

A inserção dos processos contemporâneos nos cursos de arquitetura, urbanismo e design: uma experiência em escala real com o uso de modelagem paramétrica e fabricação digital

Neliza M. e S. Romcy
Departamento de Arquitetura
e Urbanismo
Universidade Federal do Rio
Grande do Norte
Natal, RN, Brasil
neliza.romcy@gmail.com

C. Eugênio Moreira de S.
Departamento de Arquitetura
e Urbanismo
Universidade Federal do
Ceará
Fortaleza, CE, Brasil
eugeniomoreira@dau.ufc.br

Roberto C. C. Vieira
Departamento de Arquitetura
e Urbanismo
Universidade Federal do
Ceará
Fortaleza, CE, Brasil
brrobertovieira@dau.ufc.br

ABSTRACT

This study aims to present a design experience that initially was developed in an academic subject and posteriorly as a research activity with a full size digital manufacturing development of a bike rack for the Department of Architecture and Urbanism. In this process, it was necessary to consider functional issues not addressed in the subject and adjustments that came during manufacture phase, from budgetary, operational limitations and machinery. The research has also shown the contributions of parametric modeling associated with digital manufacturing, resulting in discussions of issues related to the inclusion of tools and contemporary digital processes in design activity. The research is characterized as exploratory and qualitative, with literature review, including related work as reference and comparison, and the application of a case study, divided into two stages: project development (design and modeling), and materialization (manufacturing and assembly). During the project development, references were used to determine the brief requirements, and formal concept was defined using parametric modeling. The materialization included the manufacturing of the model, a test piece in 1: 1 and the final pieces to be assembled. As cutting equipment it was used a milling machine with computerized numerical control (CNC), to cut MDF and OSB materials. After fabrication, the pieces were varnished and arranged to start assembly in the central courtyard of the Department of Architecture and Urbanism, resulting in the full-sized object.

Keywords

Modelagem Paramétrica; Fabricação Digital; Mobiliário

1. INTRODUÇÃO

A “crise” da teoria crítica da arquitetura ocorrida na década de 90 abre o espaço para o surgimento e sobreposição de múltiplos temas no campo arquitetônico, onde é possível destacar a vasta gama de desafios e oportunidades trazidas pelos avanços tecnológicos, propiciando o surgimento de novos meios de projetar, representar e fabricar[9]. Esta reflexão se faz particularmente interessante nos países latino-americanos, onde essas técnicas coexistem com um contexto de industrialização tardia e recente, trazendo “*novas perspectivas de inovação para o desenvolvimento desigual e concentrado na região, que ainda tem grandes desafios para o investimento econômico e infraestrutura orientada para a pesquisa*”¹. Assim, faz-se de extrema importância a preocupação sobre a formação de futuros profissionais de projeto que estejam habilitados para lidar com ferramentas e processos digitais, trazendo para o âmbito acadêmico reflexões acerca da inserção da Informática Aplicada ao Projeto. A presente pesquisa configura-se como a extensão e desenvolvimento reflexivo de uma disciplina denominada Espaço e Forma 2 (EF2), presente no currículo de graduação de ambos os cursos: Arquitetura e Urbanismo, e Design. Nesta, os alunos são apresentados a abordagens projetuais contemporâneas e ao uso de ferramentas computacionais. O conteúdo programático de EF2 e seu plano pedagógico foram embasados, dentre outras referências, na experiência didática de Sperling e Oliveira[8], sendo composto pelos itens descritos por[3]:

- uma discussão de textos e realização de seminários com temas ligados à linguagem e processos contemporâneos;
- realização de um experimento físico-químico para a geração não-controlada de formas;
- elaboração de estudos em croquis, para posterior modelagem digital;

¹Do original: *new perspectives of innovation to the uneven and combined development in the region, that still has big challenges for economic investment and infrastructure oriented to research.*[7] [traduzido pelos autores].

- reflexões sobre a modelagem digital, para a elaboração de uma proposta arquitetônica ou de design de produto;
- materialização de modelo em escala reduzida utilizando técnicas de fabricação digital.

