



## Adaptação de conexões impressas em filamento 3D para estruturas de bambu

### *Adapting 3D filament-printed connections to bamboo structures*

Antonella Floriano Beirith – Virtuhab – Design de Produto - UFSC

[antonellabeirith13@gmail.com](mailto:antonellabeirith13@gmail.com) .

Lisiane Ilha Librelotto, Dra. – Virtuhab – Arquitetura - Pos-ARQ - UFSC

[lisiane.librelotto@gmail.com](mailto:lisiane.librelotto@gmail.com)

Paulo Cesar Machado Ferroli, Dra.– Virtuhab – Design de Produto – Pos-ARQ - UFSC

[pcferroli@gmail.com](mailto:pcferroli@gmail.com)

Rachel Faverzani Magnago, Dra.– Virtuhab – Pos-ARQ - UFSC

[rachelfaverzanimagnago@gmail.com](mailto:rachelfaverzanimagnago@gmail.com)

Tomás Queiroz Ferreira Barata, Dr., Universidade de São Paulo.

[barata@usp.br](mailto:barata@usp.br)

Número da sessão temática da submissão – [   ]

### **Resumo**

O crescente investimento em tecnologias de fabricação digital, como a impressão 3D, tem possibilitado soluções mais eficientes nas indústrias e nas pesquisas com novos materiais, oferecendo ao mercado de arquitetura, engenharia e design de produto alternativas mais viáveis para a fabricação. O bambu, um material flexível com diversas espécies, pode ser utilizado de diferentes formas, sendo uma delas em aplicações estruturais. Entretanto, a flexibilidade do material torna-se também um entrave em função da necessidade de ajuste das conexões à diferentes diâmetros. Este artigo tem como objetivo explorar possíveis conexões adaptadas à estrutura de bambu da espécie *Dendrocalamus asper*, utilizando diferentes filamentos para impressão 3D nessas conexões. Os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa foram: levantamento de artigos no Google Scholar, utilização de software de modelagem paramétrica, revisão de referencial teórico, realização de testes experimentais no laboratório e análise comparativa. Até o momento, os resultados incluem a materialização de estruturas de conexão em filamentos PLA, ABS e HIPS utilizando a impressora 3D.

**Palavras-chave:** Bambu; Impressão 3D; Materiais alternativos

### **Abstract**

*Growing investment in digital manufacturing technologies, such as 3D printing, has enabled more efficient solutions in industries and research into new materials, offering the architecture, engineering and product design markets more viable manufacturing alternatives. Bamboo, a flexible material with*



*several species, can be used in different ways, one of which is in structural applications. However, the flexibility of the material also becomes an obstacle due to the need to adjust the connections to different diameters. The aim of this article is to explore possible connections adapted to the structure of *Dendrocalamus asper* bamboo, using different filaments for 3D printing these connections. The methodological procedures adopted in the research were: searching for articles on Google Scholar, using parametric modeling software, reviewing theoretical references, carrying out experimental tests in the laboratory and comparative analysis. So far, the results include the materialization of connection structures in PLA, ABS and HIPS filaments using a 3D printer.*

**Keywords:** *Bamboo; 3D printing; Alternative materials*

## 1. Impressão 3D

Volpato (2018, p.16) define manufatura aditiva e as tecnologias e aplicações da impressão 3D como uma atividade de deposição sucessiva de material na forma de camadas. A manufatura aditiva é realizada por meio de uma representação geométrica computacional 3D feita através do sistema CAD (*Computer-Aided Design*), podendo fabricar diversos componentes físicos pelo uso de diferentes tipos de materiais de forma automatizada e com pouca intervenção humana. Frade e outros (2022) mostram a relação dos sistemas CAD em projetos de design de produto, com a tríade CAD-CAM-CAE aplicada no desenvolvimento de produtos segundo uma abordagem de projeto conceitual e para manufatura. Somam-se e agilizam esse processo, as técnicas de modelagem tridimensional.

Segundo Vinícius (2021), ao realizar estudo acerca da impressão 3D em diversas áreas e seu impacto em cada cenário, foi possível identificar vantagens como: redução do tempo entre criação e prototipagem, limitação do esforço, redução da intervenção humana na máquina, diminuição do desperdício de material, permitir o uso de um produto no momento de necessidade, entre outros.

Segundo dados de Chalegra (2024), a indústria de manufatura aditiva deve expandir seus lucros na faixa dos \$105,99 bilhões até o ano de 2030, o que deixa claro os avanços dessa tecnologia e as maneiras como ela pode impulsionar o mercado industrial em diferentes áreas. O autor também aborda as principais justificativas para esse rápido avanço: o crescimento na digitalização e tecnologias progressivas, dentro os quais a indústria 4.0, com avanços em produtividade e flexibilidade que otimizam a maneira das empresas fabricarem e o aprendizado automático (ML) *Machine Learning*, onde se observa a intervenção humana para desenvolver, e robótica.

