

## Arquitetura, Espaço Público e Fabricação Digital - Aproximações entre o processo de Projeto e a Tecnologia de Impressão 3D.

Anibal Pereira Junior  
Mauricio José da Silva Filho

[pereirajunior590@gmail.com](mailto:pereirajunior590@gmail.com)  
[mauriciojsilvafilho@gmail.com](mailto:mauriciojsilvafilho@gmail.com)

**Resumo:** Neste artigo pretendemos apresentar a pesquisa realizada no Núcleo de Estudos de Habitares Interativos (nomads.usp), sob orientação do Prof. Dr. Marcelo Tramontano, no que diz respeito aos trabalhos desenvolvidos com a técnica de impressão 3D por *FDM (Fused Deposition Modeling)* no período do segundo semestre de 2014 até outubro de 2015. O trabalho contou com a aproximação da tecnologia e o acompanhamento de alunos de disciplinas obrigatórias da graduação no curso de Arquitetura e Urbanismo da USP de São Carlos. Com a pesquisa buscamos ainda contribuir para o Projeto CNPq Universal: “Processos de projeto como sistemas complexos: conversação, organização e meios digitais”, sob coordenação da prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Anja Pratschke.

### 1. Objetivo da Pesquisa.

Explorar relações possíveis entre o Processo de Projeto de equipamentos públicos urbanos [projetados com o uso de programas de Design Paramétrico] e a técnica de fabricação digital utilizando o processo de impressão 3D, através de *Fused Deposition Modeling (FDM)*.

### 2. A tecnologia de Impressão 3D.

O avanço da computação e dos aplicativos computacionais na área de arquitetura tem ajudado estudantes e arquitetos com a exploração de modelos complexos (DUNN, 2012), dando uma série de informações sobre o modelo, e ainda sendo possível fazer alterações e modificações no projeto que, em processos tradicionais, seria muito mais difícil e demandaria mais tempo.

O modelo digital tem papel fundamental no processo de criação, pois potencializa a investigação do projeto simulando diversas possibilidades projetuais, e que inseridas no processo de projeto junto com as técnicas de fabricação digital, podem produzir modelos físicos a partir do uso de técnicas de adição, como as impressoras 3D, que depositam material para gerar objetos físicos, ou as técnicas de subtração, como as fresadoras CNC, que a partir da remoção de material de um determinado volume é capaz de gerar a forma desejada. Sendo assim, a fabricação digital está presente no campo da arquitetura e na construção civil devido aos avanços tecnológicos que os sistemas CAM (*Computer-aided Manufacturing*) e CAD (*Computer-aided Design*). Colocando a fabricação digital como parte integrante do processo de

projeto arquitetônico até o projeto final de arquitetura.

A fabricação digital permite a construção do projeto digitalmente que são realizados através do CNC (*Computer Numerical Controlled*). Esse processo é chamado de *filie-to-factor* (KOLAREVIC, 2009), gerados a partir de dados computacionais, que implica na transferência de dados a partir de um arquivo digital para uma máquina CNC. Permitindo assim, a produção de modelos de pequena escala e construção de componentes em grande escala diretamente de modelos digitais 3D. Desse modo, a geometria é convertida em instruções para controlar o movimento da máquina, mudanças de ferramentas, e especificação do material. A fabricação digital permite a forma variável, não repetitiva. Isso implica o conceito de personalização em larga escala permitindo o desenvolvimento de sistemas de construção não padronizados através da variação digitalmente controlada e diferenciação de série (KOLAREVIC, 2003).

A fabricação digital veio ampliar o conceito de prototipagem rápida (RP, de *Rapid Prototyping*), processo de fabricação através da adição de material em forma de camadas planas sucessivas, é baseado no processo de manufatura por camada. Esta tecnologia permite fabricar componentes (protótipos e modelos) físicos em 3 dimensões com informações obtidas diretamente do modelo geométrico gerado no sistema CAD de forma rápida, automatizada e totalmente flexível (VOLPATO, 2007). Segundo Krauel (2010), esse processo pode ser denominado de fabricação aditiva, mas também é conhecido por outros nomes como prototipagem rápida, impressão 3D, manufatura aditiva, camadas de fabricação, modelagem de forma livre sólida e podem corresponder ligeiramente às diferentes tecnologias que se baseiam no mesmo princípio. Segundo Dunn (2012), as técnicas de fabricação digital se encaixam em quatro

categorias principais: subtração, adição, corte e conformação.

