



EcoDesign e Fabricação Digital: uso de Manufatura Aditiva para valorização de resíduos de madeiras em projeto de luminária

EcoDesign and Digital Manufacturing: use of Additive Manufacturing for the valorization of wood waste in lamp design

Miguel Ângelo Rey Rossignolo, Graduando, Universidade Federal de Santa Maria (DI/UFSM).

miguel.rey@acad.ufsm.br

Yasmin Maryeli Oliveira, Graduanda, Universidade Federal de Santa Maria (DI/UFSM).

yasmin.oliveira@acad.ufsm.br

Janaíne Taiane Perini, Mestranda, Universidade Federal de Santa Maria (PPGAUP / UFSM).

janaine.perini@acad.ufsm.br

Mariana Kuhl Cidade, Profª Drª, Universidade Federal de Santa Maria (PPGAUP / UFSM).

mariana.cidade@ufsm.br

Felipe Luís Palombini, Prof Dr, Universidade Federal de Santa Maria (PPGAUP / UFSM).

felipe.palombini@ufsm.br

Número da sessão temática da submissão – [2]

Resumo

O EcoDesign é uma ferramenta de desenvolvimento de projeto que considera atributos de sustentabilidade como requisitos fundamentais, possibilitando a incorporação de tecnologias de fabricação digital, como a manufatura aditiva. Sendo os resíduos sólidos materiais que dependem de sua valorização para serem aproveitados, sua incorporação em projetos de Design influencia diferentes atributos. Este artigo apresenta o projeto de uma luminária de piso utilizando resíduos de madeiras descartados com manufatura aditiva, com o objetivo de propiciar uma valorização das matérias-primas. Além da descrição do processo de desenvolvimento projetual, o trabalho aborda e discute a importância de ferramentas de fabricação digital no EcoDesign para a valorização de resíduos, contribuindo com sua recuperação. Desse modo, pretende-se apresentar ferramentas que podem ser incorporadas para aumento do valor agregado de matérias-primas, destacando o papel do designer como promotor do uso de tecnologias em prol da sustentabilidade.

Palavras-chave: Impressão 3D; Madeiras; Economia Circular; Modelagem Paramétrica.



Abstract

EcoDesign is a development tool that considers sustainability attributes as fundamental requirements, allowing the incorporation of digital manufacturing technologies, such as additive manufacturing. Since solid waste materials depend on their valorization to be utilized, their incorporation into design projects influences various attributes. This paper presents the design of a floor lamp using discarded wood waste with additive manufacturing, aiming to enhance the value of raw materials. In addition to describing the design development process, the paper addresses and discusses the importance of digital manufacturing tools in EcoDesign for waste valorization, contributing to their recovery. Thus, it aims to present tools that can be incorporated to increase the added value of raw materials, highlighting the role of the designer as a promoter of the use of technologies for sustainability.

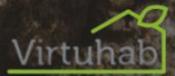
Keywords: *Keywords: 3D Printing; Woods; Circular Economy; Parametric modeling;*

1. Introdução

Originado da união dos termos Ecologia e Design, o EcoDesign visa pensar e elaborar produtos e serviços com olhar para dilemas atrelados ao meio ambiente (Vezzoli; Manzini, 2008). De maneira holística, avalia as diferentes fases de ciclo de vida do produto pontos, desde a extração de matérias-primas, manufatura, sua utilização, reuso, reciclagem ou descarte, considerando o uso energético e impacto ambiental de cada etapa (Karlsson; Luttrupp, 2006; Vezzoli; Manzini, 2008). No Brasil o destino dos resíduos sólidos está intrinsecamente atrelado à sua valorização, influenciando o tripé da sustentabilidade (Palombini; Cidade, 2022; Palombini; Cidade; De Jacques, 2017), de modo que encontrar meios para sua recuperação e reinserção em ciclos produtivos diz respeito a atributos ambientais, sociais e econômicos. Assim, com o EcoDesign não apenas há uma preocupação explícita com o meio ambiente, mas há um aspecto sistêmico atrelado àqueles que o habitam e suas próximas gerações, desafiando modelos tradicionais de produção e consumo (Ashby, 2016; Cidade; Palombini, 2023).