A manufatura aditiva propõe soluções otimizadas no que diz respeito aos processos internos como a redução de tempo e redução no desperdício de materiais. Nos diferentes cenários, seja na indústria de arquitetura, design e na construção civil, a impressão 3D está de maneira progressiva engajando o mercado pelo fato de otimizar processos internos de fabricação, demonstrando avanços tecnológicos (CHALEGRA, 2024). Dada a temática, o objetivo deste artigo é explorar as conexões estruturais no bambu utilizando-se filamentos de impressão 3D.

## 2. Bambu

Segundo Bráz (2010), o bambu, quando utilizado como matéria prima na construção em substituição a materiais convencionais, pode auxiliar para a redução dos desmatamentos de florestas nativas. Dessa forma, quanto maior o número de plantio de bambu para o uso industrial, menor é o sistema de monocultura do Brasil, sem a necessidade do uso da madeira como material.

A utilização do bambu em estruturas apresenta alguns desafios, em função de sua grande variedade de dimensões (diâmetros dos colmos) e comprimentos por sua variedade de espécies. Mesmo considerando o uso de apenas uma espécie, o crescimento cônico, por si só, já traz diferentes diâmetros que precisam ser ajustados no momento da realização dos elementos de ligação. Nesse sentido, Bráz (2010) afirma que uma boa proposta de design de conexão deve-se levar em conta as restrições internas, sendo ela sua forma e propriedades do material e, externas no que diz a respeito da necessidade de simplicidade na construção em relação aos equipamentos submersos na produção do componente, durabilidade, adaptação para um sistema modular dando-se a ênfase na produção em escala, resistência mecânica e benefício de custos no valor final. Ainda não se tem um sistema de conexões padronizadas para o bambu por conta de todos os fatores levados em conta, principalmente a variedade nas dimensões e diversidade de espécies. A figura 1 apresenta algumas possibilidades de ligação em estruturas de bambu.

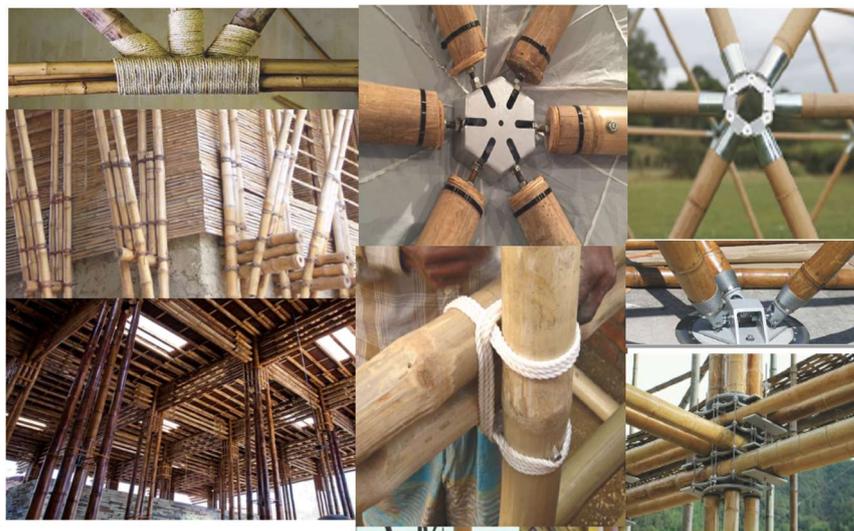


Figura 1: Conexões em estruturas de bambu. Fonte: Larrinaga (2022).

O bambu por ser um material de alta produtividade e possuir rápido crescimento, ele possui uma anatomia tubular oca, a qual possibilita um peso baixo, tornando-se uma opção leve e resistente. (SANTOS, 2023).

Dentre todas as espécies de bambu, pode-se citar a *Dendrocalamus asper* ou bambu gigante originário da Malásia. É considerada uma espécie de grande porte, pois suas moitas e colmos possuem uma dimensão maior (OLIVEIRA, 2019) além de atingir grandes diâmetros e comprimentos superiores a 10 metros. O mesmo autor afirma que esse bambu possui uma boa resistência mecânica e é bastante utilizado na indústria de construção civil, confecção de móveis, produtos laminados colados pelo fato de não ser muito suscetível a ataques de insetos.

A espécie *Dendrocalamus asper* pode variar de diâmetro entre 10 a 20 cm, de acordo com Pereira e Beraldo (2008). Devido às características de crescimento dos colmos e da diversidade de espécies presentes de bambu, se faz necessário projetar uma conexão que possa se adaptar com mais facilidade à variação dimensional do material no sentido de a conexão encaixar no bambu de maneira firme e com certa flexibilidade

Librelotto e Ferroli (2023) e Librelotto et. al. (2019) apresentam as características gerais de espécies de bambu, bem como possibilidades de elementos construtivos e demais informações aplicadas ao mercado nacional. A figura 2 ilustra a cadeia produtiva do bambu no mercado brasileiro.

