

## **Introdução da impressão 3D em experimentos voltados ao ensino de projetos de design**

**Natal A. Chicca Junior<sup>1</sup>, Leonardo G. Castillo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto UFC Virtual – Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Fortaleza – CE – Brazil

<sup>2</sup>Departamento de Design – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Recife – PE – Brazil

natal@virtual.ufc.br, leonardo.a.gomez@gmail.com

**Abstract.** *The evolution of technology leads to changes in the manufacturing process of products whose impact changes the industries and the academic sector as well. Education needs to seek ways of integrating technological use into existing disciplines. In this paper, two academic exercises will be presented that propose to introduce 3D printing within the classroom applied in design projects. The practical part details the methodology applied in relation to the use of tool, as well as presents and discusses the results achieved, besides some difficulties encountered, at the end of the experiments. In one of the conclusions, 3D printing proved to be more than just a tool of representation, but part of the thinking process of the new practices of executing a design project.*

**Keywords:** *3D printing. Design process. Design teaching.*

**Resumo.** *A evolução da tecnologia acarreta em mudanças no processo de fabricação de produtos cujo impacto repercute nas indústrias como também no setor acadêmico. O ensino precisa buscar formas de integrar o uso tecnológico dentro das disciplinas já existentes. Neste artigo, serão apresentadas duas atividades que se propõem a introduzir a impressão 3D dentro da sala de aula aplicada em projetos de design. A parte prática detalha a metodologia aplicada em relação ao uso de ferramenta, assim como também apresenta e discute os resultados alcançados, além de algumas dificuldades encontradas, ao final dos experimentos. Em uma das conclusões, a impressão 3D demonstrou ser mais do que apenas um meio de representação, mas parte do raciocínio das novas práticas de se executar um projeto de design.*

**Palavras-Chaves:** *Impressão 3D. Processo projetual. Ensino de design.*

### **1. Introdução**

A tecnologia evolui a cada dia, em uma grande velocidade. Na fabricação de produtos, a evolução tecnológica permite obter, por exemplo, uma maior complexidade geométrica, melhor qualidade de acabamento que, por sua vez, ocasiona em um número crescente de exigências impostas por um mercado cada vez mais competitivo resultando em ciclos de produção mais curtos e maior durabilidade de componentes. Tais fatores, levaram as empresas a reverem os métodos utilizados para o desenvolvimento de projetos e na

fabricação de protótipos. O setor acadêmico, assim como a indústria, também sofre influências as quais, segundo Oliveira (2008), impulsionam a busca por novas ferramentas para as atividades de pesquisa e desenvolvimento gerando novas demandas para o aprimoramento tecnológico ou surgimento de novas aplicações.

O aprendizado de novas técnicas e ferramentas influenciam diretamente a forma como se executa e até mesmo raciocina o projeto. A evolução do processo informatizado está sendo responsável por buscar diferentes abordagens no processo projetual. Por esse motivo, o ensino e todo o processo de aprendizagem também precisam se tornar mais dinâmicos e evoluírem. Neste sentido, Pupo (2008) considera o currículo ideal aquele que respeita a importância dos métodos de ensino de projeto, mas que também traz a tecnologia do computador gradualmente para dentro de cursos já existentes como um catalisador na mudança de perspectivas nas áreas relevantes da metodologia e teoria de projeto. Desta forma, um dos desafios da universidade é conseguir atualizar o ensino trazendo os recursos de novas tecnologias para dentro das salas de aula.

Em meio a mudanças decorrentes do aprimoramento tecnológico, Barbosa (2009) explica que o uso de tecnologias tais como CAE (Engenharia Assistida por Computador), CAD (Desenho Assistido por Computador) e CAM (Manufatura Assistida por Computador), aplicadas em disciplinas de desenvolvimento de produtos, nos cursos de design, podem elevar os níveis de interesse e de criatividade nos acadêmicos, além de diminuir a distância entre as linguagens projetuais utilizadas no mercado de trabalho em relação àquelas utilizadas no ensino. A possibilidade de fabricar um protótipo físico, a partir de um trabalho acadêmico utilizando a estrutura da própria universidade, não apenas transforma projetos em realidade, como também enriquece as discussões metodológicas e facilita a compreensão do aluno de todo o processo, tornando-o mais reflexivo e responsável pelas suas ações projetuais (BATISTELLO *et al.*, 2015).

