ofertada para o curso de Design da UFSC.

ISBN: 978-65-5550-141-4

A demanda de materialização dessa atividade educacional estava ligada a produção de um modelo de apresentação dos óculos de sol. Sua finalidade era avaliação dos aspectos formais e estéticos do objeto desenvolvido por cada equipe.

- **IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO**

Os critérios de aplicação da Materialização Digital, utilizados pelos professores da disciplina estavam associados, principalmente, com:

- Complexidade da forma;
- Material;
- Forma do objeto;
- Facilidade de acabamento superficial;
- Dimensão do produto;
- Tempo;
- Custo baixo.

Os processos selecionados foram corte a laser e impressão 3D. Quando se levou em conta a forma do objeto, os óculos com mais detalhes e relevos (linha esportiva) foram direcionados para a Impressão 3D, e aqueles óculos com superfície de menor complexidade formal, sem relevos, foram guiados para serem cortados a laser.

- **DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS APLICADOS**

No corte a laser foi utilizado o acrílico, por ser acessível aos alunos em termos de custo e fornecedor, e também por este material possuir caraterísticas físicas semelhantes àquele utilizado na produção de óculos de sol.

Na Figura 5, é possível ver os resultados dos projetos materializados via corte a laser.

Figura 5 – Óculos de sol cortados por laser. Fonte: PRONTO 3D.

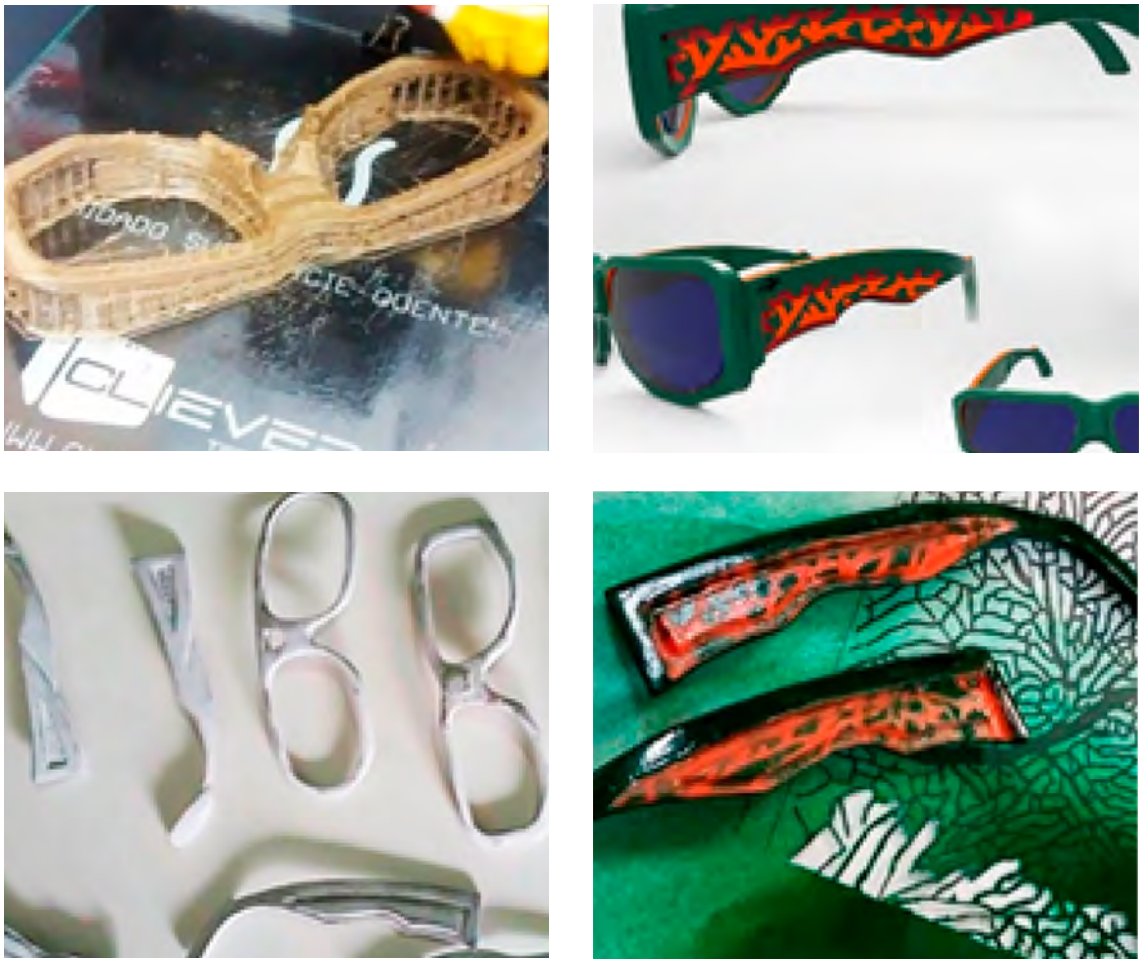
A decisão tomada quanto ao uso do corte a laser possibilitou a rápida construção de diversos modelos, otimizando o corte com o projeto de várias equipes. A dimensão do objeto não era maior que a área de corte da cortadora laser, o que possibilitou a construção em escala real. No pós-processamento, a atividade foi realizada com tranquilidade pelas equipes, pois a superfície do material não apresentava irregularidades, sendo também possível conformar o objeto depois de aquecido utilizando uma pistola de ar quente, gerando curvaturas necessárias às hastes dos óculos.