Tendo sido realizada pela primeira vez em 2011, a disciplina já passou por algumas modificações, no intuito de ampliar as reflexões acerca dos processos de concepção e materialização, trazendo à tona preocupações sobre a tectônica e novas possibilidades de explorar diferentes técnicas de fabricação. Embora a disciplina tenha apresentado uma evolução notável neste sentido, marcada pelo aumento do uso de maquetes e sua contribuição dentro do processo de projeto, percebeu-se a importância de estender essa abordagem para além dos modelos em escala reduzida, investigando desafios e contribuições das etapas de fabricação e montagem em escala 1:1. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho inclui apresentar uma experiência de projeto que parte do trabalho de um grupo de alunos, desenvolvido na disciplina de EF2 – um bicicletário com espaço para descanso, baseado em um experimento com o fogo – para repensá-lo e fabricá-lo em escala real como mobiliário para o próprio Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Com esse processo, houve a necessidade de se considerar questões funcionais antes não abordadas durante a disciplina, assim como determinadas adequações para a materialização do objeto em escala real, provenientes de limitações orçamentárias, operativas e de maquinário. Tais modificações se tornaram possíveis com o ganho de eficiência propiciado pelo uso da modelagem paramétrica, inicialmente não inserida em EF2, além de servirem de laboratório para a discussão de questões chave a serem abordadas em disciplinas posteriores, com destaque para Espaço e Forma 3 (EF3), e Modelagem Paramétrica e Fabricação Digital (MPFD), ambas optativas e disponibilizadas para ambos os cursos. A iniciativa se alinha ao quadro crescente de experiências envolvendo fabricação digital na América Latina, ao longo da última década, como implementação de laboratórios, contratação de serviços, organização de *workshops* e proposição de disciplinas acadêmicas. Um mapeamento sobre o estado da arte realizado por Sperling et al.[7] na região contou com uma amostra de 31 laboratórios orientados à área de arquitetura, dentre os quais 22 estão concentrados em universidades e instituições de pesquisa acadêmica, enquanto 9 são escritórios privados. Destaca-se que todos os respondentes afirmaram estar de alguma forma vinculados a atividades de formação (*workshops*, cursos e pesquisa), enquanto as aplicações dos objetos fabricados indicaram o ensino como um dos focos principais. A situação é também ilustrada na exposição *Homo Faber – Digital Fabrication in Latin America* organizada dentro da XVI Conferência *CAAD Futures – The Next City* realizada em São Paulo no ano de 2015. Dentre os laboratórios e oficinas apontados em ambos os trabalhos, elegeram-se três centros de pesquisa universitários de relevância no cenário nacional – UNICAMP, UFSC e UFRGS² – que possuíam experiências registradas em artigos de congressos nos últimos cinco anos, com semelhanças ao presente trabalho, em termos de escala e processo, o que possibilitou

²Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Federal do Rio Grande do Sul

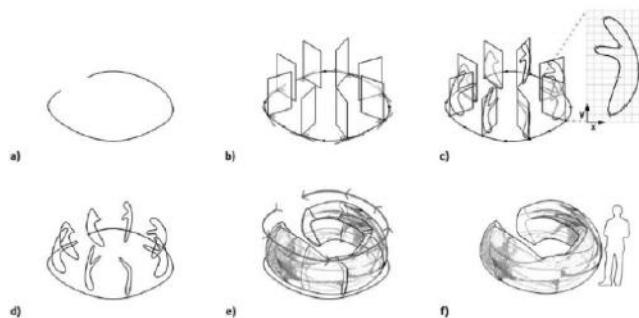


Figura 1: Etapas da criação do modelo volumétrico[1].

estabelecer um paralelo entre métodos e técnicas, além do levantamento de possíveis contribuições.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Os casos aqui apresentados estão descritos nos trabalhos Modelagem paramétrica para o projeto e produção automatizados de uma peça de mobiliário: um exercício de aplicação de Barbosa et al.[1], Digital fabrication as design process tool: connecting design and architecture de Ryberg et al.[6] e Development of parklets by using parametric modeling de Benedetto et al.[2].

Em Barbosa et al.[1], apresenta-se a experiência do projeto de um balcão (Figura 1) para a recepção do Museu Exploratório de Ciências da UNICAMP. Tendo sido concebido como um modelo de superfícies complexas e necessitando de ajustes para a sua fabricação, optou-se pelo redesenho do mesmo a partir de um modelo de geometria associativa (modelagem paramétrica), criando um sólido através da interpolação de curvas geratrizes ao longo de uma curva diretriz. No caso em questão, optou-se pelo desenho de uma curva diretriz plana fixa e a inserção de uma sequência de sete curvas geratrizes planas compostas por pontos cuja posição era controlada através de variáveis para suas coordenadas. Isso tornou possível uma rápida e eficiente exploração de soluções a partir de diferentes desenhos de perfis. Um modelo em escala reduzida foi fabricado através de uma impressora 3D, sendo possível a avaliação de questões estéticas, compostivas e de estabilidade. O resultado desta avaliação retroalimentou o modelo paramétrico que foi complexificado, operando de maneira a fornecer *outputs* pertinentes para a execução do objeto em escala real. O método adotado foi a discretização do objeto através da interseção do mesmo com duas séries de planos perpendiculares entre si, criando um modelo com encaixes do tipo *egg-crate* através de uma posterior operação booleana entre sólidos. Após esta etapa é novamente produzido um modelo em escala reduzida através do corte a laser em papelão para teste dos encaixes, validando a solução para posterior corte a plasma em chapas de aço[1]. As modelagens iniciais foram realizadas no software *Rhinoceros 3D (Rhino)*, enquanto o modelo paramétrico exploratório, exportado para a fabricação final, foi realizado no seu *plug-in Grasshopper*.

