

# Modelagem paramétrica para o projeto e produção automatizados de uma peça de mobiliário: um exercício de aplicação

Parametric Design and Digital Fabrication of a Reception Desk: a design exercise.

## Wilson Barbosa Neto

Universidade Estadual de Campinas, Brasil  
wbarbosa@fec.unicamp.br

## André L. Araújo

Universidade Estadual de Campinas, Brasil  
a.araujo@fec.unicamp.br

## Gabriela Celani

Universidade Estadual de Campinas, Brasil  
celani@fec.unicamp.br

### ABSTRACT

This paper describes a design experiment of a reception desk. Automated procedures were used in the process: a parametric design generated the form and connections. Computer models and physical prototypes were produced in order to develop construction details and preview results. We compared this exercise with the method used to design Aviva Stadium in Dublin. It was possible to conclude that the use of a generative method along with automated procedures did not restrict creativity, allowing the quick exploration of multiple design alternatives.

**KEYWORDS:** parametric design, digital fabrication, CAD/CAM, file-to-factory.

561

## 1. Introdução

Nos últimos anos os programas de CAD paramétricos têm sido utilizados na prática profissional e em estudos acadêmicos por todo o mundo. Os programas de desenho paramétrico são também conhecidos como softwares de “geometria associativa”. Segundo Burry (2003), esse tipo de software faz com que o processo de projeto se assemelhe a uma busca em um grande banco de dados. Durante esse percurso as decisões de projeto vão sendo codificadas juntamente com a definição da forma, podendo ser recuperadas em qualquer ponto de seu desenvolvimento.

A presente publicação compõe uma trilogia de trabalhos publicados em congressos que tratam de diferentes aspectos relacionados ao objeto de estudo tal como o processo de projeto paramétrico, a prototipagem, a análise estrutural e suas etapas de fabricação. Este trabalho tem como objetivo descrever a metodologia de projeto paramétrico adotado no desenvolvimento de uma peça de mobiliário desenvolvida para o Museu Exploratório de Ciências da UNICAMP. A seleção da abordagem paramétrica para a construção de um modelo 3D dessa peça foi motivada por um lado pela

intenção de desenvolvimento de múltiplas alternativas de projeto e por outro pela busca de maior eficiência e precisão na geração dos desenhos construtivos para a produção final por meios automatizados, utilizando o conceito *file-to-factory*.

A utilização do software de modelagem tridimensional Rhinoceros juntamente com o plug-in Grasshopper – Generative modeling for Rhino – permitiu a construção de um modelo paramétrico tridimensional. A interface do software Rhinoceros permite representar virtualmente a geometria criada pelas regras construídas na interface do plug-in Grasshopper. Desta maneira, à medida que os valores dos parâmetros estabelecidos no Grasshopper são alterados, o modelo geométrico é automaticamente atualizado.

A peça desenvolvida, que será utilizada como balcão de recepção do museu, foi inicialmente modelada por métodos tradicionais de desenho em CAD. Foi solicitado que o balcão pudesse ser construído em três partes separadas que permitissem diferentes configurações de layout. A proposta inicialmente desenvolvida possuía formas orgânicas e agradou à equipe do museu. Contudo, durante os primeiros ajustes na geometria,

logo se percebeu que seria melhor utilizar um método que permitisse a atualização automática dos encaixes, sem que fosse necessário redesenhar completamente o modelo a cada nova alteração.

A seguir, são descritas com detalhes todas as etapas do processo de projeto que deu origem, posteriormente, aos arquivos para a produção da peça de mobiliário por sistema de corte por controle numérico. Essas etapas são agrupadas em dois momentos: (a) produção do modelo geométrico paramétrico e (b) elaboração dos desenhos para fabricação.

