



# PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:  
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

## Experiência paramétrica na produção de móveis

*Parametric experience in furniture production*

*Experiencia paramétrica en la producción de muebles*

CAMPOS, Filipe M.

*Mestrando, UNICAMP, f\_m\_campos@yahoo.com.br*

CELANI, Maria Gabriela C.

*Doutora, UNICAMP, celani@fec.unicamp.br*

### RESUMO

Novas tecnologias de CAD e CAM estão sendo desenvolvidas e introduzidas na vida profissional do arquiteto, sendo importante que estas sejam tratadas e inseridas durante os cursos de graduação. Contudo, existem diversos fatores limitantes a esta inclusão, seja por questões técnicas referentes aos programas ou por falta de integração entre as disciplinas. Este artigo visa descrever e apresentar os resultados do workshop "Móveis Paramétricos", cujo objetivo foi apresentar ferramentas e técnicas de modelagem paramétrica e fabricação digital aos alunos dos primeiros anos de um curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. Por meio de exercícios práticos, foi possível transmitir importantes conceitos aos alunos, como as aplicações, limitações e funcionamento dessas tecnologias. Cada grupo desenvolveu duas peças de mobiliário e produziu modelos em escala, o que lhes permitiu experimentar desde o processo de modelagem paramétrica até a fabricação digital.

**PALAVRAS-CHAVE:** parametrização, fabricação digital, design de móveis, processo de projeto.

### ABSTRACT

*New CAD and CAM technologies are being developed and introduced in the architect's profession, therefore it's important that those are inserted and discussed in undergrad programs. However, there are several limiting factors to this inclusion, either for technical issues regarding the programs or lack of integration between disciplines. This article aims at describing and presenting the results of the "Parametric Furniture" workshop, whose goal was to introduce parametric modeling and digital fabrication tools and techniques to undergraduate architecture students. By means of practical exercises, it was possible to present important concepts, such as the applications, limitations and the implementation of these technologies. Each group developed two pieces of furniture and produced scale models, which allowed them to experience the process from the parametric modeling to the digital fabrication.*

**KEY-WORDS:** *parameterization, digital fabrication, furniture design, design process.*

### RESUMEN

*Las nuevas tecnologías CAD y CAM se están desarrollando y se introducen en la vida profesional del arquitecto, lo que torna importante su inserción en los cursos de pregrado. Sin embargo, hay varios factores que limitan a esta inclusión, ya sea por cuestiones técnicas relativas a los programas o por la falta de integración entre las disciplinas. En este artículo se describe y se presentan los resultados del taller "Muebles Paramétricos" cuyo objetivo fue presentar las herramientas y técnicas de modelado paramétrico y fabricación digital a estudiantes de los primeros años de un curso de Arquitectura Y Urbanismo. Con base en ejercicios prácticos, fue posible*



# PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:  
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

*transmitir importantes conceptos como las aplicaciones, los límites y el funcionamiento de estas tecnologías. Cada grupo diseñó dos muebles y produjo dos maquetas, lo que les permitió experimentar el proceso desde el modelado paramétrico hasta la fabricación digital.*

**PALABRAS-CLAVE:** parametrización, fabricación digital, diseño de muebles, proceso de diseño.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde sua introdução na arquitetura e urbanismo, as ferramentas de CAD/CAM vêm mudando a forma de se pensar, produzir e ensinar a arquitetura. Se num primeiro momento ocorreu somente uma substituição do desenho técnico manual por sua versão digital, posteriormente ocorreu a inserção de diversas ferramentas, como modelos tridimensionais virtuais, simulações computacionais, modelagem NURBS, parametrização, fabricação digital etc. A modelagem NURBS, por exemplo, permitiu estender a criatividade dos arquitetos, inserindo espaços geométricos e formas complexas que, até sua inserção pelas ferramentas de CAD, eram de difícil concepção e desenvolvimento (KOLAREVIC, 2005. BURRY; BURRY, 2010).