Para os óculos com desenho esportivo, possuindo curvaturas e geometrias de maior complexidade, foi aplicada a impressão 3D, conforme Figura 6. As dimensões dos modelos propostos dos óculos estavam dentro do envelope da impressora (volume útil de impressão) isso garantiu a materialização em escala real.

ANÁLISE DESCRITIVA DOS PROCEDIMENTOS

Ocorreu uma demanda maior de tempo para o pós-processamento, principalmente por ser necessário construir muitos suportes nas peças, para viabilizar a impressão no processo FDM. Este foi o processo disponibilizado aos alunos, principalmente pelo custo do filamento (material utilizado). O tempo destinado ao acabamento das peças impressas excedeu ao tempo utilizado pelas equipes que optaram pelo corte.

Figura 6– Óculos obtidos por Impressão 3D. Fonte: PRONTO 3D.



ISBN: 978-65-5550-141-4

- **EXTRAÇÃO DAS REGRAS**

Com as ações de materialização dos óculos, identificaram-se algumas regras para aplicar na seleção dos processos de fabricação digital:

Se a forma do objeto for de baixa complexidade e houver pouco tempo de execução, deve-se utilizar o corte a laser;

Se as dimensões do objeto estiverem dentro da área útil da cortadora e for desejável um excelente acabamento superficial e houver pouco tempo para execução da materialização, deve-se utilizar a cortadora laser e o acrílico como material;

Se as dimensões do objeto estiverem dentro do envelope da impressora 3D e o objeto a ser materializado for de alta complexidade (curvas e relevos), deve-se utilizar a impressão 3D;

Se for utilizar a impressão 3D e houver pouco recurso financeiro, deve-se optar pelo processo FDM;

Se o acabamento superficial for considerado Ruim, Regular ou Bom, pode-se utilizar o processo FDM.

4.2 TORNEIRA

- **CONTEXTO E DEMANDA**

Esta atividade foi realizada na disciplina de Projeto de Produto, da Universidade Federal de Santa Catarina, durante o primeiro semestre de 2015. Os alunos tiveram como tema de projeto o desenvolvimento de torneiras. A demanda foi a produção de um modelo de apresentação na escala real da alternativa final.

- **IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO**

Os critérios para seleção da técnica a ser aplicada na construção do modelo foram:

- Complexidade da forma;
- Custo baixo;
- E dimensão do produto.

- **DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS APLICADOS**

A pesquisa selecionou a produção do modelo de apenas uma das equipes, devido à complexidade das ações realizadas. O processo escolhido para aplicar a Materialização Digital foi o de impressão 3D (FDM). As dimensões dos equipamentos disponíveis no laboratório eram um envelope de 150mm no eixo X, 150mm no eixo Y e 150mm no eixo Z. Com base nesses dois limitantes (impressão em FDM e dimensões do equipamento), a equipe teve que preparar os arquivos digitais

para a impressão. Como as dimensões das torneiras superavam as limitações do equipamento, a equipe fracionou o objeto em partes menores, possíveis de serem impressas, para posteriormente serem unidas formando o produto em escala real (Figura 7).

