

**Tecnologia de impressão 3D com materiais naturais: uma análise de pesquisas e aplicações voltadas ao desempenho térmico de edificações**  
*3D printing technology with natural materials: an analysis of research and applications focused on the thermal performance of buildings*

**Luana Toralles Carbonari, doutora, Universidade Estadual de Londrina – UEL**  
luanatcarbonari@gmail.com

**Berenice Martins Toralles, doutora, Universidade Estadual de Londrina – UEL**  
toralles@uel.br

**Lisiane Ilha Librelotto, doutora, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC**  
lisiane.librelotto@gmail.com

**Monique de Brito Filgueiras, mestre, Universidade Estadual de Londrina UEL**  
monique.filgueiras@uel.br

**Thalita Gorban Ferreira Giglio, doutora, Universidade Estadual de Londrina UEL**  
thalita@uel.br

### **Resumo**

Este artigo visa analisar o uso de materiais naturais a base de solo e argila aplicados à tecnologia de impressão 3D com foco no desempenho térmico das edificações. Utilizou-se de revisão bibliográfica exploratória para identificar pesquisas aplicadas que têm explorado esses materiais. Os dados obtidos foram sistematizados em um quadro comparativo para identificar as principais estratégias utilizadas. A análise das pesquisas aplicadas indica que a construção com o uso da impressão 3D com materiais a base de solo e argila é promissora, aproveitando as propriedades naturais do solo de isolamento térmico, podendo incorporar estratégias de design paramétrico e fabricação digital para criar soluções complexas e personalizadas para os diferentes contextos.

**Palavras-chave:** Construção Civil; Manufatura Aditiva; Solo; Argila; Desempenho Térmico

### **Abstract**

*The purpose of this paper is to analyze the use of natural materials based on soil and clay applied to 3D printing technology, with a focus on the thermal performance of buildings. A exploratory literature review was used to identify applied research that has explored these materials. The data obtained was systematized in a comparative table to identify the main strategies used. The analysis of applied research indicates that construction using 3D printing with materials based on soil and clay is promising, taking advantage of the soil's natural thermal insulation properties and being able to incorporate parametric design and digital fabrication strategies to create complex, customized solutions for different contexts.*

**Keywords:** Civil Construction; Additive Manufacturing; Soil; Clay; Thermal Performance

## 1. Introdução

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), o setor da construção civil é responsável por 36% do consumo final global de energia e 39% do total de emissões diretas e indiretas de CO<sub>2</sub> [1]. Além disso, em nível mundial, o resfriamento artificial consome 60% do total de energia em edifícios, pois o conforto térmico é uma das principais prioridades, especialmente em climas quentes [2]. Devido a isso, diversas pesquisas têm buscado alternativas para uma construção mais otimizada, com menor impacto ambiental e maior desempenho térmico, além de uma maior economia de tempo, materiais e custos, buscando promover a conservação de energia e reduzir as emissões de carbono [3,4]. Nesse sentido, uma tecnologia que vem sendo cada vez mais explorada é a manufatura aditiva, que combina a manufatura com a fabricação digital, também conhecida como impressão 3D [5,6].

O uso da manufatura aditiva na construção civil vai ao encontro de questões atuais, como Cidades Inteligentes, Desenvolvimento Sustentável e Transformação Digital, incorporando os conceitos de digitalização, automação e conectividade da Indústria 4.0. A impressão 3D pode tornar a construção mais eficiente e proporcionar um crescimento sustentável, estimulando os princípios da circularidade, com o uso de materiais reciclados e ecologicamente corretos [5]. Os materiais à base de cimento provaram ser adequados para a impressão 3D, mas são um dos maiores responsáveis pela pegada ambiental da construção, devido ao seu alto consumo de energia e às emissões de CO<sub>2</sub> durante a produção de clínquer [6].

Devido a isso, vem sendo realizadas diversas pesquisas aplicadas que utilizam materiais alternativos, com o intuito de reduzir o impacto ambiental das edificações [7,8]. Os materiais que tem sido mais estudados e que apresentam propriedades semelhantes às do concreto são: Materiais à base de cimento Portland com adições minerais; Materiais geopoliméricos; Materiais à base de gesso; e Materiais à base de solo e argila [9]. Sendo assim, este estudo tem como objetivo analisar o uso de materiais naturais à base de solo e argila aplicados à tecnologia de impressão 3D com foco no desempenho térmico dos edifícios, para identificar as principais estratégias projetuais e construtivas que tem sido utilizadas.