Dentro do campo de BPS (*Building Performance Simulation*) podemos citar o uso de simulações computacionais na busca da otimização de quesitos do edifício, como ganho solar, visando à redução de gastos com condicionamento de ar (CAMPOS; CELANI, 2014). Em conjunto com métodos paramétricos e sistemas generativos, estas simulações podem gerar geometrias que respondem ao desempenho do edifício, resultando numa arquitetura performativa<sup>1</sup> (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005).

É inegável que o uso destas tecnologias está crescendo na prática da arquitetura e pesquisa, principalmente no exterior, sendo que os centros de ensino devem acompanhar este movimento e mudanças no contexto da arquitetura contemporânea. Atualmente, na área de ensino, diversos cursos buscam inserir estas novas tecnologias no currículo, contudo existem conflitos entre a inserção e exclusão de conteúdo, bem como a fragmentação do ensino, com disciplinas isoladas e sem conexão entre elas (FLÓRIO, 2011). Estes conflitos restringem ou isolam as experimentações com estas novas tecnologias, que são importantes para a formação dos arquitetos.

Visando a difusão do conhecimento destas tecnologias na graduação, foi oferecido um workshop cujo objetivo era a produção de móveis através de métodos de modelagem paramétrica e fabricação digital. O workshop foi oferecido na UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) durante a SAU2014 (Semana da Arquitetura e Urbanismo), que é um evento composto por workshops e palestras independentes das disciplinas do curso. O workshop foi oferecido como uma atividade complementar da pesquisa de iniciação científica “Estudo de otimização de coberturas responsivas à

insolação através da parametrização”, desenvolvida pelo autor e financiada pela FAPESP. Apesar dos objetivos do workshop não serem os mesmos da pesquisa, nele foram utilizados métodos estudados e desenvolvidos durante a pesquisa, como a modelagem paramétrica e técnicas de preparo de arquivos e fabricação de peças.

## **2 MODELAGEM E FABRICAÇÃO**

Como citado na introdução, foi escolhido o método de modelagem paramétrica para a criação das peças de mobiliário. O método paramétrico permite organizar o problema e processo de projeto logicamente, estabelecendo as relações topológicas entre as partes. O resultado pode ser sempre modificado pela alteração nos parâmetros, sendo mantidas as relações topológicas (BURRY; BURRY, 2010. SEDREZ; CELANI, 2014). Deste modo, pode-se trabalhar com diversas variações da forma ou componentes, num processo de automação do processo de projeto, que pode fornecer agilidade e complexidade ao projeto final (DIMCIC, 2013).

Ao se trabalhar com peças de mobiliário, como é o caso de um banco, podem ser inseridos parâmetros de dimensão, ergonomia e limites das máquinas de produção. Deste modo, garante-se que as principais questões funcionais serão levadas em conta. No caso de pequenas peças, como móveis, instalações ou obras escultóricas, é possível utilizar a parametrização para criar famílias de peças que possuem as mesmas relações topológicas e linguagem, porém com uma forma final diferente. O mesmo processo pode ser utilizado no estudo de edifícios, na fase inicial de projeto, com a exploração formal de variações.

A modelagem paramétrica e a fabricação digital de maquetes de um edifício e de uma peça de mobiliário apresentam certas semelhanças, podendo ser transferidos os conhecimentos de técnicas de um para o outro. Como não seria possível projetar e produzir um edifício durante o workshop preferiu-se focar em móveis, os quais poderiam ser projetados e fabricados dentro deste curto período de tempo. Além das restrições de tempo, a produção de móveis permite modelar, preparar o arquivo, produzir as peças e montar o móvel em escala real, passando por todos os estágios do processo, do projeto à execução e avaliação.

