

PROTOTIPAGEM RÁPIDA E FABRICAÇÃO DIGITAL PARA ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO: DEFINIÇÕES E ESTADO DA ARTE NO BRASIL

RAPID PROTOTYPING AND DIGITAL FABRICATION FOR ARCHITECTURE AND BUILDING: DEFINITIONS AND STATE OF THE ART IN BRAZIL

CELANI, Gabriela, Ph.D., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brazil
celani@fec.unicamp.br

PUPO, Regiane Trevisan, MsC., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brazil
regipupo@terra.com.br

1 ABSTRACT

The objective of the present paper is twofold: (1) to introduce definitions of rapid prototyping and digital fabrication, and (2) to investigate the state of the art of research in applications of these techniques in architecture and construction Brazil.

2 RESUMO

Este artigo possui dois objetivos principais: (1) apresentar definições de prototipagem rápida e fabricação digital e (2) investigar o estado da arte da pesquisa sobre a aplicação dessas técnicas na arquitetura e construção no Brasil.

3 O QUE É PROTOTIPAGEM RÁPIDA E FABRICAÇÃO DIGITAL?

O projeto e a produção da arquitetura têm sofrido grandes modificações desde a segunda metade do século XX, particularmente devido ao desenvolvimento dos sistemas CAD e dos métodos de projeto auxiliado por computador. Mais recentemente, tornou-se possível utilizar modelos geométricos digitais diretamente para a produção de artefatos físicos, desde maquetes em escala e protótipos em tamanho real até peças finais para a construção civil. Essa nova possibilidade tem causado um enorme impacto desde o início do processo de projeto do edifício até a sua construção [Mitchell e McCullough, 1995].

A diferença entre os novos métodos de produção baseados em modelos digitais e os antigos métodos de produção de massa é que estes últimos não se destinam a produzir cópias idênticas de um mesmo produto. Pelo contrário, constituem-se em sistemas suficientemente adaptáveis para produzir um grande espectro de formas diferentes. Esse novo conceito tem sido chamado de "*mass customization*"

(personalização em massa), e foi definido por autores como Stan Davis [1996], Tseng e Jiao [2001], Pine [1993], e Kaplan e Haenlein [2006]. Na arquitetura, o termo foi usado, por exemplo, por José Pinto Duarte, em sua tese de doutorado intitulada "*Customizing Mass Housing: a discursive grammar for Siza's houses at Malagueira*" (2001). Segundo Schodek et al. [2005:ix],

"... paradigmas tradicionais que têm a muito tempo caracterizado as atitudes fundamentais de projeto, tais como a necessidade de standardização e repetição no projeto de componentes construtivos para que se possa aproveitar eficientemente as técnicas industriais de produção estão sendo desafiadas pela customização em massa e outras idéias que se tornaram factíveis por meio de novos métodos de projeto e produção."

Os novos métodos de produção não são mecânicos, são controlados por computadores. Daí o nome *Computer Numeric Control*, ou CNC, normalmente associado às fresas de controle numérico.

Os métodos de produção automatizada de peças modeladas digitalmente podem ser categorizados segundo sua finalidade, segundo o número de eixos com que trabalham, e ainda segundo a maneira como produzem os objetos. No que se refere à sua finalidade, eles podem ser destinados à produção de protótipos, ou seja, de modelos de avaliação, ou à produção de produtos finais, como elementos construtivos para serem empregados diretamente na obra. Em geral, os primeiros são conhecidos como métodos de prototipagem (*prototyping*), enquanto os últimos são referidos como sistemas de fabricação (*fabrication*) ou de manufatura (*manufacturing*).

No que se refere ao número de dimensões, esses sistemas possuem tipicamente duas dimensões, duas dimensões e meia e três dimensões. Um exemplo de sistema de duas dimensões é a cortadora de vinil, que corta apenas papel ou outros materiais finos. Uma fresa de controle numérico com um *spindle* (eixo) pode cortar figuras planas e executar relevos, porém não é capaz de produzir modelos tridimensionais complexos. Por esse motivo esse tipo de equipamento é freqüentemente chamado de 2.5D. Já uma fresa de três eixos ou um sistema de impressão 3D são considerados efetivamente tridimensionais.

