XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8643

Economia circular e fabricação digital: ensaio projetual de centro de apoio ao exercício físico com sistema construtivo da *WikiHouse*

Circular economy and digital fabrication: a design-based study of a physical activity support center using an WikiHouse system

Anderson Buss Woelffel
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil | anderson.buss@faesa.br
Otávio Moraes de Castro
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil | otavio@oga.arq.br
Bruno Massara Rocha
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil | bmassara@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa objetivou desenvolver uma proposta projetual arquitetônica orientada pelos princípios da Economia Circular (EC), utilizando modelagem paramétrica e fabricação digital como estratégias de concepção e produção. Assim, foi desenvolvida uma proposta projetual de um centro de apoio ao exercício físico, a partir do sistema de código aberto *WikiHouse,* utilizando-se o *software* Rhinoceros para modelagem. Após isso, com o *software* AutoCAD foi realizada a planificação do projeto para fabricação das peças da maquete em uma cortadora a laser. Posteriormente, avaliou-se a proposta em relação às estratégias da EC com base nos critérios DfX. Como resultado, constatou-se que a utilização das tecnologias digitais com sistemas de código aberto pode colaborar para uma maior agilidade no processo de projeto, possibilitando variedade de possibilidades formais e também colaborando para uma maior compreensão e racionalização da construção, obtendo o projeto desenvolvido classificação alta na maioria dos critérios DfX.

Palavras-chave: Economia circular. Fabricação digital. Sustentabilidade. Design Paramétrico. Modelagem 3D.

Abstract

This research aimed to develop an architectural design proposal guided by the principles of the Circular Economy (CE), using parametric modeling and digital fabrication as conception and production strategies. A design proposal for a physical exercise support center was developed using the open-source WikiHouse system and the Rhinoceros software for modeling. Following this, the project was planned using AutoCAD software for the fabrication of the model parts on a laser cutter. Subsequently, the proposal was evaluated in relation to CE strategies based on DfX criteria. As a result, it was found that the use of digital technologies with open-source systems can contribute to greater agility in the design process, enabling a variety of formal possibilities and also contributing to a greater understanding and rationalization of construction; the developed project obtaining a high rating in most DfX criteria.

Keywords: Circular economy. Digital manufactoring. Sustainability. Parametric Design. 3D modeling.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8643

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver e avaliar uma proposta projetual arquitetônica orientada pelos princípios da Economia Circular (EC), utilizando modelagem paramétrica e fabricação digital como estratégias de concepção e produção. O estudo adota o sistema construtivo aberto *WikiHouse* como base para experimentação, considerando suas características de disponibilidade de acesso, fabricação automatizada, autonomia no processo de montagem, possibilidade de desmontagem, adaptabilidade, customização e racionalização construtiva.

A incorporação de tecnologias digitais no processo de projeto e construção, especialmente por meio da modelagem paramétrica e da fabricação digital, permite ampliar a capacidade de controle geométrico, precisão e customização dos elementos construtivos. Tais tecnologias não apenas otimizam a produção e a montagem, mas também podem contribuir para a aplicação de princípios da EC, ao favorecer a redução do consumo de recursos, a minimização de resíduos e a possibilidade de reuso e reconfiguração dos componentes ao longo do ciclo de vida da edificação.

No Brasil, o setor da construção civil, apesar de sua relevância social e econômica, ainda se apoia majoritariamente em sistemas construtivos convencionais, como o concreto armado moldado *in loco* e a alvenaria de vedação. Esses sistemas, possuem alto consumo de recursos naturais, limitações quanto a adaptabilidade e gestão eficiente de resíduos, o que dificulta a incorporação de estratégias alinhadas à EC.

Apesar dos avanços, principalmente na utilização de resíduos de construções e demolições [1] e da Modelagem da Informação da Construção - BIM [2], [3], ainda há limitações na aplicação prática dos princípios da EC no projeto arquitetônico, principalmente no que se refere à adaptabilidade e à desmontagem dos sistemas construtivos. Nesse sentido, as facilidades de adaptação se apresentam como um atributo relevante, ao permitir que a edificação responda a demandas variáveis de uso e ocupação ao longo do tempo, mudanças de sobrecarga estrutural, alterações nos sistemas de abastecimento e nos elementos da fachada.