Em Ryberg et al.[6] tem-se a descrição da criação de um elemento de mobiliário para a praça da Cidadania. Há um detalhamento das etapas do processo, onde são apontadas: 1. revisão crítica da literatura; 2. processo criativo; 3.

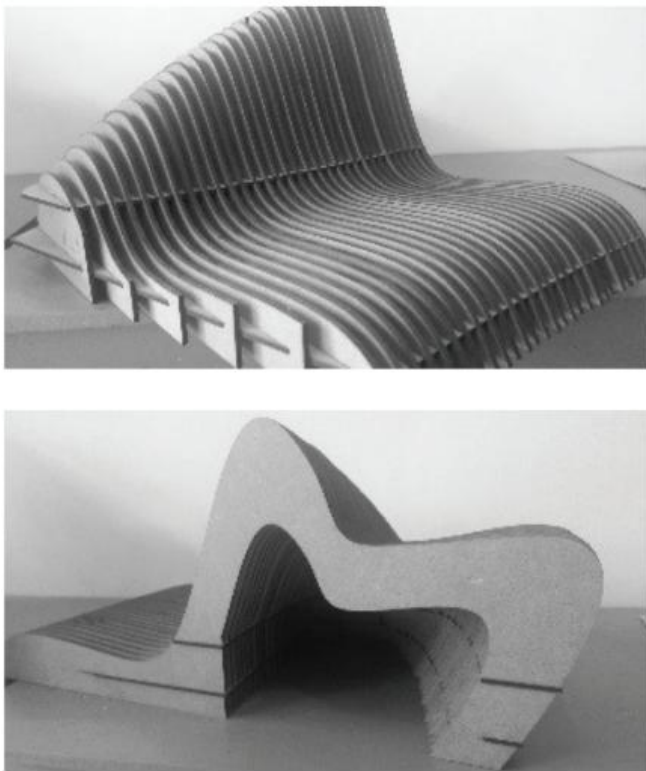


Figura 2: Cortes das peças para montagem do mobiliário em *Interlocking*, em escala reduzida[6].

processo de modelagem e fabricação. A primeira traz uma discussão conceitual, abarcando tanto temas concernentes ao objeto elaborado (mobiliário urbano) como métodos e técnicas envolvendo a modelagem paramétrica e a fabricação digital. A segunda propõe um método criativo pautado em questionários, mapas conceituais, painéis semânticos e *brainstorming*. Já a última trata de uma capacitação em *softwares*, modelagem e geração de alternativas e fabricação na escala 1:1. Atendo-se à última etapa (mais pertinente aos âmbitos desta pesquisa), o trabalho parte de algumas modelagens iniciais em *Rhino* com o intuito de compreender melhor as características do objeto, o que serviu de base para a organização do modelo paramétrico (*Grasshopper*). A partir daí, a modelagem paramétrica é utilizada com o intuito exploratório de soluções e a fabricação digital, através da impressão 3D de modelos maciços, com fins de avaliação de características funcionais para retroalimentação do modelo. O método pensado para a produção em escala real se vale do mesmo processo de discretização apontado no caso anterior, porém a operação é feita através do *software 123DMake* (Autodesk), o que gerou uma ruptura na cadeia por dificuldades de interoperabilidade, apontadas pelos próprios autores. Há uma etapa de validação dos encaixes através de modelo reduzido (Figura 2) com corte a laser em papelão e MDF, material que seria adotado para a realização do objeto real. Sua produção foi realizada utilizando uma fresadora CNC, com a opção de dividir o modelo em três partes[6].

Benedetto et al.[2] traz a experiência de projeto de *parklets*, utilizando o apoio da modelagem paramétrica. O seu processo inicia-se por uma etapa de levantamento de dados,



Figura 3: Protótipo feito com impressão 3D[2].

à semelhança da etapa de revisão crítica da literatura em Ryberg et al.[6], de onde são compreendidas as características do objeto a ser concebido (uma composição de bancos com um elemento de cobertura), bem como suas dimensões gerais. A construção de um modelo paramétrico (*Grasshopper*) é o mote da exploração proposta, e o algoritmo criado apoia sua organização na construção de um sólido a partir de uma diretriz e uma série de geratrizes, à semelhança de Barbosa et al.[1]. A primeira está presente apenas conceitualmente uma vez que, sendo uma reta e não apresentando variação de forma, pode ser substituída pelos eixos de coordenadas do próprio modelador (*Rhino*). Já as geratrizes adotam inicialmente a mesma solução de Barbosa et al.[1], com a parametrização de seus pontos de controle. Nesta etapa, há a fabricação de um modelo reduzido sólido através de impressão 3D, onde o primeiro resultado é rejeitado. Essa avaliação retroalimentou o modelo de uma forma mais estrutural, promovendo uma mudança de estratégia. Identificou-se uma dificuldade no manejo das curvas geratrizes no ambiente paramétrico e esta solução foi substituída por alimentar o modelo com perfis pré-desenhados, utilizando como base para os assentos o trabalho de Vettoretti[10]. Uma segunda impressão 3D (Figura 3) é realizada para a validação da solução. Por fim, apontam-se caminhos para a materialidade em escala real, onde a discretização seria feita pela interseção de apenas uma série de planos verticais com o modelo, criando perfis para corte.