No que se refere à maneira como produzem os objetos, os métodos automatizados podem ser do tipo subtrativo, formativo ou aditivo. No sistema subtrativo um bloco de material é desbastado seletivamente por fresas que se movem automaticamente em diversas direções (tipicamente em três eixos), ou ainda com o auxílio de um eixo rotatório que movimenta o bloco para diminuir a necessidade

de deslocamento da fresa. Esse sistema de produção é muito utilizado em indústrias de ferramentaria, permitindo a produção precisa de moldes e peças usinadas a partir de blocos de metal (Figura 1).

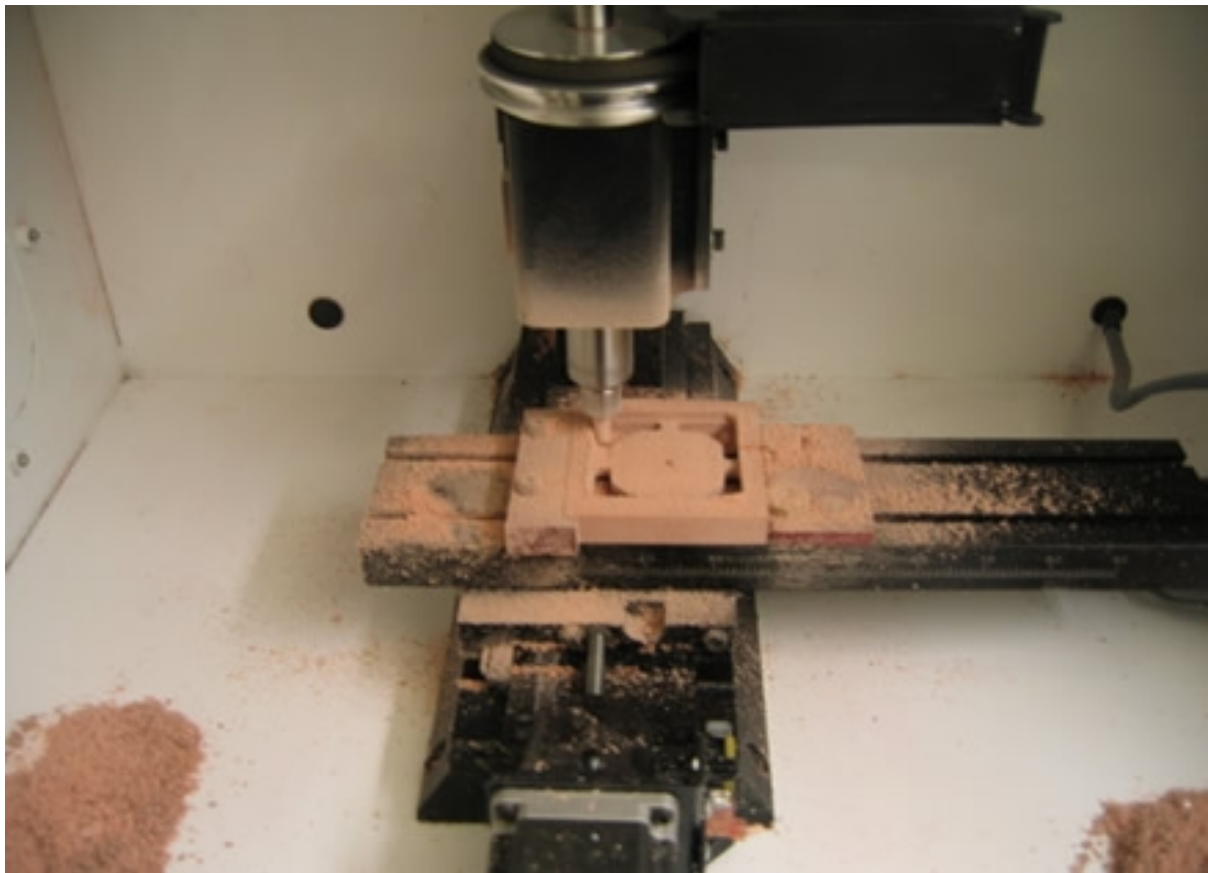


Figura 1: Produção de peças de metal pelo método subtrativo. Fonte: http://ddf.mit.edu/devices/denford_miller.html