Assim, esta pesquisa busca analisar se o uso de um sistema de código aberto, por meio da modelagem paramétrica e da fabricação digital, pode contribuir para a concepção de um sistema arquitetônico alinhado aos princípios da EC. Por meio do desenvolvimento e avaliação de uma proposta projetual, pretende-se investigar e também demonstrar como essas tecnologias podem operacionalizar estratégias de circularidade no ambiente construído. Dessa forma, o estudo contribui para o avanço das discussões sobre a aplicação prática da EC no projeto arquitetônico, a partir da integração entre tecnologias digitais e sistemas construtivos abertos.

ECONOMIA CIRCULAR E CONSTRUÇÃO CIVIL

A EC constitui um modelo de sistema econômico de produção e consumo que se contrapõe à chamada Economia Linear (EL), representando uma nova lógica à redução da geração de resíduos e à maximização da reutilização de recursos [4].

A EL, predominante desde o advento da produção industrial, caracteriza-se pela extração intensiva de recursos naturais para a fabricação de produtos que, ao final de sua vida útil, são descartados como resíduos. Esse modelo gera impactos ambientais expressivos, especialmente quando há destinação inadequada dos rejeitos. Além disso, contribui para o agravamento da escassez de recursos não renováveis.

O setor da construção civil consome quantidade considerável de recursos não renováveis, devido à grande demanda por insumos para a realização das atividades de construção e reformas de edificações e obras de infraestrutura urbana. O setor é responsável pelo consumo de metade das matérias primas e 36% do consumo de energia [2], gerando grande quantidade de resíduos sólidos.

Cabe destacar que é um setor de grande consumo de água, empregada desde as etapas iniciais de extração, no beneficiamento dos materiais e utilizada ao longo das etapas construtivas. Em termos globais, a indústria da construção é responsável pelo consumo de cerca de 20% de toda a água extraída no globo [5] e por isso é tão importante e urgente haver projetos de gestão circular deste recurso.

Os edifícios são responsáveis por 40% do consumo global de materiais e um terço do consumo global de energia, o que torna o setor o maior emissor de dióxido de carbono [6-7]. Tais dados reforçam o ideário da EC como uma estratégia fundamental para a redução desse impacto. A utilização de produtos com algum conteúdo reciclado é uma estratégia de estímulo à transição do setor para uma EC, pois reduz a extração de recursos naturais e problemas ambientais.

Uma das barreiras mais significativas para a EC na construção civil, é a falta de um design circular, ou seja, os edifícios não são concebidos e projetados para a desconstrução ou para a demolição controlada e cuidadosa visando o reaproveitamento das peças [6]. Estratégias de EC como o *Design for Excellence* (DfX) [8] e a consideração do ciclo de vida das edificações tornam-se fundamentais para a incorporação efetiva dos princípios da EC no ambiente construído, ao possibilitar a adaptabilidade, a manutenção e a reconfiguração dos sistemas ao longo do tempo.

Dentre os materiais estruturais mais utilizados pelo setor da construção civil, atualmente, a madeira se destaca como um recurso natural de fonte renovável e reutilizável, de baixo consumo energético em seu processo de produção. Desta forma, a industrialização deste material permitiu o surgimento no mercado de produtos de madeira reconstituída como o MDF (*medium density fibreboard*), o HDF (*high density fiber)* e o OSB (*oriented strand board*) permitindo a ampliação do uso nas obras, além das chamadas madeiras engenheiradas como a Madeira Laminada Colada e a Madeira Laminada Cruzada. Especificamente, o OSB vem adquirindo novas aplicações em função de avanços nas técnicas de modelagem e fabricação digital.

Sistemas complexos modulares baseados em múltiplos encaixes permitem que materiais de baixa resistência mecânica adquiram resistência em função de arranjos morfológicos inovadores, como é o caso do Sistema *WikiHouse* (Figura 1).

Figura 1: Micro Wikihouse de Miri



Fonte: CNCCRAFT, 2026.