No atual contexto de profissionais da indústria criativa, o designer tem papel fundamental na criação e escolha do melhor modo de produção de seus produtos (Cidade, 2017; Palombini et al., 2018). A tecnologia é considerada o meio facilitador de materializar produtos com elevado nível de precisão e detalhamento, ampliando os limites de formas e contribuindo com um aumento do valor agregado de bens (Ceschin; Gaziulusoy, 2019; Cidade; Palombini, 2022). Desse modo, o designer tem como função essencial utilizar a tecnologia disponível de modo eficiente e sustentável, onde a liberdade de criação é potencialmente aumentada, visto a facilidade gerada por novos materiais e processos de fabricação as quais contribuem inclusive com o processo criativo (Palombini et al., 2022; Palombini; Cidade; Mariath, 2022).

Dentre as tecnologias à disposição para desenvolvimento e materialização de projetos encontram-se as baseadas na fabricação digital (De Oliveira et al., 2024; Killi, 2017). Com integração completa no processo de design e manufatura, a chamada “era da fabricação digital” iniciou-se nos anos 1990 (Kalpakjian; Schmid, 2020), tendo sua história confundida com a popularização dos sistemas CAD/CAM (*Computer-Aided Design and Manufacturing*, ou Projeto e Manufatura Assistido por Computador) e dos processos CNC (*Computer Numeric Control*, ou Controle Numérico Computadorizado) (Groover, 2012). Mais recentemente, a manufatura aditiva (também conhecida como impressão 3D) tem ganhado destaque como um dos mais disruptores e universais processos de fabricação digital (Volpato, 2017). Contudo, ainda que a inclusão de novos métodos de criação e processos de fabricação tenham trazido



facilidades no desenvolvimento de produtos, permanece ainda importante sua vinculação com conceitos de EcoDesign e sustentabilidade.

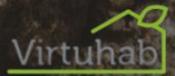
Desse modo, buscando a valorização de materiais de descarte e atrelando a tecnologia da manufatura aditiva, este trabalho visa apresentar um projeto de luminária desenvolvida por alunos de graduação do curso de Desenho Industrial da Universidade Federal de Santa Maria / UFSM. Para isso, está dividido em 3 tópicos. O próximo tópico apresenta conceitos gerais atrelados à temática da relação entre desenvolvimento sustentável e tecnologias para fabricação. O tópico 3 trata-se do desenvolvimento de um projeto de luminária com madeira descartada com o uso de manufatura aditiva. Por fim, é discutida a importância do Design e de tecnologias aplicadas para sustentabilidade, com foco na valorização de resíduos sem valor comercial.

2. EcoDesign e a valorização de resíduos

A concepção de EcoDesign baseia-se desde a análise da trajetória do produto, contemplando suas consequências ambientais – como o consumo de energia, o uso de recursos e ocupação de espaço – ao criar bens, conjuntos operacionais, prestações de serviço ou estruturas básicas, em vistas de optar ou criar soluções que maximizem a eficiência ambiental (Platcheck, 2003). É nesta via que Schäfer e Löwer (2020) sintetizam as características do EcoDesign em três pontos: o primeiro relacionado ao projeto e desenvolvimento dos produtos, o segundo quanto ao impacto ambiental e o terceiro referente ao ciclo de vida. Assim, incorporar critérios ambientais na elaboração de produtos é um foco do EcoDesign, mantendo-se atento ao impacto causado durante cada etapa (Karlsson; Luttrupp, 2006). Algumas estratégias estão presentes nesta abordagem, como reutilização de insumos e/ou produtos locais, preocupação com o desperdício dos mesmos e a utilização de energia da fabricação à montagem (Fuad-Luke, 2009). Compreende-se assim que o valor sob as fontes naturais possui dimensões concretas e abstratas, que englobam tanto seu uso prático quanto o saber acumulado sobre eles, onde o EcoDesign opera para diminuir a pressão sobre o meio ambiente e otimizar o aproveitamento dos recursos disponíveis (Karlsson; Luttrupp, 2006).

