



XIV del 1 al 5 de diciembre de 2008
CONVENCIÓN CIENTÍFICA
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ANIVERSARIO
44
cujae
2008

Congreso
SIGraDi
Cuba 2008

Gráfica Digital
Integración y Desarrollo

La Habana
1 al 5
Diciembre
2008

Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades

Regiane Pupo, Gabriela Celani,
rpupo@fec.unicamp.br, celani@fec.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Abstract— Depois de um longo período em que o uso das técnicas de computação gráfica indicava o avanço tecnológico nas áreas de arquitetura e construção, novas técnicas de produção de maquetes físicas e elementos construtivos são agora discutidas. O recente desenvolvimento e utilização de técnicas como a prototipagem rápida (PR) e a fabricação digital (FD) para a arquitetura e construção têm causado mudanças de impacto no processo de projeto desde seu início até a construção do edifício. Novos métodos de construção estão sendo desenvolvidos com o uso dessas novas técnicas. A utilização dessas novas tecnologias, durante todo o processo de projeto deve ser analisada e inserida na grade curricular dos cursos de arquitetura, para que nossos alunos estejam preparados para os novos desafios que o mercado de trabalho globalizado impõe. Este artigo descreve a implementação de um laboratório de prototipagem rápida e fabricação digital em um curso de arquitetura no Brasil, além de traçar os diversos aspectos de operacionalização que um laboratório dessa natureza requer.

Key Words— Currículo de arquitetura, fabricação digital, novas tecnologias, prototipagem rápida.

I. INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica alcançada nos últimos anos nas áreas de projeto e indústria da construção se deve em grande parte ao desenvolvimento impetuoso da indústria da computação que, não somente nessa área, tem introduzido novas técnicas, novos desafios e colocado novas ferramentas na rotina dos profissionais. Na área de arquitetura e

construção, hoje, a modelagem geométrica digital tem se tornado padrão em vários procedimentos, seja de projeto ou de fabricação direta. Um de seus principais benefícios é a melhor compreensão espacial, bem como seu uso na confecção de modelos prototipados.

Da mesma forma que a inserção das técnicas de computação na grade curricular de arquitetura foi discutida no Brasil no início da década de 90, as chamadas técnicas de fabricação digital e prototipagem rápida, hoje, têm um papel decisivo na qualidade de ensino e abrem um leque de possibilidades projetuais jamais alcançadas anteriormente. O recente desenvolvimento dessas novas tecnologias tem tido um importante impacto na arquitetura, engenharia e indústria da construção em dois níveis distintos: na execução de maquetes e na construção.

Após um período em que os avanços na computação gráfica quase fizeram desaparecer as maquetes de escritórios e cursos de arquitetura, a prototipagem rápida hoje permite retomar essa prática, desde os primeiros estágios do processo de projeto. Paralelamente, os novos métodos de construção fizeram possível a obtenção de formas que seriam irrealizáveis há pouco tempo. Portanto, essas técnicas deveriam ser utilizadas desde as primeiras fases de projeto, auxiliando nas decisões projetuais desde as primeiras etapas do processo [1]-[2].

Por estas razões, a introdução da prototipagem rápida e fabricação digital na educação da nova geração de arquitetos é

muito importante. Os resultados aqui apresentados são baseados em uma experiência de implantação de um laboratório recém criado em uma faculdade de arquitetura no Brasil. O intercâmbio com os laboratórios ISTAR, do Instituto Superior Técnico de Lisboa, em Portugal, foi fundamental para a troca de experiências com atividades de colaboração entre os dois laboratórios. Essa troca se concretizou através de uma imersão realizada por uma das pesquisadoras do LAPAC, durante seis meses, nas dependências do ISTAR.