O workshop voltou-se para os alunos dos primeiros anos da graduação, não sendo possível exigir como pré-requisito o conhecimento em programação ou experiência nos programas a serem utilizados. Buscando demonstrar o método de modelagem paramétrica sem entrar especificamente na linguagem ou lógica de programação, optou-se por fornecer códigos prontos com a possibilidade

de alterar os parâmetros das formas. Deste modo, os participantes puderam criar diversas formas que pertenciam à mesma família, com as mesmas relações topológicas, mas obtiveram resultados finais diferentes. Este método permitiu superar as dificuldades técnicas que normalmente são encontradas para se ensinar a programação paramétrica.

Os alunos também não estavam familiarizados com técnicas de fabricação digital e prototipagem, sendo que foi necessário abordar no workshop os requisitos das máquinas utilizadas, funcionamento e métodos de preparo dos arquivos. A fabricação digital permite criar peças únicas em diversos materiais, não sendo necessário se restringir aos componentes pré-fabricados disponíveis no mercado. Máquinas de pequeno porte, como cortadoras à laser pequenas e impressoras 3D, podem ser utilizadas para criar pequenos objetos em escala real ou protótipos de objetos maiores em escalas apropriadas para avaliação, visualização ou apresentação. Máquinas de maior porte, como fresadoras CNC, permitem a produção de peças grandes em escala real. Buscando demonstrar o uso desses equipamentos tanto em escalas reduzidas quanto em escala real, foram utilizadas máquinas de fabricação digital de pequeno e de grande porte.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do workshop, foi utilizado como software de modelagem o Rhinoceros 4 e seu *plug-in* Grasshopper. O *plug-in* é responsável pela implementação do método paramétrico no modelo, sendo que, por utilizar a programação visual, torna-se mais intuitivo do que o *scripting*. Buscou-se fazer toda a modelagem parametricamente (exceto o padrão aplicado às luminárias, como será mostrado na subseção “luminárias paramétricas”), tendo como objetivo apresentar as possibilidades do método.

Foi também utilizado o programa 123DMake 1.5.0, que efetua o fatiamento de modelos tridimensionais para que possam ser cortados e montados. O programa permite escolher entre diversos métodos de fatiamento e materiais, gerando os encaixes e layouts de corte, dando agilidade ao processo.

O LAPAC (Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção), da UNICAMP, cedeu o espaço e maquinário para ser utilizado no workshop. As principais máquinas utilizadas foram as cortadoras à laser (ULS X-660 de 60 Watts e Combat Laser de 100 Watts), sendo que foi apresentada também a fresadora CNC Scriba/Vitor Ciola aos alunos, com o corte de algumas peças.



# PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:  
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

Compareceram ao workshop dezesseis alunos, sendo a grande maioria alunos do primeiro e segundo anos. Estes se dividiram em duplas e trios, formando seis grupos. O workshop foi dividido em cinco etapas: (1) apresentação de conceitos básicos de parametrização e fabricação digital, (2) modelagem das peças, (3) corte de protótipos, (4) produção e montagem e (5) discussão final sobre o processo. No período da manhã ocorreu a apresentação e produção de luminárias, sendo que no período da tarde ocorreu a produção de bancos e discussão final. O workshop teve a duração total de dez horas.