Conforme se pode observar, a proposta metodológica trazida por Ryberg et al.[6] parece descrever de maneira geral os processos aqui apresentados, podendo servir de estruturação para o pensamento que se pretende empreender no estudo de caso. Concentrando-se nas duas últimas, mais voltadas ao objetivo do estudo, podemos perceber as vantagens do uso consciente de ferramentas e processos digitais contemporâneos, mais notadamente a associação entre modelos paramétricos e fabricação digital. Por um lado, a modelagem paramétrica traz uma mudança radical na maneira como arquitetos e designers se movimentam através da árvore de decisões de seus mundos projetuais[4], trazendo agilidade e eficiência na exploração de soluções. A abordagem através de geometrias associativas – sejam estas simples ou

formas mais complexas – traz novos paradigmas de projeto, uma vez que permite a produção de modelos em momentos onde ainda não se possui todas as definições, desde que se entenda uma certa lógica à qual o objeto deve obedecer. Parâmetros “são aspectos do projeto traduzidos em números que são conectados à entidades geométricas do modelo digital. Essas entidades podem ser conectadas entre si, estabelecendo relações geométricas entre os objetos. Projetar com parâmetros exige o estabelecimento de uma série de princípios paramétricos e a criação do modelo que inclui elementos geométricos definidos por suas variáveis mutáveis, agindo como um sistema de informação interligado”[5]. Já as técnicas de fabricação digital trazem um importante salto qualitativo, permitindo a produção de modelos de alta precisão, mesmo partindo de desenhos complexos, reduzindo a carga de trabalho manual para a produção dos mesmos e, por consequência, deixando-os menos dispendiosos. Isso permite ao profissional de projeto a rápida produção de protótipos e maquetes mesmo em etapas intermediárias, possibilitando avaliações que seriam muito difíceis no ambiente virtual. A versatilidade de técnicas e as possibilidades de maquinário permitem ainda seu uso em escalas maiores, por vezes permitindo uma grande aproximação entre maquetes de estudo e o objeto real. Como nos traz Ryberg et al.[6], “estas tecnologias abrem um grande leque de variáveis e problemáticas, antes negligenciadas nas etapas projetuais, passando agora a serem elucidadas na fase de elaboração, criação e desenvolvimento de propostas, garantindo maior precisão e compreensão do projeto desde os primeiros lançamentos de ideias, até o canteiro de obras”[6].

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa se caracteriza como exploratória e qualitativa, com revisão bibliográfica e aplicação de Estudo de Caso. A partir da seleção do trabalho desenvolvido na disciplina de Espaço e Forma 2, onde foi proposto um bicicletário com expressão formal baseada no fogo, o Estudo de Caso se dividiu em duas etapas: 1. processo de desenvolvimento do projeto (concepção e modelagem), 2. processo de materialização (fabricação e montagem). O desenvolvimento de projeto teve início com um grupo de estudos, onde foram levantadas referências quanto ao programa de necessidades, e definido o partido formal. Posteriormente desenvolveu-se o modelo paramétrico, utilizando o *software Rhino*, e seu *plug-in Grasshopper*, mencionados nas referências apresentadas no item anterior. A materialização incluiu a fabricação da maquete, um perfil de teste em escala 1:1 e as peças finais a serem montadas. Nesse processo, foi utilizada a fresadora por controle numérico computadorizado (CNC) como equipamento de corte, além dos materiais MDF e OSB para a maquete e objeto em escala real, respectivamente. É importante salientar que nessa etapa ainda foram realizadas alterações no modelo paramétrico, em função de aspectos observados tanto na maquete como no perfil de teste em escala 1:1, demonstrando a contribuição da materialização como parte do processo de projeto. Por outro lado, limitações quanto ao custo e o equipamento trouxeram necessidades de adequações para que fosse possível a fabricação das peças finais. Após a fabricação, as peças foram envernizadas e organizadas para dar início à montagem no pátio central do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, finalizando o objeto em escala real.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Grupo de projeto - Concepção e Modelagem Paramétrica

A partir do encerramento da disciplina, foi criado um grupo de estudos para o desenvolvimento do projeto, com o objetivo de vislumbrar três aspectos:

- Função: como bicicletário, o projeto deveria atender a dimensões e disposições geométricas específicas, referentes ao cumprimento de seu uso;
- Forma: como continuidade do trabalho da disciplina de EF2, o objeto deveria remeter ao experimento do fogo, como critério estético/simbólico;
- Execução: como mobiliário a ser fabricado para atender ao departamento de Arquitetura e Urbanismo, o projeto deveria vislumbrar material, estrutura e montagem, referentes à sua execução.