Uma das principais formas práticas de aplicação do EcoDesign dá-se em função da seleção dos materiais e processos que serão incorporados nos produtos (Ashby, 2021), uma vez que os mesmos possuem um grande impacto na sociedade. Como exemplo, tem-se a urgente questão dos resíduos sólidos urbanos, os quais sua recuperação e reciclagem no Brasil são totalmente dependentes de sua valorização (Palombini; Cidade; De Jacques, 2017). Isso significa que mesmo um resíduo seja (i) adequadamente separado pelo consumidor, (ii) recolhido e transportado via coleta seletiva, (iii) triado em centros e cooperativas de recicladores, e (iv) encontrado em um estado perfeitamente adequado para ser reinserido em um novo ciclo produtivo, se o material não possui interessados em sua aquisição o resíduo é rejeitado (Palombini; Cidade, 2022). Além disso, como grande parte dos cerca de 70 mil catadores registrados do Brasil possuem uma renda média inferior a um salário-mínimo (ICS, 2024), a comercialização de resíduos sólidos também afeta diretamente questões sociais. Dessa forma, o EcoDesign pode ser visto como uma ferramenta para desenvolvimento de produtos que também valorize resíduos e materiais descartados sem valor comercial, garantindo uma reinserção dos mesmos em novos produtos e, assim, contribuindo com uma melhoria geral nos atributos de desenvolvimento sustentável.

Alinhado ao Relatório de Brundtland, o EcoDesign atua como ponte entre o agora e o amanhã, em que o trabalho entre a gestão de recursos naturais, econômicos e tecnológicos está em sinergia com o atendimento das demandas das gerações atuais e sem comprometer àquelas



das gerações futuras (Karlsson; Luttropp, 2006; Walker, 2006; Vezzoli & Manzini, 2008). Assim, para empresas, adotar o EcoDesign como um princípio no desenvolvimento de produtos e serviços torna-se um diferencial competitivo no mercado ao abordar inovações sustentáveis de modo sistemático (Johansson, 2002; Karlsson; Luttropp, 2006). Apesar – ou em função de – o conceito de EcoDesign relacionar-se com perspectivas multidimensionais, é evidente sua relação com o desenvolvimento sustentável (Coley; Lemon, 2009; Karlsson; Luttropp, 2006). E, a despeito de uma sustentabilidade "plena" não ser factível, há meios para que sejam elaborados sistemas mais sustentáveis (Schäfer; Löwer, 2020). Vezzoli e Manzini (2008), por exemplo, reforçam que os aspectos culturais e tecnológicos necessitam de avanços em sintonia para alcançar uma sustentabilidade efetiva na prática.

Deste modo, o design(er) tem papel crucial enquanto agente catalisador da transformação no que tange produtos e serviços atrelados à sustentabilidade (Charter; Clark, 2007; Fuad-Luke, 2009). Isto porque causa-se um efeito dominó na cadeia produtiva, desde a utilização efetiva e consciente dos materiais, uso, distribuição e ciclo de vida (Fuad-Luke, 2009). Além disso, com a utilização de tecnologias disponíveis de projeto e fabricação digital, como a modelagem paramétrica e a manufatura aditiva, torna-se possível a busca por soluções de design que se adaptem não apenas a variados tipos de requisitos técnicos, mas a diferentes disponibilidades de matérias-primas, principalmente materiais oriundos de descarte os quais não possuem valor comercial. Com isso destaca-se a liberdade de formas encontrada por meio de tecnologias de manufatura aditiva (Volpato, 2017), em que geometrias podem ser adaptadas para tanto se adequarem às necessidades de projetos quanto para a incorporação de materiais não-convencionais e com diferentes geometrias, como resíduos de madeiras. Portanto, o EcoDesign requer do profissional tanto conhecimento tecnológico e técnico, considerando os aspectos tradicionais do desenvolvimento de projetos – como estética, funcionalidade e estrutura – quanto consciência ambiental, social e econômica, aliando-se a preocupações atreladas ao impacto ecológico do produto desde o início de sua concepção (Pazmino, 2007).

3. Desenvolvimento do projeto

Com o objetivo de agregar valor à resíduos subaproveitados de madeira, o presente projeto propôs a criação de uma luminária de piso, utilizando materiais que seriam anteriormente descartados. A iniciativa visou não apenas à redução do desperdício, mas também a valorização desses resíduos por meio da possibilidade de sua transformação em produtos funcionais e de estética diferenciada.

A fabricação digital desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento de peças ornamentais, como a cúpula e componentes complementares, que foram projetados e produzidos visando ao uso da manufatura aditiva (impressão 3D). Essa abordagem permitiu a criação de modelos de alta precisão, otimizando o uso de material e garantindo eficiência no processo de fabricação, além de se adaptar às características do material recuperado. Assim, o projeto integra soluções sustentáveis e tecnológicas, promovendo a reutilização de resíduos e agregando valor a partir da combinação de design e inovação digital.