FABRICAÇÃO DIGITAL E SISTEMA *WIKIHOUSE*

A fabricação digital consiste na utilização de técnicas automatizadas e robotizadas para produção de componentes construtivos. Tem aplicações desde as etapas preliminares de estudo e produção de protótipos físicos até a escala real de execução de uma edificação. São dependentes de modelos digitais desenvolvidos em *softwares 2D e 3D, como CAD,* modelagem paramétrica, generativa ou sistema BIM. As técnicas mais recorrentes na arquitetura consistem no corte a laser, impressão 3D e fresadoras CNC (Controle Numérico Computadorizado) [9].

Esta abordagem apresenta grande potencialidade para a construção pré-fabricada, pois permite maior precisão e controle dos processos, desde a concepção da edificação, testagem, produção em larga escala e consumo. Os métodos utilizados pela fabricação digital podem ser classificados em aditivos como o *contour crafting* ou subtrativos com o *friction-fit connection* [10].

Deste modo, observar sistemas construtivos abertos e propostos para serem fabricados digitalmente, como a *WikiHouse*, possibilita facilidade na construção e no desenvolvimento de modelos para serem aplicados em diversos usos em diferentes contextos ambientais, econômicos e socioculturais.

A técnica proposta pela *WikiHouse* faz parte do método *friction-fit connection* (“conexão por encaixe de fricção” - trad.livre), em que as partes constituintes de uma edificação são subdivididas, fabricadas através de cortes com máquinas fresadoras para serem posteriormente montadas por meio de encaixes [10].

METODOLOGIA

A metodologia desta investigação foi estruturada em quatro etapas, com foco no processo de projeto. A pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, de abordagem qualitativa, de caráter exploratório [11] e propositivo, baseada em uma investigação projetual. Dessa forma, busca-se avaliar a aplicação de técnicas de modelagem paramétrica e fabricação digital na concepção de uma proposta

arquitetônica a partir do sistema de código aberto *WikiHouse*, bem como verificar em que medida esse sistema, associado às abordagens projetuais e construtivas adotadas, atende aos parâmetros da EC.

A primeira etapa consistiu na definição do local de implantação e na análise de suas características, com o objetivo de elaborar um programa de necessidades adequado à implantação de um abrigo para a prática de exercícios físicos em áreas públicas carentes desse tipo de infraestrutura. Após a definição do local, a plataforma *online* do sistema WikiHouse foi acessada para análise do sistema construtivo, incluindo sua lógica modular, materialidade e condições de fabricação e montagem. Também foi definido o *software* Rhinoceros para a modelagem do projeto.

A segunda etapa foi o desenvolvimento do projeto a partir da combinação dos componentes do sistema. Considerando que os componentes são disponibilizados em blocos independentes já modelados em 3D, foi necessário o desmembramento das peças que compõem cada componente, a fim de analisar a lógica dos encaixes e o funcionamento do sistema construtivo. Após a montagem digital do volume completo, realizou-se a avaliação de seu funcionamento, como possibilidades de montagem e desmontagem, por meio de simulações digitais e reconfigurações do modelo (Figura 4).

A terceira etapa consistiu no desenvolvimento da planificação do projeto para a montagem dos planos de corte, destinados à fabricação das peças em uma cortadora a laser, com a utilização do *software* AutoCAD. Após o corte, a montagem foi realizada por meio dos encaixes já previstos no sistema e, para garantir a estabilidade da maquete, desenvolvida em escala 1:50, foram utilizadas fitas adesivas para realização das testagens.

A quarta etapa correspondeu à avaliação da proposta em relação às estratégias da EC com base nos critérios do *Design for Excellence* (DfX) [8], utilizados para verificar a adequação das soluções desenvolvidas às questões de circularidade dos materiais empregados nos processos industriais, que são: (i) montagem e desmontagem; (ii) durabilidade; (iii) modularidade; (iv) simplicidade; (v) padronização; (vi) reposição; e (vii) reciclabilidade. A definição desses requisitos passa por três classificações: alta, média e baixa.