## 2.1 Adição

A técnica de fabricação digital por adição baseia-se na deposição de material em camadas. Nesta categoria de prototipagem, embora seja um termo genérico que inclui um número de técnicas diferentes (DUNN 2012), os processos aditivos transformam o projeto digital em camadas sobrepostas e ainda geram instruções para a produção, como por exemplo, por onde a peça será iniciada, quantidade de material, velocidade de produção entre outros critérios.

O processo por adição mais conhecido é o FDM – *Fused Deposition Modeling* – Modelagem por Deposição Fundida, as informações geradas são enviadas diretamente à máquina. Estas camadas serão então processadas sequencialmente, gerando a peça física através da adição de material, iniciando na base e indo até o topo da mesma. Atualmente com o avanço dessa tecnologia, tem-se utilizado impressoras de pequeno porte para vários tipos de fabricação alimentado por filamento geralmente de plástico. Sendo aplicadas na criação de objetos de design, criação de robôs, próteses e etc. Assim, este sistema de impressão vem ganhando destaque por ser relativamente simples de usar e elas podem ser montadas em casa com certa facilidade.

A SLS - *Selective Laser Sintering* - Sinterização Seletiva a Laser é um processo um pouco diferente da impressão em FDM. Em vez de depositar uma camada de cada vez, a máquina utiliza *laser* para gerar os objetos em uma espécie de pó fino, que pode ser de plástico, metal ou outros materiais. Para iniciar o processo de fabricação, é preciso preencher a câmara de impressão com o pó. Depois disso, a máquina se encarrega de nivelar o material em uma camada

completamente uniforme. Em seguida, um *laser* de altíssima potência é projetado no pó; o material entra em fusão, criando uma camada, repetindo esse processo sucessivamente até que o objeto esteja pronto.

Um outro sistema de impressão é a SLA - *Stereolithography* - Estereolitografia é semelhante ao processo anterior. Assim como nos outros sistemas, o início do processo se dá pela criação de um modelo em três dimensões no computador. Em seguida, o software da impressora que fatia o modelo em várias camadas e envia esses dados para a impressora, que inicia o processo de fabricação. Um recipiente precisa ser preenchido com um líquido especial, uma espécie de resina plástica. O *laser* é então projetado na superfície do líquido, que se solidifica somente no local em que o laser foi projetado. Repetindo esse processo até o objeto estar concluído.

Essas tecnologias também estão sendo empregadas na construção civil, exemplo dessa tecnologia é o *Contour Crafting*, que se baseia na técnica de adição por camadas ou impressão 3D, para fabricar grandes componentes. Composta de braços robóticos e bicos de extrusão, um sistema de pórtico controlado por computador que move o bico extrusor adicionando camadas de material, como o concreto e a cerâmica. Possibilita a construção de paredes, componentes em grande escala para edificações e também a inserção de componentes estruturais, encaamentos e fiação na medida em que as camadas vão sendo construídas.

As técnicas de fabricação digital, adição, também são empregadas na indústria para a produção de componentes, principalmente na indústria aeroespacial, automotiva, objetos de plástico, mobiliários, componentes eletrônicos e etc, tanto para prototipagem como para a

produção em série. Na arquitetura novas abordagens e aplicações vem sendo incorporadas para os métodos de fabricação digital, propondo configurações dinâmicas para os elementos através de modelos digitais. Assim as técnicas de adição citadas acima, podem ser uma fonte de exploração diante dos novos processos de projeto em arquitetura, através da fabricação digital como investigação na arquitetura.

O processo de experimentações desenvolvidos no Nomads.usp foi definido com aplicações da fabricação digital e prototipagem, em que as técnicas são destinadas à produção de modelos em escalas reduzidas e protótipos em escala para avaliações, em que as técnicas de fabricação digital se destinam à aplicação no processo de projeto da concepção à produção final, seja o modelo inteiro, de partes dele ou de fôrmas e moldes para a produção de elementos construtivos. Nos estudos iniciais, os modelos mostraram-se úteis para auxiliar, especialmente, na ilustração de conceitos arquitetônicos no ensino e visualização de elementos construtivos, incluindo edifícios históricos, e na orientação espacial de modelos e edifícios.