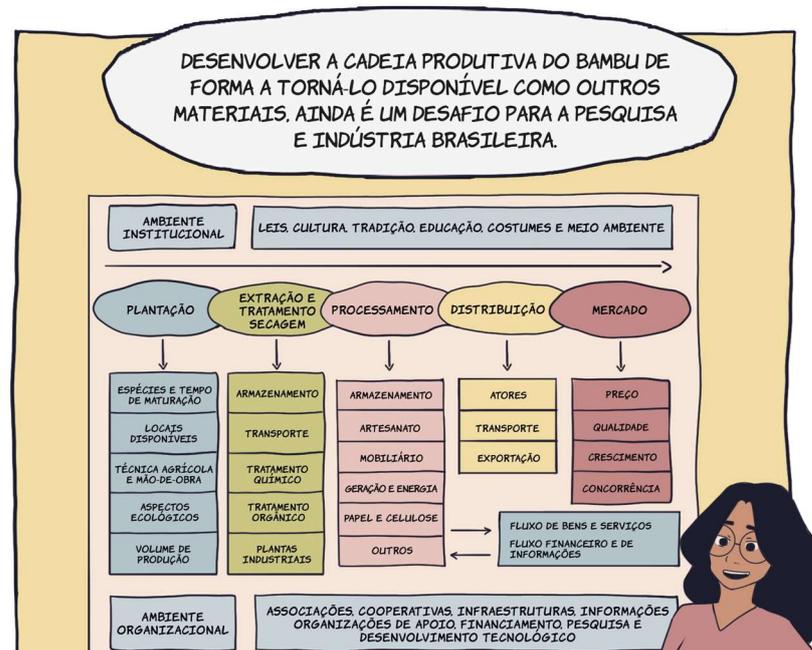


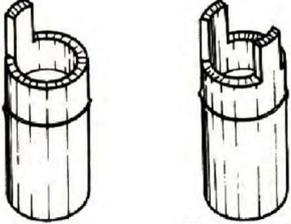
Figura 2. Cadeia produtiva do bambu. Fonte: Librelotto e Ferroli (2023).

## 2.1 Conexões tradicionais em bambu

Larinaga (2022) classifica as conexões de acordo com a tecnologia incorporada: *Low tech*, *Medium Tech* e *High Tech*. Como baixa tecnologia, cita amarrações e sambladuras que podem ser utilizadas de maneira bastante simples mas exigem um domínio de nós e tipos de amarrações, possuindo em geral uma durabilidade baixa pois utilizam cordas de sisal ou outros materiais naturais de rápida decomposição e pouco resistentes aos raios UV, quando usadas em exposição ao sol ou intempéries. Como média tecnologia, traz conexões com o uso de barras roscadas, pinos de madeira entre outras ainda bastante simples, mas de difícil realização. Como elementos de maior tecnologia traz peças projetadas em aço inox ou aço carbono, com durabilidade muito maior que o próprio bambu e com geometrias complexas.

De acordo com Bráz (2010), conexões tradicionais são aquelas inseridas nas construções vernaculares, onde se utilizam materiais locais de uma determinada cultura. O mesmo autor afirma que as conexões tradicionais são aquelas onde há encaixes ou não de amarrações com corda, perfurações, pinos de bambu ou madeira e cavilhas para travamento, ou seja, o critério de confiança do conteúdo tradicional deve ser conhecido e aceito. Janssen (et. al., 2000).

Embora o bambu seja utilizado como um elemento estrutural em função de sua elevada resistência o material é suscetível ao cisalhamento, quando sujeito a compressão paralela ou perpendicular às fibras. Algumas das principais técnicas de cortes empregadas nas conexões tradicionais em bambu podem ser visualizadas no quadro 1.

Imagem	Método/técnica	Descrição
	Corte boca de peixe	Utilizada em peças encaixadas ortogonalmente e inclinadas. Cortadas por meio de ferramentas manuais.
	Corte tipo flange	Atuam como suporte para os elementos sobrepostos, evitando o rolamento da estrutura ao serem submetidos a esforços laterais. Podem ser encaixados por meio de cavilhas e outros elementos em suas abas laterais.
	Corte diagonal e diagonal parcial	Utiliza-se amarrações com fibras vegetais. Usados em estruturas de cobertura com ângulo de corte antecipadamente simulado.