## 2. Etapas da construção do modelo geométrico paramétrico

O estudo de massa constitui a primeira fase no processo de criação da forma do balcão. Nesse momento, o desenvolvimento de um modelo virtual parametrizado permitiu inúmeras variações na forma durante o exercício de busca pelo volume que serviria de matriz para a obtenção das partes que compõem o balcão. O primeiro passo foi a criação de uma curva mestre que determina a curvatura do balcão (Fig.1a). Em seguida, pontos foram aplicados em segmentos equidistantes ao longo desta curva para receberem planos verticais, perpendiculares à curva mestre (Fig.1b). Posteriormente, um conjunto de pontos formados por variáveis nas coordenadas dos eixos 'x' e 'y' de cada plano vertical foi criado para a composição dos perfis da geometria do balcão (Fig.1c). Esses pontos foram ligados por curvas do tipo 'spline', que serviram de guia para a geração da superfície final do volume com a aplicação da operação 'loft' (Fig.1d-f).

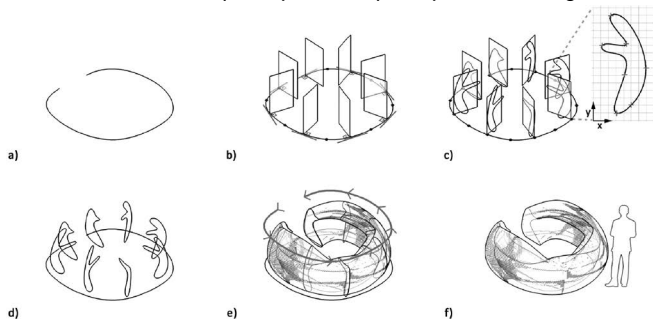


Figura 1: Etapas da criação do modelo volumétrico.

A possibilidade de controle da forma do modelo volumétrico, por meio da variação dos parâmetros estabelecidos para cada um dos quesitos acima descritos fez desta etapa da criação do modelo virtual um sistema dinâmico de busca pela forma. Este sistema substituiu as tarefas repetitivas de ajustes e correção do projeto que são processos comumente realizados quando projetos são desenvolvidos por métodos não associativos. Segundo Francisco (2005 apud Deamer, Bernstein, 2010), as ferramentas de desenho paramétrico são usadas para "(...) estabelecer relações específicas entre elementos pré-determinados de modo que uma mudança em uma variável automaticamente

resultará em uma 'reação em cadeia' entre os elementos que foram programados para reagir de uma maneira específica (...)" (p.30).

Desta maneira, a parametrização dos pontos das coordenadas que definiam a curvatura da 'spline' permitiu a criação de diversas opções no formato do balcão. A alteração dos valores de 'x' e 'y', que determinavam o posicionamento de cada ponto nos planos verticais, resultou em variações do perfil e na forma final do modelo. Assim, as formas puderam ser analisadas criticamente quanto aos pré-requisitos do projeto, como a necessidade de uma superfície para instalar um computador e de prateleiras para colocar folhetos do museu. Após a escolha da forma orgânica que determinaria a curvatura das partes do balcão, o modelo virtual foi exportado para o formato .stl e enviado para a impressora 3D ZCorp, disponível no Laboratório de Automação e Prototipagem para Arquitetura e Construção (LAPAC) da UNICAMP (Fig.2a). O objetivo da produção desse protótipo foi analisar a estabilidade das partes e as possíveis combinações de layout (Fig.2b).

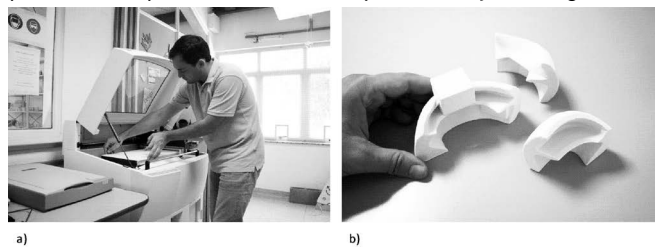


Fig. 2. a) Modelo sendo impresso na ZCorp. b) Análise de estabilidade e composição de layout.