As experimentações realizadas no Nomads.usp corresponderam, portanto, às técnicas de fabricação digital do modelo por adição. Na técnica de adição, o processo inicia-se com um modelo digital que pode ser criado em qualquer sistema CAD ou ser obtido por meio de digitalização tridimensional do objeto a ser prototipado. As impressoras 3D existentes no Nomads.usp trabalham com o processo baseado no princípio FDM - *Fused Deposition Modeling* - ou Modelagem por Deposição Fundida, as informações geradas sendo enviadas diretamente à máquina. Essas camadas serão, então, processadas sequencialmente, gerando-se a peça física, através da adição de material,

iniciando na base e indo até o topo da mesma.

O material depositado pelas impressoras utilizadas nas experiências abordadas nessa pesquisa pode ser de dois tipos de filamento: PLA (ácido polilático, ou *poli lactato*) ou ABS (*acrilonitrila butadieno estireno*).

Conforme expõe Tramontano e Pereira Junior (2015):

Eles têm comportamentos distintos, que os tornam, respectivamente, mais apropriados para determinadas aplicações. O ABS é um polímero termoplástico produzido à base de petróleo, enquanto o PLA é um biopolímero (LIMA *et al*, 2009), o que significa que, em princípio, é um material biodegradável, pois é produzido a partir de fontes renováveis, como o amido de milho. O ABS é mais resistente e mais flexível que o PLA, sendo preferido para peças que solicitam esforços. Requer mais cuidados na impressão, como o aquecimento da mesa de impressão, para facilitar a retirada da peça impressa mas por outro lado, requer também que se aumente a rugosidade da superfície da mesa para melhorar a aderência da peça durante a impressão. Esses cuidados não são necessários com o PLA, que tem boa aderência à mesa de impressão durante o processo e pode ser retirado com relativa facilidade, dependendo da área de contato entre a peça e a mesa.

Para a geração do modelo impresso o modelo digital parte do processo de exportação para o formato .stl (*STereoLithography*), depois que o arquivo .stl é exportado, é feito a geração do *G-code*, ou geração do código computacional, fazendo o *fatiamento* do modelo digital, através do conjunto de informações de que a impressora precisa para realizar cada camada:

Esse conjunto de informações contém, ainda, diversas outras instruções para a produção, como, por exemplo, o ponto por onde a impressão da peça será iniciada, a quantidade de material a ser utilizada, a velocidade de impressão, a geração ou não de suporte e seu desenho, a forma e a quantidade de preenchimento das espessuras, entre outros. Embora os programas das impressoras costumem

automatizar essa função, é interessante que os alunos entendam a operação para, posteriormente, conseguirem entender a razão de alguns eventuais erros de impressão relativamente comuns. (Tramontano e Pereira Junior, 2015).

### 3. Colaboração Ensino-Pesquisa.

No IAU-USP, o processo de fabricação digital e prototipagem rápida já faz parte de atividades de ensino de projeto. Nelas, os alunos aprendem a utilizar as impressoras 3D e outras máquinas de fabricação: corte a *laser* e fresadora CNC nas etapas de projeto, facilitando e, em alguns casos, viabilizando a produção do modelo arquitetônico no processo de fabricação e de montagem.

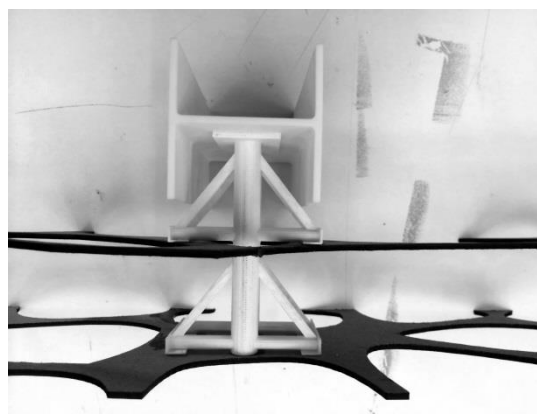


Imagem 01. Modelo reduzido parcial de dispositivo de proteção solar produzido por corte a laser e impressão 3D, 2014. Fonte: M. Tramontano.

No processo de pesquisa das impressoras 3D através da aplicação da Fabricação Digital inseridas em disciplinas que fazem uso dessas tecnologias, foi criado um passo-a-passo sobre o processo de como utilizar a impressora 3D, criado para a capacitação dos alunos do IAU. No passo-a-passo, contem: a) o processo de exportação a partir do programa *Rhinoceros*, considerando as configurações para exportação de arquivos em formato .stl; b) a instalação e configuração de programas necessários para a impressão, que geram o código computacional *G-code*; e c) os procedimentos para operar a

impressora 3D e lidar com suas configurações próprias, mas também para retirar o modelo impresso da mesa de impressão, realizar a limpeza da mesa e para garantir a segurança durante o processo.