**Quadro 1 - Cortes e conexões tradicionais de bambu. Fonte: autores baseado em Lopés (2003).**

Ao analisar os diferentes cortes pode-se perceber dois padrões, referentes à: a) método/técnica utilizada para o corte, e b) descrição de como funciona o corte e para que serve. Essas técnicas de corte apresentadas serviram de base para compreender alguns tipos de encaixes e como eles auxiliam nas conexões tradicionais. Os procedimentos com bambu exigem sempre adaptações e testes constantes em laboratório, como ilustra a figura 3, que exemplifica o uso de soprador térmico em conexões plásticas.



Figura 3. Testes laboratoriais em conexões. Fonte: Librelotto e Ferroli (2023)

## 2.2 O uso da impressão 3D em elementos de conexões

Várias são as experiências que podem ser encontradas no meio científico com o uso da impressão 3D para conexões em estruturas. Os autores Xin; Yang e Huang (2022) apresentam uma solução (figura 4) em conexão estrutural de geometria esférica para uso em estrutura treliçada infinita.

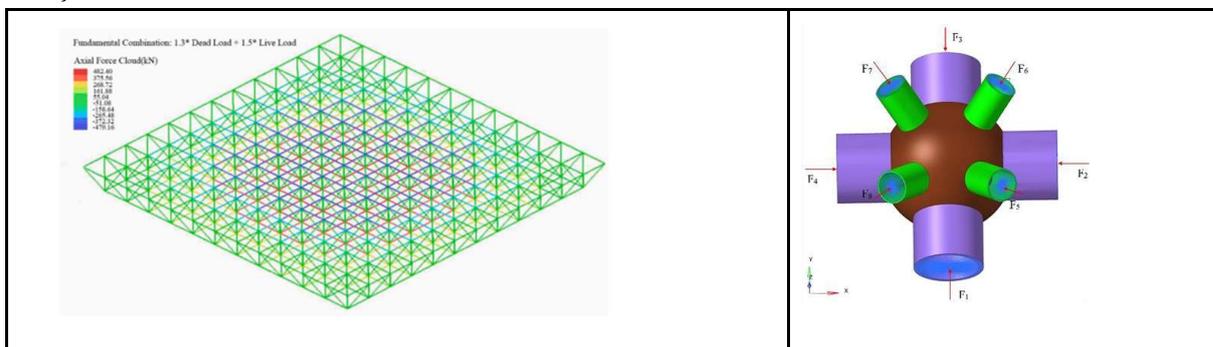


Figura 4. Conexão impressa em 3D e desenho da estrutura. Fonte: Xin; Yang e Huang (2022)

Nesse mesmo sentido, os autores Brito et al. (2024) exploraram também conexões para elementos em madeira com a intenção de apresentar uma solução cilíndrica desmontável, proporcionando um elevado nível de personalização do produto final, conforme ilustra a figura 5.



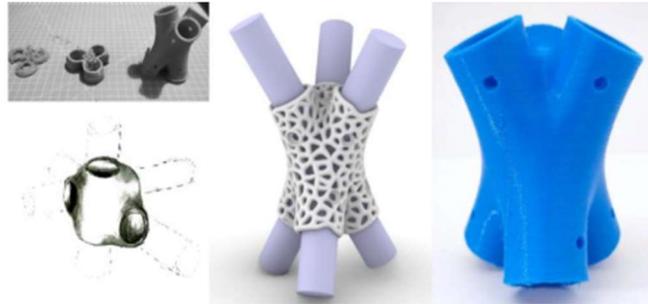


Figura 5. Teste em impressão 3D e seus esboços. Fonte: Brito et al (2024)

Bráz (2010) nos mostra um exemplo de conexão esférica em alumínio para treliça de cobertura com peças pré moldadas de bambu tratado com acabamento envernizado (figura 6).

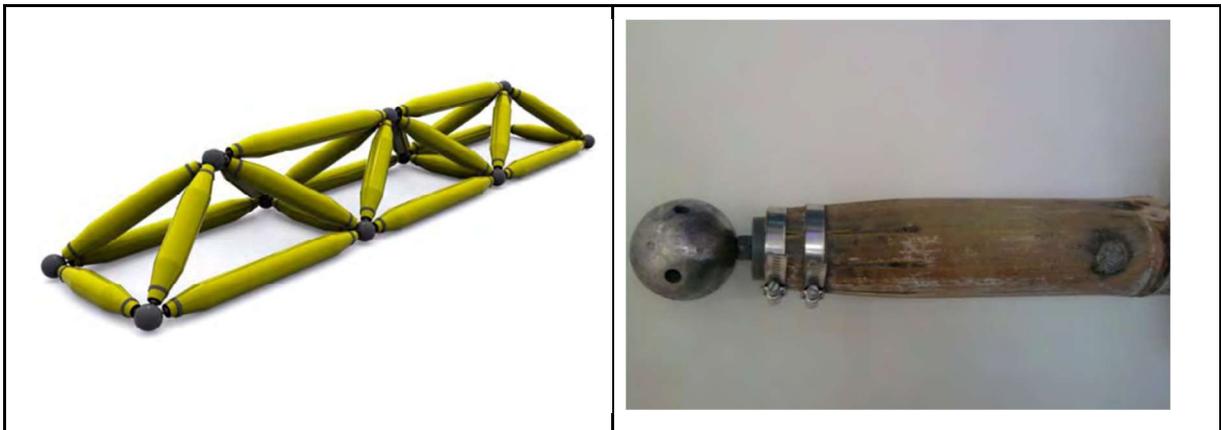


Figura 6. Treliça em peças pré moldadas de bambu e protótipo. Fonte: Bráz (2010)