Como resultado da observação do modelo físico apoiado sobre a mesa, pode-se constatar que alguns ajustes na curvatura do modelo virtual deveriam ser realizados, já que uma das partes apresentava instabilidade. Assim, a utilização do modelo impresso possibilitou a observação de um fenômeno que não poderia ser constatado durante o processo de modelagem no ambiente virtual.

## 3. Detalhamento dos Planos

A partir da definição do modelo volumétrico, esta etapa teve como objetivo a criação das partes que compõem o balcão: os suportes verticais e as prateleiras horizontais. Para isso, foram criados planos de intersecção verticais e horizontais no modelo geométrico para a separação do volume em três partes e para a definição das prateleiras (Fig.3a-b). As operações de intersecção foram parametrizadas para que a distância entre cada um dos planos pudesse ser ajustada durante o processo de projeto (Fig.3b). Esses ajustes poderiam ser necessários por diversos motivos como, por exemplo, para aumentar a resistência estrutural da peça de mobiliário ou permitir o melhor aproveitamento de espaço entre as prateleiras acima da bancada de trabalho. Suportes verticais foram estrategicamente posicionados ao longo das curvas,

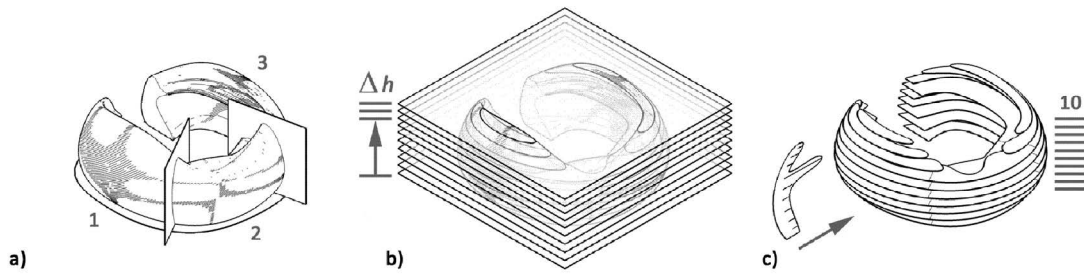


Figura 3: Etapas da criação dos planos de intersecção

permitindo o adequado suporte das prateleiras. (fig.3c).

A utilização de materiais de superfície plana para a composição da forma tridimensional tanto dos modelos reduzidos quanto do objeto final exigiu que encaixes precisos fossem realizados entre as peças. Nesta etapa, o modelo parametrizado teve outro papel importante: a geração automatizada das fendas entre as peças.

A partir do conceito de encaixes do tipo 'egg-crate', foi criada uma regra para a operação de subtração de sólidos. Nesta fase, elementos com altura correspondente à espessura do material, parametricamente definida, foram posicionadas em cada um dos pontos médios de intersecção dos planos vertical e horizontal. Em seguida, a operação de subtração entre a região em que a geometria do sólido encostava na superfície do plano foi realizada. Como resultado, múltiplas fendas nos pontos de intersecção entre os suportes verticais e horizontais foram automaticamente geradas, respeitando o formato definido pelo modelo volumétrico. Na medida em que os ajustes na curva mestre ou na altura entre os planos verticais eram realizados, ou que o parâmetro de espessura do material era ajustado, as fendas eram corrigidas automaticamente.

A fabricação, tanto dos protótipos quanto das peças finais em escala 1:1 foi feita em equipamentos de corte por controle numérico em materiais planos com as tecnologias de corte disponíveis no LAPAC e na empresa de corte em aço Oxipress. Para tal operação, as peças do modelo tridimensional tiveram que ser posicionadas em um plano horizontal que posteriormente seriam organizadas na superfície correspondente ao material a ser cortado.

Esta operação foi desenvolvida com o auxílio do plug-in para o software Rhino chamado RhinoNest. Após a seleção do conjunto de peças a serem "planificadas", a ferramenta de rebatimento/planificação das peças foi selecionada na barra de ferramentas do plug-in e as peças foram alinhadas no plano horizontal automaticamente.

