

## Experimentações com tecnologias de fabricação digital: produção de modelos e protótipos de elementos de conexão

### *Experimentations with digital manufacturing technologies: production of joint models and prototypes*

**Livia Brito da Cruz, pesquisadora, Universidade de São Paulo.**

livia.brito@usp.br

**Camilla Martins Freire, pesquisadora, Universidade de São Paulo.**

camilla\_martins@usp.br

**Mariana Rodrigues Rizzi, pesquisadora, Universidade de São Paulo.**

marodriguesrizzi@usp.br

**Tomás Queiroz Ferreira Barata, professor doutor, Universidade de São Paulo.**

barata@usp.br

**Cyntia Santos Malaguti de Sousa, professora doutora, Universidade de São Paulo.**

cyntiamalaguti@usp.br

### **Resumo**

Considerando o processo de democratização da Fabricação Digital (FD) e a crescente cultura do *Do It Yourself (DIY)*, que proporciona aos pequenos produtores criar e comercializar suas próprias peças, este artigo tem como objetivo investigar a utilização de processos de fabricação digital com tecnologias aditivas aplicadas na produção de modelos e protótipos de elementos de conexão para mobiliários e outros artefatos. Os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa exploram tecnologias de manufatura digital, softwares de modelagem paramétrica e processos convencionais de marcenaria para a produção experimental de elementos de conexão geométricos e orgânicos para a junção de chapas e barras roliças de madeira, aplicáveis a modelos e protótipos. Os resultados deste artigo são um conjunto de 11 conectores paramétricos, bem como uma análise de tempo de impressão, uso de material e da eficiência na produção dos mesmos.

**Palavras-chave:** Fabricação Digital; Prototipagem; Conexões.

### **Abstract**

*Considering the process of democratization of digital fabrication and the growing culture of Do It Yourself (DIY), which allows small producers to create and sell their own products, this article aims to investigate the use of digital fabrication processes with additive technologies applied in the production of joint models and prototypes. The methodological procedures adopted in the research explore digital manufacturing technologies, parametric modeling software and conventional carpentry processes for the experimental production of geometric and organic connection elements for joining sheets and round wooden bars, applicable to models and prototypes. The results of this article are a set of 11 parametric joints, as well as an analysis of printing time, material use and efficiency in their production.*

**Keywords:** Digital Fabrication; Prototyping; Joints.

## 1. Introdução

A fabricação digital, embora não tenha origem definida, teve um grande desenvolvimento ao longo das últimas três décadas, com a modernização de equipamentos e softwares que trabalham com precisão e eficiência em escalas cada vez maiores. Estes softwares com tecnologia CAM (*Computer Aided Manufacturing*), antes desenvolvidos especificamente para controlar os processos das máquinas, passam a ser compatíveis com formatos utilizados em softwares de desenho digital [1]. Esses avanços permitiram que a modelagem deixasse de ser apenas uma representação planejada de algo, e passasse a ser um modelo digital tridimensional, imbuído de todos os parâmetros necessários para a sua posterior fabricação. Com isso, cria-se a possibilidade de desenvolver, de forma rápida e eficiente, modelos e protótipos com alto nível de precisão dimensional, e estimando de forma muito mais acurada a quantidade de matéria prima necessária, o tempo de produção e custo de cada peça.

Com o uso das máquinas por Controle Numérico (*Computer Numeric Control - CNC*) e Fabricação por Fusão de Filamento (*Fused Filament Fabrication - FFF*) ao lado da cultura *Do it Yourself* (DIY), a fabricação digital passa a fazer parte de um processo de democratização da fabricação e da distribuição de produtos, possibilitando aos pequenos produtores criar e comercializar seus próprios artefatos. E, embora o acesso a essa tecnologia ainda seja limitado, tendo ela um custo elevado e exigindo certo nível de capacitação para o seu uso, a presença dos Fab Labs tem sido de grande importância para esse processo.

Tendo em vista a ideia de sustentabilidade, na qual deve-se levar em conta aspectos da criação, da produção, da comercialização, do uso e do descarte dos bens de consumo, é possível constatar que essa tecnologia também pode ser aliada às questões ambientais [2]. Sendo mais adequada à produção sob demanda do que à produção industrial, ela permite um maior controle das etapas produtivas, com o uso de matéria prima biodegradável ou reutilizável, e ainda pouca geração de resíduos. Adotar técnicas como essas de redução e reutilização de materiais é o que demonstra maior potencial de diminuição dos impactos ambientais, partindo da mudança no design de produtos e de modificações nos meios de produção e consumo [3].