Apesar das grandes diferenças econômicas, sociais e culturais vividas pelos dois países onde os laboratórios foram implantados, uma similaridade, entretanto, foi o fator de maior desafio para sua implantação. Esta se resume no ceticismo da maioria dos professores no que diz respeito ao uso de computadores na atividade profissional, ainda encarada, infelizmente, como ferramenta de representação e não de geração. Objetivando a reversão desse quadro de indiferença, uma investigação minuciosa e completa sobre o estado da arte da pesquisa sobre a aplicação dessas técnicas na arquitetura e construção no ensino de arquitetura no Brasil foi efetuada. Algumas constatações foram encontradas comprovando a necessidade de implantação urgente dessas técnicas no ensino de arquitetura, culminando num roteiro de implantação de um laboratório de PR e FD. Espera-se que as experiências e sugestões aqui apresentadas possam auxiliar outras escolas de arquitetura a criar seus próprios laboratórios e introduzir as novas técnicas no currículo básico, conforme já vem sendo sugerido há anos, por exemplo, por [3], [4] e [5].

II. DEFINIÇÕES

A. Prototipagem Rápida (PR)

Por ser uma tecnologia relativamente nova e em vista dos inúmeros processos de produção recentemente criados e utilizados, existem diferentes definições para o termo Prototipagem Rápida. Algumas descrevem a PR como incluindo unicamente os processos que se utilizam da sobreposição de camadas de qualquer material visando a formação de um protótipo físico; outras não estabelecem parâmetros e a definem pela utilização de equipamentos que confeccionam protótipos sem intervenção humana. Segundo [6], em termos gerais, todos esses processos são capazes de produzir componentes pela adição ou construção de material para formar um objeto. Desde suas primeiras aplicações, o termo Prototipagem Rápida associa a economia de tempo à negação da mão de obra humana ou de qualquer ferramenta empregada para criar um objeto como parte do processo de projeto.

Segundo [7], “a prototipagem rápida é o nome mais comum dado às tecnologias correlatas que são usadas para fabricar objetos físicos diretamente de um arquivo digital tridimensional produzido em CAD”. São métodos desenvolvidos originalmente para a produção de protótipos, rapidamente, reduzindo o tempo de produção enquanto a qualidade é melhorada e os custos reduzidos (em termos do

processo como um todo). Hoje, com o avanço da tecnologia e as inúmeras opções de uso de equipamentos e software, o termo “rápido” é relativo, variando muito entre as tecnologias disponíveis. Um protótipo ou modelo através desses processos pode levar de 2 a 72 horas para ser construído, dependendo do tipo de geometria e equipamento utilizado. Parece muito, mas se comparados aos métodos tradicionais de produção, os novos métodos garantem sucesso em termos de tempo de produção, precisão e ainda com a possibilidade de serem utilizados como produtos finais.

Após a decisão de tirar vantagens dos benefícios da PR, o desafio passa a ser a escolha do equipamento certo para cada tarefa. Essa escolha entre os diversos processos de PR hoje disponíveis no mercado fica mais difícil à medida que os fabricantes estão cada vez mais investindo nos processos. É preciso um entendimento minucioso sobre os limites, as capacidades e as possibilidades de cada aplicação específica.

B. Fabricação Digital (FD)

A fabricação digital (*Digital Fabrication*) refere-se às tecnologias de controle numérico (CNC) sugerindo a transferência de dados de um programa de modelagem 3D para uma máquina CNC. Isso permite a produção de modelos em escala real de componentes construtivos diretamente de modelos digitais 3D. Segundo [8], a fabricação digital permite resultados variáveis e não repetitivos. Induz ao conceito de mass-customization (customização em massa) permitindo o desenvolvimento de sistemas construtivos não padronizados através de diferenciações seriais e variações digitalmente controladas. 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 podem ser utilizados como “próteses” arquitetônicas em obras de restauro.

III. IMPLEMENTAÇÃO DO LABORATÓRIO

A. O LAPAC

O LAPAC (Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção) pertence à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, o Brasil. O LAPAC (Figura 1), financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) iniciou suas atividades em 2007 e já conta com 13 trabalhos de iniciação científica, uma dissertação de mestrado e uma tese de doutorado. Além disso, 3 trabalhos de extensão à comunidade estão sendo efetuados, resultando em 25 artigos publicados em conferências e revistas científicas.