PROPOSTA E RESULTADOS

A diretriz adotada para o desenvolvimento da proposta projetual foi o emprego de tecnologia mais sustentável, que permita a circularidade da construção e que possa também fomentar a educação ambiental atuando a edificação como artefato pedagógico.

O LOCAL ESCOLHIDO

A Praça do Canarinho (Figura 2) está localizada em um terreno de esquina, entre a Rua Espírito Santo e a Rua Joaquim Barbosa, em um dos principais acessos ao bairro Feu Rosa, caracterizado pela carência de equipamentos culturais, esportivos e de lazer.

Com área verde gramada, *playground*, campinho pet, quadra poliesportiva e ciclovia, a praça possui poucas áreas sombreadas, o que dificulta a permanência de visitantes, especialmente nos horários mais quentes do dia.

Figura 2: Acesso principal à Praça do Canarinho



Fonte: Google Map, 2026.

De acordo com o Plano Diretor Municipal Sustentável do Município da Serra-ES, Lei Municipal 05/2023, o terreno da praça está inserido parte em uma Zona de Ocupação Preferencial – ZOP e parte em uma Zona Especial de Interesse Social - ZEIS, fazendo divisa com uma Zona de Proteção Ambiental Urbana – ZPA ao Norte (Figura 3), o que reforça que ações de caráter educativo ambiental são necessárias, ainda mais neste local especificamente.

Figura 3: Vista aérea dos limites da Praça do Canarinho (seta) com o Zoneamento Municipal: ZOP (azul); ZEIS (vermelho); ZPA (verde)



Fonte: GEOSEDUR-SEMMA, 2025.

O MODELO

O modelo desenvolvido para apoio à prática de atividades físicas e esportivas, denominado Módulo Canarinho, homônimo à praça, pode também atuar como elemento de educação ambiental para a população local, por meio da apresentação e do uso de uma tecnologia construtiva mais sustentável e limpa, tendo a madeira como principal material, em chapas OSB, e utilizando o sistema *WikiHouse*.

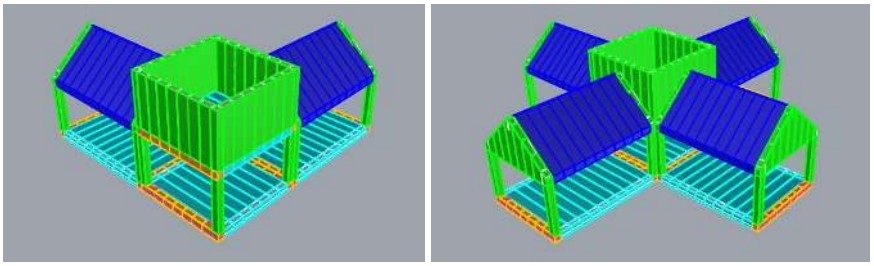
A partir do *download* do arquivo aberto[1] disponibilizado pela plataforma *WikiHouse* e de sua manipulação no *software* de modelagem Rhinoceros, foi definida a modulação a ser adotada para o desenvolvimento da proposta, bem como as dimensões dos

[1]Fonte: https://github.com/wikihouseproject

elementos utilizados no piso, nas paredes e na cobertura. A partir do modelo base, foi desenvolvida a primeira etapa do Módulo Canarinho, que pode atuar como embrião, composto por um núcleo central e um ambiente de apoio; ou com o acréscimo de dois, três ou quatro ambientes de apoio interligados pelas áreas de circulação (Figura 4).

O núcleo central, mais elevado, foi pensado para a instalação dos reservatórios de água e, a partir dele, dispõem-se, diametralmente opostos, duas varandas e dois ambientes de apoio: um destinado ao depósito e à guarda de equipamentos e outro ao eventual alojamento de profissionais, conferindo habitabilidade ao módulo, com a previsão de instalação de uma copa, beliches e banheiro.