O grupo de estudos incluiu os professores e monitores da disciplina de EF2, a equipe do trabalho selecionado e participantes voluntários, como pesquisadores na área e ciclistas. Considerando o período de férias, o grupo estabeleceu reuniões periódicas para discutir o projeto e desenvolver o modelo paramétrico. Durante a definição do projeto, optou-se pela disposição de perfis ao longo de um eixo, considerando a necessidade de amarração das bicicletas, quantidade de vagas e espaço a ser ocupado. Para tanto, foi necessário o estudo dos perfis a serem dispostos, que deveriam seguir duas condições - a forma que remetesse ao fogo e as dimensões específicas para a amarração adequada da bicicleta. Buscou-se a forma do fogo através de um perfil sinuoso com extremidade saliente, que apresentaria variações ao longo do eixo para trazer a impressão de fluidez e movimento, característicos de uma chama. Para as dimensões do bicicletário foram consultadas bibliografias específicas e a experiência dos ciclistas, optando-se por um formato que permitisse amarrar o quadro da bicicleta, garantindo maior segurança e evitando o efeito “empena roda”, característico da amarração apenas pela roda dianteira. Como uso adicional para o mobiliário proposto, foi incluído um banco na lateral oposta à do bicicletário, o que exigiu, ainda, referências em ergonomia. O desenho do perfil foi definido a partir de croquis e discussão coletiva no grupo de estudos, adequando os aspectos formais e funcionais desejados (Figura 4).

Após a definição do perfil, deu-se início ao desenvolvimento do modelo paramétrico, considerando os aspectos inicialmente discutidos. Nessa etapa, foi utilizado o *software Rhino* e seu *plug-in Grasshopper*. Para gerar a variação na forma dos perfis, referente ao efeito de “chama”, foram criadas três variações do perfil principal (curvas geratrizes), distribuídos como seções através do eixo de disposição (curva diretriz), para criar uma superfície volumétrica. As três curvas geratrizes foram inicialmente desenhadas no *Rhino* e importadas para o *Grasshopper*, onde foi realizada a modelagem propriamente dita. A superfície volumétrica foi gerada a partir das três curvas geratrizes e uma curva diretriz, como eixo distribuição das peças, sendo posteriormente fatiada na quantidade de perfis finais. A estratégia de modelagem permitiu o surgimento de seções intermediárias, com formas resultantes da transição entre as três curvas definidas no *Rhino*, gerando uma sucessão de variações para o efeito de movimento desejado como critério de projeto (Figura 5).

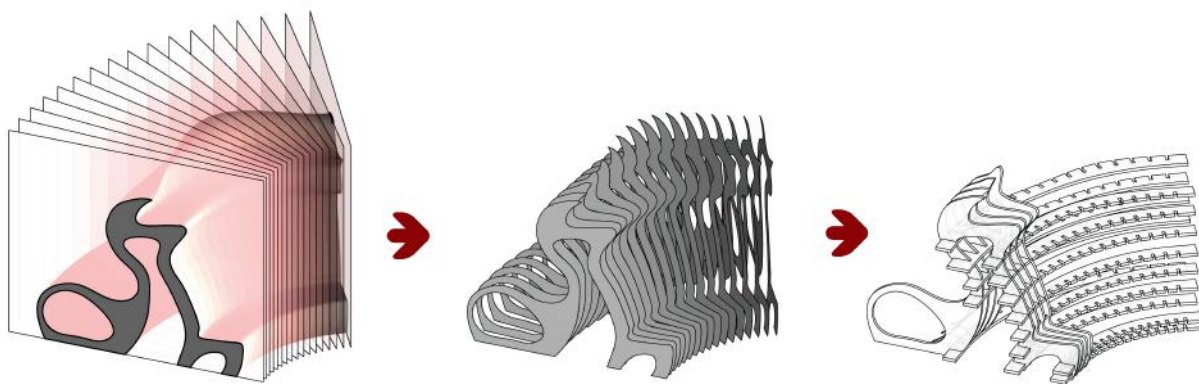


Figura 6: Processo para geração de peças horizontais de travamento.

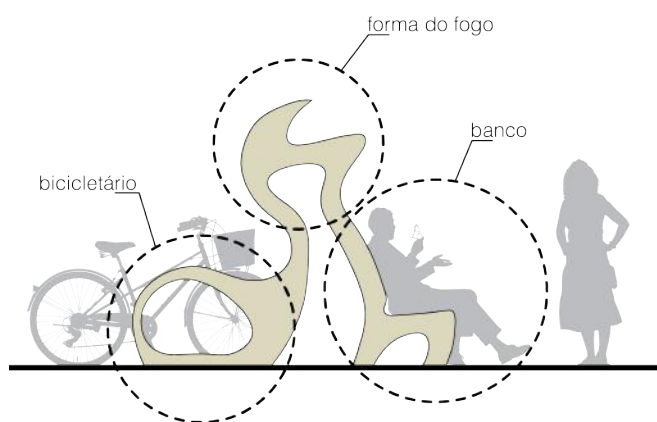


Figura 4: Perfil definido a partir de aspectos formais e funcionais desejados.