Em 2015, a ONU estabeleceu a "Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", com a definição de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que devem ser implementados mundialmente nos próximos 15 anos. Dentre os objetivos desta agenda evidencia-se a aderência desta pesquisa aos de número 9 "Indústria, inovação e infraestrutura", 11 "Cidades e comunidades sustentáveis", 12 "Consumo e produção responsáveis", 13 "Ação contra a mudança global do clima" e 15 "Vida na terra" [10]. Assim, este estudo aborda problemas atuais que afetam o bem-estar social no Brasil e no mundo, especialmente considerando o grande impacto do setor de construção no meio ambiente e o desempenho térmico das edificações.

## 2. Procedimentos metodológicos

A metodologia aplicada parte de revisão exploratória da literatura para identificar pesquisas aplicadas que utilizam a tecnologia de impressão 3D associada a materiais naturais a base de solo e argila. Em cada caso foram avaliadas as seguintes categorias de análise: a) características gerais; b) composição do material de impressão; e c) aspectos relacionados ao desempenho térmico de cada caso. A escolha de mais de um caso permitiu uma análise comparativa, destacando aspectos de convergência e divergência entre eles. A análise qualitativa dos dados

foi realizada através do processo de análise-reflexão-síntese [11], sendo utilizada a técnica de análise de conteúdo [12] para avaliar a bibliografia.

### 3. Resultados e discussões

Embora o uso da tecnologia de impressão 3D ainda seja relativamente novo na construção civil em larga escala, com algumas limitações, ela promove a reutilização de materiais tradicionais. Isso poderia revitalizar o uso de materiais naturais de forma a substituir materiais industriais com alto consumo de energia e carbono [13]. Os materiais naturais à base de solo e argila vem sendo cada vez mais utilizados na construção em impressão 3D, pois são materiais recicláveis, de baixo custo e de baixo impacto ambiental [3,14–16]. Sua aplicação é semelhante à tecnologia de construção digital baseada em cimento [17].

As principais propriedades desses materiais apontadas pela literatura são [3,9,14,15]: propriedades no estado fresco: biopolímeros como o alginato podem ser usados para melhorar a retenção da forma; Desempenho mecânico e durabilidade: o material alcança um desempenho mecânico semelhante ao da construção convencional com terra; Textura: são mais suaves quando impressos com um bocal circular; e Possibilidades de cores: tons de marrom e amarelo.

Para avaliar aspectos relacionados ao desempenho térmico, que é outra importante propriedade dos materiais a base de solo e argila aplicados à tecnologia de impressão 3D, foram analisados os resultados de algumas pesquisas aplicadas, que serão descritos a seguir.

#### 3.1 Tecnologia de impressão 3D WASP

**a) Características gerais:** a empresa italiana WASP (*World's Advanced Saving Project*) tem caráter humanitário e princípios ambientais de ecologia e sustentabilidade. Seu objetivo é desenvolver edifícios e estruturas ecologicamente sustentáveis, usando materiais naturais, como solo e resíduos agrícolas, e construir casas em zonas pobres, densamente povoadas ou devastadas por catástrofes naturais, que impliquem baixos custos, consumo energético e poluição ambiental. Uma das tecnologias desenvolvidas pela empresa é o sistema WASP Crane, que é um sistema de fabricação modular colaborativo que consiste em uma unidade principal da impressora que pode ser montada em várias configurações, dependendo da área de impressão e do tamanho do objeto arquitetônico a ser construído. O módulo único tem um diâmetro de 6,60 m e 3 m de altura e pode ser ampliado com a adição de travessas e braços de impressora. Essa estratégia de construção implica uma área de impressão potencialmente infinita, pois os módulos individuais podem ser reconfigurados e avançar com uma atitude generativa [18].