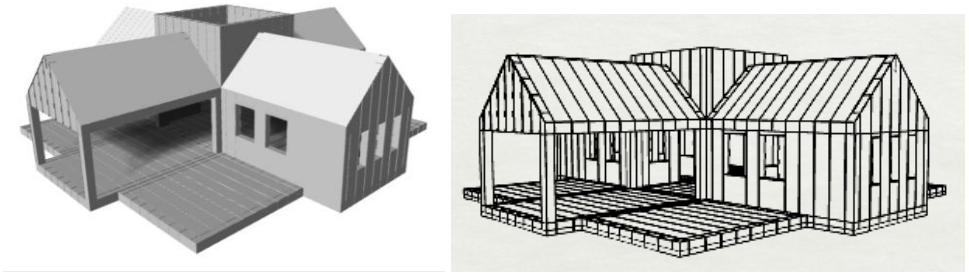
Figura 4: Módulo embrião com núcleo central e dois ambientes de apoio (à esquerda); e com quatro ambientes de apoio (à direita)



Fonte: os autores.

Interligando os ambientes fechados do módulo, encontram-se áreas de circulação cobertas e descobertas (*decks*), destinadas à prática de atividades físicas diversas, permitindo maior conexão com a natureza do entorno. Na Figura 5, observa-se a versão final do Módulo Canarinho.

Figura 5: Padrão Renderizado (à esquerda); Padrão Caneta (à direita)

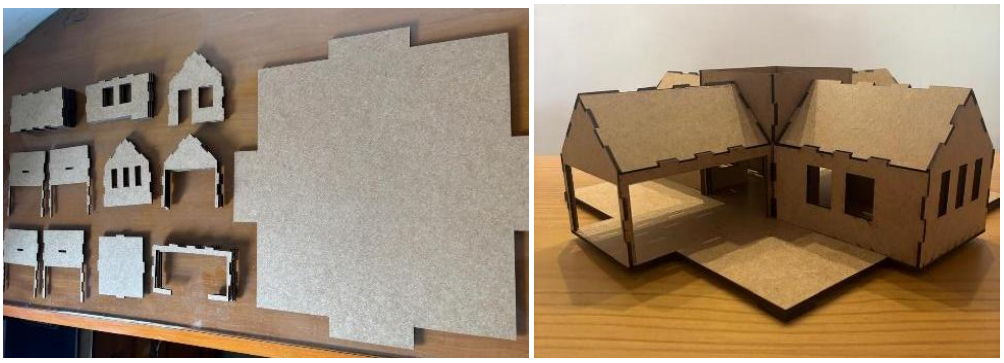


Fonte: os autores.

FABRICAÇÃO E MONTAGEM

A partir da conclusão do Módulo no Rhinoceros, o modelo 3D foi exportado para o *software* AutoCAD para a elaboração dos planos em 2D dos elementos constituintes do modelo (pisos, paredes e coberturas) para o corte a laser, efetuado em uma máquina de corte e gravação a laser WS 14090, em chapa de MDF de 3 mm (Figura 6).

Figura 6: Vista dos elementos cortados de piso, paredes e coberturas (à esquerda); e a montagem da maquete física (à direita), escala 1:50. Na imagem, observa-se, à direita o depósito e à esquerda uma das varandas cobertas, conectadas pelo núcleo central e pelo deck

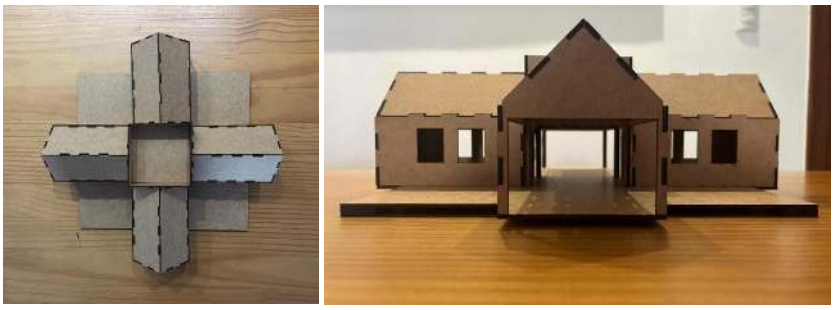


Fonte: os autores.

A montagem das peças foi realizada com adesivo instantâneo, permanecendo soltos sobre a base para permitir a testagem de diferentes conformações no processo de criação (Figura 6).