3.1 Madeiras

Inicialmente foi feita a coleta de madeiras que seriam destinadas ao descarte na madeireira Beltrame. Tais materiais correspondem a aparas de chapas maiores de Cedro Mara, Cedrinho e

Angelim (Figura 1) e que, portanto, não possuem finalidade industrial/comercial por não haver uniformidade de dimensões e espessuras, sendo consideradas como rejeito.



Figura 1: Aparas de madeira que seriam destinadas ao descarte. Fonte: autores (2025).

Em seguida, as ripas de madeira foram medidas, a fim de enquadrá-las nos dimensionamentos específicos da luminária de piso. O nivelamento das ripas foi executado com plaina desempenadeira e o corte foi realizado com serra de mesa e serra esquadria. O refinamento da luminária é representado na Figura 2, sendo voltado para o acabamento da superfície da madeira. Para isso, foi utilizada uma esmerilhadeira de disco circular (Figura 2A), com lixas de granulação P120, P220 e P600, e micro retífica (Figura 2B), com lixa tambor P80 e P120. Por fim, foi feita uma perfuração na parte superior da peça para que, durante a finalização, fosse passado o cabo de energia (Figura 2D).

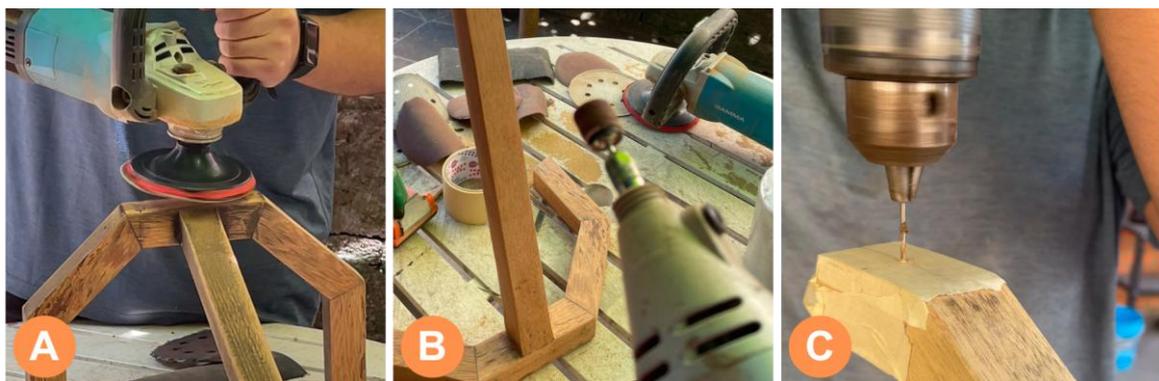


Figura 2: Processos de usinagem no refinamento do corpo da luminária: (A) esmerilhamento da superfície; (B) retificação de cantos; e (C) furação na parte superior. Fonte: autores (2025).

Após isso, foi feita a união dos cortes das ripas de madeira, como mostra a Figura 3. Nesse sentido, foi utilizado o método de união com cola branca e pinos de aço com pinador pneumático (Figura 3A), a fim de promover estabilidade ao produto. Para finalizar, com a intenção de prevenir a aparição de mofo na peça e aumentar sua durabilidade, foi passada uma camada de verniz esmalte sintético (Figura 3B).



Figura 3: Processamento das madeiras: (A) união com cola branca e pinos de aço e (B) envernizamento das partes. Fonte: autores (2025).

3.2 Modelagem 3D

Para a modelagem paramétrica das peças adicionais a serem fabricadas por manufatura aditiva, foi utilizado o *software* Fusion® (Autodesk® Inc., San Francisco, CA, USA). No *software* houve a inserção das métricas da luminária, o que permitiu que modificações futuras no design fossem realizadas de forma eficiente e controlada. Desse modo, como demonstra a Figura 4, iniciou-se o projeto dos modelos 3D que atendessem os parâmetros estabelecidos para o produto. Durante o processo de criação da luminária de piso, sua cúpula (Figura 4A) foi concebida seguindo padrões octogonais espiralizados e, também, se desenvolveu um passador de fio (Figura 4B) para atuar como suporte na lateral da haste de madeira.