Após o alinhamento em um único plano, foi feita a organização otimizada das peças na área correspondente à dimensão do material a ser cortado. Esse processo é conhecido como "nesting" e contribui significativamente para a redução do consumo de matéria prima. Para tal operação, o "wizard" de otimização de layout do RhinoNest foi aberto e tanto as peças quanto a geometria que correspondia a superfície do material a ser cortado foram selecionadas. Em seguida, diversos parâmetros puderam ser ajustados no plug-in, como, por exemplo, a distância entre as peças, o número máximo de tentativas de otimização ou até mesmo a inserção de números de identificação nas mesmas. Ao final da operação as peças foram automaticamente identificadas e posicionadas na melhor condição de aproveitamento de material (fig.4a). Por fim, as informações digitais do projeto foram enviadas para a cortadora a laser e o modelo foi cortado em papel Paraná de 1.1mm de espessura (fig.4b-c).

#### 4. Discussão

O processo de projeto aqui descrito, apesar de limitado a uma peça de mobiliário relativamente pequena, é muito semelhante à metodologia que vem

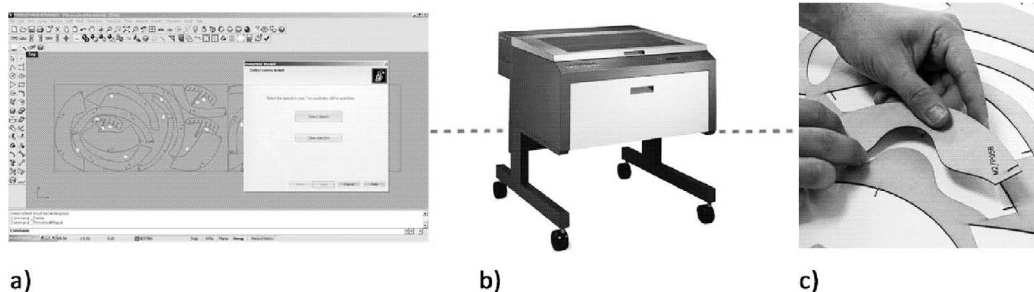


Figura 4: Processo file-to-factory. a) Operação de realização do "Nesting". b) Cortadora a laser. c) Peças cortadas em papel Paraná 1.1mm.

sendo utilizada para o projeto e produção de grandes estruturas metálicas. O projeto do Aviva Stadium em Dublin, por exemplo, dos escritórios Populous e HOK Sport, foi concebido de maneira semelhante. O processo é descrito em detalhe por Shepherd (2011). O estudo volumétrico do projeto teve início com a definição de eixos radiais. Em seguida, o contorno externo do edifício foi definido por meio de oito arcos com concordância tangencial em seus pontos de encontro, estabelecidos parametricamente. O mesmo sistema foi utilizado para a definição do limite interno do estádio. Uma seção vertical composta por dois arcos e uma linha reta, também com concordância tangencial parametrizada (ou seja, inseridas como condição paramétrica para a construção do perfil) foi posicionada em um ponto de intersecção entre um eixo radial e o contorno do edifício. A operação seguinte consistiu em realizar a extrusão dessa seção vertical ao longo do contorno do edifício utilizando curvas de controle bidimensionais para a definição de suas alturas ao longo do percurso. O uso de curvas bidimensionais atreladas ao modelo 3D permitiu controlar e de editar a geometria tridimensional do estádio de modo muito mais fácil que se tivessem sido utilizadas seções independentes em cada ponto de intersecção com os eixos. A última etapa da geração da estrutura consistiu em obter as intersecções entre o volume gerado e os eixos radiais.