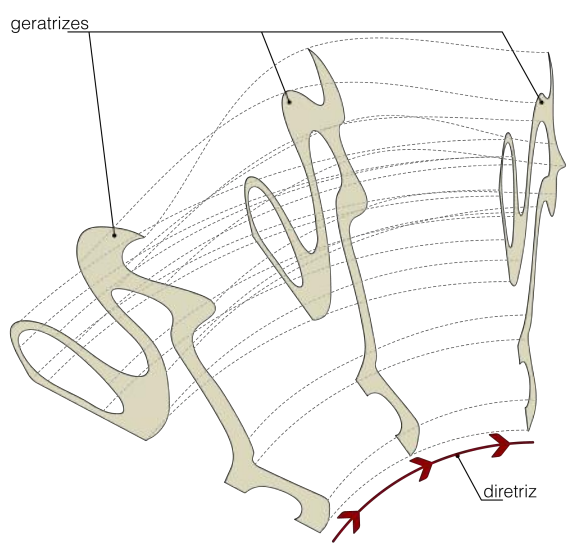


Figura 5: Efeito de movimento a partir da definição das curvas geratrizes e diretriz.

Os perfis foram diferenciados em “com bicicletário” ou “sem bicicletário” (apenas estrutura e banco). A distribuição dos bicicletários foi realizada ao longo do eixo de disposição, considerando os espaçamentos referentes às vagas (uma bicicleta amarrada a cada lado do perfil). Após a distribuição de todos os perfis verticais, foram criadas peças horizontais de travamento, a partir da interseção entre planos horizontais e os perfis verticais (Figura 6).

O encaixe nas peças horizontais de travamento foram gerados a partir de sua interseção com os perfis verticais. Por fim, o algoritmo também realizava a planificação das curvas de cada peça para serem organizadas no plano de corte. Optou-se por incluir essa etapa em ambiente paramétrico, considerando as dificuldades apontadas por Ryberg et al.[6] de se utilizar *softwares* específicos para geração de plano de corte, como o *123DMake*. Os parâmetros definidos incluíram: 1. quantidade, distanciamento e espessura dos perfis verticais; 2. quantidade, distanciamento e espessura das peças horizontais de travamento; 3. extensão e flecha do arco que serve de diretriz; 4. Três curvas importadas do *Rhino*, desenhadas a partir de preocupações ergonômicas e expressivas, determinantes da volumetria geral do modelo. Com os parâmetros adotados, foi possível estudar diferentes configurações de distribuição dos perfis, além da quantidade de vagas e distanciamento entre peças estruturais/bicicletários. Para a demanda e espaço físico disponível no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, optou-se por uma configuração curva, com vagas para seis bicicletas para a fabricação final. Posteriormente, outras contribuições do modelo paramétrico foram percebidas durante a etapa de fabricação.

4.2 Fabricação

Com o modelo paramétrico definido, deu-se início ao processo de materialização através da fabricação da maquete. A maquete (Figura 7) foi fabricada em MDF de 3mm, com a utilização da fresadora CNC. Além de uma melhor visualização da forma e funcionamento do bicicletário, através da maquete (Figura 8) foi possível verificar questões estruturais e o próprio processo de montagem. As dimensões e disposições dos bicicletários foram conferidos com o uso de modelos de bicicletas em escala reduzida, fabricados em *dayfoam*. No que diz respeito às questões estruturais, verificou-se a necessidade de cada peça horizontal de travamento, para inclusão ou exclusão de travas em determinados pontos. Por fim, a montagem da maquete antecipou questões de logística para a

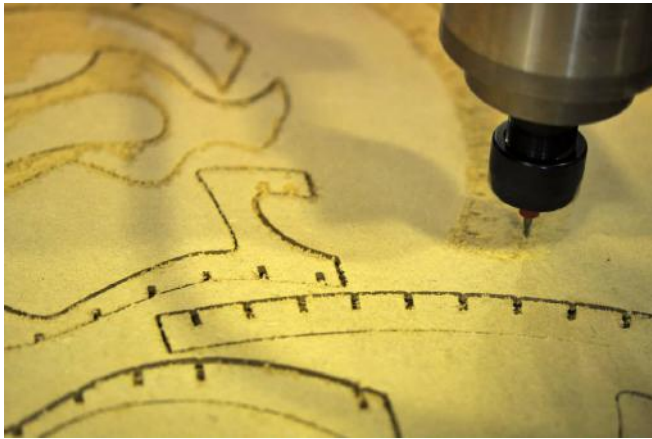


Figura 7: Corte da maquete em MDF de 3mm, com utilização de fresadora CNC.