Entretanto, para implementar a impressora 3D como uma linguagem de design entre os alunos, é preciso estimular exercícios para que eles consigam um domínio cada vez maior e, conseqüentemente, a capacidade de articular os projetos sem ficar restrito a dificuldades referentes ao uso da ferramenta. O presente artigo traz duas atividades realizadas, dentro de uma disciplina de projeto, como exemplos de estudo de caso voltados na introdução da impressão 3D como ferramenta auxiliar no ensino de disciplinas de projeto. Apesar do foco da disciplina não ser a impressora 3D em si, o artigo tem como objetivo demonstrar de que forma ela foi inserida nas atividades executadas em sala de aula e discutir os resultados dos experimentos. As atividades que serão apresentadas neste artigo fazem parte de uma pesquisa mais ampla desenvolvida como tese de doutoramento sobre a integração da impressora 3D no processo ensino-aprendizagem da prática projetual de design.

## **2. A impressão 3D em projetos de design**

A materialização de um produto, através da impressora 3D, traz benefícios ao processo projetual, tais como a prevenção de erros, ainda na etapa de concepção, que talvez não possam ser identificados na tela do computador ou na superfície do papel. Barbosa (2009) explica que os modelos, que antes eram apenas visualizados através de representações bidimensionais, agora podem ser interagidos, estudados e avaliados pois o equipamento de prototipagem rápida reproduz as formas do objeto com grande fidelidade dimensional. Para Florio *et al.* (2007) e Pupo & Celani (2009), a possibilidade de gerar modelos físicos

rapidamente torna mais fácil e imediata a compreensão das formas e espaços, proporcionando um maior êxito na comunicação, estabelecendo proporcionalidades, perspectivas e funcionalidades, que talvez não pudessem ser evidenciadas através da representação bidimensional, cujas imagens podem enganar os sentidos e provocar erros de avaliação. Sendo assim, os modelos físicos e protótipos rápidos, segundo Florio *et al.* (2007), ajudam tanto os estudantes quanto os profissionais a experimentarem a percepção visual e tátil do volume, reconhecer elementos e suas características, inter-relações e sequências espaciais. O contato físico permite sentir, analisar e julgar aspectos que a visão não permite.

A impressão 3D permite retomar o uso do protótipo físico, conforme era realizado no processo de modelagem tradicional. Lara & Moura (2008) apontam como vantagem em utilizar o protótipo físico pois ele permite revisões, ao longo de todo o projeto, em busca do aprimoramento da ideia. Barbosa (2009) afirma que, no caso de dúvidas, durante o projeto, novos protótipos são fabricados. Se o protótipo funciona conforme o desejado, então se avança para uma outra etapa no projeto, caso contrário, volta-se ao estágio anterior, em um ciclo constante de testes e refinamentos. A característica deste processo, conforme apontada por Baxter (2000) e Lara & Moura (2008) é que as atividades de projeto não seguem uma linha reta, mas elas são marcadas por avanços e retornos. Este processo cíclico melhora o produto, pois, a cada ciclo, permite enxergar certas oportunidades e problemas que tenham passado despercebidos e se apresenta como uma vantagem em comum para as áreas industrial e acadêmica. Além disso, ele também permite o aprimoramento através do conceito de aprender fazendo o que, segundo Sass & Oxman (2006), representa um atributo importante da aprendizagem no design.