O laboratório também conta com o apoio da CAPES para a compra de um novo equipamento, e seus pesquisadores têm recebido bolsas da FAPESP, CAPES, CNPq e SAE-UNICAMP.



Fig. 1. Instalações do LAPAC – Unicamp

O LAPAC é equipado com (1) uma impressora 3D (ZCorp 130), (2) uma cortadora a laser (Universal Laser System X660) e (3) uma fresadora CNC de grande formato (1.80x2.80m), em processo de aquisição. Enquanto a impressora 3D e a cortadora a laser destinam-se à produção de modelos em escalas reduzidas, a fresadora CNC permitirá novos experimentos de produção de elementos construtivos em escala real. A digitalização 3D é feita com o sistema David Laser Scanning, um programa de computador que permite a aquisição de dados 3D sem a necessidade de equipamentos especiais, utilizando somente um feixe laser e uma web-cam. Além dos equipamentos citados, o LAPAC conta com 2 mesas digitalizadoras, 4 computadores portáteis, 6 computadores de mesa, uma impressora e um scanner A3. Os programas disponíveis no LAPAC são o AutoCAD, Rhino, ParaClud e Pepakura, que auxilia na preparação de arquivos para a fabricação digital.

B. Apoio de outros laboratórios

O primeiro laboratório com o qual o LAPAC estabeleceu contato e um programa de parceria foi o Laboratório de Prototipagem Rápida do CENPRA, localizado em um centro de desenvolvimento de novas tecnologias do Ministério da Ciência e Tecnologia em Campinas. O laboratório do CENPRA possui diversos equipamentos de prototipagem rápida (SLS, 3DP e FDM) e desenvolve pesquisas sobre a aplicação dessa tecnologia em diferentes áreas, em especial na medicina e odontologia. O CENPRA tem auxiliado o LAPAC no sentido de prototipar modelos com a utilização de seus equipamentos, quando as técnicas disponíveis no LAPAC não são adequadas ao que se necessita fazer.

Em 2007, uma das pesquisadoras do LAPAC e co-autora desse artigo, Regiane Pupo, teve a oportunidade de estagiar, também com apoio da FAPESP, no ISTAR (IST Architecture Research Laboratories) da Escola de Engenharia do Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal. Financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) de Portugal, o ISTAR iniciou suas atividades em 2001, apesar da maioria do equipamento só ter chegado em 2005, e já apoiou 11 trabalhos de graduação, 14 dissertações de mestrado, 7 teses de

doutorado, 12 artigos internacionais, 1 prêmio acadêmico, 8 patentes nacionais e um produto em comercialização. As atividades e disciplinas que o laboratório oferece ao curso de Arquitetura do Instituto Superior Técnico proporcionam aos estudantes uma visão privilegiada sobre o impacto das novas tecnologias na teoria e na prática da arquitetura, o que motivou a sua inclusão entre os 20 cursos internacionais na vanguarda das novas tecnologias, na exposição *Spot on Schools*, realizada em 2005, em Florença, Itália.

O ISTAR possui neste momento dois laboratórios: o Laboratório de Arquitetura Computacional (LAC), o seu núcleo inicial, e o Laboratório de Arquitetura Bioclimática. O Laboratório de Arquitetura Computacional, relatado neste artigo, é composto de quatro módulos (1) modelagem geométrica avançada, com diferentes programas, como AutoCAD, Revit e Rhino, além de programas de processamento de imagens e animação; (2) prototipagem rápida, equipado com uma impressora FDM - Fused Deposition Modeling – (Stratasys Plus), uma cortadora a laser (Universal Laser System X660), uma cortadora de vinil (Rolland) e uma fresadora MDX-40 (Rolland), que também trabalha como digitalizadora 3D; (3) um sistema de imersão de realidade virtual (EON) e (4) um sistema de colaboração remota (RDIS sistema de vídeo conferência). O LAC também é equipado com 24 computadores desktop, um scanner tamanho A3 e uma impressora a laser tamanho A4.