O processo de projeto do Aviva Stadium assemelha-se muito ao processo de geração do balcão aqui descrito. A única diferença é que no projeto do balcão a geração do volume tridimensional foi feita por uma sequência de quatro perfis (alguns deles utilizados em pontos repetidos) inseridos em oito pontos da curva mestre, definidos de maneira independente e não por um único perfil cuja variação era dada por uma curva plana. Apesar dessa diferença, a simultaneidade com que foi possível avaliar diferentes alternativas do modelo tridimensional, por meio de operações de transformação nas quatro seções bidimensionais, assemelha-se ao processo descrito por Shepherd (2011). Da mesma maneira que na geração do volume, os dois projetos se assemelham

também na geração dos planos horizontais. Os parâmetros que no projeto do balcão definiam a altura das prateleiras, no projeto do estádio, definiam os níveis dos diferentes pavimentos, também gerados por meio da intersecção entre o volume 3D e planos horizontais.

Uma das vantagens desta forma de definição da geometria relatada por Shepherd (2011) e Hudson (2011) foi a possibilidade de definição volumétrica do estádio mesmo sem uma definição precisa de parâmetros construtivos, como o pé-direito exato, que ainda estavam sujeitas a alterações que dependiam de decisões mais complexas da equipe de engenharia. A vinculação do modelo geométrico paramétrico a planilhas com valores preliminares relacionados à eficiência energética das aberturas na fachada, por exemplo, permitiu uma fácil comunicação entre as equipes de projeto sem a necessidade de circulação do arquivo completo do modelo geométrico (Fig.5a). No projeto do balcão, embora não tenha sido usado um arquivo externo para a definição dos espaçamentos entre as prateleiras, foram utilizadas mecanismos de controle disponíveis no software (barra de rolagem) que permitiam facilmente aplicar alterações dimensionais (Fig.5b).

Finalmente, outra semelhança entre os dois projetos é a produção automática de vetores bidimensionais para a produção automatizada de peças; no caso do balcão por corte a plasma em chapas de aço e no caso do estádio da furação da estrutura tubular por processo de controle numérico (os artigos que descrevem o processo de produção do Aviva Stadium não explicitam detalhadamente os métodos usados nessa etapa, mas além da furação poderia ter sido usada, por exemplo, uma estrutura tubular curvada por meio de processo de calandragem controlado por computador). Nos dois casos, o uso da modelagem paramétrica tornou o processo mais eficiente e vinculado aos processos produtivos, viabilizando grandes alterações na forma geral mesmo quando o projeto se encontrava numa fase bastante avançada.

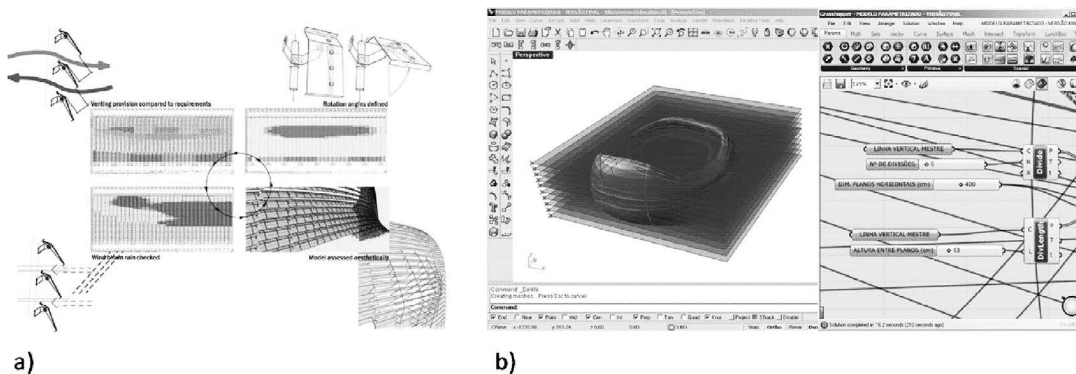


Figura 5. a) Planilhas com dados correspondentes à abertura dos brises da fachada do Aviva Stadium. Imagem adaptada de Hudson (2011, p.198). b) Definição dos níveis dos planos de intersecção horizontal do balcão.