Na Tabela 1, apresentam-se as principais áreas do projeto, que adotou o módulo de 60 cm, com pé direito de 3,10 m do sistema da *WikiHouse*. Também se observa na Figura 7 que os módulos Alojamento e Depósito são diametralmente opostos e afastados permitindo a livre circulação entre eles, às Varandas Cobertas e acesso aos *decks*.

Figura 7: Vista superior do protótipo (à esquerda); e vista frontal mostrando um dos acessos principais da edificação (à direita)



Fonte: os autores.

Tabela 1: Quadro de Áreas do projeto do centro de apoio ao exercício físico.

Ambientes	Áreas
Núcleo central	23,94 m²
Depósito	31,68 m²
Alojamento	31,68 m²
Varanda coberta	63,36 m²
Decks	138,39 m²
Circulação	87,30 m²

Fonte: os autores.

AVALIAÇÃO

Ao realizar a análise, com base nos critérios DfX vinculados a EC, é possível reconhecer que o sistema *WikiHouse* na condição da proposta de uso público tem boas condições

para implantação. Isso ocorre, pois a madeira industrializada aparece como material predominante utilizado pelo sistema, o que facilita os processos de uso, reuso e descarte. Na Figura 8, demonstra-se o enquadramento nos critérios de avaliação.

Figura 8: Tabela/gráfico esquemático para avaliação da proposta com os critérios DfX [5] com base nas estratégias da EC

Critérios	Alto	Médio	Baixo	Justificativa
Montagem				Encaixes previstos e fabricados. Por meio de um manual de montagem, os módulos se tornam fáceis para montagem.
Durabilidade				Material se torna perecível diante às intempéries se não for utilizado material impermeabilizante de maneira correta.
Modularidade				Por ser fabricado e cortado, torna-se fácil de ajustes para ampliação ou redução de áreas.
Simplicidade				Poucas ferramentas e um manual de montagem são o suficiente para a montagem e manutenção. Apesar da necessidade de uma máquina de corte a laser.
Padronização				Por ser implantado em área pública, o uso de outros materiais como concreto na base se torna necessário; desta forma, a proposta sai do sistema padrão WikiHouse.
Reposição				Utilização de chapas OSB e máquina de corte para reposição de peças.
Reciclabilidade				Por ser construído de composto de madeira, o material pode ser reciclado com facilidade em outras situações da construção civil.

Fonte: os autores.

DISCUSSÃO

O Módulo Canarinho permite demonstrar que o sistema de código aberto WikiHouse apresenta como vantagem principal o fato de poder ser construído com diferentes conformações, dependendo da necessidade local, podendo sofrer ampliações conforme aumento da demanda por novos espaços, e isso confere a ele um ganho em termos de adaptabilidade. O sistema construtivo adotado utiliza madeira reconstituída proveniente de reflorestamento, como as chapas OSB, com pequeno índice de emissões de carbono e uma demanda mais baixa no consumo de energia incorporada, com possibilidade de reutilização e potencial de circularidade, o que é também um aspecto favorável em termos ambientais.

O fato de os componentes das edificações da *WikiHouse* serem produzidos previamente, transportados e montados no canteiro de obras, permite maior controle de todo o processo. Ademais, o sistema possibilita também aumento da produtividade da mão-de-obra, com a redução do tempo de permanência em canteiro, minimizando a geração de resíduos e ações de retrabalho, além de maior controle orçamentário, características comuns aos sistemas pré-fabricados.

Algumas adaptações, contudo, são necessárias, como a necessidade de se pensar elementos internos como paredes divisórias, esquadrias, proteção dos painéis contra a umidade e o calor dos trópicos, quando se considera a possibilidade de sua utilização em países de clima tropical, como é a realidade brasileira, como bem discutido por Rocha, Venâncio e Silva [12].

CONCLUSÃO

A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho foi de grande relevância para uma maior compreensão de como a utilização das tecnologias digitais com sistemas de código aberto pode colaborar para uma maior agilidade no processo de projeto, possibilitando variedade de possibilidades formais e também colaborando para uma maior compreensão e racionalização da construção, reduzindo a geração de resíduos e qualificando materiais para reutilização e facilitando a montagem e manutenção.