C. Cursos, Treinamentos e Monitoria no LAPAC

O oferecimento de workshops de treinamento (Figura 2) para professores e monitores foi uma estratégia muito importante para a divulgação do trabalho realizado no LAPAC. Essa atividade resultou na introdução de novas técnicas em muito mais campos de utilização do que inicialmente se imaginava, não como simples opção, mas em muitos casos como técnica obrigatória. Entretanto, nem todos foram capazes de encarar as técnicas de fabricação digital como uma oportunidade de tentar novas estratégias de projeto. A conscientização de professores ainda é um desafio a ser ultrapassado, visto que a maioria ainda vê o laboratório como simplesmente como uma maquetaria sofisticada.



Fig. 2. Workshop ministrados no LAPAC – Unicamp

Atualmente, o LAPAC conta com quatro monitores que auxiliam os alunos em final de curso, de pós-graduação e de professores na utilização do equipamento, manutenção e execução, além das atividades inerentes aos projetos de extensão executados pelo laboratório. O laboratório não tem o objetivo de prestar serviços remunerados à comunidade, por sua situação de universidade pública e tipo de financiamento, nem o de atender aos alunos de graduação (exceção feita apenas aos alunos do último ano do curso).

D. Colaboração entre o LAPAC e o ISTAR

A colaboração entre os dois laboratórios tem sido efetuada através de intercâmbio de alunos de pós-graduação e de experimentos realizados com os equipamentos de cada universidade. A vivência de um aluno em outro país, num ambiente de trabalho distinto do seu, com diferentes problemas e práticas projetuais, nesse caso, é facilitada pela língua, o português, visto que a colaboração é efetuada em dois países com o português como língua mãe. Como os equipamentos não são os mesmos em cada laboratório, é possível a realização de experimentos com técnicas distintas para posterior conclusão.

Uma das experiências executadas com os equipamentos disponíveis em cada laboratório foi a construção de um modelo de uma treliça irregular, em escala reduzida. O LAPAC desenvolveu um aplicativo que se destina à criação de treliças irregulares a partir de treliças 3D, em linguagem VBA (*Visual Basic Application*), para AutoCAD. A mesma treliça com as mesmas espessuras e escala foi impressa em gesso, na impressora 3DPrinter ZCorp 310, no LAPAC e em plástico ABS na Stratasys Prodigy Plus, em sistema FDM (*Fused Deposition Modeller*), no ISTAR. Este experimento visava o simples entendimento de dois processos distintos para a execução de um mesmo modelo digital, e não o de análise estrutural nem de resistência. Os resultados obtidos foram satisfatórios quanto à treliça que foi impressa no processo 3DP, no LAPAC, ainda que com uma fragilidade inerente às espessuras estabelecidas. Já o resultado da impressão no processo FDM, no ISTAR, sofreu diversas rupturas durante sua construção com um gasto de material de suporte muito superior ao da própria peça (Figura 3).

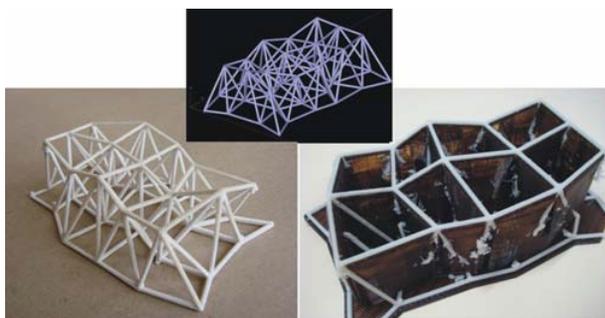


Fig. 3. Impressão no processo 3DP no LAPAC (esquerda) e no processo FDM no ISTAR (direita)

Foi concluído com essa experiência que o processo FDM

não é o ideal para a construção de objetos com as características similares ao do exercício proposto. A partir desse experimento foi possível comprovar que para alguns processos é necessária a criação de uma base de dados sobre as técnicas mais apropriadas a cada tipo de maquete. Com este auxílio colaborativo, os alunos não precisariam realizar testes desnecessários para decidirem as técnicas a serem utilizadas em suas maquetes.