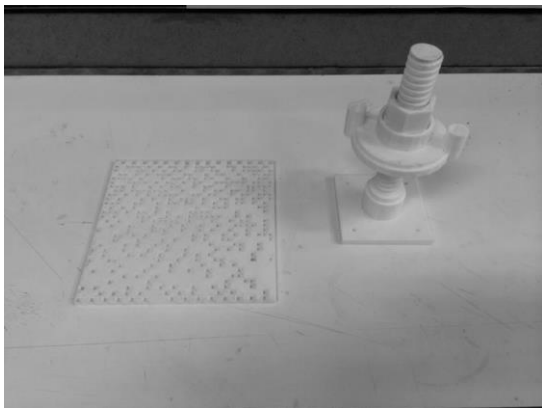


Imagem 02. Modelos 1:1 de peças de ligação, 2014. Fonte: M. Tramontano.

Nesse sentido, como experimentação da tecnologia aplicada ao ensino de projeto acompanhamos alunos da disciplina de Projeto 3 no uso da impressão 3D e produção de protótipos. A disciplina prevê o detalhamento do projeto arquitetônico de equipamentos públicos urbanos, permitindo e incentivando a produção de maquetes em diversas escalas durante o processo de projeto. No segundo semestre de 2014 e primeiro semestre de 2015 foi possível avaliar o uso da impressão para protótipos em escala real, para detalhes, e escalas maiores, para maquetes e volumetrias.

Nos dois semestres, diversas maquetes e modelos foram produzidos na disciplina utilizando o corte a laser e a impressão 3D. Dessa forma, obtivemos modelos de projetos concebidos com o uso de programas de modelagem paramétrica e acompanhou-se o processo de fabricação digital utilizando a impressão 3D através da orientação aos alunos durante a exportação de modelos desenvolvidos em programas que permitem a modelagem 3D, da sua exportação para extensões compatíveis

com o uso da máquina e sua a impressão.



Imagem 03. Maquete 1:20 de estrutura de perfis de aço impressos em 3D, 2014. Fonte: M. Tramontano.

A disciplina no primeiro semestre prevê a produção de um objeto arquitetônico com geometria complexa projetado com o uso de software de *design* paramétrico que visa compor uma rede de equipamentos públicos urbanos através de um projeto que envolve o traçado de uma linha de Veículo Leve sobre Trilhos - VLT e suas estações. No segundo semestre, a disciplina enfoca relações entre o projeto urbano e o projeto da edificação como definidores da arquitetura da cidade, prevendo intervenções em áreas centrais da cidade.

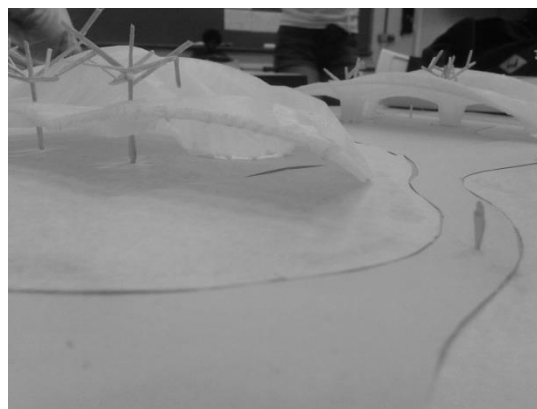


Imagem 04. Modelo reduzido de volume com formas complexas produzido por impressão 3D, 2015. Fonte: Maurício Silva.

Por fim, nossas últimas explorações com o uso da tecnologia deram-se no segundo semestre de 2015 onde tivemos a oportunidade de produzir

maquetes através da exportação de arquivos .stl para impressão 3D usando os programas Revit e ArchiCAD em disciplinas ministradas no primeiro e no terceiro ano da graduação.

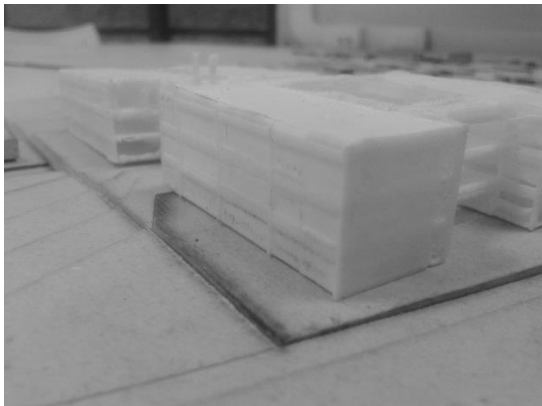


Imagem 05. Modelo reduzido de volume obtido pela exportação através do programa ArchiCAD e produzido por impressão 3D, 2015. Fonte: Maurício Silva.

