

From modeling to collective digital fabrication: Experience of the "Banco cabaça"

Isabella Cavalcanti¹, Letícia Teixeira Mendes², Fernando Albuquerque¹

¹ University of São Paulo, São Carlos, Brazil

isabellaeloy@usp.br; luiz.famoraes@ufpe.br

² Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil

leticia.mendes@ufpe.br

Abstract. This paper presents an experience of collective digital fabrication and parametric modeling of furniture made with recycled plastic waste, inspired by natural elements of the Brazilian northeast. In addition to conventional joinery techniques, we highlight the technologies of rapid prototyping (PR) and digital fabrication (FD) (Volpato, 2007; Pupo, 2008; Pupo, 2009); as tools that promote a paradigm shift, both in the design process and in production and materialization (Kolarevic, 2005), allowing recycled plastic to have new applications. We started with a brief review of digital fabrication processes in Brazil, emphasizing collaboration in design and execution. Then, we contain the recycling of plastic and the need for actions for its best destination. Finally, we present a sustainable and collaborative design experience: the modeling and digital fabrication of furniture, entirely produced from recycled plastic, called "Banco Cabaça".

Keywords: Sustainable Design, Digital fabrication, Collaborative process, Parametric modeling, Brazilian design.

1 Introdução

Resultado de um projeto de um mobiliário feito inteiramente de plástico reciclado para ser submetido em um concurso de design a nível nacional, a experiência do Banco cabaça, utilizando de técnicas de marcenaria e fabricação digital, ilustra em diferentes aspectos o trabalho híbrido e coletivo em que se alia o uso de ferramentas e técnicas digitais com manuais na realização de um projeto sustentável feito à muitas mãos. Assim, o objetivo deste artigo é apresentar essa experiência de fabricação digital coletiva e modelagem paramétrica de um mobiliário sustentável e inspirado em elementos naturais do nordeste brasileiro.

O plástico está em todos os lugares: no ar, na água e no solo. Embora sua usabilidade e facilidade de produção sejam positivas na contemporaneidade, sua durabilidade após o uso torna-se uma séria consequência negativa, uma vez que muitas vezes é descartado na natureza sem um planejamento adequado (UNEP, 2018). No Brasil, essa realidade é alarmante pois, além do intenso consumo, o país ainda precisa avançar muito na reciclagem e reutilização do plástico (Agência Brasil, 2018, 2019). Embora evitar o uso seja apontado como a melhor maneira de lidar com o plástico, a reciclagem é o segundo caminho mais indicado para reverter a situação atual do material descartado na natureza.

Dentro desse contexto, o projeto a ser apresentado neste artigo discute a reciclagem como foco principal, explorando estudar e experimentar possibilidades atuais de aliar as capacidades de tecnologias de fabricação digital e modelagem paramétrica (parametric design) para a sustentabilidade no design de produtos. Além disso, o processo projetual desenvolveu-se de maneira colaborativa entre alunos e profissionais com expertises diferentes para o exercício didático proposto, contando também com a participação dos monitores (estudantes de graduação de diversos cursos, como: engenharia mecânica, design, arquitetura e urbanismo, oceanografia, dentre outros) envolvidos no laboratório de fabricação digital de uma universidade pública brasileira.

Diante do substancial crescimento nas temáticas relacionadas às tecnologias digitais nos currículos de cursos de graduação e pós-graduação (Pupo e Celani, 2008; Pupo, 2008; Pupo et al., 2008), considerando-se também seu potencial mercadológico, destaca-se a necessidade de que o ambiente acadêmico esteja adequadamente preparado para enfrentar o desafio de expandir e fortalecer práticas de ensino e aprimoramento de indivíduos através da incorporação das tecnologias de prototipagem rápida (PR) e fabricação digital (FD).

Dada a relevância da questão ambiental como um princípio norteador no desenvolvimento de novos produtos na contemporaneidade, torna-se fundamental a adoção de tecnologias e abordagens projetuais que contribuam para a redução do consumo de energia e a diminuição da produção de resíduos. Consequentemente, a importância da aderência aos princípios de eliminação de desperdícios em processos e práticas sustentáveis ganha destaque como fatores cruciais e determinantes na concepção de bens e produtos, moldando uma nova realidade nas empresas e indústrias. Assim, as técnicas baseadas em prototipagem rápida caracterizam-se como uma das mais aceitas e aplicadas atualmente, pois atendem a aspectos de sustentabilidade e minimização de desperdícios no processo de desenvolvimento de um produto.