O sistema formativo assemelha-se a um molde versátil, com a capacidade de se adaptar a diferentes formas. Um exemplo desse sistema são os moldes adaptáveis para a produção de placas de vidro com curvaturas especiais. Esses moldes podem ser feitos, por exemplo, com um sistema de pinos de alturas reguláveis, que são posicionados automaticamente a partir de informações obtidas do modelo digital da superfície que se pretende reproduzir. Após o ajuste dos pinos, uma placa plana de vidro é colocada sobre o molde e levada a um forno, onde ela derrete e assume a configuração da base de pinos. Outro exemplo são os equipamentos que permitem dobrar e encurvar chapas de aço e tubos metálicos a partir de um modelo digital.

Finalmente, o sistema aditivo consiste em sobrepor camadas de material sucessivamente, até que o objeto tridimensional seja formado [VOLPATO, 2007]. Para isso o *software* precisa criar fatias horizontais do modelo digital, que são impressas, solidificadas ou cortadas, e coladas umas sobre as outras. Estes, por sua

vez, podem ser subdivididos de acordo com o tipo de material (Figura 2) que utilizam: sólido (e.g. sinterização seletiva a laser e impressão 3D), líquido (estereolitografia) ou em lâminas (*laminated-object-manufacturing*).

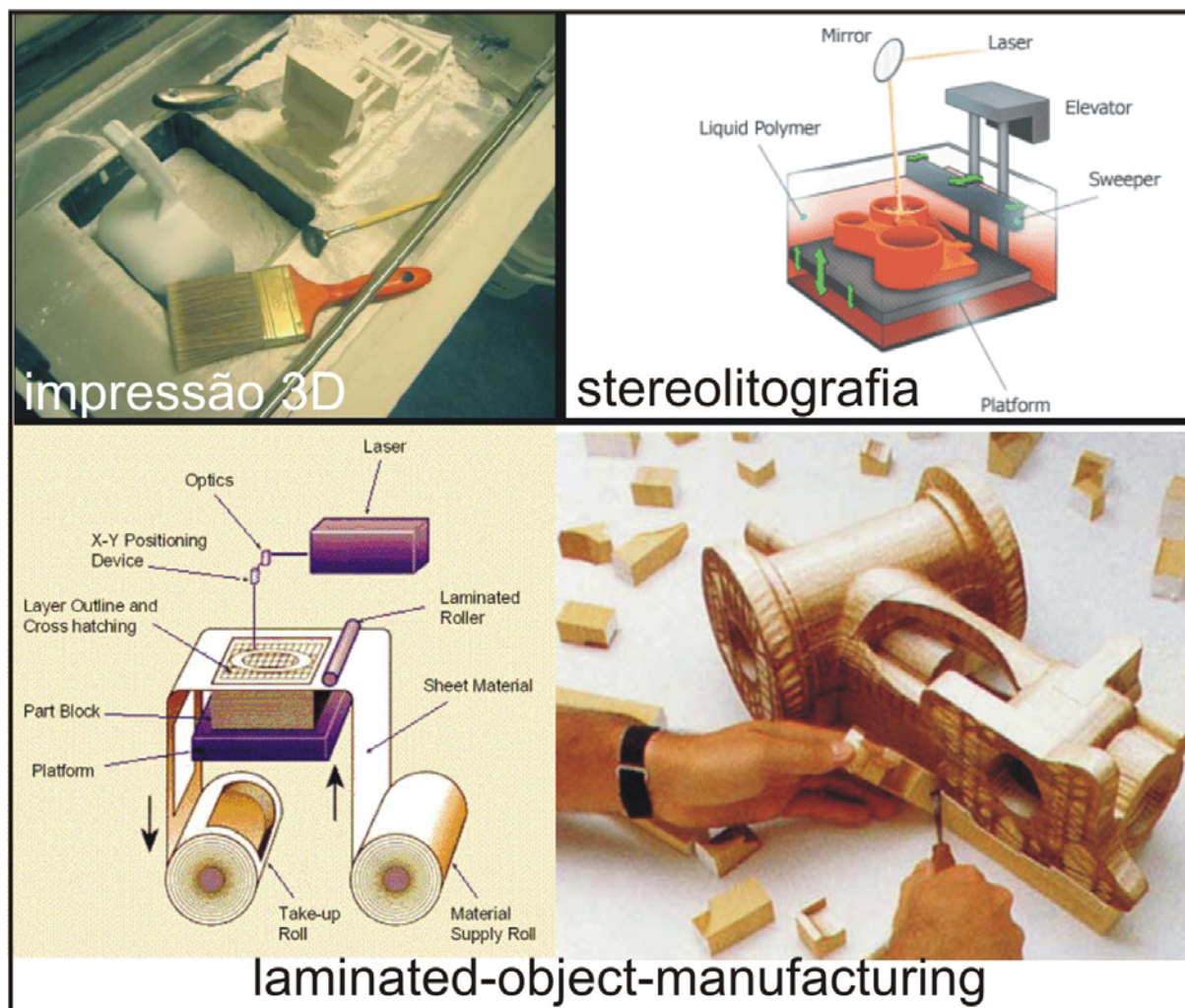


Figura 2: Alguns exemplos de métodos aditivos. Fonte: <http://ddf.mit.edu/devices/index.html>

O termo prototipagem rápida (*rapid prototyping*) refere-se normalmente aos métodos de produção de protótipos por sistemas aditivos [Buswell et al., 2007]. Contudo, existem também métodos baseados na sobreposição de camadas destinados à produção de produtos finais. Esses métodos são conhecidos como manufatura rápida (*rapid manufacturing*). O termo *rapid*, em ambos os casos (*rapid prototyping* e *rapid manufacturing*), faz referência ao fato desses sistemas não requererem nenhum tipo de assistência humana.