Um dos principais projetos desenvolvidos pela WASP são as casas “Gaia” (Figura 1a e 1b), que foram impressas em 2018 na Itália. As paredes das casas foram impressa camada por camada usando o sistema WASP Crane. As casas tem uma área de 30 m<sup>2</sup> e foram necessários 10 dias para a execução das paredes externas, que tem espessura de 40 cm. A cobertura das casas foi feita com madeira e as fundações foram impressas em concreto. Durante o processo de execução das casas foram instaladas as esquadrias de portas e janelas, bem como redes elétrica e hidrosanitária. O custo total dos materiais usados na estrutura da parede foi de 900 euros [19].

**b) Material de impressão:** material composto de uma mistura de 25% de solo local (mistura de areia, argila e silte), 40% de palha de arroz picada, 10% de casca de arroz e 10% de cal hidráulica. Para tornar a mistura homogênea e trabalhável foi usado o Muller [20].

c) **Aspectos relacionados ao desempenho térmico:** ao imprimir as paredes, foram criadas cavidades verticais internas que foram preenchidas com resíduos da produção de arroz (Figura 2a), como cascas e palhas de arroz picadas, preenchendo os vazios para isolamento térmico. Além disso, as paredes foram projetadas com o objetivo de integrar sistemas de ventilação natural e sistemas de isolamento termoacústico [19]. Segundo a empresa WASP, esse método de isolamento mantém a temperatura interna da casa confortável, evitando a necessidade de aquecimento ou refrigeração. As cascas de arroz também foram usadas para criar um revestimento para a face interna das paredes e como uma camada de isolamento na parte superior da cobertura (Figura 2b) [21].



Figura 1: a) Casa Gaia sendo construída e b) Casa Gaia finalizada. Fonte: [21].



Figura 2: a) preenchimento das paredes com resíduos e b) Revestimento interno. Fonte: [21].

### 3.2 Projetos Pylos, Digital adobe e TerraPerforma do IAAC

a) **Características gerais:** o Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha (IAAC) tem desenvolvido uma série de projetos de pesquisa aplicada relacionados à digitalização de materiais à base de solo e argila produzidos com o uso de impressão 3D. O projeto Pylos foi o primeiro a ser desenvolvido pelo IAAC, visando a construção em larga escala, com base no uso de argila biodegradável e reciclável, buscando a otimização da mistura, com o uso de materiais naturais disponíveis localmente. A pesquisa teve como objetivo construir colunas de argila impressa para explorar o potencial de personalização da forma de acordo com critérios de desempenho e as vantagens técnicas do procedimento de produção robótica [8,22]. Além disso, o projeto tem como principal objetivo desenvolver soluções para a construção habitacional em países em desenvolvimento, ou em zonas densamente urbanizadas em países desenvolvidos.



Devido ao baixo custo associado deverá proporcionar um acesso a habitação mais fácil e barato às pessoas mais necessitadas. O preço estimado é de 0,5 euros por cada quilograma [23].

O projeto se concentra nas propriedades naturais do solo, e tem como principais vantagens o isolamento térmico, proteção contra incêndio, circulação de ar, baixo custo inicial, estruturas recicláveis, rigidez estrutural, baixa emissão de CO<sub>2</sub> e controle climático. A importância do material escolhido (solo) para essa pesquisa de manufatura aditiva não está relacionada apenas à quantidade ilimitada existente, mas também à diminuição do grau emergente de energia incorporada no processo de fabricação, aos riscos de transporte, à produção independente de eletricidade e a disponibilidade de combustível [22,24].

Com base nos resultados do projeto Pylos, a IAAC continua a examinar a correlação entre morfologias baseadas em desempenho e manufatura aditiva robótica por meio do programa de pesquisa *Open Thesis Fabrication* (OTF). Os projetos Digital Adobe e TerraPerforma utilizam o mesmo material e método do Pylos, mas com foco na impressão em escala real de formas não convencionais, como paredes curvas modulares, com propriedades de auto-sombreamento e design performático adequado ao clima [14,25,26].

Durante o OTF 2016/2017, o TerraPerforma construiu um protótipo experimental em escala 1:1 (Figura 3a e b) para estudar padrões geométricos otimizados, visando o desempenho térmico e estrutural, além da análise de um módulo para viabilizar um processo de montagem fácil e rápido, diretamente no local. A abordagem modular foi considerada melhor devido às dificuldades de levar um robô para o exterior e enfrentar condições climáticas adversas. Os módulos são concebidos parametricamente para que tenham um desempenho ideal, dependendo da radiação solar, do comportamento do vento e do raciocínio estrutural da impressão 3D, tanto por si mesmos quanto como um projeto completo [8].