IV. IMPLEMENTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

A implementação e operacionalização de um laboratório de fabricação digital e prototipagem rápida em um curso de arquitetura deve agregar fatores não somente relativos ao uso da tecnologia isolada, mas também à integração com as demais disciplinas da grade curricular, especialmente as de projeto. Para isso, os objetivos principais devem incluir (1) o desenvolvimento de novas soluções para o processo de projeto; (2) a discussão da importância do uso de maquetes para a melhor compreensão projetual; (3) o estímulo à pesquisa em tecnologia da informação aplicada à arquitetura; (4) a expansão da interdisciplinariedade dentro da grade curricular do curso de arquitetura; (5) a construção de um ambiente de pesquisa e colaboração entre laboratórios de diversas instituições de ensino; (6) o oferecimento de serviços de extensão à comunidade profissional, incluindo consultorias e treinamentos e (7) a utilização de novas técnicas de fabricação digital na produção de elementos construtivos.

Tendo em vista a experiência de implantação do LAPAC, relatada neste artigo, seguem abaixo cinco itens que devem servir de fundamento para que um laboratório de prototipagem rápida e fabricação digital possa ser implementado especificamente em um curso de arquitetura.

A. Escolha dos equipamentos

Operacionalmente, a escolha dos equipamentos é uma decisão que remete diretamente ao tipo de enfoque que se queira dar ao laboratório, ou seja, de execução de maquetes em escala reduzida ou de elementos construtivos em escala real, ou ambos. O primeiro caso reúne equipamentos de tecnologias aditivas e de corte a laser, utilizando a sobreposição de camadas. Hoje existem diversas técnicas de prototipagem rápida, nem todas efetivamente direcionadas para a arquitetura, e que utilizam diferentes tipos de matéria-prima as quais vão desde plásticos ABS até pó de metal, passando por polímeros diversos e de investimento muito alto.

As impressoras 3D, baseadas em pó de gesso e as cortadoras a laser são as mais indicadas como equipamentos iniciais na implantação de um laboratório, por serem de custo relativamente baixo (em relação às demais) e de fácil manuseio nas operações direcionadas à confecção de maquetes. Nas primeiras, o único fator a ser considerado de risco é a importação/aquisição do material de consumo para a confecção das maquetes. Já as cortadoras a laser, com extrema precisão, cortam, vincam ou esculpem diversos materiais (madeira, MDF, laminados, cortiça, isopor, etc) para posterior

montagem. Mas, se a intenção do laboratório visa a fabricação de elementos construtivos em escala real, as fresadoras de grande formato são as indicadas. São as chamadas máquinas de controle numérico (CNC) que utilizam as técnicas subtrativas, esculpindo o material, que pode ser madeira, poliuretano, entre outros, servindo como moldes ou elementos finais. É importante sempre levar em consideração os custos de investimento e despesas operacionais (manutenção, suprimentos e mão de obra especializada) que a implantação de laboratórios com as tecnologias de PR e FD demandam. Os equipamentos ainda são muito caros e a aquisição de seus suprimentos não é tão facilitada para países em que o acesso às tecnologias de ponta ainda depende de taxas de importação e burocracia exagerada.