### 3. Procedimentos Metodológicos

Este artigo tem por objetivo explorar as possíveis adaptações de conexões estruturais em bambu a partir de filamentos de impressão 3D como PLA, ABS e PVC. Primeiramente deu-se início às revisões na literatura com a busca por artigos relacionados à temática escolhida e que possibilitasse compreender a relação da impressão 3D com o bambu e conexões tradicionais, juntamente com os diversos filamentos da máquina.

A busca exploratória de pesquisas documentadas sobre a impressão 3D permitiu compreender seu impacto nos diferentes cenários. Como resultado final busca-se o desenvolvimento de um processo fabril inovador, otimizando processos internos de fabricação para o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu pela adaptação de conexões estruturais na máquina de impressão 3D. As seguintes etapas foram realizadas:

- i) busca exploratória por textos que abordassem: impressão 3D ou manufatura aditiva, conexões e estruturas em bambu;
- ii) sistematização dos textos e das possibilidades de conexões impressas;
- iii) identificação dos filamentos utilizados e possibilidades de adaptação das conexões existentes para estruturas em bambu;
- iv) estabelecimento de colaboração técnica com FAU/USP para adaptação das conexões (Brito et al. (2024) );
- v) redesenho das peças com variação dimensional de 1 cm para melhor ajuste ao diâmetro do bambu e modelagem da estrutura onde as conexões serão empregadas;

vi) testes de impressão das peças

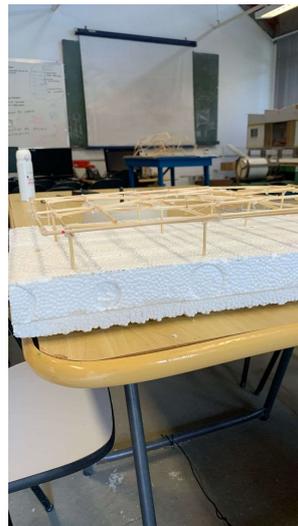
#### 4. Aplicações e/ou Resultados

A impressora utilizada para o início das atividades práticas foi a SETHIC AIP A3 com o filamento PLA juntamente com o software Repetier Host. Houve algumas dificuldades de ajustes da impressora que conduziram a alteração do eixo z do bico em relação à mesa e adequação da temperatura do bico de extrusão ao filamento utilizado, além de configurações diversas do software Repetier Host.

Para o teste da impressora, se fez o uso do arquivo moai com várias tentativas. Elencando-se fatores intervenientes na impressão: a) entrada de ar no ambiente de impressão alterar a temperatura da impressão; b) vibrações alteram o percurso da máquina.; c) variações de corrente elétrica causam interrupções no processo de impressão; d) pouca cola sobre a superfície de aderência de vidro da mesa. A figura 7a mostra um dos testes realizados no laboratório com a impressão. Já as figuras 7b e 7c trazem a estrutura recíproca em bambu onde as conexões serão empregadas e o projeto (7d) dos abrigos individuais para um Acampamento Planejado Temporário de atendimento à situações emergenciais decorrentes de desastres socioambientais.



(a)



(b)



(c)