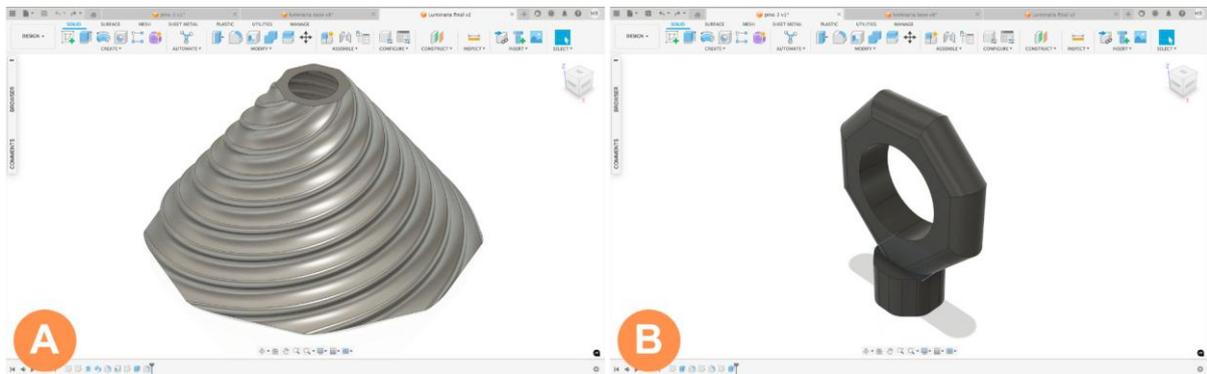


Figura 4: Modelos tridimensionais de (A) cúpula e (B) peças complementares. Fonte: autores (2025).

3.3 Impressão 3D

O processo de manufatura aditiva (impressão 3D) baseou-se no uso da técnica FDM (*Fused Deposition Modeling*, ou Modelagem por Fusão e Deposição), na qual um material polimérico é aquecido e extrusado, sendo depositado em camadas. Para este projeto foi utilizado o material poliláctico (PLA), considerando sua ampla aplicabilidade, custo relativamente baixo e adequação para a produção de protótipos funcionais e modelos detalhados, atendendo os requisitos do projeto. Essa etapa é apresentada na Figura 5 e consistiu na transferência dos modelos tridimensionais digitais para o *software* Bambu Studio® (Bambu Lab®, Shenzhen, China). Então, foram definidas as seguintes configurações de impressão: a cúpula (Figura 5A)

foi dividida em 650 camadas, com uma altura de camada de 0,2 mm e espessura de parede de 0,8 mm, ajustando-se às necessidades de resistência e detalhe do modelo. A impressão do passador de fio (Figura 5B) foi dividida em 90 camadas, com altura de 0,2 mm e espessura de parede de 6 mm. Além disso, foi possível optar por uma impressão sem suportes, diminuindo, assim, os gastos de material e evitando a geração de resíduos desnecessários.

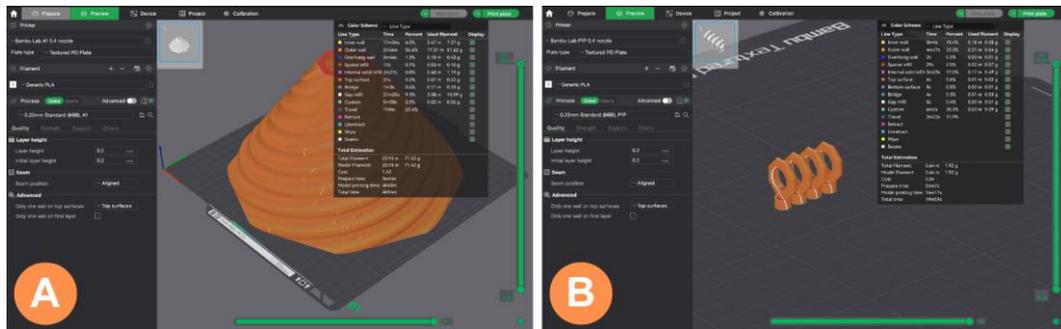


Figura 5: Definição das configurações de impressão no Bambu Studio para a (A) cúpula e (B) peças complementares. Fonte: autores (2025).

Os modelos finalizados foram, então, enviados para a impressão, como mostra a Figura 6. A cúpula (Figura 6A) foi fabricada em impressora 3D A1 (Bambu Lab®, Shenzhen, China), equipada com bico de 0,4 mm com tempo de impressão de aproximadamente 5 horas e peso final da peça de cerca de 72 gramas. Ainda, foram enviados quatro modelos tridimensionais de passador de fio (Figura 6B) para a impressora 3D P1P (Bambu Lab®, Shenzhen, China), munida de bico de 0,4 mm, totalizando 20 minutos para a impressão de quatro unidades, com peso final total de 2 gramas. As impressoras estão disponíveis no NOVA Lab – Laboratório de Inovação e Sustentabilidade em Design.