Isto posto, nos próximos tópicos iremos compartilhar os resultados e a metodologia colaborativa desenvolvida pelo grupo de autores, que, apoiados nas plataforma Open Source da rede internacional do Precious Plastic e com a contribuição de toda a equipe de um laboratório de fabricação digital de uma universidade pública brasileira, desenvolveram o conceito, a forma, técnicas mistas com a marcenaria de maneira a utilizar os meios disponíveis no laboratório para o desenvolvimento de uma peça a ser fabricada em escala próxima à real. No total foram mais de 80.000 tampinhas de garrafas plásticas retiradas da natureza, ou 90.000 copos descartáveis de 180ml, e transformadas em uma peça de design.

2 Metodologia

Direcionados para atender aos critérios determinados pelo concurso de design, a proposta deveria ser inédita em (i) Originalidade; (ii) Concepção formal; (iii) Inovação tecnológica; (iv) Adequação ao mercado e ao público alvo; (v) Viabilidade industrial; (vi) Qualidade e segurança; (vii) Sustentabilidade e impacto social e (viii) Universalidade. Todos os elementos foram essenciais para o conceito projetual como para o desenvolvimento da metodologia, tornando não apenas o resultado, objeto de inovação, como também o processo de concepção e execução.

Como já destacado, um dos principais desafios, ao mesmo tempo que foi um dos aspectos mais interessantes deste projeto foi a colaboração entre as pessoas envolvidas. Os autores do projeto não conheciam anteriormente a oportunidade de desenvolver o mobiliário. Somado a isso, a distância foi outro desafio a ser superado já que toda a fase de concepção e desenvolvimento da proposta foi feita com os autores distantes quase 2mil km. Nota-se portanto que o digital se fez presente não apenas no uso de softwares de modelagem e na materialização da peça, mas na relação de parceria entre os envolvidos e na formulação da ideia e desenvolvimento do conceito.

Além disso, a produção do mobiliário só foi possível graças à participação dos alunos e pesquisadores envolvidos no laboratório. A produção e o corte das peças foi coordenado e executado por essas pessoas que acreditaram na proposta e se dispuseram a trabalhar em sua execução. Diante do tempo disponível bastante limitado, um pouco mais de duas semanas para todo o processo de formulação da proposta e fabricação, o trabalho simultâneo e coordenado entre as pessoas envolvidas foi significativo e essencial.

Apesar dos desafios já mencionados, a metodologia desenvolvida pelos autores do projeto seguiu passos definidos de colaboração e caráter híbrido

(digital e manual), utilizando-se dos meios disponíveis. Inicialmente realizando reuniões por videoconferência, os autores debateram, desenharam e compartilharam ideias sobre o partido projetual desejado. No segundo momento a construção teórica da proposta foi materializada com experimentações formais com pequenas maquetes de estudo, maquetes digitais, desenhos à mão, entre outros.

Com as intenções mais direcionadas, dimensões e aspectos de fabricação foram considerados para a modelagem da proposta, de modo a ter um rápido conhecimento sobre quantidade de material necessário, precisão na peça e rapidez na geração de opções, o uso da programação visual foi feita, através do software Rhinoceros3D e o plugin Grasshopper. Nesse momento as diferentes capacidades dos autores foi essencial pois, enquanto um compartilhava a possível estrutura de um algoritmo para otimizar a modelagem formal e a preparação para a fabricação digital, o outro contribuia com diferentes maneiras possíveis para encaixes de peças, melhores técnicas para o conforto do usuário e otimização do material a ser utilizado.

Nesse estágio do projeto, destaca-se o trabalho simultâneo e conjunto dos testes formais com as necessidades quantitativas, requisitos de conforto e outros aspectos de design e fabricação das chapas de plástico reciclado (75x75cm). Diante de contratemplos na fabricação, realizaram-se ajustes no design e foram pensadas novas técnicas de execução. O constante processo de feedback entre as pessoas envolvidas em diferentes áreas de trabalho resultou em ganhos significativos de conhecimento, além de ressaltar a importância do trabalho de todos os envolvidos.

2.1 Planejamento e proposta projetual: construção conjunta

O desenvolvimento conceitual começou com uma análise de referências, não apenas de mobiliário, mas também de artes plásticas: pinturas e esculturas. Durante esse processo, observaram-se formas, cores e equilíbrio, que serviram como inspiração. Quanto à originalidade, o projeto buscou se voltar para a produção de arte e arquitetura do Brasil dos séculos XX e XXI, especialmente a arte abstrata e suas definições formais e cores. Além disso, levou-se em consideração a utilidade do mobiliário, analisando as dinâmicas do cotidiano como elemento importante para o conceito.