Figura 7 – Peças da torneira impressas e montadas. Fonte: PRONTO 3D.

- **ANÁLISE DESCRITIVA DOS PROCEDIMENTOS**

A equipe teve que realizar, no pós-processamento, a colagem das peças e o acabamento superficial com massa plástica e pintura. O resultado final da materialização serviu tanto para uma análise ergonômica simples, simulando a pega, quanto para a apresentação do produto final.

- **EXTRAÇÃO DAS REGRAS**

Com a análise dessa atividade projetual e aplicação da materialização no projeto de torneira, pôde-se obter as seguintes regras:

- Se for testar o objeto com usuários, deve-se usar escala real do produto;
- Se for um objeto de alta complexidade e medir até três vezes mais que o envelope (área de impressão), deve-se seccioná-lo em partes menores.
- Se for um objeto de alta complexidade, deve-se utilizar a Impressão 3D; e
- Se estiver sendo materializado um objeto de alta complexidade e houver pouco recurso financeiro, deve-se utilizar a Impressão 3D com o processo FDM.

Além dessas duas situações projetuais, foram analisadas outras seis, onde houve a aplicação de técnicas de Materialização Digital, estando todas elas detalhadamente descritas em Medeiros (2016).

5. ETAPA 3: CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS USADOS POR PESQUISADORES

A partir da análise das ações de Materialização Digital realizadas no PRONTO 3D, foi possível extrair os critérios passíveis de uso no desenvolvimento do Protocolo. Esses elementos são a base da elaboração dos temas a serem tratados nas entrevistas aplicadas aos participantes dos grupos de pesquisa brasileiros na área de Desenho Industrial e Arquitetura e que realizam pesquisas e ações no campo da Fabricação Digital e Prototipagem. Na Figura 8, é apresentada a localização geográfica dos participantes desta etapa (três da região nordeste, oito do sudeste e três da região sul do país).

Figura 8 – Localização dos entrevistados. Fonte: dos Autores.

As entrevistas ocorreram por vídeo conferência e sua duração variou entre 40 minutos e uma hora. Os entrevistados foram convidados a observar o relato das ações de Materialização Digital e, ao final de cada caso, opinaram sobre os resultados e critérios adotados.

A partir das ações de Materialização Digital e das opiniões dos pesquisadores foi desenvolvido o Protocolo *online,* acessível em www.leopardpro.com.br E descrito a seguir.

- **INTERFACE DO PROTOCOLO**

Na Figura 9, apresenta-se a proposta da primeira entrada de dados do Protocolo, o local que o usuário deve fornecer algumas informações que direcionaram as suas respostas (as dimensões do objeto e dos equipamentos disponíveis). Foi inserido um botão para adicionar mais equipamentos caso as dimensões de trabalho sejam diferentes.

Figura 9 – Interface da Entrada de Dados 1. Fonte: dos Autores.

Na sequencia, o usuário deve selecionar as características do seu produto. Foi desenvolvida uma imagem pictórica que procura auxiliar na definição dessas características formais (Figura 10).

As últimas inserções de dados no Protocolo foram divididas entre Finalidade da Materialização, Tempo disponível e Investimento financeiro. Ao termino da seleção, o usuário clica no botão enviar, e sua resposta será apresentada. Ressalta-se que na finalidade da materialização pode-se tanto selecionar apenas uma, quanto fazer combinações entre elas (Figura 11).