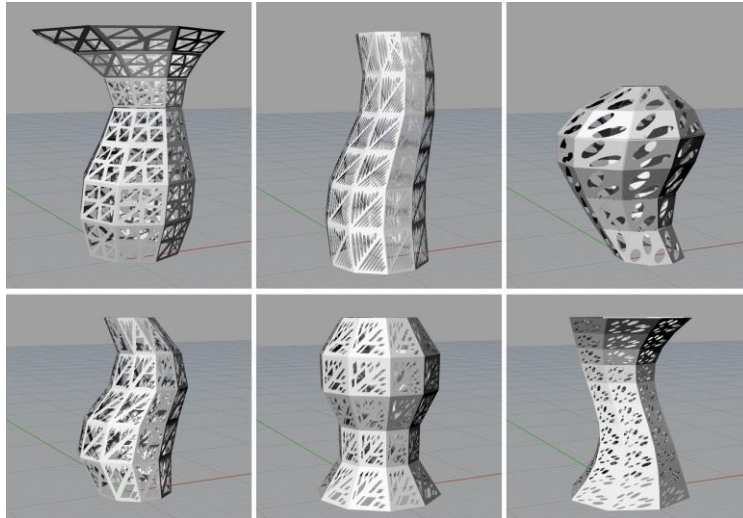
## **Luminárias Paramétricas**

A modelagem da luminária foi composta por três estágios: modelagem da forma, triangulação e aplicação do padrão. A modelagem da forma baseou-se em quatro circunferências dispostas em alturas diferentes, utilizando como parâmetros seus raios, a altura total da luminária e um vetor de translação no plano. A altura total foi um fator limitante importante, pois a cortadora à laser tinha uma área de corte de 45x80cm, sendo necessário adequar a altura da luminária às dimensões desta.

Para a triangulação, foi utilizado um componente de triangulação da superfície que foi desenvolvido durante a pesquisa de iniciação científica. Este se baseia na divisão quadrangular da superfície. Cada quadrilátero, por sua vez, é dividido na diagonal, criando superfícies triangulares. Uma das vantagens de se utilizar a triangulação é garantir que todas as faces serão planas, permitindo a planificação da forma sem que haja deformações.

Após a triangulação, aplicaram-se os padrões às superfícies. Os padrões foram gerados pelos alunos no Rhinoceros, sendo que deveriam ser baseados em um triângulo retângulo com perfurações. Estes padrões foram aplicados às superfícies triangulares por meio do componente *boxmorph*, que mantém todas as relações topológicas do padrão original, adequando-o às dimensões e inclinações da nova superfície. Na imagem abaixo (figura 1), pode-se ver algumas formas geradas.

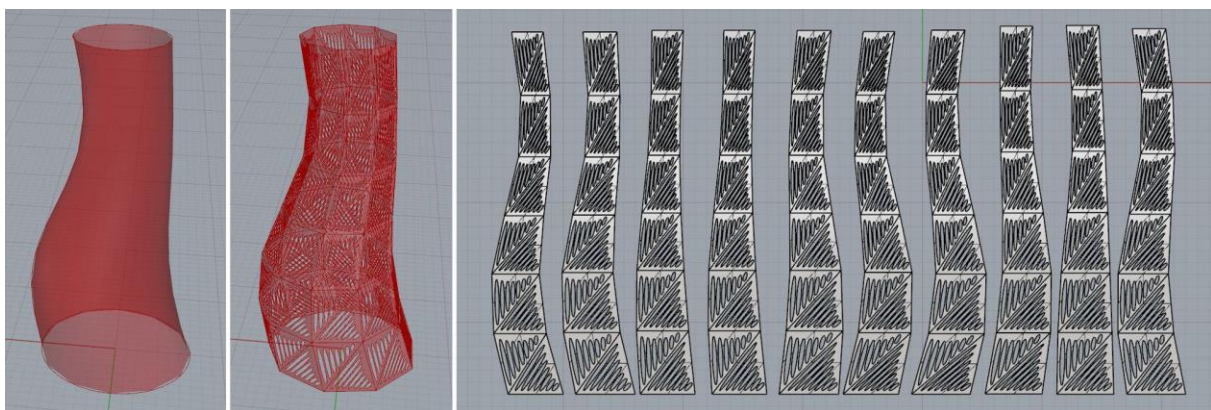
Figura 1: Exemplo de forma geradas



Fonte: dos autores.

Após a modelagem das luminárias, foi necessário prepará-las para a fabricação. Para isso, cada tira vertical foi isolada e planificada individualmente (figura 2). Em seguida, foram extraídas as arestas das tiras, separando as que deveriam ser cortadas das que deveriam ser apenas vincadas.

Figura 2: Modelagem da forma, aplicação de padrões e planificação



Fonte: dos autores.