Para trazer o contexto local, buscou-se inspiração nas dinâmicas urbanas do Nordeste. Após pesquisas e experiências dos autores, ambos dessa região do país, optou-se pela prática de conversar na frente de casa, como uma atividade cotidiana transmitida de geração em geração e ainda existente em cidades do interior do nordeste. Essa atividade, como uma extensão das

casas, cria uma relação direta com os transeuntes e constrói novas dinâmicas urbanas.

Ao abordarmos a forma do projeto, nos inspiramos nas curvas presentes na arquitetura brasileira do século XX e nas formas naturais criadas pelos cursos d'água do nordeste. Inicialmente, estudamos as sinuosidades do Rio Capibaribe, em Recife (PE), como ponto de partida para a modelagem digital e experimentações (Figura 01). No entanto, após discussões relacionadas à fabricação digital e definição conceitual, a forma da cabaça tornou-se uma inspiração atrativa, capaz de expressar os desejos formais compartilhados pelos autores.



Figura 1. Imagem de satélite da cidade do Recife (PE) e do Rio Capibaribe em meio ao tecido urbano. Fonte: Google Earth, 2023.

Diante dessa fonte de inspiração, os autores utilizaram uma técnica mista, envolvendo abordagens digitais e manuais, para realizar as primeiras experimentações com a forma. Enquanto um dos autores adquiriu uma cabaça em um mercado local em Recife (Figuras 02 e 03) e explorou possibilidades de utilizá-la para a finalidade proposta, a outra autora pensava e programava, utilizando um editor de algoritmo gráfico, maneiras paramétricas de transpor a forma da cabaça para o software de modelagem.



Figura 2. Cabaça vendida em mercado local e primeiras experimentações. Fonte: dos autores, 2022.

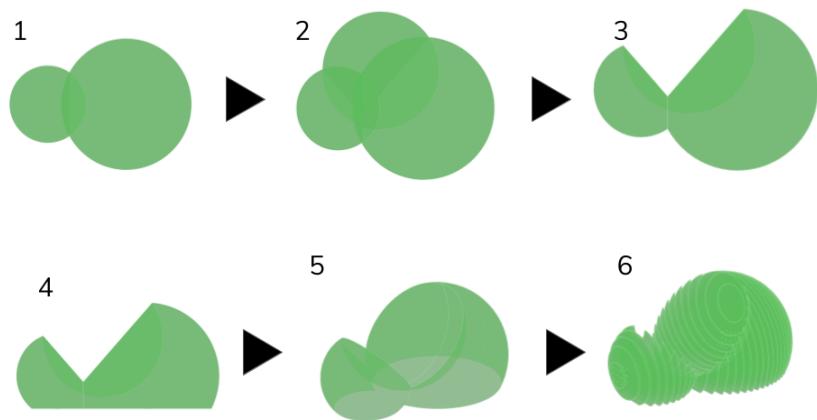


Figura 3. Primeiros resultados formais utilizando a modelagem paramétrica para transpor a forma da cabaça para modelagem de mobiliário. Fonte: dos autores, 2022

Resultado de discussões projetuais e de funcionamento da peça, decidiu-se que a forma deveria ser pensada como um elemento único, assim como é a forma da cabaça. Um novo código (Figura 04). Importante destacar que a combinação da capacidade de trabalhar manualmente com a materialidade da cabaça e a programação paramétrica contribuiu significativamente para o entendimento da forma e as discussões sobre a fabricação, sendo essenciais para o processo de projeto.

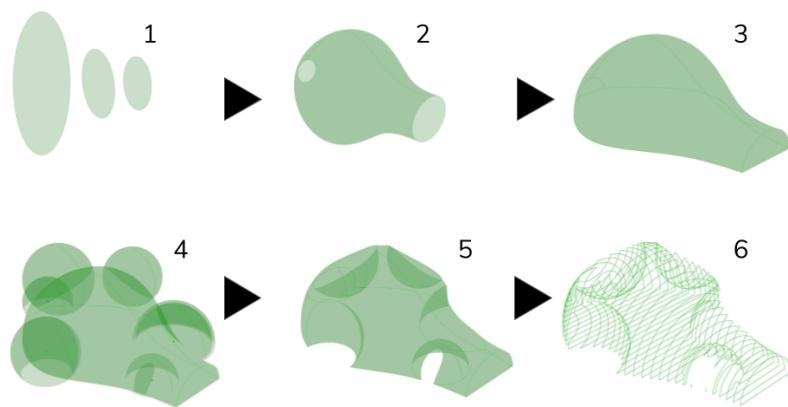


Figura 4. Segunda experimentação formal. Fonte: dos autores, 2022.