**b) Material de impressão:** o material criado pela IAAC é constituído por 96% de solo, mais aditivos para melhorar as suas características.

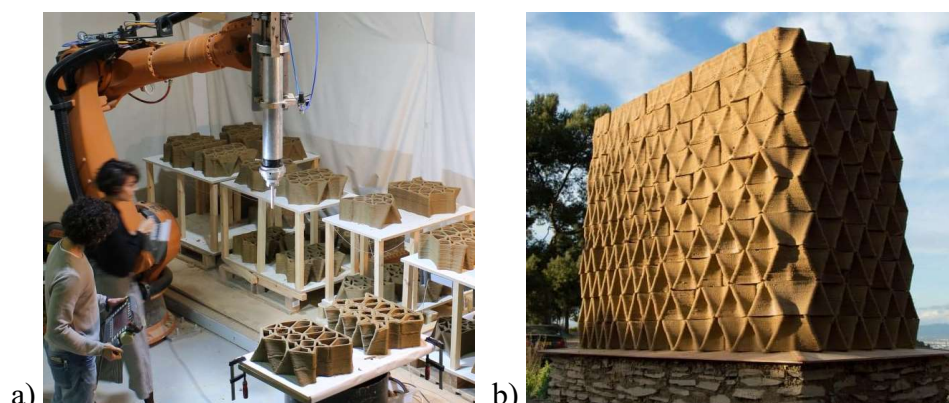
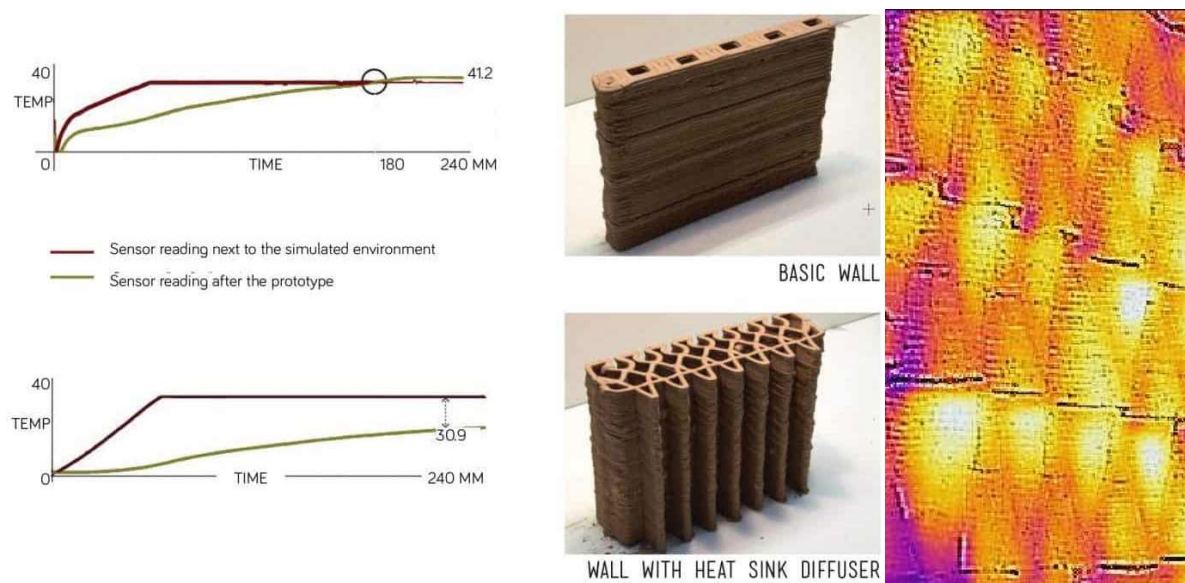


Figura 3: a) e b) Módulos e protótipo em escala 1:1 do projeto TerraPerforma. Fonte: [26]