Atualmente, as pesquisas acadêmicas, de acordo com Rocha *et al.* (2016), passam a discutir e experimentar as ferramentas digitais, não como meros instrumentos técnicos, mas como meios capazes de promover ideias, criatividade e a inventividade nas instituições de ensino. Barbosa (2009) esclarece que objetivo de inserir e difundir a prototipagem rápida, nos cursos de design, não visa criar profissionais tecnicistas, mas explorar o uso e conhecimento técnico a favor da arte da criação. A introdução e integração das ferramentas digitais permite uma evolução gradual do desenvolvimento de projeto e pode auxiliar no pensamento criativo relacionado à viabilidade das ideias e conceitos. Com isso, tecnologias tais como a impressão 3D amplia o potencial de conhecimento nas disciplinas de projeto, nos cursos de design, estimulando o espírito inventivo, incentivando a experimentar o erro e o acerto e, por fim, a conscientização no aluno da importância do pensar para projetar. Para Rocha *et al.* (2016), as ferramentas de fabricação digitais estão se tornando mais do que simples ferramentas de representação, elas são o meio cognitivo no processo de aprendizagem. Sendo assim, o apoio ferramental transcende e interfere diretamente no seu modo de pensar e de interagir no ato de projetar.

A seguir, serão detalhados os estudos de caso que demonstram as tentativas em introduzir a tecnologia de impressão 3D nas práticas de ensino voltadas às disciplinas de projeto de produto.

### **3. Estudos de caso**

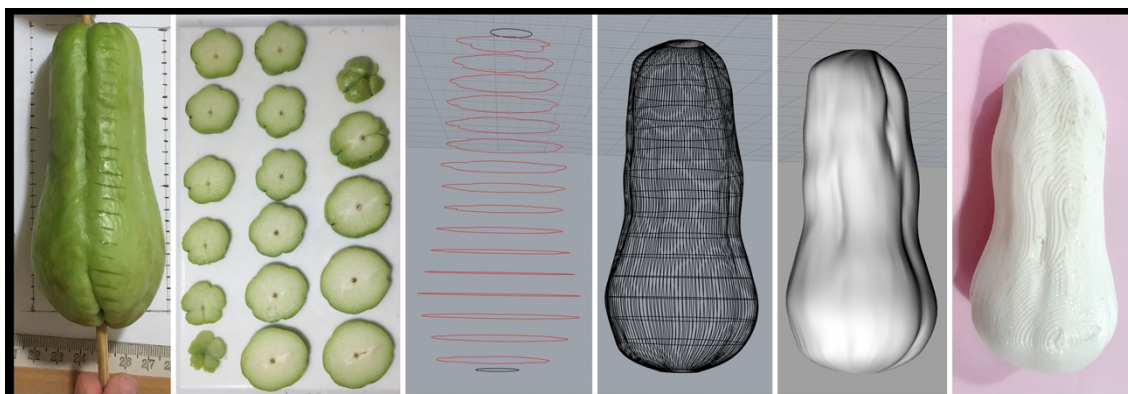
As duas atividades, descritas neste artigo, foram realizadas em uma disciplina de graduação, como parte de uma pesquisa mais ampla de doutoramento, a qual utilizou impressão 3D no desenvolvimento de projetos. Os modelos de impressora utilizadas nos