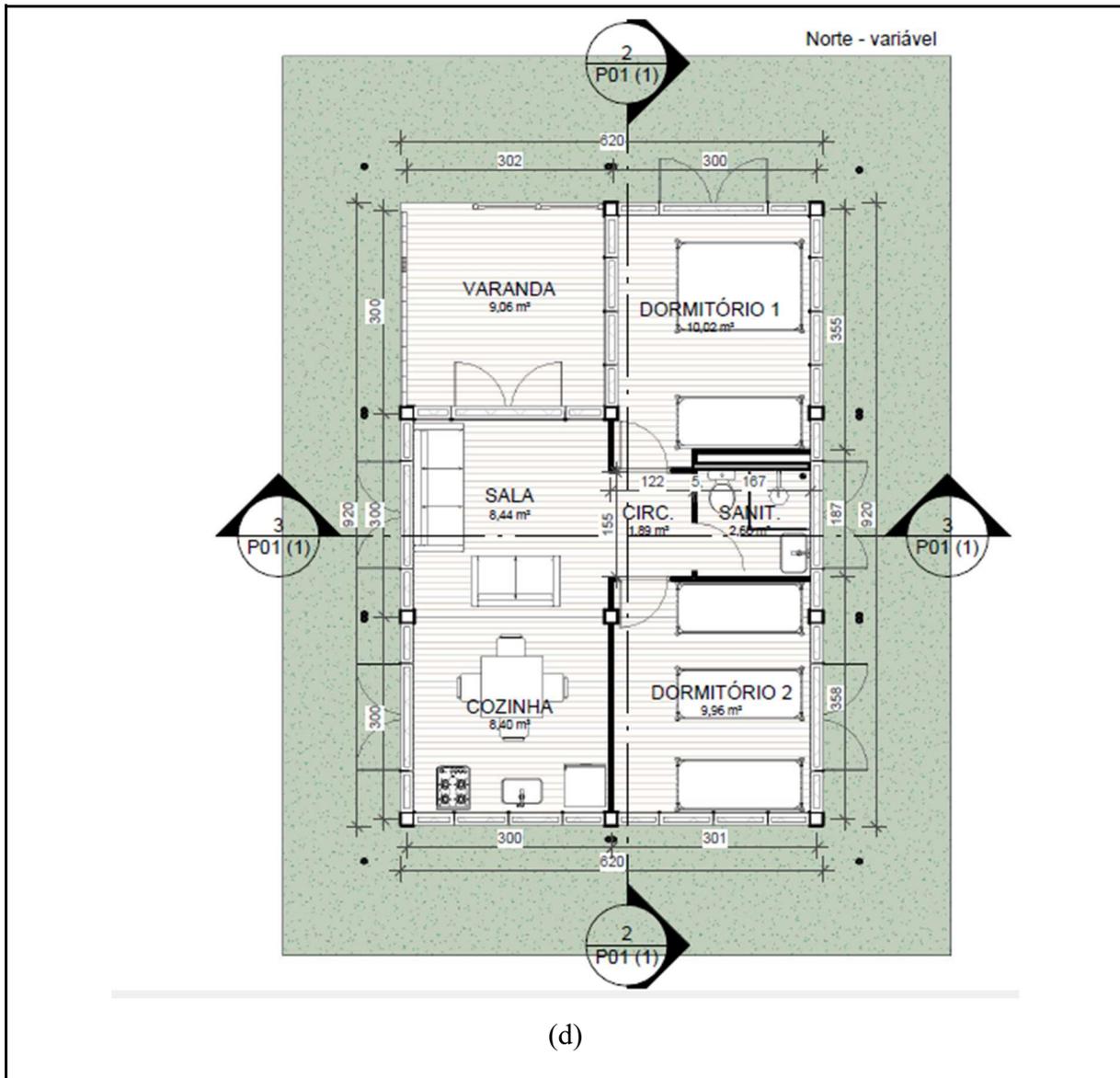
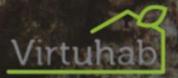


Figura 7. Testes laboratoriais de impressão e projeto. Fonte: autores

#### 4.1 Materiais usados/testados

No decorrer do projeto serão testados três materiais no filamento: PLA, ABS e HIPS. O PLA é um ácido polilático, material muito utilizado na tecnologia por ser de fácil manuseio na impressão 3D pelo fato de não necessitar da mesa aquecida e poder ser utilizado em máquinas abertas. É um termoplástico biodegradável que tem a origem natural, podendo ser produzido a partir de fontes renováveis como amido de milho, cana de açúcar, raízes de tapioca e amido de batata.

Segundo Besko (2017) é um material não tóxico pelo fato de ser um termoplástico biodegradável, o qual se decompõe em substâncias naturais como dióxido de carbono, biomassa e água. É mais suscetível a quebrar e por conta disto, se deve evitar utilizar o PLA em materiais que necessitam de alta resistência mecânica, além de evitar utilizar o filamento em temperaturas



de 60°C ou mais. Pelo fato do material ter maior taxa de absorção pelo ar, requer um cuidado a mais quando se diz a respeito do bico do extrusor e seu armazenamento.

Quando é aquecido diretamente para a extrusão, se sente um aroma doce e também este tem a capacidade de se degradar em ácido láctico, o qual é produzido naturalmente pelo corpo humano. Dado a este fato, o PLA é utilizado na medicina em suturas e implantes cirúrgicos. Sua aplicação se dá na confecção de brinquedos, maquetes, peças de protótipos, modelos e recipientes.

Em oposição ao PLA, o copolímero ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) não é um material biodegradável, sendo este derivado do petróleo e por conta deste fato, necessita de uma maior temperatura para atingir o ponto de fusão. Possui em sua composição maiores propriedades mecânicas como maior durabilidade e resistência e apresenta uma característica única de flexibilidade, quando comparado ao PLA (BESKO, 2017).