B. Aquisição de suprimentos e manutenção de equipamentos

Máquinas sem suprimentos não funcionam, por isso este item deve ser sempre lembrado e material de reserva para eventuais emergências é de fundamental importância. O custo do material de consumo deve ser levado em conta no momento da aquisição dos equipamentos. A máquina 3DPrinter da ZCorp, por exemplo (que o LAPAC possui), utiliza um pó e um aglutinante para as impressões 3D. Ambos fabricados nos Estados Unidos têm grande dificuldade de importação para países como o Brasil, por exemplo, mesmo com as facilidades que o governo oferece para importações para fins de pesquisa. Geralmente a compra via representante da empresa fora dos Estados Unidos é sempre muito mais onerosa que a compra direta. A manutenção dos equipamentos é um outro fator que deve ter muita atenção. Geralmente, os equipamentos de prototipagem rápida têm circuitos e peças muito pequenos e de alta precisão que necessitam de uma atenção periódica e regular devido a entupimentos, desgastes, falta de lubrificação e pequenos fatores que podem até inutilizar o equipamento. As cortadoras a laser, por exemplo, necessitam de constante manutenção nos espelhos e lentes utilizados na emissão do feixe de laser, pois, se não limpos com periodicidade, podem danificar-se com a própria fumaça emitida pelo material utilizado. A experiência mostra que se o laboratório não possui verba suficiente para aquisição de material de consumo e um programa de manutenção periódica, então é indicada a aquisição, inicialmente, de uma cortadora a laser ou uma fresa, pois não dependem de material específico para funcionamento. Mesmo que as impressoras 3D (de gesso) pareçam mais acessíveis, o acesso e custos de material de consumo podem invalidar sua aquisição.

C. Treinamento de monitores e professores

Não adianta treinar apenas os alunos, é preciso também que os professores de projeto aprendam a utilizar as máquinas do laboratório para que possam sugerir exercícios interessantes de projeto com a utilização de maquetes produzidas por técnicas automatizadas. Por isso, é muito importante que a formação de monitores e professores envolvidos com laboratórios que contenham novas tecnologias seja constante e intensa. A experiência obtida no LAPAC demonstra que são

necessárias ao menos 15 horas de treinamento para que um professor que já sabe utilizar programas de CAD aprenda a utilizar dois equipamentos básicos de prototipagem rápida (cortadora a laser e impressora 3D). Além do treinamento de uso de máquina é importante que o professor efetivamente participe do projeto e da produção da maquete com mais tempo dedicado à cada técnica. Muitos dos problemas só aparecem no momento da execução do projeto. Da mesma forma, são essenciais algumas reuniões anuais para troca de informações sobre projetos desenvolvidos e demonstrações do uso dos equipamentos, para garantir seu compartilhamento. A conscientização de professores de outras disciplinas da grade curricular sobre o uso dessas tecnologias também tem papel importante na interdisciplinariedade dos conteúdos, facilitando o intercâmbio de informações.

D. Importância de projetos de pesquisa e extensão relacionados ao tema

Os projetos de pesquisa e extensão aproximam o meio acadêmico da comunidade. Enquanto os primeiros visam desenvolver metodologias e aprofundar o conhecimento em assuntos específicos, os projetos de extensão têm o objetivo de aplicar o conhecimento gerado nas pesquisas, verificando sua aplicabilidade no mundo "real" e as possíveis complicações que podem surgir. Com toda sua inovação e diversidade de aplicação, a prototipagem rápida divulgada através dos projetos de extensão, proporciona uma propagação da informação com a qual os laboratórios dessa natureza devem sempre contar para futuros projetos e desafios.

E. Convênios com outros laboratórios já implantados

Com o propósito de expansão de conhecimento e troca de informações, os convênios com outros laboratórios já implantados em outras universidades é fundamental. A troca de experiências é essencial e o compartilhamento de técnicas de outros laboratórios ajuda na diversidade de sua utilização. Como os equipamentos ainda são muito caros, o melhor é fazer um plano estratégico no momento da compra adquirindo equipamentos e técnicas diferentes entre universidades conveniadas para que possam ter um intercâmbio. Outro fator importante é o intercâmbio de mão de obra, com o envio de pesquisadores, professores e alunos para outras universidades que possam igualmente um laboratório.

V. CONCLUSÕES

Este artigo se propôs a apresentar uma experiência de implantação de um laboratório de prototipagem rápida e fabricação digital para um curso de arquitetura no Brasil. Com base nessas experiências, foi possível elaborar um roteiro de aplicação e operacionalização de um laboratório desta categoria para que outras universidades possam tirar vantagens da tecnologia disponível e em crescente expansão. 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 maneira como os futuros arquitetos são treinados para um mercado que prima pela tecnologia é importante, dada a diversidade de técnicas e habilidades envolvidas no ensino da arquitetura, que vão desde a concepção até a produção. Além disso, a capacidade de transitar diretamente da modelagem geométrica para a impressão 3D desafia a necessidade da representação tradicional, como plantas e cortes e evita as perdas de informação desnecessárias.