experimentos foram BB e AiP, ambas da empresa Sethi3D, baseadas nos modelos *open source* que utilizam o método de impressão 3D por FDM (*Fused Deposition Modeling* - modelagem por depósito de material fundido). O filamento utilizado nos dois modelos é de 1,75mm, e o bico extrusor possui saída de 0,4mm. A área de impressão da BB é de 400mm x 400mm x 400mm e da AiP é de 220mm x 210mm x 200mm. Apesar do modelo AiP contar com mesa aquecida, permitindo o uso de filamento em ABS, todos os experimentos foram realizados apenas com PLA. A vantagem em utilizar a mesa aquecida, após algumas regulagens, foi deixar de utilizar cola na base para realizar as impressões. Para o gerenciamento de impressão e o fatiamento dos arquivos, foram utilizados os *softwares* Repetier e Slicer, respectivamente. A disciplina foi ofertada no segundo semestre de 2016, para os alunos do curso de Bacharelado em Design na Universidade Federal de Pernambuco. O processo de ensino e aprendizagem adotado nas aulas adotou o modelo no qual os alunos aprendem a projetar através da própria execução de projetos, baseado em Bonsiepe *et al.* (1984). Com isso, apesar de contar com uma introdução teórica em algumas aulas, ela foi caracterizada, em boa parte de seu conteúdo, por atividades práticas. Os professores, com base no modelo guia de Bonsiepe *et al.* (1984), acompanharam de perto o progresso de cada aluno ao longo das atividades, auxiliando com possíveis dúvidas e/ ou dificuldades, mas ao mesmo tempo proporcionando uma maior liberdade aos alunos para desenvolverem os seus projetos. As duas atividades serão explicadas de forma mais detalhada a seguir.

### 3.1. Atividade 1

Em virtude dos alunos não terem experiências prévias com a impressora 3D, a atividade introdutória teve como objetivo apresentar os fundamentos e conhecer o funcionamento da ferramenta. Os alunos foram divididos em grupos de até 3 pessoas e tiveram que escolher uma fruta ou legume para o experimento. Todas as etapas do experimento foram documentadas, sendo necessário apresentar um relatório após a conclusão da atividade.

Ao escolher a fruta ou legume para o experimento, o próximo passo era fotografar a sua vista lateral. Depois, foi preciso fazer marcações para cortar o alimento em fatias espaçadas da forma mais homogênea possível. Com a demarcação feita, é realizado o corte e separação dos pedaços para o próximo passo o qual consiste em fotografar ou digitalizar (com a ajuda de um *scanner*) todas as fatias para ter uma versão digital de cada uma delas, conforme mostrado na figura 1. Nesta primeira etapa, os alunos passaram por um processo de desconstrução do alimento real, o transformando em diversas fatias. Essas fatias serviram de molde para o redesenho das camadas que deu o início do processo de reconstrução do elemento real em meio digital. Para isso, foi necessário a ajuda de um *software* gráfico, para redesenhar as fatias e obter o contorno exato de cada uma delas. Logo depois, os contornos foram inseridos em um *software* de modelagem 3D, espaçando-os com as mesmas distâncias do objeto real original para reconstruir a forma digitalmente através de suas camadas digitais.



**Figura 1. Alimento real fatiado, modelo digital formado com as camadas redesenhadas e modelo final impresso. (Fonte: elaborada pelo autor a partir do trabalho dos alunos).**

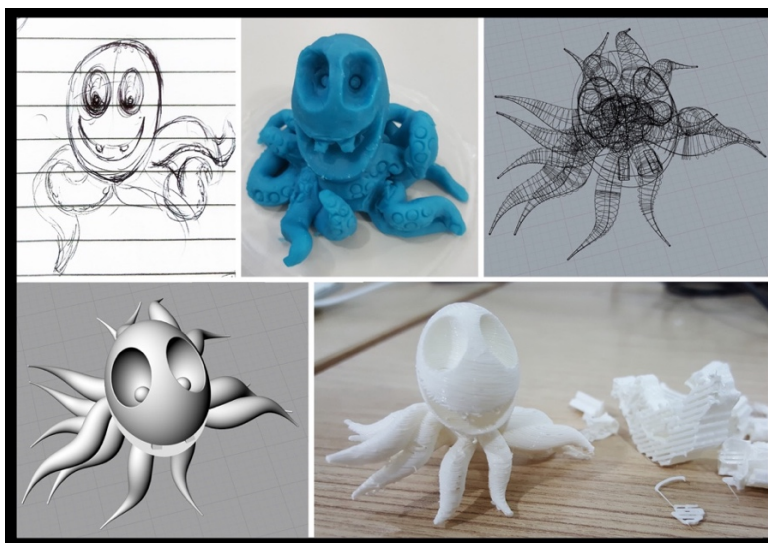
A segunda parte do exercício deu continuidade ao processo de reconstituição da forma original em meio digital. O modelo tridimensional resultante representa uma cópia muito próxima feita através do processo de fatiamento e reconstrução a partir das camadas do alimento original e pode ser visto na figura 1. Por fim, foi preciso levar o arquivo para o *software* de impressão 3D para realizar o processo de materialização do modelo digital em um objeto físico. Ou seja, a atividade foi planejada para apresentar aos alunos o processo de impressão 3D através da metáfora de desconstrução e posterior materialização de um objeto. Assim como a impressora 3D realiza o fatiamento de um arquivo digital e posteriormente imprime camada por camada, na síntese aditiva, os alunos replicaram o processo, de modo semelhante, ao fatiar o alimento para depois redesenhar cada fatia digitalmente e reconstruir a sua forma em um *software* de modelagem 3D. Cada etapa do processo pode ser observada na figura 1. No final da atividade, os modelos físicos gerados puderam ser comparados com os alimentos originais fotografados para verificar a proximidade de suas formas.