Ao pensar o processo produtivo em conjunto com a sustentabilidade, desponta-se, também, a ideia de economia circular. De acordo com a entidade Ellen Mac Arthur Foundation, a economia circular é baseada em três princípios orientados pelo design: eliminar resíduos e poluição, circular produtos e materiais (em seu maior valor) e regenerar a natureza [4]. Portanto, tentando manter-se em conformidade com esses princípios, foram adotadas, para o desenvolvimento da pesquisa, as tecnologias de fabricação digital, dadas as suas altas capacidades de simulação, de personalização e de otimização de processamento.

Esta pesquisa, sendo grande parte realizada dentro do que foi o primeiro Fab Lab do Brasil [5], localizado no edifício anexo à FAUUSP (Faculdade de Arquitetura Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo), o atual STMEEC (Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas), demonstra um pouco do que pode ser feito com o uso de algumas das máquinas de fabricação digital presentes em um desses laboratórios, sendo elas as Impressoras 3D para peças pequenas (até 40cm x 40cm x 40cm). Tem como seus principais objetos de análise os elementos de junção de chapas e barras roliças, que, juntamente a modelagem paramétrica, podem ser usados para os mais diversos fins e escalas, como, por exemplo, objetos de decoração, mobiliário e estruturas arquitetônicas.

## 2. Procedimentos Metodológicos

O método de pesquisa utilizado para o presente artigo pode ser demarcado por duas grandes fases, a primeira, teórica, de leitura e revisão bibliográfica e, a segunda, majoritariamente prática, de projeto e produção de modelos de conectores.

### 2.1 Revisão bibliográfica

O presente estudo é síntese de uma ampla revisão bibliográfica pautada nos seguintes temas: a) desenvolvimento da fabricação digital ao longo das últimas décadas [6]; b) sustentabilidade e economia circular, sendo essas indissociáveis dos processos produtivos [7]; c) uso de software de modelagem ligados à fabricação digital [8]; d) raciocínio projetivo com auxílio de ferramentas de fabricação digitais [9]; e) estudo de conexões entre peças de madeira [10]. As investigações desses tópicos tomaram como base artigos científicos, teses, dissertações e capítulos de livros que possibilitaram o desenvolvimento de pensamento crítico e de repertório necessários para a constituição e um melhor aproveitamento das etapas projetivas.

### 2.2 Desenvolvimento de projeto e processos de prototipagem de conectores

Seguindo os procedimentos metodológicos de revisão de literatura, deu-se início a fase de projeto e experimentação de protótipos dos conectores. Foram estudados 4 (quatro) tipos de conexões diferentes, dois para conexão de chapas e dois para conexão de peças cilíndricas. Nessa fase foram gerados primeiramente os esboços, feitos manualmente, e, em seguida, os testes de modelagem, com o auxílio dos softwares *Rhinoceros 3D* (com o seu plugin: *Grasshopper*) e o *Fusion 360*, que permitiram avaliar sua aparência, funcionalidade e possibilidade de prototipagem. Para essa avaliação produziram-se as primeiras versões dos modelos digitais, sobre as quais foram feitas simulações de impressão 3D, com o software *Repetier-Host*. A partir dos resultados dessas simulações efetuaram-se alterações nos modelos digitais com o propósito de otimizar o tempo de produção e reduzir o uso de matéria prima. Com as versões atualizadas foram realizadas novas simulações, para, então, partir para a última etapa, a de prototipagem, que consistiu na produção de modelos físicos com impressões 3D em filamento PLA e escala 1:1.

Especificamente no processo de prototipagem, visando entender quais peças apresentaram uma melhor reprodutibilidade, adequação ao processo de impressão e custo-benefício, foram analisadas as seguintes variáveis: a) número de conexões; b) tamanho dos conectores; c) comprimento linear de filamento (com e sem pontes); d) tempo estimado de impressão; e) custo médio, em reais, de PLA por peça.