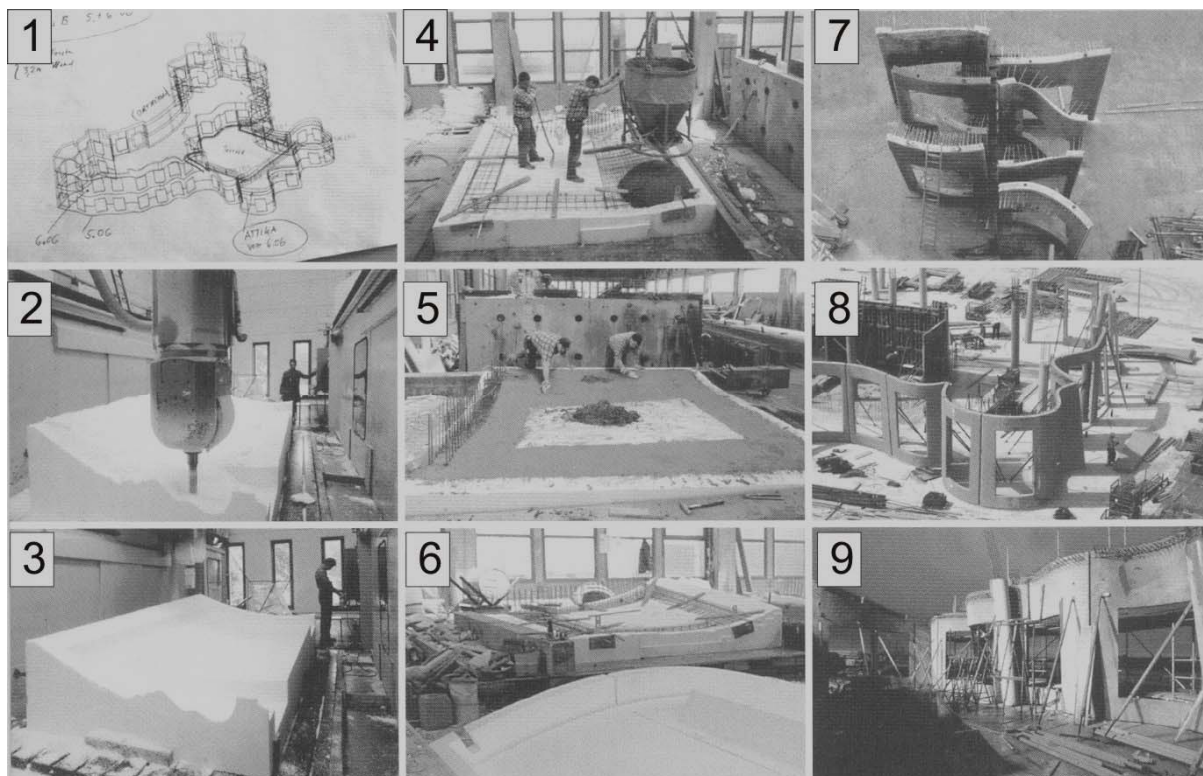


Figura 3: Processo de fabricação digital - Der Neue Zollhof, de Frank Gehry, Dusseldorf, Alemanha, 2000 Fonte: [Schmal, 2001].

Existem também métodos de produção digital que não são necessariamente baseados em sistemas aditivos. Esses são em geral chamados genericamente de sistemas de fabricação digital (*digital fabrication*), e incluem as cortadoras a jato d'água e diversos tipos de equipamentos CNC em diferentes tamanhos e números de eixos. Suas aplicações na arquitetura e construção são as mais variadas, desde a produção de fôrmas para concreto armado com formas especiais até a produção de ornamentos esculpidos em pedra que são utilizados como "próteses" arquitetônicas em obras de restauro. A figura 3 ilustra em nove etapas o processo de fabricação digital de um elemento construtivo do projeto Der Neue Zollhof, em Dusseldorf, Alemanha, de 2000, do arquiteto Frank O. Gehry. Desde sua concepção até a colocação na obra, cada elemento construtivo, nesse caso um painel de fachada, é produzido individualmente, com moldes em isopor "esculpidos" por uma fresa CNC, a partir de um modelo digital. Posteriormente, o revestimento que consiste de material isolante e aço inoxidável é aplicado definindo a espessura das paredes de concreto.

4 QUAIS AS APLICAÇÕES DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA E FABRICAÇÃO DIGITAL NA ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO?

Embora já bem estabelecidas nas áreas de desenho industrial e engenharia mecânica, as aplicações da prototipagem rápida e fabricação digital na arquitetura e construção são ainda incipientes. A figura 4 mostra a participação da área de

arquitetura dentre os diversos campos de aplicação de equipamentos de prototipagem rápida mundialmente em 2007. Segundo Wohlers [2007] as aplicações da prototipagem rápida nessa área em 2006 ainda eram insignificantes. No período entre 2006 e 2007 já foi possível notar um significativo aumento na aplicação da PR na arquitetura, mas em comparação com campos como a indústria automobilística, a de produtos de consumo e a área médica ela ainda é muito pequena.