**c.1) Aspectos relacionados ao desempenho térmico do projeto TerraPerforma:** a morfologia complexa da superfície externa do protótipo desenvolvido pelo TerraPerforma foi definida considerando o ângulo de incidência da radiação solar direta e a ventilação natural. Assim, buscou-se reduzir a temperatura da superfície externa pelo auto-sombreamento, a fim de minimizar a radiação das orientações leste e oeste, diminuindo, conseqüentemente, a carga térmica necessária para o resfriamento de um edifício [8]. Além disso, os módulos foram

projetados para incorporar vários tipos de aberturas, a fim de maximizar o potencial da luz natural (as aberturas são estrategicamente posicionadas e variam de microaberturas a aberturas completas entre os elementos). Os mesmos painéis também foram projetados para auxiliar o comportamento do vento por meio das propriedades de convecção, bem como a colocação da microperfuração que direcionaria o fluxo de ar. Para isso, foram realizados testes físicos e simulações com protótipos de paredes (Figura 4), testando a radiação solar, a luz do dia, a condutividade térmica, a convecção, a massa térmica e o comportamento estrutural [27].



**Figura 4:** Estudos do desempenho térmico realizados pelo projeto TerraPerforma. Fonte: [26]

O Digital Adobe é uma pesquisa sobre impressão 3D para Habitat Performativo, que foi desenvolvida no programa OTF 2017-18. A pesquisa foi concluída com a construção de um protótipo 1:1 (Figura 5a e b) de uma parede que adapta sua morfologia às necessidades estruturais e climáticas locais [25].



**Figura 5:** a) Parede construída pelo projeto Digital adobe e b) módulos da parede. Fonte: [25]

**c.2) Aspectos relacionados ao desempenho térmico do projeto Digital Adobe:** no estudo foi desenvolvido um projeto de parede ventilada, com aberturas operáveis na parte superior e inferior, para reduzir o ganho de calor no verão por meio da convecção entre as aberturas e para reter o calor no inverno, quando as aberturas estão fechadas. A geometria externa consiste em uma superfície de saliências para auto-sombreamento, otimizando o resfriamento no verão e a absorção de radiação solar no inverno, levando em consideração os ângulos de incidência solar do local (Barcelona), de forma que a direção oeste tenha maior ganho de calor, enquanto a direção leste tenha menor ganho de calor a depender da incidência solar ao longo do dia. Assim, tem-se uma quantidade maior de massa térmica e menos ventilação na parede oeste, e uma quantidade menor de massa térmica e mais ventilação na parede leste. As cavidades internas da parede são preenchidas com terra para atuar como massa térmica e com ar para isolamento. O projeto final resultou em 99 elementos individuais, montados em 5 dias no campus do Laboratório da IAAC em 2018 [25].

### 3.3 3D printed Cob

**a) Características gerais:** a *3D printed Cob* é uma pesquisa aplicada que explora uma técnica de construção baseada em subsolo extrudado roboticamente e fibras orgânicas locais. Essa técnica é uma tentativa de examinar a transição da construção vernacular para um processo viabilizado digitalmente. Em estudo realizado por pesquisadores [17] é avaliada a condutividade térmica de quatro amostras impressas em 3D e, posteriormente, o resultado é comparado com sete amostras que foram construídas usando técnicas manuais. As amostras impressas têm dimensões de 300×300×90 mm e as amostras construídas manualmente têm 300×300×70 mm. As amostras foram impressas na Universidade de Cardiff, Reino Unido, usando um robô Kuka KR60HA e um sistema de extrusão de material personalizado.

Cada amostra levou cerca de duas horas para ser produzida e foi projetada para representar uma solução diferente de isolamento térmico das paredes. A primeira foi projetada como uma parede sólida; a segunda como uma parede de camada dupla com um único espaço de ar contínuo; a terceira como uma parede de camada tripla com bolsas de ar; e a quarta foi projetada como uma parede de camada dupla com bolsões preenchidos com palha (Figura 6) [17].



**Figura 6:** Protótipo sólido, com fenda simples e enchimento de palha e com fenda dupla. Fonte: [17]

**b) Material de impressão:** mistura de subsolo (72-73 %), fibra (2 %) e água (25-26 %). O subsolo utilizado é composto de argila (21,5 %) e agregado/areia (79,5 %) [17].