## 3. Resultados

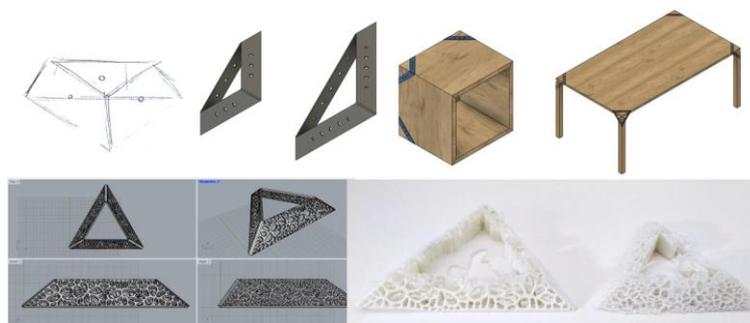
Como produto final da pesquisa, concomitante às análises de tempo, do uso de material e da eficiência na produção com a fabricação digital, foi desenvolvido um conjunto de conectores paramétricos.

### 3.1. Prototipagem de conectores para chapas

Foram realizadas experimentações de dois tipos de conectores para chapas. O primeiro deles foi um conector de canto, que une três chapas adjacentes colocadas a um ângulo de 90° umas às outras. Sua concepção deu-se, inicialmente, com esboços, seguidos pela modelagem 3D realizada no *Fusion 360*, e, logo depois, optou-se por realizar a parametrização do conector, pensando em facilitar sua reprodução em diferentes tamanhos. A parametrização foi realizada no *Grasshopper*, plugin do software *Rhinoceros*, e, concomitantemente a esse processo, com o objetivo de associar

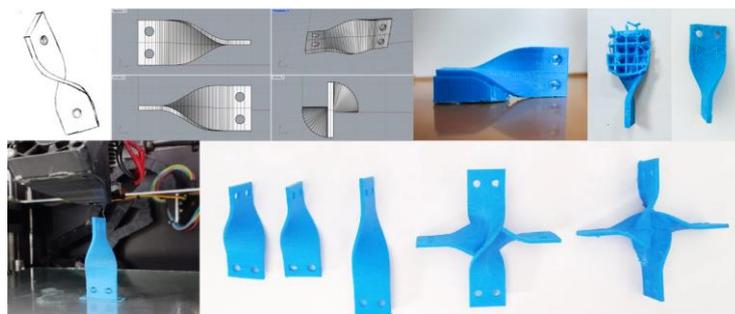
formas orgânicas ao conector, foi aplicada uma textura sobre o protótipo, baseada no diagrama de Voronoi. Por fim, foram realizadas algumas tentativas de impressão 3D da peça.

Na primeira tentativa, foi impressa uma peça de tamanho 8 x 2 cm (base x altura), entretanto, a espessura definida para a linha (1.5 mm) foi muito pequena para a saída de filamento da impressora utilizada, isso combinado a quantidade muito alta de furos (600) da textura impossibilitaram a impressão adequada da peça e deixaram-na fragilizada ao ponto de não ser possível retirar as próprias pontes (filamentos de apoio), que são geradas automaticamente. Um segundo modelo foi elaborado, ajustando a espessura da linha para 3 mm e diminuindo a quantidade de furos na textura de 600 para 130. A peça foi impressa com tamanho 10 x 2 cm (base x altura), entretanto foi possível visualizar a reincidência de um dos problemas citados. A textura do protótipo foi impressa com uma melhor definição, mas continuava frágil, impossibilitando a retirada dos filamentos de apoio (figura 1).



**Figura 1:** Fotos dos esboços e modelos digitais e físicos do conector de canto. Fonte: elaborado pelos autores.

Constatando-se que não compensava investir mais tempo em um modelo de conexão de tão baixa resistência, deu-se início, então, à modelagem virtual de um segundo tipo de conector de chapas, denominado pelas autoras de “conector laço”. A geração do modelo ocorreu partindo dos esboços e seguindo diretamente para a modelagem paramétrica com o *Grasshopper*. Na primeira impressão as medidas escolhidas para o protótipo foram de 5 x 2 cm, com 2 mm de espessura. A primeira peça, feita com filamento PLA, foi impressa horizontalmente, ocasionando a formação de pontes. As mesmas foram retiradas com o auxílio de um estilete e é possível ver na peça final as rebarbas dos filamentos de apoio em uma das faces. Para a segunda impressão sugeriu-se imprimir a peça verticalmente, a fim de evitar a formação de pontes e o desperdício de filamento. Observou-se nesse caso que, além de gerar quase nenhum resíduo de filamento, o protótipo obteve um melhor acabamento. Tendo sucedido nessa impressão, foram feitas outras em um tamanho maior (7,5 x 2 cm). Devido à instabilidade da impressora 3D, uma das peças apresentou falhas, mas todas as outras (4) tiveram impressões bem sucedidas. Além disso, pensando na união de quatro placas simultaneamente, outros dois modelos de conectores foram gerados, combinando duas peças do conector laço citado acima (figura 2).