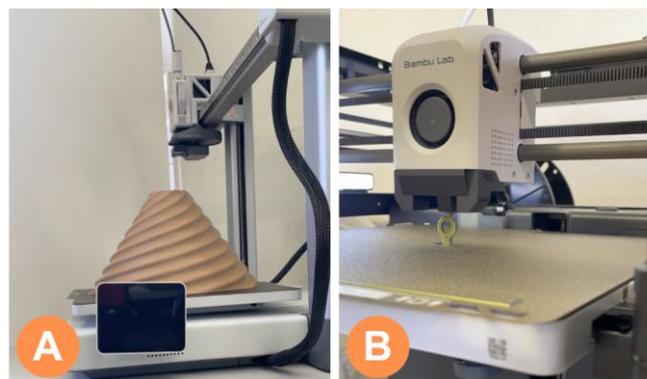


Figura 6: Impressão 3D da (A) cúpula e (B) peças complementares. Fonte: autores (2025).

3.4 Finalização e montagem

A etapa de finalização da luminária de piso, representada na Figura 7, iniciou-se com o processo de acabamento das peças impressas em 3D. Para garantir um acabamento suave e livre de imperfeições, as rebarbas da cúpula foram removidas cuidadosamente utilizando lixa manual (Figura 7A), com granulação P300. As peças complementares foram submetidas ao processo de pintura com tinta spray de coloração preto fosco (Figura 7B).



Figura 7: Acabamento superficial das peças: (A) lixamento da cúpula e (B) aplicação de primer nas peças complementares. Fonte: autores (2025).

Desse modo, partiu-se para o processo de montagem da luminária, demonstrado na Figura 8. A montagem teve início com a fixação dos passadores de fio em sua haste, utilizando cola epóxi transparente (Figura 8A), a fim de proporcionar uma adesão firme e duradoura entre o PLA e a madeira, sem comprometer a estética do conjunto.