A proposta do exercício foi aproximar os alunos, em seu primeiro contato, com a ferramenta de impressão 3D, detalhando de forma lúdica todo o processo de fabricação aditiva. A atividade proporcionou uma maneira deles replicarem os passos realizados pela impressora, além da oportunidade de utilizar o processo automatizado de materialização de um objeto a partir de um arquivo digital. Por ser o primeiro contato com a impressora 3D, os alunos ainda não tiveram um papel muito ativo em relação aos ajustes de configuração e controle da impressão de seus arquivos. O processo utilizado foi semelhante a um birô de serviços no qual os alunos forneciam seus arquivos e na aula da outra semana já encontravam os seus modelos devidamente impressos.

A atividade introdutória conseguiu mostrar aos alunos o potencial da impressora 3D em representar com eficiência e com alto grau de qualidade um modelo composto por formas complexas. Ao tomar como exemplo o chuchu da figura 1, é difícil perceber os detalhes de sua forma e conseguir compreender o seu volume apenas através das representações bidimensionais. A impressão 3D permite fazer uma leitura diferenciada da forma, escala e volume através do modelo físico gerado, sendo possível avaliar e, se preciso, realizar alterações o quanto for necessário até alcançar o resultado esperado em um processo iterativo de materialização de ideias. Este processo de retroalimentação por *feedback* foi planejado para ser trabalhado a partir da atividade 2 que será detalhada a seguir.