**c) Aspectos relacionados ao desempenho térmico:** para avaliar o desempenho térmico do material foram realizados testes de condutividade térmica com um medidor de fluxo de calor. Os resultados mostram que as quatro amostras têm condutividade térmica aproximada (0.32,



0.37, 0.40, 0.48 W/mk), com 10% de diferença entre si. Porém, se observa que as cavidades nas três amostras afetam seu desempenho e proporcionam uma condutividade relativamente melhor em relação à sua densidade. Além disso, os resultados indicam que a combinação de cavidades de ar com a adição de palha melhora significativamente a condutividade em relação à sua densidade. Especificamente, a amostra com câmara de ar com preenchimento de palha apresentou uma melhoria de 15,0% na condutividade (0.32 W/mk) e um aumento de 8,0% na densidade em comparação com a amostra com câmara de ar sem palha. Em termos de condutividade absoluta, essa amostra apresentou o melhor resultado entre as amostras impressas devido à sua menor condutividade, independentemente da densidade. Embora as amostras impressas em 3D não tenham superado significativamente as amostras feitas à mão, os resultados da pesquisa sugerem que a impressão 3D pode ser utilizada sem comprometer o desempenho da construção, revelando mais oportunidades de pesquisa ao explorar os benefícios adicionais da fabricação robótica [17].

A partir dos 4 casos analisados nesta pesquisa, foi feita uma síntese analítica no Quadro 1 com as principais estratégias utilizadas para a melhoria do desempenho térmico das edificações.

**Quadro 1:** Síntese das principais estratégias para melhoria do desempenho térmico das pesquisas aplicadas

Pesquisa	Material de impressão	Estratégias
<b>3D WASP</b>	Solo (25%), palha de arroz (40%), casca de arroz (10%), cal hidráulica (10%) e muller	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cavidades internas preenchidas com resíduos de arroz para isolamento térmico.</li> <li>- Cascas de arroz usadas para revestimento interno e como camada de isolamento na parte superior da cobertura.</li> <li>- Cobertura com beiral para proteger da radiação solar direta.</li> </ul>
<b>TerraPerforma</b>	Solo (96%) e aditivos (4%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Morfologia complexa da superfície externa projetada para auto-sombreamento.</li> <li>- Módulos projetados para incorporar vários tipos de aberturas: microaberturas e janelas.</li> <li>- Microperfurações que direcionam o fluxo de ar.</li> </ul>
<b>Digital Adobe</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parede ventilada com aberturas operáveis.</li> <li>- Geometria externa com saliências para auto-sombreamento.</li> <li>- Cavidades internas da parede preenchidas com terra para massa térmica e com ar para isolamento térmico.</li> </ul>
<b>3D Printed Cob</b>	Subsolo (72-73 %), fibra (2 %) e água (25-26 %)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paredes com cavidades de ar e adição de palha - melhor condutividade em relação à densidade</li> </ul>

Fonte: Autores.

#### 4. Considerações Finais

A análise das pesquisas aplicadas levantadas neste estudo indica que a manufatura aditiva com materiais a base de solo e argila tem potencial de reintroduzir materiais tradicionais no design contemporâneo, podendo atender às demandas atuais de sustentabilidade, eficiência energética e custo na construção, com maior precisão e qualidade da superfície, o que muitas vezes não é possível com as técnicas tradicionais.

Com relação ao desempenho térmico, observou-se que, de modo geral, as pesquisas aplicadas que foram analisadas neste estudo aproveitam as propriedades naturais do solo, que tem como uma das principais vantagens o isolamento térmico. No entanto, utilizam diferentes estratégias projetuais e construtivas para melhorar o desempenho térmico das vedações através da tecnologia de impressão 3D, como: o preenchimento das cavidades internas com materiais como resíduos de arroz, terra ou palha (3D WASP, Digital Adobe e 3D Printed Cob); Uso do



design paramétrico e da fabricação digital para criar morfologias complexas de auto-sombreadas (TerraPerforma e Digital Adobe); Sistemas de parede ventilada com aberturas operáveis (Digital Adobe), dentre outras estratégias.

Assim, este estudo evidencia o potencial de soluções que podem ser exploradas com a Manufatura Aditiva para melhorar o desempenho térmico de edificações feitas em impressão 3D com o uso de materiais à base de solo e argila, adaptando de forma personalizada e otimizada os elementos construtivos às necessidades locais.