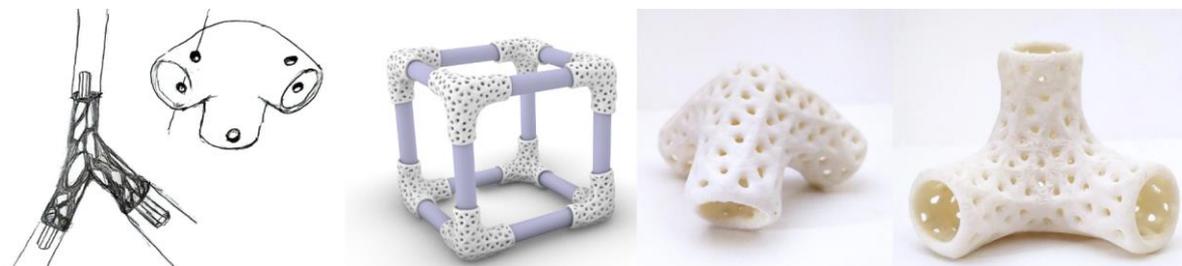
**Figura 2:** Fotos dos esboços e modelos digitais e físicos dos conectores laço. Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.2. Prototipagem de conectores para peças cilíndricas

Em paralelo aos conectores para chapas, foram criados modelos paramétricos de conexões de peças cilíndricas. Para dar início a essa etapa foi realizada uma série de rascunhos. Em seguida, uma das ferramentas utilizadas para fazer os primeiros modelos foi o *SketchUp*, que logo se mostrou limitado para esse tipo de trabalho, já que suas ferramentas se mostraram ineficientes para a criação de formas orgânicas. Além disso, cada alteração exigia a criação de um novo modelo, então os estudos iniciais eram extremamente trabalhosos para serem realizados por meio do software. Com isso, migrou-se a modelagem para o *Grasshopper*.

Pensando na ideia de conectar várias peças cilíndricas a um eixo central, foi feito um modelo paramétrico, a princípio para até seis peças de 25 mm de diâmetro, sendo três peças superiores e três inferiores, em ângulos regulares de 60° entre si, e inclinação de 30° com o eixo vertical. A parte superior é rotacionada em relação a inferior, permitindo o alinhamento das saídas. A peça tem como sua principal base na modelagem digital a ferramenta *multi pipe* do *Grasshopper*, que forma tubos em torno de linhas. Alterando a direção e a quantidade de linhas, portanto, pode-se alterar o resultado da união de tubos. Inicialmente, foi escolhida uma textura vazada que buscava conferir leveza à peça. O que ocorreu, porém, é que as linhas acabaram com uma espessura inadequada para a extrusão na máquina 3D, sendo incapazes de oferecer a estrutura necessária para a impressão.

Na segunda tentativa de imprimir o modelo, produziu-se uma amostra menor, para conexão de até três peças a 90° (eixos X, Y e Z). Esse modelo foi feito dividindo a superfície da peça em triângulos. A peça foi impressa com sucesso e com um bom acabamento, porém gerando muitas bases de apoio, revelando a importância do posicionamento adequado do modelo para a economia de material. Outro fato percebido foi a distorção das bordas, que com a nova textura produziu chanfros que reduziram em cerca de 2 mm o diâmetro interno após a impressão (figura 3).

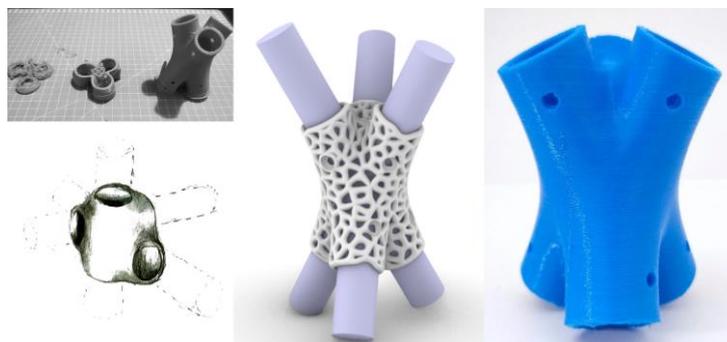


**Figura 3:** Fotos dos esboços e do modelo físico do conector de três saídas. Fonte: elaborado pelos autores.

Partindo do primeiro modelo impresso, realizou-se um segundo modelo, possibilitando o encaixe das 6 peças, agora utilizando a estrutura seguindo o diagrama de Voronoi para reforçar a aparência orgânica que buscávamos a princípio. Houve, porém, problemas com o tempo de impressão, que foi calculado como sendo acima de 9 horas, o que se deu em função da quantidade de pontes criadas para sustentar a impressão nas áreas vazadas, inviabilizando a impressão do modelo.