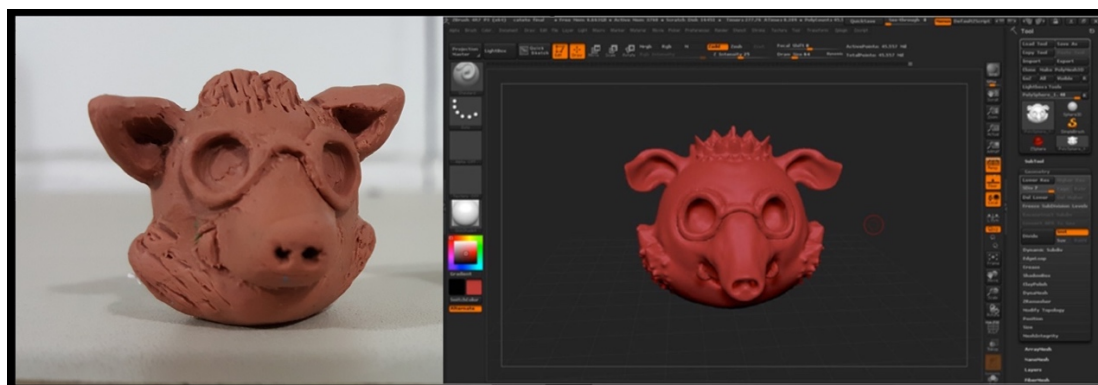
### 3.2. Atividade 2

A segunda atividade teve como objetivo explorar e comparar diferentes técnicas e ferramentas de representação e verificar como elas podem trabalhar de maneira complementar no estudo formal de um produto. Para isso, foi proposto desenvolver um personagem fictício, criado pelos próprios alunos, além de utilizar diferentes meios de representação para estudar a sua forma e aparência. Entre as técnicas utilizadas foi sugerido o uso de esboços e estudos com lápis e papel (desenho tradicional), massa de modelar (modelagem manual), modelagem digital e impressão 3D, conforme mostra o exemplo da figura 2.



**Figura 2. Diferentes ferramentas de representação utilizadas para o estudo do personagem. (Fonte: elaborada pelo autor a partir do trabalho dos alunos).**

Os alunos tiveram total liberdade na escolha de quais *softwares* seriam utilizados, apesar de ter sido sugerido, para este exercício, o uso de ferramentas orgânicas de modelagem 3D, tais como ZBrush e Sculpttris, ambos da Pixologic e Mudbox, da Autodesk. O diferencial delas é que trabalha com uma metáfora de modelagem digital muito próxima a modelagem manual feita em argila. Como os alunos já estavam trabalhando com o método tradicional, através da massa de modelar, a sugestão de utilizar esses *softwares* de modelagem orgânica foi justamente para criar uma proximidade das ferramentas manuais com as digitais, conforme mostra o exemplo da figura 3.



**Figura 3. Modelos criados pelos alunos em argila (esquerda) e digital (direita). (Fonte: elaborada pelo autor a partir do trabalho dos alunos).**

Na tentativa de explorar o processo cíclico de retroalimentação, utilizando a materialização de arquivos digitais em objetos físicos para as etapas de geração de ideias e estudos formais, foi preciso pensar em formas de tornar o processo mais ágil e fluído para os alunos. A solução encontrada foi realizar testes de algumas ferramentas de escaneamento 3D para digitalizar os modelos físicos, auxiliando na fase de ideação ao combinar os modelos físicos feitos através da modelagem manual com as ferramentas digitais. Para isso, foram utilizadas diferentes ferramentas de captura e entre as opções apresentadas, os alunos utilizaram mais o aplicativo 123D Catch, pela praticidade de precisar apenas de um *smartphone*. Contudo, depois de alguns resultados ruins acabaram abandonando o escaneamento 3D.

Diferente da primeira atividade a qual eles simplesmente enviaram os arquivos para o professor e na outra aula já recebiam eles impressos, desta vez, eles foram os responsáveis pelos ajustes e configurações necessárias antes de poder imprimir os seus arquivos. Mais importante do que ter um maior domínio nos *softwares* de impressão é ter a oportunidade de aprender quais são os parâmetros e os ajustes necessários antes de materializar um modelo. Ainda que tenha sido um processo supervisionado e eles não tenham sido responsáveis em corrigir os arquivos, que apresentavam falhas ao importar no *software* de gerenciamento de impressão, foi a primeira vez em que os alunos participaram de todo o processo desde a sua concepção até a conclusão do modelo físico.

Nesta atividade, os alunos puderam analisar e comparar qual o meio de representação que cada um consegue se expressar melhor e qual foi mais adequado para cada etapa do projeto. Apesar do desenho ser esperado como a ferramenta de maior afinidade para os alunos (por ser um meio de expressão mais comum, ao menos durante a infância), alguns surpreenderam com a habilidade na criação de modelos utilizando a massa de modelar, assim como outros comentaram o quanto tinham gostado de ter contato com os *softwares* de modelagem orgânica. Diferente do processo de modelagem digital convencional, utilizado por grande parte das ferramentas CAD, os *softwares* de modelagem orgânica trabalham com a metáfora de modelos de argila em um ambiente digital. Mesmo tendo sido o primeiro contato com a ferramenta, os alunos conseguiram se expressar muito bem, inclusive aqueles que não tinham muita experiência com modelagem 3D.