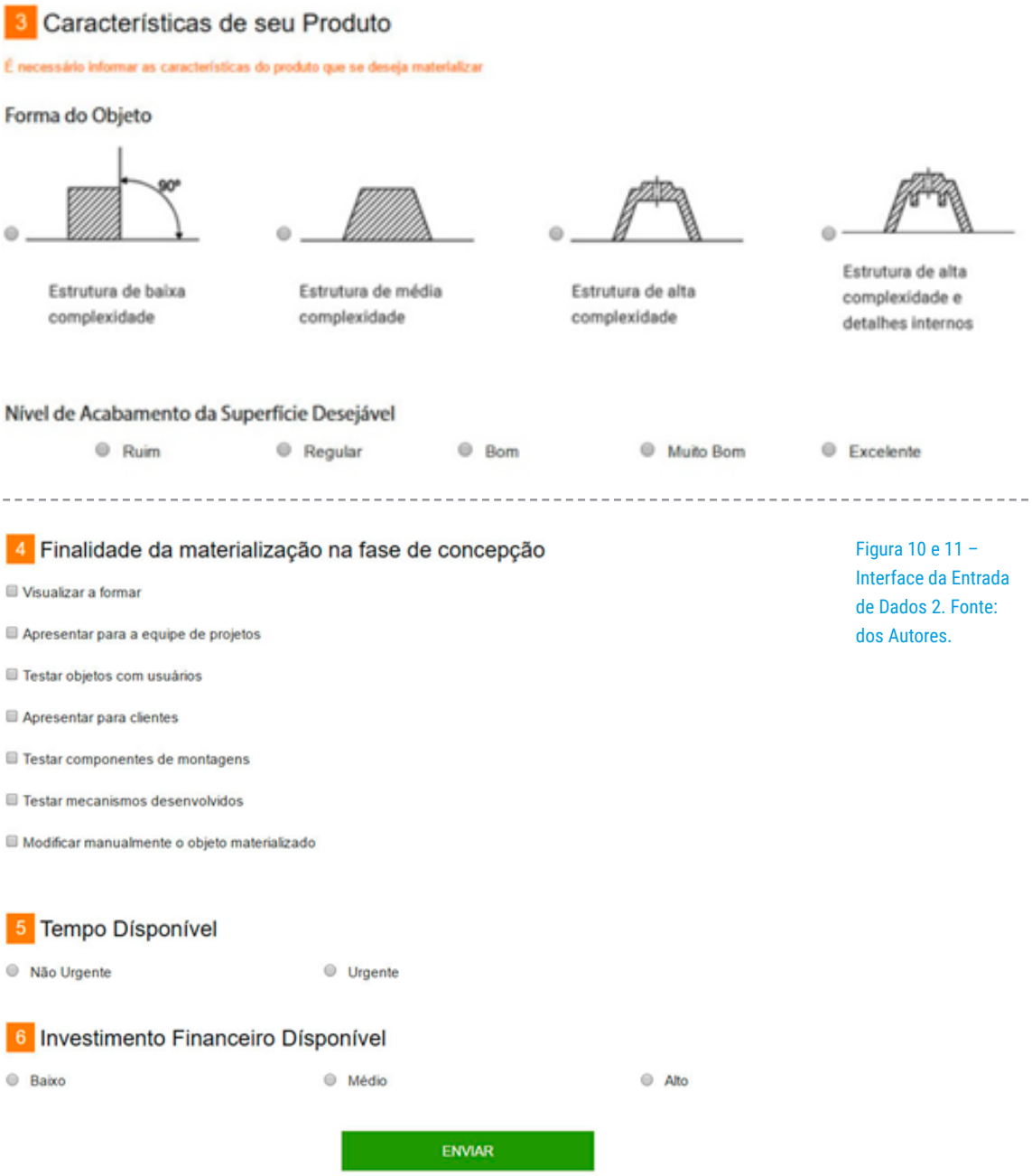


Figura 10 e 11 – Interface da Entrada de Dados 2. Fonte: dos Autores.

6. ETAPA 04: AVALIAÇÃO DO PROTOCOLO

Para verificar o funcionamento do protocolo desenvolvido e das respostas geradas pelo sistema, foi aplicado um grupo focal com nove designers de produto, todos atuando a mais de seis anos com desenvolvimento de produtos.

A atividade foi desenvolvida em dois momentos. Inicialmente, o procedimento proposto englobou dois dos oito produtos que integraram a Etapa 1 da pesquisa. Solicitou-se que cada designer avaliasse a problemática e defi-nisse os critérios que utilizaria para a tomada de decisão.

Foi solicitado que, após a realização desta primeira atividade, os participantes utilizassem o site *leopardpro.com.br* para resolverem a mesma problemática dos dois projetos apresentados. As anotações dos critérios utilizados por eles e sugestões obtidas serviram de ponto de partida para a realização do segundo momento: o grupo focal.