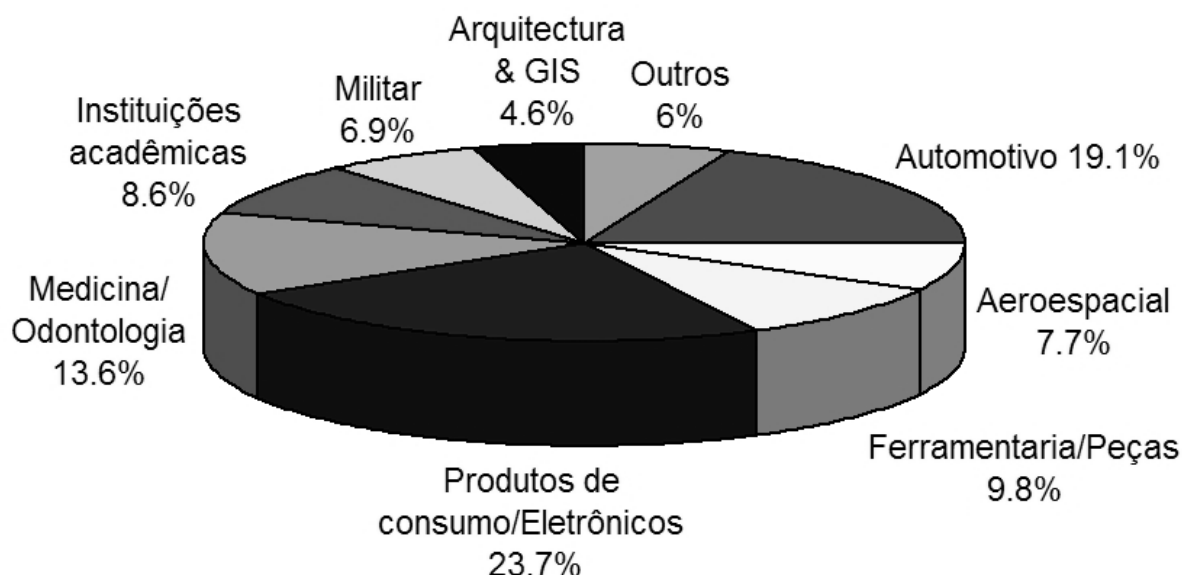


Figura 4: Gráfico mostrando o aparecimento da aplicação da prototipagem rápida para a arquitetura no ano de 2007 [WOHLERS ASSOCIATES, 2007]

Os poucos escritórios de arquitetura que adotaram recentemente o uso dessas técnicas, como Foster & Partnes (Inglaterra), Gehry Associates (Estados Unidos), Zaha Hadid (Inglaterra) e Morphosis (Estados Unidos) vêm obtendo resultados impressionantes em termos de qualidade e produtividade. A figura 5 mostra uma coletânea de maquetes prototipadas de projetos produzidos pelo escritório Foster & Partners, que possui equipamentos de prototipagem rápida para uso interno, nas diversas etapas do processo de projeto [Pupo, 2007].



Figura 5: Maquetes produzidas com PR de Foster & Partners (Londres).

Fonte: <http://www.arcspace.com/exhibitions/Louisiana/index.htm>

O papel dos diferentes profissionais envolvidos na indústria da construção civil também está sendo modificado em consequência do surgimento dessas novas tecnologias. Estão surgindo novos nichos de atuação desses profissionais vinculados ao emprego das novas tecnologias.

5 QUAL O ESTADO DA ARTE DA PESQUISA EM PROTOTIPAGEM RÁPIDA E FABRICAÇÃO DIGITAL PARA ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO NO BRASIL?

Segundo Schodek [2005, p. 17] as pesquisas na área de prototipagem rápida e fabricação digital tiveram sua origem ainda no século XVIII, na Inglaterra, onde “a complexidade de industrialização de muitos produtos com alta demanda, direcionou o desenvolvimento de diversas inovações tecnológicas”. No Brasil, um exemplo de um dos primeiros grupos de pesquisa a se interessar pelo assunto é o grupo de pesquisas CIMJECT (Laboratório de Projeto e Fabricação de Componentes de Plástico Injetado), do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, criado em 1993, que desenvolve pesquisas ligadas à “fabricação de componentes de plástico moldados por injeção” [CNPq, 2008].

Outro exemplo é o grupo NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada), criado em 1996, do Departamento de engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos (USP-SC), que estuda técnicas de fabricação de moldes por meio de processos aditivos e subtrativos.