Figura 8: Maquete utilizada para verificação de aspectos estruturais e processo de montagem.

montagem em escala real, pois foi percebida a necessidade de se posicionar primeiro todos os perfis verticais, encaixados a uma única peça horizontal de travamento, para apenas posteriormente serem encaixadas as outras travas, uma a uma. Quando se tentou na maquete encaixar todas as travas horizontais a um único perfil vertical, não foi possível coincidir o encaixe dos outros perfis, em função de sua distribuição espacial curva. Assim, os testes de montagem da maquete permitiram antecipar a solução de uma questão que poderia ser um complicador maior, caso encontrada apenas na execução em escala real.

Após a fabricação da maquete, também foi confirmada a escolha do material para a execução do objeto final: placas em OSB (*Oriented Strand Board*) de 14mm, comumente utilizadas em painéis como tapume. A escolha se deu por questões de custo e possibilidades de corte da fresadora. Para garantir a espessura necessária para manter as condições autportantes dos perfis verticais, optou-se por colar duas placas de OSB, resultando em um total de 28mm. Definida a espessura das peças finais, foram realizados testes de encaixe com pequenos retalhos em OSB para verificar a necessidade de folgas no recorte das travas horizontais. Antes de dar início às peças finais, foi realizada a fabricação de um único

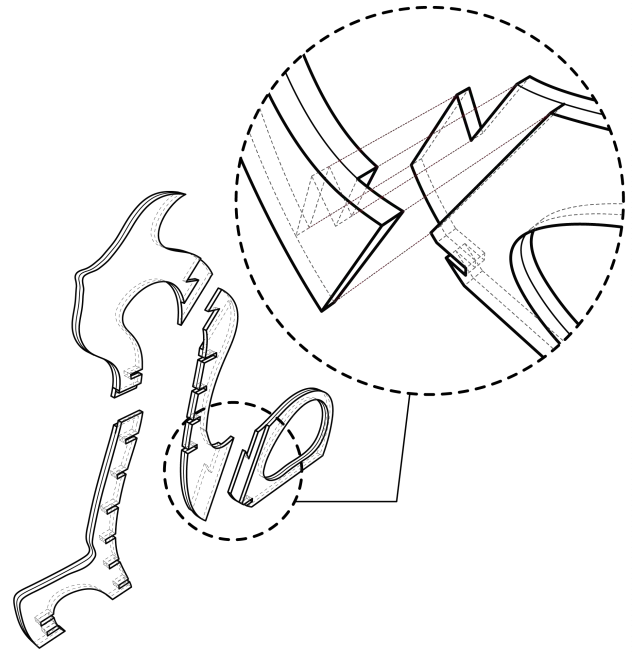


Figura 9: Sistema de encaixe macho-fêmea.

perfil em escala 1:1 para testar o resultado em dimensões reais. A partir do teste, foi percebido que a curva referente ao banco havia ficado com a parte superior relativamente baixa, quando comparada a pessoas de diferentes estaturas. Considerando-se que o objeto final realmente se tornaria mobiliário da universidade e utilizado por estudantes de perfis diversos, optou-se por redesenhar a curva com as alterações ergonômicas necessárias. Nesse caso, o uso do modelo paramétrico trouxe uma contribuição importante, pois, após a correção dos três perfis principais desenhados no *Rhino*, toda a lógica estabelecida no algoritmo do *Grasshopper* se manteve inalterada, o que evitou um grande retrabalho.

Por outro lado, ao elevar a altura da curva do banco, os perfis verticais readequados se tornaram maiores e ultrapassaram à área de trabalho da fresadora. Optou-se por dividir o perfil em três partes, fabricadas separadamente, e criar um sistema de encaixe macho-fêmea, reforçado por parafuso (Figura 9). Essa alteração foi realizada nas curvas de cada peça, já exportadas para o *Rhino*, por se tratar de uma adequação específica voltada para o processo de fabricação. As peças foram organizadas em plano de corte, visando o mínimo possível de desperdício, sendo utilizadas 23 placas de OSB, no total.

O processo de corte na fresadora durou em média uma hora por placa de OSB. Cada peça foi cortada em pares e posteriormente colada com cola branca, para atingir a espessura especificada. Como as placas OSB possuem uma face de cor verde, houve o cuidado de posicioná-las na fresa de modo a garantir que cada peça tivesse duas metades espelhadas que, quando coladas, voltassem sua face verde para o lado de dentro. Antes de serem coladas, todas as peças foram revestidas com verniz nas faces externas para garantir uma maior durabilidade, considerando que o bicicletário seria posicionado ao ar livre. Todas as peças foram numeradas em ordem de montagem, diferenciando perfis verticais

(V01, V02...) e travamentos horizontais (H01, H02...). À medida em que as peças foram fabricadas, coladas e envernizadas, buscou-se um ordenamento prévio seguindo a numeração para facilitar o processo posterior de montagem.