Após a primeira experimentação, verificou-se que a forma ainda não atendia completamente as intenções dos autores, especialmente as extremidades que pareciam abruptas. Para resolver essa questão, um novo código foi desenvolvido (Figura 05) e um protótipo foi produzido (Figura 06). O uso de códigos paramétricos facilitou a preparação da forma para a fabricação, permitindo antecipar os locais de perfuração nas placas de plástico reciclado para a fixação das partes com elementos conectores, como mostrado na Figura 05b.

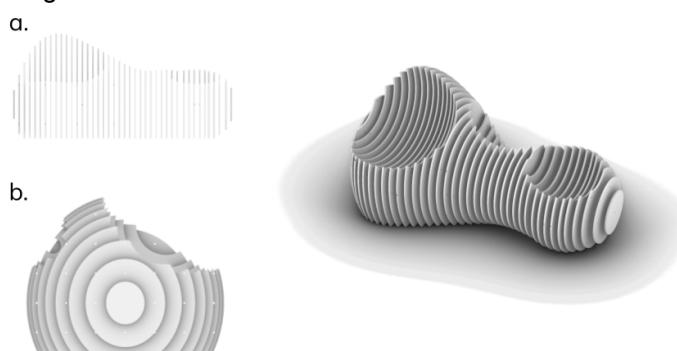


Figura 5. Modelagem do primeiro protótipo feito. Fonte: dos autores, 2022



Figura 6. Protótipo fabricado com chapas de plástico polipropileno (PP) reciclado cortado a laser. Fonte: dos autores, 2022.

Embora o resultado da etapa de prototipagem tenha sido satisfatório, a fabricação em escala real demandaria mais tempo do que tínhamos disponível, devido à grande quantidade de chapas para produção e a quantidade de material necessário para sua execução, inviabilizando finalizar a tempo do prazo do concurso. Além disso, a forma do mobiliário precisava de ajustes e uma análise mais aprofundada de ergonomia, especialmente em

relação às possíveis extremidades pontiagudas. Diante dessas condições, decidiu-se retomar uma ideia discutida anteriormente, desenhada manualmente. Além de trabalhar com encaixes, essa opção reduziria significativamente a quantidade de material e, consequentemente, o peso da peça (Figura 07).

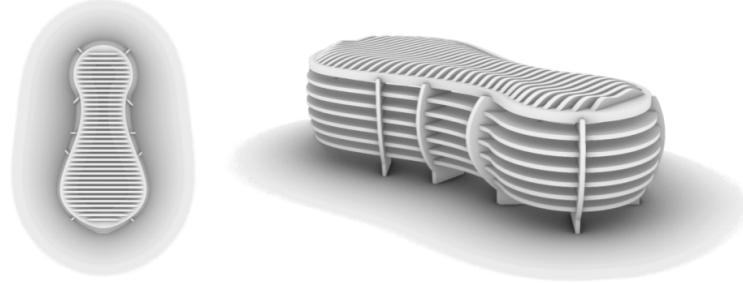


Figura 7. Modelagem final. Fonte: dos autores, 2022.

2.2 Execução do projeto: processo colaborativo e simultâneo de discussão e fabricação

A construção do Banco Cabaça foi uma experiência completa de produção, em que o material base (plásticos triturados de coleta seletiva) passou por um processo pós-processamento para se tornar matéria-prima, sendo transformado em chapas com 10mm de espessura de plástico PP reciclado (figura 08). Cabe ressaltar o processo de produção experimental, envolvendo pesquisadores e estudantes que, juntos, transformaram o plástico triturado em chapas densas e duráveis por meio de aquecimento em forno semi-industrial e posterior processo de compressão em prensa fria. Enquanto isso era feito, ajustes no projeto e desenvolvimento de protótipos eram realizados em paralelo, exigindo uma equipe dividida em duas frentes de trabalho.