No que se refere às aplicações da prototipagem rápida e fabricação digital na arquitetura e construção, no exterior, um dos pioneiros foi William Mitchell, do MIT. No livro *Digital Design Media*, de 1995, Mitchell e McCullough descrevem diversas aplicações na arquitetura, ilustradas por casos reais em projetos de Frank O. Gehry. Desde então os cursos de arquitetura das principais universidades americanas e européias vêm disponibilizando para seus alunos e pesquisadores laboratórios equipados com diferentes técnicas de prototipagem rápida e fabricação digital. Alguns exemplos são o *Digital Design Fabrication Group* do Massachusetts Institute of Technology (DDF.MIT.EDU), o *I-made* da Ball State University (WWW.BSU.EDU/IMADE), o *Architecture and Digital Fabrication* da Swiss Federal Institute of Technology in Zurich (WWW.DFAB.ARCH.ETHZ.CH) e o *CAMLab* da Delft University of Technology (WWW.BK.TUDELFT.NL/LIVE/PAGINA.JSP?IDE=0681CEEB-180E-42A9-8A08-1905B377C130&LANG=NL).

No Brasil, a aplicação dessas técnicas na arquitetura e construção ainda é muito restrita. Isso se deve a dois fatores: um econômico e outro de ordem social. O econômico está relacionado aos altos custos dos equipamentos e insumos, que são em sua maioria importados dos Estados Unidos, da Europa e da China.

Recentemente, algumas empresas nacionais têm começado a investir no desenvolvimento e produção de maquinário para fabricação digital. Existe também uma grande limitação social ao emprego das técnicas de fabricação digital na área de arquitetura e construção no Brasil, pois ainda não existe disponibilidade de mão de obra especializada nessa área. Além disso, o ensino superior de arquitetura e de engenharia civil ainda não prevê o uso desses novos métodos na produção de maquetes, protótipos e componentes construtivos.

Em uma pesquisa realizada na base de dados do Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil do CNPq, pode-se constatar que existem apenas três grupos cadastrados atuantes na área de prototipagem rápida e/ou fabricação digital aplicadas à arquitetura e/ou construção civil. As palavras-chave utilizadas na busca foram prototipagem rápida, fabricação digital, CAD, CAD-CAM e arquitetura. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 1. Além dos grupos apresentados abaixo, é preciso esclarecer que há diversos grupos de pesquisas, como o LCAD (laboratório de computação gráfica aplicada à arquitetura e ao desenho) da UFBA, criado em 1992, que também se interessam pelo tema, mas que

ainda não dispõem dos equipamentos necessários para aprofundar suas pesquisas nessa área.

Tabela 1: Grupos de pesquisa que investigam aplicações da prototipagem e fabricação digital na arquitetura e construção no Brasil [CNPq, 2008].

Grupo de pesquisa	Ano de formação	Instituição	Unidade	Líder do Grupo	Linhas de Pesquisa	Objetivos
Laboratório de Estudos Computacionais em Projeto	2000	UNB	FAU Depto. Projeto	Neander Furtado Silva	<ul style="list-style-type: none"> ° Prototipagem Rápida ° Fabricação Digital 	Não especificados.
Arquitetura, processo de projeto e análise digital	2005	Mackenzie	FAU Depto. Projeto	Wilson Florio	<ul style="list-style-type: none"> ° Análise digital de obras de arquit. moderna e contemporânea 	Analisar obras de arquitetura por meio de modelos tridimensionais, simulações digitais e prototipagem rápida.
Teorias e tecnologias contemporâneas aplicadas ao projeto (Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção)	2006	UNICAMP	FEC Depto. Arquitetura e Construção	Gabriela Celani	<ul style="list-style-type: none"> ° Prototipagem rápida ° Fabricação digital ° Digitalização 3D 	Estudar as aplicações da digitalização 3D, prototipagem rápida e fabricação digital no processo de projeto em arquitetura, da concepção à execução da obra.

A Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) é uma das pioneiras na área, com a criação do Laboratório de Prototipagem e Automação para Arquitetura e Construção (LAPAC) no início de 2007, com o auxílio da FAPESP. O LAPAC (WWW.fec.unicamp.br/~lapac) está equipado com uma impressora 3D (Z Corp 130) e uma cortadora a laser (Universal Laser Systems X660), e acaba de obter verba da CAPES para adquirir uma fresa de controle numérico de grande formato (1,80x2,80m), o que permitirá a realização de protótipos de elementos construtivos em escala 1:1. Por se tratar de um laboratório de pós-graduação, o LAPAC tem como objetivo principal a formação de pessoal de ensino superior.

6 DISCUSSÃO

Este artigo se propôs a apresentar um resumo da atual situação no Brasil da pesquisa na área de novas tecnologias digitais para a arquitetura e construção que vão além da simples representação. Foi possível constatar que ainda são poucos os grupos de pesquisa que atuam nessa área, apesar da grande relevância do tema. Sem a introdução de novos meios de projeto e produção nossa arquitetura corre o risco de ficar estagnada. É papel da universidade introduzir essas novas tecnologias no ensino e na pesquisa, de maneira que os jovens arquitetos estejam preparados para lidar com a uma nova realidade profissional, na qual a tecnologia está presente cada vez mais nas diversas etapas do projeto.

A página de abertura do site do laboratório Architecture and Digital Fabrication da ETHZ, um dos centros de pesquisa mais proeminentes nessa área, afirma que “o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas está tendo um efeito fundamental nas condições de produção da arquitetura. Ele influencia a maneira como a arquitetura é concebida e implementada.” Este é um assunto que sem dúvida deverá ser levado em conta pelos cursos de arquitetura nos próximos anos.

7 AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem às seguintes agências de fomento pelo apoio a esta pesquisa: FAPESP, CAPES, CNPq e FAEPEX.

8 REFERÊNCIAS

BUSWELL R.A., Soar R.C., Gibb A.G.F., Thorpe A. Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction. In: Automation in Construction 16, 2007, p.224-231.

DAVIS, Stan. Future Perfect. Harlow: Addison-Wesley Pub Co, 1996.

DUARTE, J.P. Customizing Mass Housing: a discursive grammar for Siza's houses at Malagueira. Tese de doutorado, Massachusetts Institute of Technology, 2001.

FISCHER, T.; Herr, C. Teaching Generative Design in C. In: INTERNATIONAL GENERATIVE ART CONFERENCE, 4, 2001, Milão. Anais eletrônicos do 4th INTERNATIONAL GENERATIVE ART CONFERENCE, Milão. Disponível em: <http://www.generativeart.com/>. Acesso em: maio 2006.

HEITOR, M. Duarte, J. P. e Mitchell, W. The Glas Chair. Lisboa: IST Press, 2001.

KAPLAN, A.M & Haenlein, M. Toward a parsimonious definition of traditional and electronic mass customization. In: Journal of product innovation management 23 (2), 2006.

MITCHELL, W. J. e McCullough M. Digital Design Media. N. York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

PINE, B. J. Mass Customization - The New Frontier in Business Competition. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1993.

SCHMAL, P. Digital Real. Basel: Birkhauser, 2001.

SCHODEK, D. et al. Digital Design and Manufacturing. New Jersey: John Wiley and sons, 2005.

TSENG, M.M. & Jiao, J. Mass Customization. In: Handbook of Industrial Engineering, Technology and Operation Management (3rd ed.), 2001.

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

WOHLERS, T. T. Wohlers report 2007. Fort Collins, Colorado: Wohlers Associates, 2007.

CNPq, Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil. Disponível em: www.dgp.cnpq.br/buscaoperacional. Acesso em 25 de abril de 2008.

PUPO, R. Relatório de estágio no exterior. São Paulo: Fundação de amparo à pesquisa do estado de São Paulo, 2007.

9 PALAVRAS-CHAVE

Prototipagem rápida, fabricação digital, novas tecnologias na arquitetura, processo de projeto.