4.3 Montagem

Ao longo da etapa de fabricação, foram realizados testes parciais com a montagem de algumas peças para garantir que não ocorressem contratempos durante o processo final. Confirmou-se a sequência de montagem antes verificada na maquete: posicionamento inicial de todos os perfis horizontais, encaixados a uma única peça vertical, e o posterior encaixe das outras peças, uma a uma (Figura 10). O processo final de montagem foi realizado em duas tardes e incluiu: o deslocamento das peças para o pátio e sua organização por ordem de numeração; a montagem do bicicletário dividido em duas equipes (lateral do banco e lateral do bicicletário); a montagem conjunta das duas laterais com o aparafusamento da extremidade superior de cada perfil (divididos na etapa de fabricação); aplicação final de verniz para reforçar a proteção contra intempéries (Figura 11). Como local para a implantação do bicicletário, optou-se pelo pátio central do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, por se tratar de uma área com espaço amplo, bem localizada e bastante utilizada tendo como resultado final a Figura 12. Atentou-se para o percurso feito a pé pelo ciclista e os espaços de giro necessários para a bicicleta antes de posicioná-la nas vagas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da investigação realizada na presente pesquisa, foi possível confirmar aspectos ressaltados no referencial teórico, quanto às contribuições do uso da modelagem paramétrica associada à fabricação digital ao longo do processo de projeto, além de levantar suas dificuldades durante a produção de um objeto em escala real. Enquanto a confecção da maquete e uma peça de teste em 1:1 permitiu verificar e antecipar questões estruturais, funcionais e de logística de montagem, o modelo paramétrico poupou tempo em retrabalho e manteve a lógica do projeto durante suas alterações. Por outro lado, o objetivo de executar o bicicletário como um mobiliário para ser realmente utilizado na universidade trouxe desafios geralmente não abordados em disciplinas de projeto, como adequação ao equipamento de fabricação, escolha e custo do material, e estratégias de montagem. Assim, o experimento trouxe como resultados não apenas o bicicletário, atualmente utilizado no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, mas contribuições práticas quanto ao uso da modelagem paramétrica e fabricação digital no processo de projeto, além de possíveis dificuldades de sua aplicação desde à concepção de um objeto à execução em escala real.

6. REFERÊNCIAS

- [1] W. Barbosa, A. L. Araújo, and G. Celani. Modelagem paramétrica para o projeto e produção automatizados de uma peça de mobiliário: um exercício de aplicação. In *Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics - SIGraDi 2012*, pages 561–565. Fortaleza, CE, Brasil, November 2012.
- [2] H. Benedetto, F. A. Kipper, V. Marques, and U. M. Bruscatto. Development of parklets by using parametric modeling. In *Proceedings of the 16th*



Figura 10: Posicionamento inicial de todos os perfis horizontais.



Figura 11: Aplicação final de verniz.



Figura 12: Resultado final.

- International Conference CAAD Futures 2015*, pages 268–278. Sao Paulo, SP, Brasil, July 2015.
- [3] M. de Castro Aguiar Vale Pires, A. L. C. Costa, N. M. e Silva Romcy, and D. R. Cardoso. A inserção dos processos contemporâneos nos cursos de arquitetura, urbanismo e design: a experiência da disciplina de espaço e forma 2. In *Proceedings of the 18th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGraDi 2014*, pages 276–279. Montevideo, Uruguay, November 2014.
- [4] W. J. Mitchell. *A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição*. Editora UNICAMP, São Paulo, 2008.
- [5] V. G. Natividade. *Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais*. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - FAUUSP, São Paulo, 2010.
- [6] M. C. Ryberg, M. Storchi, R. Pupo, and I. de Medeiros. Digital fabrication as design process tool: connecting design and architecture. In *Proceedings of the 19th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGRADI 2015 - vol. 1*, pages 153–160. Florianópolis, SC, Brasil, November 2015.
- [7] D. Sperling, P. Herrera, and R. Scheeren. Migratory movements of homo faber: Mapping fab labs in latin america. In *Computer-Aided Architectural Design Futures. The Next City - New Technologies and the Future of the Built Environment*, pages 405–421, 2015.
- [8] D. M. Sperling and M. R. Oliveira. Experimentação projetual no ensino de arquitetura apoiada por tecnologia de fabricação digital. In *XV Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital*, pages 397–400. Santa Fé, Argentina, 2011.
- [9] K. A. Sykes. *O campo ampliado da arquitetura: Antologia teórica 1993-2009*. Cosac Naify, São Paulo, 2013.
- [10] A. C. Vettoretti. *Bancos de ler e conversar: parâmetros de projeto para sistemas de design generativo*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.