Foi realizada então outra adequação, que, além de retirar a textura, possibilitou o uso de peças roliças de diâmetros diferentes no mesmo conector. Também foi feita uma pequena redução na escala da peça com o objetivo de reduzir o tempo de impressão e a quantidade de filamento utilizada. O tempo de impressão estimado para o modelo foi de cerca de 6 horas. A posição do elemento reduziu a quantidade de pontes necessárias para sua estruturação, diminuindo, consequentemente, o desperdício de filamento para sua impressão. Devido a problemas com a impressora 3D ou com o filamento utilizado, tendo a máquina ocasional e repetidamente parado

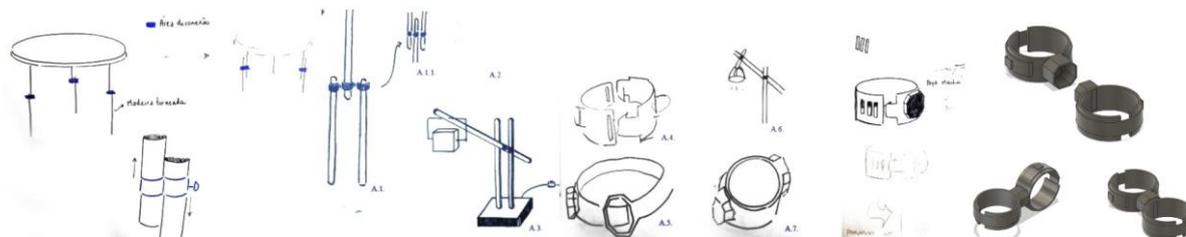
no meio do processo de impressão, fez-se necessário reimprimir várias vezes o mesmo protótipo. O acabamento, no caso dessa peça final, também não foi o melhor (figura 4).



**Figura 4:** Fotos dos modelos digital e físicos do conector de seis saídas. Fonte: elaborado pelos autores.

Outra opção de conector para peças roliças foi projetada a partir da noção de design para desmontagem (*design for disassembly*) [11] que permitisse um alto nível de personalização do produto final, assim como a possibilidade de montar e desmontar o objeto produzido de maneira não destrutiva. O conector exploraria eixos de movimentação paralelos e rotacionais entre duas peças cilíndricas a partir da junção de ambas em diferentes ângulos. Essa noção de movimento permitiria um range diversificado de subversões espaciais pelo usuário final.

A primeira rodada de rascunhos (*roughs*) fundamentou uma versão simples da conexão modelada no *software Fusion 360* a partir da extrusão de formas bidimensionais, método adotado pelo programa de CAD (*Computer Aided Design*). Na primeira versão modelada, tentou-se desenvolver uma espécie de braceira que envolvesse o corpo de madeira torneada. Nesse caso, uma tira de material maleável envolveria um corpo projetado e criaria tensão entre o conector e a peça de madeira. Entretanto, a ideia não foi levada adiante, pois apresentava um baixo nível de detalhamento funcional (figura 5).



**Figura 5:** Fotos dos esboços e do modelo digital do conector “braceira”. Fonte: elaborado pelos autores.

Ademais, observou-se que a adoção de uma peça única com as saídas fêmea e macho em extremidades opostas possibilitaria um número maior de viabilidades de montagem com um tipo único de peça. Após modelada, a versão 2 foi submetida à impressão 3D. Com uma máquina de impressão da marca Sethi 3D e filamento ABS, um protótipo de 43 milímetros de diâmetro foi impresso em cerca de 52 minutos. Na impressora de modelo S3, usada para a impressão do protótipo, a mesa é estática, o que diminui as possíveis vibrações que comprometem a qualidade do produto final.