#### **4. Reflexões sobre os experimentos realizados**

Em relação à experiência dos alunos com as impressoras 3D é interessante notar o entusiasmo deles, mesmo depois do deslumbramento típico dos primeiros contatos, ao ver seus projetos sendo materializados. Eles ficam espantados e admirados ao ver seus arquivos digitais ganhando forma física seguido de uma grande empolgação em poder manuseá-los, logo após concluídos. Porém, uma das dificuldades foi que, mesmo com a conclusão das duas atividades, não foi encontrada uma solução ideal para o gerenciamento de impressão dos arquivos digitais. Ao longo de toda a disciplina, o professor ficou responsável por materializar todos os arquivos dos alunos fora do horário de aula e entregar todos os modelos 3D prontos na semana seguinte. As falhas identificadas neste processo consistem tanto na falta de acompanhamento dos alunos no processo de impressão quanto no atraso gerado, já que para cada modelo físico que eles queriam gerar, o prazo acaba sendo de uma semana (período entre uma aula e outra pois os encontros são semanais). Desta maneira, não foi possível estabelecer, durante as aulas, a dinâmica do processo cíclico de gerar diversos modelos físicos para estudos do objeto,

seja para refinar ou validar a sua forma. Além dos problemas relacionados à ineficiência do período de espera entre uma semana e outra para ter o modelo concluído, os alunos também demonstraram falta de interesse em explorar melhor a etapa de geração de alternativas através da retroalimentação e reestudos das ideias geradas em busca de soluções aos problemas projetuais.

Devido às falhas e às dificuldades na utilização das ferramentas de captura 3D, também não foi possível criar um processo fluído de retroalimentação entre os modelos manuais, os digitais e os impressos. No entanto, os *softwares* de modelagem digital orgânicos se mostraram uma tentativa positiva em aproximar os alunos do processo de modelagem manual com as ferramentas digitais. Acredita-se que, caso consiga uma naturalidade maior ao utilizar essas ferramentas ou mesmo melhorar o processo de captura 3D, certamente, a impressão 3D conseguirá uma integração maior no processo de estudos e geração de modelos para verificação e validação do projeto.

Ao longo de toda a disciplina, foram aplicados questionários que avaliavam alguns pontos dos exercícios desenvolvidos e, entre os seus resultados, foi identificado um aumento na quantidade de alunos que pretendem continuar utilizando a impressão 3D, seja durante o curso ou na atividade profissional. Além disso, todos os alunos responderam que a impressora 3D deve fazer parte do curso de design. Logo, independente das experiências de cada aluno na disciplina, toda a turma teve uma visão bastante positiva em relação ao uso da ferramenta de impressão 3D no processo projetual de design. Entretanto, os resultados dos questionários também mostraram que, apesar do otimismo no uso da ferramenta, muitos alunos não tem uma ideia bem definida de como utilizar a impressão 3D. O que mostra a importância em reforçar iniciativas em conjunto entre laboratórios de pesquisa com as disciplinas acadêmicas para que ambos consigam estudar formas de explorar melhor o uso das ferramentas de prototipagem rápida aplicadas no ensino projetual.

## 5. Considerações finais

A realização dos experimentos pedagógicos permitiu identificar algumas vantagens e limitações do uso da impressora 3D no ensino da prática projetual, como também apontar diversas barreiras e/ou dificuldades no decorrer das atividades. Entre os aspectos positivos, pode se destacar o papel cumprido em desenvolver projetos que se utilizam das ferramentas de prototipagem rápida, permitindo o contato dos alunos com as novas tecnologias e reduzindo a distância entre o ensino acadêmico e o processo de produção industrial. Dos negativos, é possível apontar que a impressão 3D aplicada no ensino da prática projetual não conseguiu ser empregada, de maneira fluída, no processo iterativo de materialização de ideias no ensino da prática projetual.