Muito mais do que descrever o processo de projeto em um objeto específico, este artigo levanta questões referentes à importância das operações de desenho geométrico para a arquitetura. Tradicionalmente a geometria projetiva é ensinada a arquitetos e engenheiros como maneira de converter objetos tridimensionais em desenhos bidimensionais com o propósito de permitir sua comunicação com a equipe de produção (mestre de obra ou operador de máquina) sobre um suporte bidimensional (papel). A reconstituição do tridimensional no canteiro depende da interpretação do desenho bidimensional por parte do executor da obra. Isso pode acarretar erros de interpretação e distorções na execução do produto final. Ao considerarmos a possibilidade de produção file-to-factory, a necessidade de produção de representações intermediárias perde completamente o sentido. Contudo isso não significa que a transformação do objeto 3D em 2D seja desnecessária. Dependendo do processo de produção, muitas vezes é necessário realizar uma adaptação de um objeto tridimensional a um objeto montado com peças bidimensionais. O corte a plasma é uma operação bidimensional aplicada sobre materiais planos. O processo de conversão do volume do balcão (o volume tridimensional) para vetores de corte exigiu operações geométricas típicas da geometria projetiva: intersecção de sólidos por planos para a definição das seções e seu rebatimento sobre o plano xy. Isto comprova que o conhecimento aprofundado da geometria não se torna desnecessário com os novos sistemas de produção; ele apenas tem um novo significado que está mais ligado ao processo de projeto que à comunicação da informação projetual.

Para Eastman et al (2007), a modelagem da geometria baseada na parametrização soluciona muitos dos problemas relacionados à troca de informações na arquitetura e ainda contribui para a redução de erros de desenho quando as informações de projeto são diretamente ligadas aos sistemas de fabricação. O autor ainda descreve que os modelos 3D facilitam a comunicação com os demais agentes durante o processo de projeto e execução da obra pois correspondem a uma aproximação da realidade. Neste novo contexto, as cotas de dimensão tornam-se praticamente desnecessárias, servindo no máximo para a conferência da escala das peças produzidas. Não é mais necessário fazer a definição geométrica completa de cada ponto das curvas uma vez que o arquivo digital é interpretado diretamente pelos equipamentos de produção.

## 5. Conclusão

No que se refere à formação do arquiteto, pode-se concluir que dentre as habilidades necessárias para o profissional que opera com os novos meios de produção um conhecimento profundo de geometria projetiva ainda é fundamental, porém com uma nova finalidade.

Esta questão vem sendo tema de caloroso debate internacional sendo talvez seus principais interlocutores os professores Pottmann, Asperl, Hofer e Kilian (2007), na publicação do livro 'Architectural Geometry' que trata de métodos eficientes de construção da geometria em ambiente CAD, além do aprofundamento na discussão da necessidade de atualização do ensino da geometria para arquitetos e engenheiros civis.

## Agradecimentos

Ao Museu Exploratório de Ciências, pelo apoio à pesquisa e à CAPES, pela bolsa de Wilson Barbosa.

## Referências

- Pottman, H.; Asperl, A.; Hofer, M.; Kilian, A. *Architectural Geometry*. Bentley Institute Press, p.724, 2007.
- Shephard, P. Hudson, P. Hines, R. 2011. Aviva Stadium: A parametric success. *International Journal of Architectural Computing*, 9(2), pp167-185.
- Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. 2011. *Bim Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. John Wiley and Sons, v.2, p.650.
- Hudson, R.; Shepherd, P.; Hines, D. 2011. Aviva Stadium: A case study in integrated parametric design. *International Journal of Architectural Computing*, 9(2), pp187-202.
- Deamer, P.; Bernstein, P. G. 2010. *Building (in) the future: recasting labor in architecture*. New York: Princeton Architectural Press, 215p.
- Burry, M. Kolarevic, B. 2003. *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. Oxon: Taylor & Francis Group, 314p.