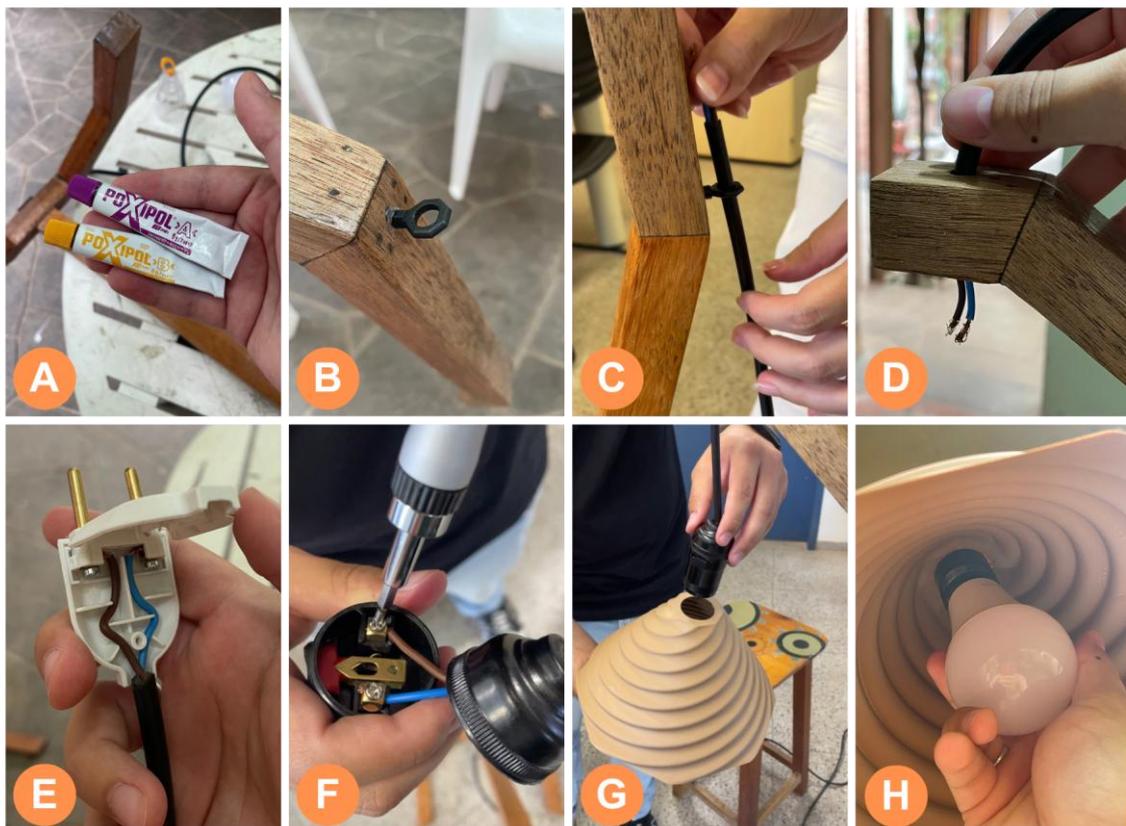


Figura 8: Processo de montagem da luminária: (A) cola epóxi transparente; (B) peça complementar fixada na haste; (C) passagem do cabo de energia pelas peças complementares; (D) passagem do cabo de energia pelo furo superior; (E) conexão de fios na tomada; (F) conexão de fios no soquete; (G) encaixe da cúpula; e (H) instalação da lâmpada. Fonte: autores (2025).

Após a colagem, ocorreu a passagem do cabo de energia de 3 metros de comprimento pelos passadores de fio e pelo furo localizado na parte superior da haste de madeira (Figuras 8C e 8D). A partir disso, foi dada sequência às ligações elétricas, conectando a tomada e o soquete devidamente no cabo (Figuras 8E e 8F). A montagem foi finalizada com o encaixe da cúpula no soquete de luz e instalação da lâmpada de 9 watts (Figuras 8G e 8H).

Desse modo, a Figura 9 apresenta o resultado da união de materiais subaproveitados e da fabricação digital, utilizados com a finalidade de obter um modelo de luminária de piso sustentável e de alto valor agregado (Figuras 9A e 9B).

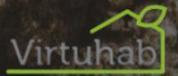


Figura 9: Luminária finalizada: (A) luminária desligada e (B) luminária ligada. Fonte: autores (2025).

4. Considerações Finais

A valorização de resíduos sólidos é uma questão emergente que está diretamente relacionada com atributos de sustentabilidade no atual sistema de tratamento no Brasil. Além do direto impacto ambiental, se os resíduos não são aproveitados, seu descarte leva a prejuízos econômicos – pelo desperdício de matéria-prima – e sociais – pela ausência de renda a famílias que dependem de sua comercialização como forma de sustento. Desse modo, a incorporação em projetos de design de resíduos e materiais de descarte sem valor comercial destaca-se como uma importante ferramenta do EcoDesign para implementação de práticas mais sustentáveis.

A utilização de tecnologias de fabricação digital, como manufatura aditiva, em projetos de Design surge como um meio de se adaptar a diferentes requisitos técnicos de um projeto, como a incorporação de materiais descartados em um projeto com maior valor agregado. Este trabalho apresentou a descrição de um projeto de luminária de piso, incluindo a valorização de madeiras descartadas com a utilização de tecnologias de fabricação digital, como modelagem paramétrica e manufatura aditiva. Com processos simples de processamento, montagem e finalização foi



possível obter um meio para estender a vida útil do material descartado e, assim, fornecer subsídios técnicos para geração de renda.

A inserção de conceitos e práticas de sustentabilidade e ferramentas tecnológicas durante a formação de designers pode contribuir com o desenvolvimento de um novo olhar para os resíduos sólidos, de modo a visualizá-los como matérias-primas e oportunidades, ao invés de rejeitos e problemas. Nesse sentido, educadores e pesquisadores tornam-se peças-chaves no fortalecimento do EcoDesign, em vistas de integrar a consciência ambiental no currículo dos estudantes (Hauschild; Jeswiet; Alting, 2005; Schäfer; Löwer, 2020). Assim, como consequência, formam-se profissionais atentos a otimização de recursos e ciclos de produtos, promovendo a transposição dos princípios teóricos da sustentabilidade para aplicações práticas efetivas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, através de bolsa de iniciação científica (PROBIC). Trabalho apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por meio do Chamada CNPq/MCTI N° 10/2023 – UNIVERSAL, e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, por meio do Edital FAPERGS 09/2023 – Programa Pesquisador Gaúcho – PqG.