A fabricação de um protótipo em MDF, a partir da modelagem paramétrica, pelo processo de corte a laser, permitiu uma visualização mais rápida da proposta possibilitando melhores condições para sua avaliação e compreensão e para seus possíveis e necessários arranjos de montagem e manutenção.

A adoção de uma avaliação por meio de critérios vinculados a EC mostra que sistemas abertos também podem ser consistentes junto à garantia da qualidade ambiental do processo. Além de serem fundamentais para discussão no contexto das Ecologias de Projeto, a Arquitetura e a Fabricação Digital, pois qualificam e fundamentam o processo da busca pela efetiva implementação dos princípios da Economia Circular.

Futuros desdobramentos deste trabalho poderão considerar a realização de uma análise de ciclo de vida (ACV) mais completa aplicada ao sistema *WikiHouse*, utilizando metodologias para quantificar os impactos ambientais em razão dos processos e atividades do sistema, além dos indicadores da EC [13] já consolidados pela literatura científica.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] SHOOSHTARIAN, S.; RYLEV, T.; WONG, P. S.P.; MAQSOOD T.; CALDERA, S.; ZANAN, A.; JAYARATHNA C.; RUIZ, A. M. C. Circular economy policies and the use of recycled materials in the Australian built environment. **Journal of Environmental Management**, v. 389, ago. 2025.

[2] METINAL, Y.B.; GUMUSBURUN AYALP, G. Uncovering Barriers to Circular Construction: A Global Scientometric Review and Future Research Agenda. **Sustainability** 2025, 17, 1381

[3] CAMPANER, A. K. G. G.; TAVARES, S. F. Integração de BIM, sustentabilidade e economia circular: proposta de um marco regulatório estratégico para obras públicas. **Veredas Do Direito**, 23(9), e236878. https://doi.org/10.18623/rvd.v23.6878

[4] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF), 2014. **Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-Up across Global Supply Chains**, vol. 3. MacArthur Foundation. Disponível em: https: //www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-3-acce lerating-the-scale-up-across-global. Acesso em: 10 janeiro 2026.

[5] MACK-VERGARA, Y. L.; JOHN, V. M. Life cycle water inventory in concrete production—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 227-250. Jul. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.004.

[6] POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: a research framework, **Journal of Cleaner Production**. 143 (2017), P. 710–718, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.17863/CAM.7204

[7] DAVID, L. O.; AIGBVBOA C.; ADEPOJU, O.; NMAMDI, N. Applying circular economy strategies in mitigating the perfect storm: The built environment contexto. **Sustainable Futures**. V. 9. jun. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100444.

[8] MESA, J. A. Design for circularity and durability: an integrated approach from DFX guidelines. ***Research in Engineering Design***, v. 34, n. 4, p. 443–460, 2023. DOI: 10.1007/s00163-023-00419-1. DOI: https://doi.org/10.1007/s00163-023-00419-1.

[9] Universidade Federal do ABC - UFABC. **Fabricação Digital**. Disponível em: https://pesquisa.ufabc.edu.br/4db/our-services/fabricacao-digital/. Acesso em: 10 janeiro 2026.

[10] BRANCO, B.; CANUTO, R.; CANTALICE, A. Fabricação Digital Aplicada à Habitação de Caráter Emergencial: Um estudo sobre a adaptação de WikiHouses ao contexto ambiental brasileiro. **SIGraDi 2017**, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital 22 – 24 November, 2017 – Concepción, Chile. DOI: 10.5151/sigradi2017-051.

[11] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010.

[12] ROCHA, B. M.; VENANCIO, L. V.; SILVA, F. O. da. Relatos do uso de arquitetura de código-aberto em projetos habitação de interesse social. Gestão & Tecnologia de Projetos, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 49–68, 2023. DOI: 10.11606/gtp.v18i2.196885. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/196885.

[13] RIGAMONTI, Lucia; MANCINI, Eliana. **Life cycle assessment and circularity indicators**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 26, p. 1937–1942, 2021. DOI: 10.1007/s11367-021-01966-2. Acesso em: 1 jul. 2026.