Ocorreram alguns problemas durante o corte, o que levou à inutilização de algumas peças. O principal problema se deu pela utilização pelos alunos de padrões com poucas áreas preenchidas, onde a distância entre elas ou entre elas e as bordas era menor do que a tolerância da máquina. Algumas peças puderam ser cortadas, porém ficaram tão frágeis pela falta de material, que a estrutura ficou enfraquecida. Peças com poucas subdivisões também apresentaram problemas

durante o processo de montagem, principalmente por criarem ângulos muito agudos, dificultando a colagem. A Figura 3 apresenta a resultado final de uma das luminárias que foi montada durante o workshop.

Figura 3: Luminária desenvolvida e produzida no workshop

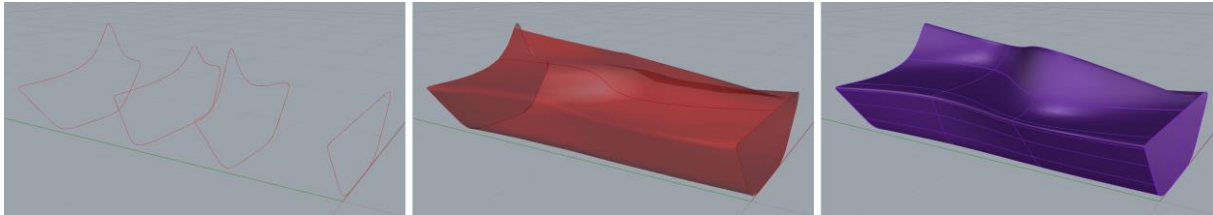


Fonte: dos autores

### **Banco Paramétrico**

A modelagem do banco partiu de suas seções transversais e largura final. Cada seção foi gerada com base nos seguintes parâmetros: largura da base, profundidade do assento, altura do assento, altura do encosto, distância do encosto para a borda e parâmetros de suavização. A programação permitia inserir o número desejado de seções, porém a maior parte dos grupos utilizou de três a cinco seções. Foram fornecidas algumas diretrizes ergonômicas, visando a funcionalidade do banco. As seções foram então distribuídas pela largura total do banco, sendo efetuado o método de interpolação (*loft*) para gerar o volume (figura 4).

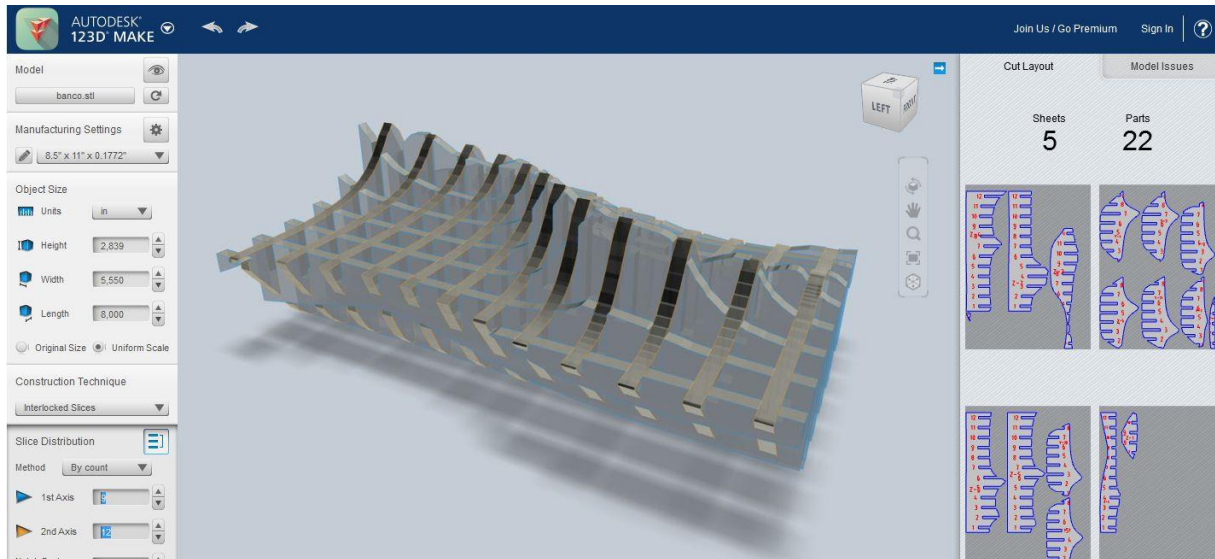
Figura 4: Modelagem do banco paramétrico



Fonte: dos autores.