Um dos pontos fracos do material é a deposição de fumaça tóxica durante o processo de impressão; por conta deste fato, é de extrema importância operar a impressora em ambientes ventilados. Também é indicado o uso deste termoplástico em impressoras fechadas, pois necessita de um maior ponto de extrusão. Sua aplicação se dá ao desenvolvimento de peças automotivas e peças aeroespaciais e também está inserido no contexto da engenharia civil e na arquitetura.

O termoplástico HIPS (poliestireno de alto impacto) também é um copolímero, semelhante ao ABS, porém sem butadieno. Segundo Rodríguez (2021) tem por característica a estabilidade térmica, rigidez, resistência à tração e ao impacto. Pode ser facilmente manuseado pois é um material muito versátil em seu uso, tornando-se uma possibilidade na aplicação da indústria de brinquedos. É um filamento que não absorve umidade do ar, ou seja, ele é não hidrocópico.

## 5. Análises dos Resultados

Nesse artigo foi possível compreender sobre a impressão 3D e como ela se comporta no cenário industrial, especialmente nos aspectos considerados pertinentes aos objetivos do projeto: limitação do esforço, redução da intervenção humana na máquina, diminuição do desperdício de material, entre outros.

As estruturas de conexão tradicionais foram tratadas de maneira a compreender alguns dos principais encaixes em bambu, podendo-se destacar: corte tipo flange, corte boca de peixe e corte diagonal e diagonal parcial. A respeito da impressão de peças de conexão, se utilizou o software Repetier Host o qual auxiliou a controlar e preparar os modelos de impressão 3D, com o objetivo de imprimir os primeiros objetos das conexões, onde foi possível incluir as dificuldades encontradas durante o processo de impressão do moai (peça teste), que serviu de base para compreender as hipóteses para a máquina não imprimir de maneira correta.

Dessa mesma maneira, foi proposta uma modelagem paramétrica feita no software Rhinoceros, onde se pode visualizar de maneira 3D a conexão para a conexão estrutural com o objetivo de modelar o desenho proposto à mão, de forma que pudesse assemelhar-se o mais próximo possível (figuras 8 e 9).

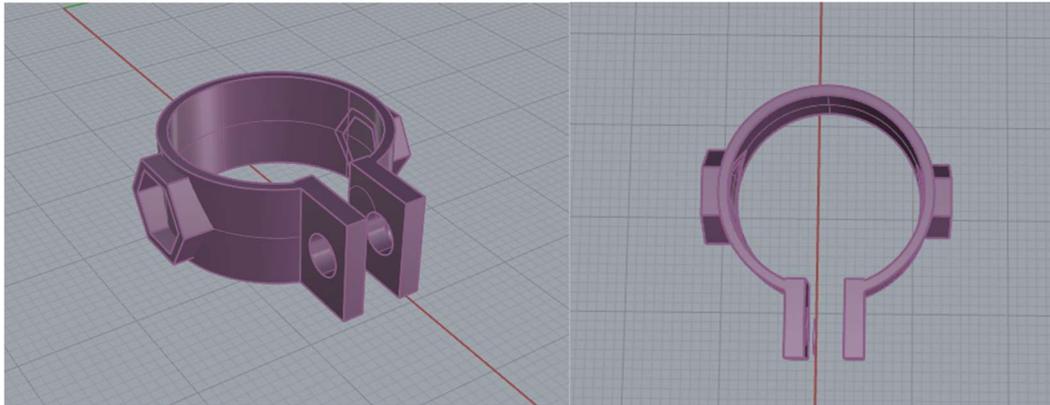


Figura 8 e 9. Sketch da conexão em modelagem 3D. Fonte: autores

Na figura 10, apresenta-se o primeiro teste realizado na peça após a impressão 3D feita a partir de PLA.



Figura 10: Teste de impressão 3D. Fonte: autores

## 6. Considerações Finais

A impressão 3D é um processo em constante evolução, amplamente utilizado em diversas áreas, como design, engenharia e arquitetura. Suas vantagens em relação aos métodos



convencionais são inúmeras, incluindo a redução do tempo de produção, a diminuição do desperdício de material e a possibilidade de personalização.

Além disso, a variedade de filamentos disponíveis no mercado tem crescido gradativamente, apresentando diferenças significativas em termos de propriedades e desafios técnicos. Isso ressalta a importância de testar continuamente cada material de acordo com as especificações de cada projeto.

No que se refere às conexões em bambu, ainda há desafios a serem superados, uma vez que essa matéria-prima possui diferentes espécies e variações de diâmetro. Diante disso, foram apresentados alguns exemplos de encaixes tradicionais, ilustrando possíveis adaptações para a aplicação do bambu em diferentes contextos.

Agradecemos a CAPES pelo financiamento da Pesquisa 8881.705009/2022-01, no programa PEPED, AUXPE1011/2023 edital vulnerabilidade 28/2022 e aos programas PIBIC/PIBITI da UFSC/CNPq, pela concessão de bolsas de iniciação científica.