Um dos fatores mais importantes para o sucesso na implantação de um laboratório de PR e FD é a aproximação da pesquisa científica com a prática arquitetônica. A primeira permite ao laboratório manter métodos rigorosos de pesquisa e desenvolvimento de produtos, enquanto a segunda contribui para comprovar a direta aplicabilidade das novas tecnologias na prática profissional, ponto crucial para a obtenção de suporte de professores e profissionais mais descrentes.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem as agências de fomento que têm financiado e dado o suporte para as pesquisas, FAPESP, CAPES, CNPq e SAE-UNICAMP, do Brasil, e ao professor Dr. José Pinto Duarte, da Universidade Técnica de Lisboa, Portugal pelo apoio no intercâmbio de alunos da Unicamp, e ao Dr. Jorge Vicente Lopes da Silva, diretor do Laboratório de Prototipagem Rápida do CENPRA.

REFERÊNCIAS

- [1] Kalay, Y., "The impact of information technology on design methods: products and practices". *Design Studies*, 27(3), pp.357-380, 2006.
- [2] Chaszar, A. (ed.), *Blurring the lines*. London: Wiley-Academy, 2006.
- [3] Yessios, C., "Integrating computers into the architectural curriculum" in *The Association for Computer Aided Design in Architecture-ACADIA*, Oregon, 1987, pp. 169-181.
- [4] Mark, E.; Martens, B.; Oxman, R. *The Ideal Computer Curriculum*. In: *19th eCAADe Conference*, pp. 168-175, 2000.
- [5] Duarte, J., "Inserting new technologies in undergraduate architectural curriculum" in *23th eCAADe Conference*, Frankfurt, pp. 423-430, 2007.
- [6] Buswell, R., Soar, R., Gibb, A., Thorpe, A., "Freeform Construction: Mega-scale rapid manufacturing for construction", *Automation in Construction*, vol 16, pp. 224-231, 2007.
- [7] Saura, C., "Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas", dissertation, Dept. Mech Eng., State University os São Paulo, UNICAMP, Campinas, Brazil, 2003.
- [8] Kolarevic, B., *Digital Morphogenesis, Architecture in the Digital Age: Designing and Manufacturing*. London: Spon Press, 2003.
- [9] Mitchell, W., "The Future of the Virtual Design Studio", in *Virtual Design Studio*, Jerzy Wojtowicz, Ed. Hong Kong: University Press, 1995, pp. 50-59.



Universidade do Vale do Itajaí, UNIVALI, em Santa Catarina. Email: rpupo@fec.unicamp.br. Endereço: Av. Albert Einstein 951, CEP13083-852, Campinas, SP, Brasil.

Regiane Trevisan Pupo. Arquiteta, com mestrado em Engenharia de Produção pela UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, em 2002 e doutoranda da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas desde 2005. Acaba de estagiar no Instituto Superior Técnico, em Lisboa, como bolsista da FAPESP, especializando-se em Prototipagem Rápida para projeto. É professora dos cursos de Design Industrial e Arquitetura da



electrónica celani@fec.unicamp.br. Dirección: Av. Albert Einstein 951, CEP13083-852, Campinas, SP, Brasil.

Gabriela Celani nació en São Paulo, Brasil, en el año 1967. Estudió Arquitectura y Urbanismo en la Universidad de São Paulo (USP). Hizo el master en la misma universidad (1997), y el Ph.D. en *Design & Computation* en el Massachusetts Institute of Technology (2002) bajo la orientación de William Mitchell y Terry Knight. Es actualmente profesora adjunta en la **Universidade Estadual de Campinas** (UNICAMP), donde coordina el Laboratório de Automación y Prototipage para Arquitectura y Construcción (LAPAC). Página web: www.fec.unicamp.br/~lapac. Dirección