Os protótipos da versão 2 foram impressos em duplas para que houvesse interação passível de análise crítica da conexão entre as peças. Em uma das conexões foi aberta uma fenda com o objetivo de explorar a quantidade de tensão que a peça suportaria, uma vez que a mesma deveria “abrir” alguns milímetros para abraçar o cilindro de madeira. Constatou-se que o ABS cumpre essa função satisfatoriamente e o material é flexível o bastante para que ceda uma abertura e posteriormente volte a sua forma original.

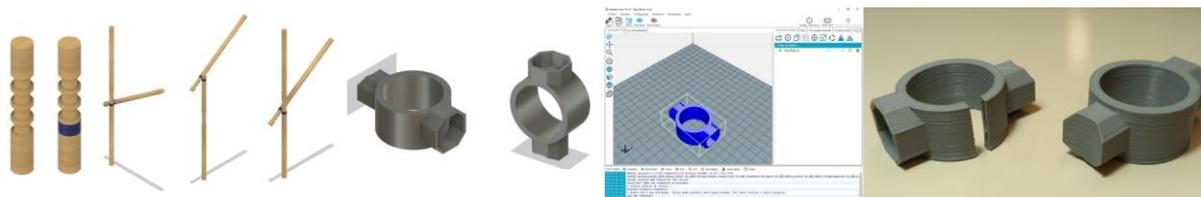


Figura 6: Fotos do esquema de conexão e do modelo digital e físico. Fonte: elaborado pelos autores.

#### 4. Análises dos Resultados

A partir da pesquisa inicial foi constatada o quão vastas eram as possibilidades de trabalho na área de experimentações com tecnologias de fabricação digital, sendo necessária a delimitação do campo de estudo logo de início, a de criação de modelos com prototipagem. Dentro da categoria de modelagem de protótipos, foi elaborada uma pesquisa mais aprofundada na área de junções de peças e conexões. Foi necessário testar os limites das máquinas de impressão 3D e readequar os projetos digitais pelo menos duas vezes (para cada tipo de conector) em cada um dos casos. A maioria dos modelos foram ajustados diversas vezes até que pudessem finalmente serem impressos. A nível de exemplificação, o conector 9 (tabela 1) precisou passar por 3 readequações no arquivo até chegar nesse modelo.

Com o tempo limitado e as máquinas apresentando inconsistências em seu funcionamento, o trabalho acabou seguindo pelo caminho da simplificação, buscando o menor tempo de produção, redução no uso de materiais, menor custo, e, conseqüentemente, os modelos foram se tornando cada vez menos elaborados conforme a pesquisa avançava. Se por um lado a aparência final foi prejudicada por esse processo, por outro, a sua capacidade de reprodutibilidade foi aumentada, permitindo maior adequação aos mais diversos tipos de projetos, em diversas escalas.

Tabela 1: Simulação de impressão e custo por peça

Conectores	Número de Conexões	Tamanho dos conectores (cm)	Comprimento linear de filamento (m) (sem pontes)	Comprimento linear de filamento(m) (com pontes)	Tempo estimado de impressão	Custo PLA por peça (R\$0,75 / m)	Observações
1	3	10,2 x 8,9 x 1,9	4,25	7,2	1h02m	R\$ 5,40	Falha na impressão
2	4	7,5 x 7,5 x 2	2,17	3,57	0h29m	R\$ 2,68	Excesso de pontes
3	4	7,5 x 7,5 x 2	2,26	2,73	0h23m	R\$ 2,05	
4	2	2 x 2 x 7,5	1,13	1,13	0h32m	R\$ 0,85	
5	2	2 x 2 x 5	0,76	0,76	0h22m	R\$ 0,57	
6	6	5,8 x 5,5 x 7,3	6,04	7,17	1h58m	R\$ 5,38	Falha na impressão
7	6	7,9 x 7,4 x 10,7	11,88	12,13	2h21m	R\$ 9,10	Falha na impressão
8	3	8,6 x 9,3 x 5,5	10,59	13,73	1h56m	R\$ 10,30	Excesso de pontes
9	6	6,2 x 5,7 x 8,3	9,47	10,67	1h24m	R\$ 8,00	
10	8	8,8 x 8,8 x 8,8	19,12	24,38	3h01m	R\$ 18,29	Custo elevado
11	2	6,4 x 4,3 x 2,4	4,4	4,86	0h35m	R\$ 3,65	

Fonte: Autores.