## Referências

BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. *Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. Gestão, Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 3, p. 9-18, set./dez. 2017. Disponível em: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>.

CONSUMIDOR MODERNO. Mercado de impressão 3D pode alcançar US\$ 108 bi até 2030. *Consumidor Moderno*, 2024. Disponível em: <https://consumidormoderno.com.br/mercado-impressao-3d/#:~:text=O%20estudo%20mostra%20que%20o,previs%C3%A3o%20de%202023%20a%202030>.

3D LAB. *PLA: tudo o que você precisa saber sobre o filamento PLA*. Disponível em: <https://3dlab.com.br/pla-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-filamento-pla/>

FRADE, J. M. C. B. C. ; LIBRELOTTO, L. I. ; FERROLI, P. C. M. ; LEAL, R. M. F. . Modelagem tridimensional no design: de que forma materiais e técnicas construtivas influenciam no processo criativo?. In: Amilton Arruda; Germana Araújo. (Org.). *Design & Narrativas Criativas e Processos de Prototipagem*. 1ed.São Paulo: Blucher, 2022, v. 1, p. 131-156.

IBM. Indústria 4.0: o que é, benefícios e tecnologias. *IBM Brasil*, 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/industry-4-0>.

IBM. O que é Machine Learning? *IBM Brasil*, 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/machine-learning>.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; FERROLI, Paulo Cesar Machado. Bambu. In: *Materiais em HQ - volume 2*. Disponível em: <https://tapas.io/episode/3169810>. 2023. Acesso em: fevereiro de 2025.

OSTAPIV, Fabiano; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. *Bambu: Caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil*. 2019. Florianópolis:. Disponível em: [https://docs.google.com/document/d/1Vgos604w1T1CaWKy9Uxko0KWX8OWHIKTCf50y711gNg/edit?tab=t\\_0](https://docs.google.com/document/d/1Vgos604w1T1CaWKy9Uxko0KWX8OWHIKTCf50y711gNg/edit?tab=t_0)

PADOVAN, Roberval Bráz. *O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais*. 2010. 183 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação,



Bauru, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/1caec9ab-bccc-4e8b-a7a2-f1a2921610d8/content>.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. *Bambu de corpo e alma*. Bauru: Canal 6, 2007. Disponível em: [https://www.academia.edu/56388859/Biocomp%C3%B3sitos\\_de\\_Bambu\\_e\\_Resina\\_de\\_Mamona\\_M%C3%A9todos\\_e\\_aplica%C3%A7%C3%B5es\\_no\\_Design\\_de\\_Produtos](https://www.academia.edu/56388859/Biocomp%C3%B3sitos_de_Bambu_e_Resina_de_Mamona_M%C3%A9todos_e_aplica%C3%A7%C3%B5es_no_Design_de_Produtos)

RODRÍGUEZ TORRES, Natalia; NIÑO ROJAS, Gerson Fabián. Caracterización de las propiedades mecánicas a tensión y compresión de materiales celulares en HIPS y TPU obtenidos por fabricación de filamento fundido. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11349/29696>

VOLPATO, Neri (org.). *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p. ISBN 978-85-212-1150-1. Disponível em: [https://storage.blucher.com.br/book/pdf\\_preview/9788521211501-amostra.pdf](https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/9788521211501-amostra.pdf)

LARRINAGA, R. A. Uniones y elementos de conexión para estructuras con bambú: clasificación y desarrollo de un prototipo de conexión. Tese (Doutorado) – Universitat Politècnica de Catalunya, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2117/380362>.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; Ostapiv, Fabiano; Vitor, Alexandre Oliveira; Jaramillo, Andrea Benavides; Ferroli, Paulo Cesar Machado; Beraldo, Antonio Ludovico; Salamon, Celso; Santos, Gabriel Fernandes dos; Sasaoka, Sílvia; Lisboa, Sumara; Carbonari, Gilberto; Ostapiv, Joana D'arc Pedroso da Silva; Barata, Tomas Queiroz Ferreira Pereira, Marco Antônio Bambu: caminhos para o desenvolvimento sustentável. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197060>

Cruz, L. B. D., Freire, C. M., Rizzi, M. R., Barata, T. Q. F. e Sousa, C. S. M. D.. Experimentações com tecnologias de fabricação digital: produção de modelos e protótipos de elementos de conexão. ENSUS 2024 - XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto. DOI <https://doi.org/10.29183/2596-237x.ensus2024.v12.n1.p1221-1229>. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256971>.

XIN, Q. C.; YANG, L.; HUANG, Y. N. Digital design and manufacturing of spherical joint base on multi-objective topology optimization and 3D printing. In: **Structures**. Elsevier, 2023. p. 479-491. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352012423001029>. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.101>