Esta fase da pesquisa teve como objetivo avaliar o Protocolo desenvolvido e estruturado no site *leopardpro.com.br*. Resultados desta pesquisa, emergidos da literatura científica e da experiência de docentes, foram confrontados com o olhar mercadológico dos profissionais da área de projeto de produtos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo buscou descrever as etapas de uma pesquisa que teve por finalidade identificar e hierarquizar os critérios necessários e prioritários na seleção das tecnologias e materiais apropriados para a construção de modelos físicos na etapa de conceituação do processo de desenvolvimento de produto.

Para isso, foi realizada uma análise dos tipos de materialização e sua aplicabilidade nas fases de desenvolvimento de produtos. A partir dos resultados dessa revisão da literatura, foram implementadas atividades de materialização no laboratório Pronto3D da UFSC, entrevistas com pesquisadores nacionais que estudam o mesmo tema, e foi desenvolvido um Protocolo para auxiliar designers de produto na tomada de decisão relativa à aplicação da Materialização Digital na fase de concepção do desenvolvimento de produto. Esse Protocolo passou por uma avaliação da sua funcionalidade a partir dos critérios adotados e das sugestões oferecidas ao usuário.

Como resultado, este estudo reforça que o momento de construção de objetos físicos oferece respostas projetuais aos profissionais da área de Design. Mais que isso, quando aplicada a Materialização Digital na fase de concepção de produtos, selecionando os critérios corretos, mais rápida será a localização de problemas formais, ergonômicos e funcionais do produto, com um custo adequado à situação.

Esta pesquisa contribui, portanto, com designers de produto, facilitando a tomada de decisão para aplicar a Materialização Digital, o que é aqui viabilizado na medida em que foram identificados diversos critérios importantes para a tomada de decisão.

Ressalta-se, ainda, que a materialização de um objeto constituído de diversas partes pode ser realizada aplicando técnicas diferentes, sendo esta decisão a ser tomada pelo designer, separando em partes ou construir de maneira única. Deste modo, o sistema apresentado em *leopardpro.com.br* pode ser usado uma única vez para o produto como um todo, ou em etapas específicas para cada uma de suas partes.

REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, Manoel Guedes. **Metodologia de Design Mediada Por Protótipos.** Baurú: UNESP 2014**.** 460 p. Tese (Doutorado)- Programa de pós-graduação em Design Universidade Estadual Paulista, Bauru 2014.

ALVARADO, R.G; BRUSCATO, U.M. **Evaluación de Experiencias de Fabricación Digital en la Enseñanza de Arquitectura**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ICBL, 3.,2009, Florianópolis. **Anais.**Florianópolis: UFSC, 2009.

ANKARBRANTH, C., MÅRTENSON, M., **Strategy for using Prototypes in the Product Development Process.** *Master of Science Thesis.*Department of Technology Management and Economics. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Gothenburg, Sweden, 2013.

ARAYICI, Yusuf. An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment. **Automation in Construction**, v. 16, n. 6, p. 816-829, 2007.

BUSWELL, Richard A. et al. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 224-231, 2007.

CARNIEL, Denize; AYMONE, José Luís Farinatti. Design Virtual de Produtos através de um Aplicativo de Banco de Dados. **Design & Tecnologia**, v. 1, n. 01, p. 113-125, 2010.

CHANDRASEGARAN, Senthil K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. **Computer-aided design**, v. 45, n. 2, p. 204-228, 2013.

COSTA-NETO, Waldo Luis et al. Tecnologias de Fabricação Digital para o Desenvolvimento de Artefatos Responsivos. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 3, p. 65-69, 2015.

FERREIRA, J. C., SANTOS, E., MADUREIRA, H., & Castro, J. (2006). Integration of VP/RP/RT/RE/RM for rapid product and process development. **Rapid Prototyping Journal,** 12(1), 18-25.

FERROLI, Paulo Cesar Machado; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Uso de modelos e protótipos para auxílio na análise da sustentabilidade no Design de Produtos. **Revista GEPROS**, v. 7, n. 3, p. 107, 2012.