Após gerar o modelo, este foi exportado no formato .STL, permitindo ser importado no programa 123DMake. O programa permite aplicar diversas formas de fatiamento ao modelo, sendo que neste caso foi escolhido o uso de fatias intertravadas. É possível definir a quantidade de fatias em cada eixo, bem como a espessura do material e tamanho das pranchas. Deste modo, o programa gera as peças de corte com encaixes e identificação, já distribuídas nas pranchas para o corte (figura 5).

Figura 5: Fatiamento do modelo usando 123DMAKE



Fonte: dos autores.

Cada grupo pode fazer um modelo, os quais foram cortados em papelão e papel cartão. A identificação das peças e encaixes permitiu a rápida montagem dos modelos, permitindo avaliá-los de acordo com sua forma e proporções (figura 6).



Figura 6: Modelos de banco em escala 1:10



Fonte: dos autores.

Levando em conta os aspectos funcionais e estéticos, escolheu-se um modelo para ser produzido em escala real. Como o workshop teve duração de apenas um dia, não foi possível concluir o corte das peças em tamanho real, porém foi possível apresentar a fresadora CNC aos alunos e seu funcionamento (figura 7).

Figura 7: Corte de peças na fresadora CNC



Fonte: dos autores.

#### 4 RESULTADOS

O workshop permitiu apresentar métodos de criação e de produção diferentes daqueles com que os alunos estão acostumados. Foi possível desenvolver, produzir e analisar peças de mobiliário num período curto de tempo, demonstrando a agilidade do método utilizado, através das modificações paramétricas e fabricação de protótipos por meio de sistemas CAM. Apesar de não terem aprendido de fato o funcionamento completo dos programas, os alunos puderam ter uma noção das potencialidades destes e de seu funcionamento básico.

As etapas de modelagem, preparo dos arquivos, produção e montagem foram extremamente importantes, permitindo aos alunos ter uma noção do processo completo de projeto paramétrico e produção com o uso da fabricação digital. Os problemas que ocorreram em relação às dimensões de corte, que não permitiram produzir e montar corretamente todas as luminárias, demonstraram a importância de se levar em consideração os limites dimensionais de cada tipo de material, além das características do maquinário a ser utilizado.

A última etapa do workshop consistiu em uma discussão sobre os métodos apresentados. Alguns alunos destacaram a importância do workshop em apresentar métodos de criação e produção de móveis de uso cotidiano que diferem dos métodos mais tradicionais. O curso de Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP apresenta disciplinas de introdução à modelagem paramétrica, porém não aplicada ao mobiliário. Do mesmo modo, algumas máquinas de fabricação digital e prototipagem são utilizadas desde os primeiros semestres, como a cortadora à laser e a impressora 3D, porém para fazer modelos em escala reduzida, não produzindo modelos em escala real.

Quando indagados sobre o que achavam do método de modelagem paramétrica, os principais aspectos citados pelos alunos foram a possibilidade de modificação e visualização do resultado em tempo real, facilidade em alterar a forma de acordo com os parâmetros e possibilidades de variações com o mesmo código. Através dos exercícios desenvolvidos no workshop, foi possível transmitir aos alunos noções de variações paramétricas e relações topológicas, de modo que eles compreendessem as possibilidades e limites do método.

É importante também destacar que alguns alunos queriam alterar algumas relações topológicas do código, buscando inserir outros parâmetros e formas, porém como não foi possível ensinar a

programação paramétrica no tempo do workshop, eles se ativeram aos programas já definidos. Essa vontade de alteração do código provém de uma avaliação crítica importante das relações topológicas estabelecidas, que poderia incorporar mais complexidade ao código ou, pelo menos, apresentar uma nova família de variações paramétricas com base nesta nova relação topológica.