#### 4. Conclusões

Por fim, fomos capazes de levantar questionamentos sobre os seguintes tópicos:

- 1.Representar rapidamente e com precisão em modelos físicos.
- 2.Estímulo ao desenvolvimento de detalhes construtivos
- 3.Ampliação das possibilidades de criação de elementos com *design* exclusivo.
- 4.Tempo de impressão.
- 5.Limitações nas dimensões da máquina.
- 6.Geração de suporte para sustentação.
- 7.Debate para a emergência de novos modos de produção industrial de elementos construtivos que se utilizam de equipamentos digitais.
- 8.Antecipação de questões construtivas e de organização de obra.

Dentro do campo de conhecimento da arquitetura, a fabricação digital para a elaboração e organização do projeto se mostra de grande importância na gama de

possibilidades disponíveis ao profissional. Entender seus processos podem ajudar a melhor qualificar essa atividade, torná-la mais eficiente ou possibilitar outras experimentações na área da arquitetura. Verificar a inserção dos modelos nesse contexto pode vir a nos mostrar caminhos que a presença dessas tecnologias podem abrir em nossas atividades, permitindo preparar-se para a utilização dessas tecnologias daqui em diante.

#### 5. Encaminhamentos.

Dentro do Nomads.usp os pesquisadores participaram tanto das atividades de criação de modelos digitais quanto da fabricação de modelos físicos. Essas atividades aproximaram os pesquisadores de questões voltadas aos processos de fabricação digital de modelos que se desenvolvem nesse espaço, além de conhecer as possibilidades e limitações de equipamentos como as impressoras 3D, cortadora a laser, fresadora CNC e scanner 3D, diante das técnicas de fabricação digital. Sendo assim a pesquisa em torno da Impressão 3D nos permitiu aproximações com o processo de fabricação digital além de contatos com referências fora do campo da arquitetura como engenharia de materiais e de produção.

A pesquisa também forneceu embasamento para a pesquisa de Iniciação Científica iniciada em Agosto sob orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Anja Pratschke pelo orientando Maurício Silva sob o título: “Scripting Cultures: Paradigmas e potencialidades da programação na Arquitetura” que tem como objetivo geral investigar relações possíveis entre a introdução de alterações no código de programas paramétricos usados na concepção de objetos arquitetônicos com geometrias complexas e os produtos assim gerados, em processos de projeto de arquitetura associando-os ao processo de fabricação digital.

A pesquisa aqui apresentada também auxiliou no desenvolvimento do plano de pesquisa de Mestrado para qual prevemos andamento em 2017 sob orientação do Prof. Dr. Marcelo Tramontano pelo orientando Anibal S. Pereira Junior sob o título: “A fabricação digital no modelo arquitetônico”, que tem o propósito de avaliar e contribuir para a aplicação das tecnologias de fabricação digital de adição e subtração na produção de modelos arquitetônicos físicos, com vistas a auxiliar os processos de projeto no âmbito do ensino de arquitetura e urbanismo.

Por fim as explorações realizadas até o momento visam nos aproximar do uso de tecnologias de fabricação digital no processo de projeto e dar embasamento ao desenvolvimento do experimento vinculado ao Projeto CNPq Universal previsto para o primeiro semestre de 2016.

### **Referência Bibliográfica.**

DUNN N. **Digital fabrication in architecture.** London: Laurence King. p.3-20, 2012.

KOLAREVIC, B. et, al. **Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture.** New York; London: Taylor & Francis. p.7-80 , 2009.

KOLAREVIC, B., BRANKO. **Digital Morphogenesis, Architecture in the Digital Age: Designing and Manufacturing.** London: Spon Press, p.1-60 2003.

KRAUEL J. **Contemporary digital architecture: design and techniques.** New York: Links, 2010.

TRAMONTANO M. , PEREIRA JUNIOR **Ressignificando o modelo físico: impressão 3D e ensino de projeto de arquitetura.** Anais Sigradi 2015. Florianópolis: Sigradi.

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