GERBER, Elizabeth; CARROLL, Maureen. The psychological experience of prototyping. **Design studies**, v. 33, n. 1, p. 64-84, 2012.

GORNI, A. A. Prototipagem rápida: o que é, quem faz e por que utilizá-la. **Revista do Plástico Industrial.** São Paulo: Aranda Editora. Ano III, N° 31, março, p. 230-239, 2001.

GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias. **Digital materiality in architecture**. Baden: Lars Müller Publishers, 2008.

LAN, Hongbo. Web-based rapid prototyping and manufacturing systems: a review. **Computers in Industry**, v. 60, n. 9, p. 643-656, 2009.

LIOU, F. W. **Rapid Prototyping and Engineering Applicaons.** 1st Edi on. New York: CRC Press Taylor and Francis Group, 2008.

MACARRÃO, Leonardo Junior. **Importância do Uso de Mock-Ups e de Técnicas de Prototipagem Rápida e Ferramental Rápido no Processo de Desenvolvimento de Produto na Indústria Automotiva.** São Paulo, USP 2003**.** Dissertação (mestrado profissional engenharia automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2003.

MAROPOULOS, Paul G.; CEGLAREK, Darek. Design verification and validation in product lifecycle. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 59, n. 2, p. 740-759, 2010.

MEDEIROS, Ivan Luiz et al. Prototipagem Rápida e Design de Produto Assistivo. **Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 4, p. 2468-2478, 2014.

MEDEIROS, Ivan Luiz de. **A materialização digital e sua sistematização no processo de desenvolvimento de produtos.** 2016.197 f. Tese (Doutorado em Design) Programa de Pós-graduação em Design. Universidade Federal de Santa Catarina, SC.

MORRIS, R. **Fundamentos do design de produto** – Porto Alegre. Bookman, 2010.

ORCIUOLI, A. Marcenaria Digital: design e fabricação sustentável. **Anais** Congresso SIGRADI - Fortaleza 2012.

OSTERHUIS, K. **File to Factory and Real Time Behavior in ONLArchitecture**. 2005. Disponível em: Http://www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=457

PARK, YoungWon; FUJIMOTO, Takahiro; HONG, Paul. Product architecture, organizational capabilities and IT integration for competitive advantage.**International Journal of Information Management**, v. 32, n. 5, p. 479-488, 2012.

PUPO, R. T. **Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil:** definições e estado da arte. Campinas: UNICAMP 2009. 259 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, 2009.

_____. **A Prototipagem Rápida e a Fabricação Digital:** um novo desafio para o ensino de arquitetura. Campinas: [s.n.], 2011.

RIGHI, T. e CELANI, G. Tecnologias de displays interativos no processo de projeto arquitetônico. **Anais** Congresso SIGRADI – Cuba 2008.

RODGERS, Paul; BRODHURST, Libby; HEPBURN, Duncan (Ed.). Crossing Design Boundaries: Proceedings of the 3rd Engineering & Product Design **Education International Conference**, 15-16 September 2005, Edinburgh, UK. CRC Press, 2005

SAURA, Carlos Eduardo. **Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 2003.

SOKOVIC, M.; KOPAC, J. RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 175, n. 1, p. 398-403, 2006.

SOUZA, Adriano Fagali de; COELHO, Reginaldo Teixeira. Tecnologia CAD/CAM-Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. **XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção-Ouro Preto, MG**, 2003.

VAYRE, Benjamin; VIGNAT, Frédéric; VILLENEUVE, François. Designing for additive manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 3, p. 632-637, 2012.

VERLINDEN, Jouke; HORVÁTH, Imre. Analyzing opportunities for using interactive augmented prototyping in design practice. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 23, n. 03, p. 289-303, 2009.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida:** Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

WILLMANN, Jan et al. Digital by material. In: **Rob| Arch 2012**. Springer Vienna, 2013. p. 12-27.

YOUMANS, Robert J. The effects of physical prototyping and group work on the reduction of design fixation. **Design Studies**, v. 32, n. 2, p. 115-138, 2011.

ZENG, Yong; HORVÁTH, Imre. Fundamentals of next generation CAD/E systems. **Computer-Aided Design**, v. 44, n. 10, p. 875-878, 2012.