Pela duração do workshop não foi possível efetuar um processo de avaliação dos protótipos e alteração destes até chegar a um produto final. Ao efetuar este processo, o resultado da avaliação do protótipo é utilizado para modificar o valor dos parâmetros do modelo, resultando num novo protótipo que será avaliado e assim sucessivamente, buscando refinar o resultado até chegar a um ou mais resultados satisfatórios. Seria importante também acrescentar essa etapa, em um ciclo de produção mais longo, através do foco em um só produto.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O workshop buscou apresentar o método de modelagem paramétrico bem como técnicas de fabricação digital, utilizando como exercício o projeto e produção de móveis de uso cotidiano. Pelos resultados apresentados pelos alunos e seus comentários, o workshop cumpriu seu objetivo com êxito, fornecendo noções, possibilidades e limitações dos métodos apresentados. Ao se optar pelo uso de programação pré-definidas, somente com a modificação de seus parâmetros, foi possível vencer diversas dificuldades do programa. Essa abordagem pode ser utilizada num primeiro contato com o programa, de modo a demonstrar de maneira prática suas possibilidades, porém, obviamente, o uso completo do programa só será possível após a introdução do pensamento lógico, de técnicas de racionalização do processo de projeto e de questões técnicas do programa.

Deve-se destacar também a importância da concretização destes pequenos projetos em protótipos em escala real no aprendizado. No caso de haver um tempo de trabalho maior, podem-se inserir questões como detalhamento, resistência dos materiais etc, dando maior complexidade ao projeto. O processo de avaliação e alteração do modelo permite a exploração formal e resolução de problemas, visando um produto final acabado, tal como ocorrerá durante a vida profissional destes estudantes.



# PROJETAR - 2015

Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo:  
ensino, pesquisa e prática. Natal, 30 de setembro a 02 de outubro.

## 6 AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela bolsa de Iniciação Científica “Estudo de otimização de coberturas responsivas à insolação através da parametrização” (proc.: 2013/22221-9) e à UNICAMP e ao LAPAC por disponibilizar o local e equipamentos necessários.

## 7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. **Projeto performativo na prática arquitetônica recente**: estrutura conceitual. UNICAMP, 2012.
- BURRY, J.; BURRY, M. **The New Mathematics of Architecture**. Londres, Ed. Thames & Hudson, 2010.
- CAMPOS, F.; CELANI, G. **Estudo de otimização de coberturas responsivas à insolação através da parametrização**. XV ENTAC, Maceió, 2014.
- DIMCIC, M. **What is your profession?** Programming Architecture, 2013. Disponível em <<http://www.youtube.com/watch?v=jwRPQrxxNDA>> Acesso em: 26 abril 2014.
- FLORIO, W. **Modelagem Paramétrica, Criatividade e Projeto**: duas experiências com estudantes de arquitetura. Gestão e Tecnologia de Projetos, Campinas, v.6, n.2, Dezembro, 2011.
- KOLAREVIC, B.; **Architecture in the digital age**: Design and manufacturing. 1ª Edição. Londres, Spon Press, 2005.
- KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. **Performative architecture**: beyond instrumentality. Nova York, Spon Press, 2005.
- SEDREZ, M.; CELANI, G. **Ensino de projeto arquitetônico com a inclusão de novas tecnologias**: uma abordagem pedagógica contemporânea. Pós V. 21 N. 35, São Paulo. Junho 2014.

---

## NOTAS

<sup>i</sup> Do inglês *performative architecture*, onde a tradução literal seria arquitetura performática. A palavra performance neste sentido se refere ao desempenho do edifício, não à apresentação artística. Para evitar problemas de compreensão, preferiu-se utilizar o termo ‘arquitetura performativa’, sendo utilizado também por outros autores (ANDRADE, 2012).