Os dados contidos acima, acerca do comprimento de filamento e tempo estimado de impressão, foram obtidos a partir do software *Repetier-Host*, que permite a conversão dos arquivos de formato STL para o G-code, linguagem utilizada pelas máquinas de impressão. O custo da peça foi calculado a partir do preço de PLA observado no momento de realização da pesquisa. [12] A partir da tabela percebe-se que os conectores 4 e 5 foram os que geraram menos pontes. O modelo base para os conectores 6, 7, 8, 9, e 10 é o que apresenta maior capacidade de aumento e personalização no número de conexões. Se compararmos os modelos 7 e 9, é possível notar que são modelos semelhantes, o primeiro com textura, o segundo sem textura e medidas um pouco reduzidas. As alterações pontuais realizadas levaram a uma grande redução no tempo de impressão (de 11,6 min/m de filamento para 7,9 min/m), revelando a melhor reprodutibilidade do modelo simplificado.

## 5. Considerações finais

Para o campo das tecnologias em fabricação digital, essa pesquisa permitiu o maior aprofundamento nos estudos da modelagem paramétrica, alguma noção de como operar as máquinas de impressão 3D, o contato com materiais para prototipagem em fabricações aditivas e o aprimoramento do raciocínio projetivo.

Por meio das experimentações foi notado que a qualidade dos equipamentos e das tecnologias utilizadas impactam no processo e resultado das impressões. Além disso, a quantidade de pontes geradas em cada modelo foram um fator crítico na determinação do tempo de impressão e acabamento das peças, ademais o posicionamento dos protótipos na mesa de impressão afeta diretamente a formação de pontes e, portanto, também interfere no resultado. Algumas outras questões foram observadas e merecem atenção quanto a etapa projetiva, são elas: a espessura das linhas nos modelos digitais, essas devem estar de acordo com a capacidade da impressora e possuir, no mínimo, o mesmo valor que a espessura do bico da extrusora; e o espaçamento entre linhas ou o diâmetro dos furos no modelo, que devem estar no mesmo grau de precisão da impressora, espaçamentos ou diâmetros com valores menores que aqueles processados pela máquina são involuntariamente preenchidos por filamento.

No artigo foi possível abordar apenas algumas possibilidades de conexões de peças, dois tipos para junções entre chapas e dois para junções entre barra roliças, com algumas variações em cada um deles, mas entre tudo o que foi realizado até esse momento fica claro o potencial de conectores associados à fabricação digital para aplicação no ramo de objetos decorativos, mobiliário e estruturas arquitetônicas.

## Referências

- [1] SCHEEREN, Rodrigo. **Fabricação digital na América do Sul**: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção. 2021. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2021. p 34-35.
- [2] BARROS, Alexandre Monteiro. **Fabricação digital**: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. Dissertação (Pós-Graduação em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011. p 48.
- [3] SAMPAIO, C. P. de et al. **Design para a sustentabilidade**: dimensão ambiental. Curitiba: Insight, 2018. p. 124.
- [4] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Glossário da economia circular**. [S. l.: s. n.], 2021. 5 p. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/glossario>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- [5] SCHEEREN, Rodrigo. **Fabricação digital na América do Sul**: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção. 2021. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2021. p 84.
- [6] SCHEEREN, Rodrigo. **Fabricação digital na América do Sul**: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção. 2021. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2021.
- [7] BARROS, Alexandre Monteiro. **Fabricação digital**: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. Dissertação (Pós-Graduação em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.
- [8] SCHEEREN, Rodrigo. **Fabricação digital na América do Sul**: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção. 2021. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2021. p. 47-68
- [9] SASS, Lawrence; MICHAUD, Dennys; CARDOSO, Daniel. **Materializing a Design with Plywood**. Digital Design and Fabrication Group, MIT. Cap. 13. Modelling. Cambridge, 2007. p. 629-636.
- [10] JACKSON, Albert; DAY, David. **Good Wood Joints**. [S. l.]: HarperCollins Publishers, 1995. 128 p. ISBN 0 00 412780 3.
- [11] RIOS, Fernanda Cruz; CHONG, Wai K.; GRAU, David. **Design for Disassembly and Deconstruction**: Challenges and Opportunities. Procedia Engineering, v. 118, p. 1296-1304, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021402>. Acesso em: 20 maio 2024
- [12] 3D LAB. **Filamento PLA Speed Premium Branco**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://3dlab.com.br/produto/filamento-pla-branco/>. Acesso em: 26 maio 2024.