Figura 8. Processo de produção de chapas de plástico polipropileno (PP) reciclado.
Fonte: Laboratório de fabricação em que o projeto foi executado, 2023

As chapas são fabricadas colocando pedaços de plástico tipo 5 (polipropileno - PP) em molduras metálicas de 700x700x15 mm, que funcionam como moldes que definem as dimensões da chapa. O molde preenchido com plástico triturado é então colocado em um forno pré-aquecido a 280°C, mantendo essa temperatura por aproximadamente uma hora. A cada 15 minutos, o molde é girado para garantir um derretimento uniforme e obter chapas mais densas, resistentes e planas. Esse método de fabricação passou por aprimoramentos ao longo do processo produtivo, com melhorias no manuseio das ferramentas, ajustes precisos na temperatura do forno e na quantidade de matéria-prima nos moldes.

Após a finalização das chapas, o corte iniciava-se com o uso da fresadora CNC. A complexidade das formas das peças exigia o corte computadorizado, pois cada componente do Banco Cabaça era único. O corte manual, mesmo com ferramentas elétricas, seria inviável devido à baixa velocidade e à falta de precisão necessária para o encaixe das peças variadas.

Com o corte computadorizado da fresadora CNC, as peças foram unidas por encaixes após os cortes. A complexidade da geometria exigiu ajustes manuais de lixamento na montagem do primeiro produto finalizado (Figura 09). A montagem ocorreu simultaneamente à limpeza e acabamento de cada parte. As bordas foram arredondadas para maior conforto e um

resultado esteticamente satisfatório. A estrutura foi formada por barras rosadas de aço carbono, unindo as lâminas do banco e fornecendo

resistência para suportar 300 kg, permitindo que três adultos se sentassem com segurança.



Figura 9. Montagem do banco em escala reduzida. Fonte: dos autores, 2022.

3 Resultados

Projeto que utiliza modelagem paramétrica e fabricação digital para execução de design é cada vez mais comum, explorando cada vez mais os limites da associação de meios computacionais para a fabricação. Não obstante, aspectos mais profundos podem se aliar às possibilidades amplas desses meios. No caso do Banco cabaça, o uso da PR e da FD são de extrema importância, mas o que gostaríamos de evidenciar é a intenção principal da experiência: a reciclagem do plástico, retirando da natureza um material que tanto polui solos e mares; e o processo de trabalho colaborativo.

Como evidenciado na descrição da experiência, a importância da colaboração e trabalho em equipe no processo de fabricação foi essencial. O objetivo de reciclar materiais e criar peças de design funcional e culturalmente inspiradas foi central, com benefícios valiosos de colaboração e parceria. O resultado é apenas uma parte de um processo coletivo e abrangente (Figura 10).



Figura 10. Banco Cabaça. Fonte: dos autores, 2022

4 Considerações finais

O Banco Cabaça é resultado da reciclagem de aproximadamente 130 kg de plástico, equivalente a mais de 80.000 tampinhas de garrafas ou 90.000 copos descartáveis. Essa iniciativa busca dar uma nobre utilidade a esse material durável, adquirido por meio de cooperativas locais. Vale ressaltar que a reciclagem de plástico não é uma novidade industrial, porém, na produção do Banco Cabaça, foram aprimorados métodos de reciclagem com base nas diretrizes Open Source do Precious Plastic. O objetivo é simplificar e disseminar esses processos, ampliando as possibilidades de reciclagem além dos modelos industriais. O processo de produção em si é tão importante quanto o próprio banco, e compartilhando as etapas, desafios e superações, esperamos contribuir para futuras experiências e melhorias.

Referências

Agência Brasil (2018). Brasil perde R\$ 5,7 bilhões por ano ao não reciclar resíduos plásticos. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-06/brasil-perde-r-57-bilhoes-por-ano-ao-nao-reciclar-residuos-plasticos>

Agência Brasil (2019). Brasil gera 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/brasil-gera-79-milhoes-de-toneladas-de-residuos-solidos-por-ano>

Kolarevic, B. (2005). *Architecture in the Digital Age: design and manufacturing*. Londres: Routledge.

Pupo, R. T. (2008). Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 1(3), 80-98.

Pupo, R. T. (2009). Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura (Doctoral dissertation, [sn]).

Pupo, R.; Celani, G. (2008). Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades. Cuba: Congreso de La Sociedad Iberoamericano, 2008.

Pupo, R., Duarte, J., Celani, G. (2008). Introducing digital fabrication into the architectural curriculum: two similar experiences in different contexts. Congresso ECAADE.

UNEP (2018). *Waste Management Outlook: Latin America and Caribbean*. <https://bit.ly/2VdzMNv>

Volpato, N. (2007). *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*. Editora Blucher.