Os resultados dos experimentos pedagógicos realizados mostraram que empregar a impressora 3D no processo ensino-aprendizagem de design é uma tarefa muito mais desafiadora do que simplesmente utilizar a ferramenta em disciplinas de projeto, através do modelo tradicional de ensino. As novas tecnologias são responsáveis pela ruptura do processo de aprendizagem, corroborando com movimentos pedagógicos que visam repensar as práticas vigentes do ensino. De maneira semelhante, alguns anos atrás, o computador também passou pelo mesmo olhar de estranhamento e gerou muitas discussões (algumas persistem até hoje) sobre como ele poderia auxiliar no processo de ensino-aprendizagem.



Os cursos universitários precisam compreender de que forma as ferramentas digitais podem ser incorporadas, de modo a contribuir com o ensino e pesquisa, além de reduzir a distância entre as atividades práticas acadêmicas daquelas desenvolvidas na indústria. Ao mesmo tempo, é preciso cautela ao querer sobrepor as novas tecnologias em detrimento das ferramentas tradicionais, tais como o desenho e a modelagem manual. Elas são importantes para o raciocínio projetual ao explorar, por exemplo, o processo cognitivo de retroalimentação de ideias, através de esboços, ou então, o estudo da experimentação da forma e volumetria utilizando modelagem em argila.

Por fim, a discussão e incentivo da experimentação de técnicas e ferramentas de representação da forma, apesar de importantes, não representam o objetivo em si, elas são apenas diferentes meios voltados a mesma finalidade, o desenvolvimento pleno de um projeto. Portanto, apenas depois de obter uma fluência técnica na linguagem digital e fundamentação teórica projetual que será possível promover a ferramenta de impressão 3D, não apenas como meio de representação, mas como parte do raciocínio das novas práticas de se executar o projeto.

## References

- Barbosa, R. T. *Design & Prototipagem: Conhecimento e uso da prototipagem rápida no design brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2009.
- Batistello, P.; Balzan, K. L.; Piaia, L. P.; Miotto, J. Prototipagem rápida e fabricação digital em ateliê vertical: do processo à materialização. In: *Proceedings of the XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital*. SIGRADI 2015. São Paulo: Blucher, 2015. p.137-142.
- Baxter, M. *Projeto do produto: Guia Prático para o desenvolvimento de novos produtos*. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- Bonsiepe, G.; Kellner, P.; Poessnecker, H. *Metodologia Experimental: desenho industrial*. Brasília: CNPq/ Coordenação editorial, 1984.
- Florio, W.; Segall, M. L.; Araújo, N. S. A contribuição dos protótipos rápidos no processo de projeto em arquitetura. In: *Graphica*. Curitiba, 2007.
- Lara, A. H.; Moura, N. C. da S. Implicações da Fábrica Digital nos Processos de Representação em Design. In: *1º Seminário do Curso de Design da FAUUSP*. São Paulo: FAUUSP, 2008. p.177-184.
- Oliveira, M. F. de. *Aplicações da Prototipagem Rápida em Projetos de Pesquisa*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
- Pupo, R. T. *A inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.
- Pupo, R.; Celani, G. Técnicas de prototipagem digital para arquitetura. In: *Graphica, Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico / International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design*. Bauru, 2009.

Rocha, I. A. M.; Stralen, M. S. V.; Abreu, S. C. O uso de parâmetros dinâmicos como princípios estruturantes do espaço arquitetônico. A experimentação no ateliê de projeto: prototipia e fabricação digital. In: *Proceedings of the XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*. SIGRADI 2016. São Paulo: Blucher, 2016. p.816-823.

SASS, L.; OXMAN, R. Materializing design - the implications of rapid prototyping in digital design. In: *Design Studies*. v. 27, n. 3, p. 325–355. Maio, 2006.