Referências

ASHBY, M. **Materials and Sustainable Development**. [s.l.] Elsevier, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-01670-X>

ASHBY, M. F. **Materials and the Environment**. 3rd. ed. Oxford: Elsevier, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04008-1>

CESCHIN, F.; GAZIULUSOY, Í. **Design for Sustainability**. London: Routledge, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429456510>

CHARTER, M.; CLARK, T. **Sustainable innovation: Key conclusions from Sustainable Innovation Conferences 2003–2006 organised by The Centre for Sustainable Design**. Sustainable Innovation, 2003–2006. **Anais...**University College for the Creative Arts, maio 2007. Disponível em: <www.cfsd.org.uk>. Acesso em: 27 jan. 2025

CIDADE, M. K. **Design e tecnologia para a joalheria : microtomografia da gravação a laser CO₂ em ágata e implicações para projetos com desenhos vetoriais**. 2017. 106 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L. Design de joias: proposição de metodologia para ensino voltado ao mercado joalheiro. **Design e Tecnologia**, v. 12, n. 24, p. 57–72, 7 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.23972/det2022iss24pp57-72>



CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L. Design e sustentabilidade: práticas experimentais com materiais problemáticos no ensino de joalheria contemporânea. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 4, p. 17–26, 1 set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n4.17-26>

COLEY, F. J. S.; LEMON, M. Exploring the design and perceived benefit of sustainable solutions: A review. **Journal of Engineering Design**, v. 20, n. 6, p. 543–554, dez. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/09544820802001276>

DE OLIVEIRA, G. R. et al. Utilization of Accessible 3D Technologies for the Study of Bionics in Jewelry Design. Em: [s.l.: s.n.]. p. 13–29. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-65877-8_2

FUAD-LUKE, A. **The Eco-design Handbook: A Complete Sourcebook for the Home and Office**. 3. ed. [s.l.] Thames & Hudson, 2009.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems**. 5. ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. **CIRP Annals**, v. 54, n. 2, p. 1–21, 1 jan. 2005. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60017-1](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60017-1)

ICS - INSTITUTO CAMINHOS SUSTENTÁVEIS. **Anuário da Reciclagem 2024**. Brasília: Instituto Caminhos Sustentáveis, 2024.

JOHANSSON, G. Success factors for integration of ecodesign in product development: A review of state of the art. **Environmental Management and Health**, v. 13, n. 1, p. 98–107, mar. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1108/09566160210417868>

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. **Manufacturing Engineering and Technology**. 8th. ed. London: Pearson, 2020.

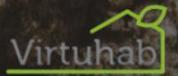
KARLSSON, R.; LUTTROPP, C. EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15–16, p. 1291–1298, 1 jan. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2005.11.010>

KILLI, S. W. **Additive Manufacturing**. New York: Pan Stanford, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1201/b22510>

PALOMBINI, F. L. et al. Design-Aided Science: o designer como promotor de tecnologias 3D para inovação em pesquisa científica. **Revista Educação Gráfica**, v. 22, n. 3, p. 169–186, 2018.

PALOMBINI, F. L. et al. Two-Way Bionics: How Technological Advances for Bioinspired Designs Contribute to the Study of Plant Anatomy and Morphology. Em: PALOMBINI, F. L.; MUTHU, S. S. (Eds.). **Bionics and Sustainable Design**. Singapore: Springer-Nature, 2022. p. 17–44. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1812-4_2

PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K. Lixo Invisível: Contribuição do Design para Recuperação de Materiais Problemáticos. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 17–26, 22 dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n1.17-26>



PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K.; DE JACQUES, J. J. How sustainable is organic packaging? A design method for recyclability assessment via a social perspective: A case study of Porto Alegre city (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2593–2605, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.016>

PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K.; MARIATH, J. E. DE A. Materiais Naturais: Padrões Microscópicos Como Fonte de Inspiração em Projetos de Design. **Revista Educação Gráfica**, v. 26, p. 347–363, 2022.

PAZMINO, A. V. **Uma reflexão sobre Design Social, Eco Design e Design Sustentável**. I International Symposium on Sustainable Design. **Anais...**Curitiba: set. 2007.

PLATCHECK, E. R. **Metodologia de ecodesign para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. Mestrado—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

SCHÄFER, M.; LÖWER, M. Ecodesign-A Review of Reviews. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13010315>

VEZZOLI, C.; MANZINI, E. **Design for Environmental Sustainability**. 1. ed. London: Springer London, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-163-3>

VOLPATO, NERI. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017.

WALKER, S. **Sustainable by Design: Explorations in Theory and Practice**. [s.l.] Routledge, 2006.