### Agradecimentos

Agradecemos a bolsa de pós-doutorado concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (168166/2022-4) a um dos autores desta pesquisa.

### Referências

- [1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global energy & CO2 status report**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- [2] AL-OBAIDI, K. M. *et al.* Biomimetic building skins: An adaptive approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 79, p. 1472–1491, 2017.
- [3] ALHUMAYANI, H. *et al.* Environmental assessment of large-scale 3D printing in construction: A comparative study between cob and concrete. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 270, p. 122463, 2020.
- [4] WENG, Y. *et al.* Comparative economic, environmental and productivity assessment of a concrete bathroom unit fabricated through 3D printing and a precast approach. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 261, p. 121245, 2020.
- [5] PESSOA, S. *et al.* 3D printing in the construction industry - A systematic review of the thermal performance in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 141, p. 110794, 2021.
- [6] COSTA, F. N.; RIBEIRO, D. V. Reduction in CO2 emissions during production of cement, with partial replacement of traditional raw materials by civil construction waste (CCW). **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 276, p. 123302, 2020.
- [7] AKMAN, A.; SADHU, A. Recent Development of 3D-Printing Technology in Construction Engineering. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, [s. l.], v. 29, n. 1, 2024.
- [8] FIGLIOLA, A.; BATTISTI, A. **Post-industrial Robotics**. Singapore: Springer Singapore, 2021.
- [9] TEIXEIRA, J. *et al.* A road map to find in 3D printing a new design plasticity for construction – The state of art. **Frontiers of Architectural Research**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 337–360, 2023.

- [10] NAÇÕES UNIDAS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- [11] PATRICIO-KARNOPP, Z. M. **O processo ético e estético de pesquisar: um movimento qualitativo transformando conhecimentos e a qualidade da vida individual-coletiva**. Florianópolis: Núcleo de Estudos das Águas/UFSC/CNPq, 2004.
- [12] BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Rio de Janeiro: Edições 70, 1991.
- [13] EL-MAHDY, D.; GABR, H. S.; ABDELMOHSEN, S. SaltBlock as a 3D printed sustainable construction material in hot arid climates. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 43, p. 103134, 2021.
- [14] KONTOVOURKIS, O.; TRYFONOS, G. Robotic 3D clay printing of prefabricated non-conventional wall components based on a parametric-integrated design. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 110, p. 103005, 2020.
- [15] PERROT, A.; RANGEARD, D.; COURTEILLE, E. 3D printing of earth-based materials: Processing aspects. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 172, p. 670–676, 2018.
- [16] LIBRELOTTO, L. I. *et al.* The use of non-conventional materials in temporary shelters: A case study of the Kutupalong-Balukhali camp and the Potential of 3D printing. *In:* , 2023, João Pessoa. **19th NOCMAT -- International Conference on Non-Conventional Materials - Contributing to Mitigate Climate**. João Pessoa: [s. n.], 2023. p. 566–577.
- [17] GOMAA, M. *et al.* Thermal performance exploration of 3D printed cob. **Architectural Science Review**, [s. l.], v. 62, n. 3, p. 230–237, 2019.
- [18] WASP. **DeltaWASP Crane**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://deltawasp.com.au/shop/deltawasp-crane/>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- [19] VALENTE, M.; SIBAI, A.; SAMBUCCI, M. Extrusion-Based Additive Manufacturing of Concrete Products: Revolutionizing and Remodeling the Construction Industry. **Journal of Composites Science**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 88, 2019.
- [20] SOOD, G. **Gaia is the World's First 3D Printed Mud House**. [S. l.], 2018. Disponível em: [https://www.homecrux.com/gaia-is-the-worlds-first-3d-printed-mud-house/110107/#google\\_vignette](https://www.homecrux.com/gaia-is-the-worlds-first-3d-printed-mud-house/110107/#google_vignette). Acesso em: 20 fev. 2024.
- [21] JORDAHN, S. **3D-printed Gaia house is made from biodegradable materials**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.dezeen.com/2019/02/27/gaia-wasp-3d-printed-house-biodegradable-video/>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- [22] IAAC. **PYLOS**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://iaac.net/project/Pylos/>. Acesso em: 20 fev. 2024 b.
- [23] LOPES, G. T. F. **Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção**. 2016. Mestrado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/143393036.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- [24] VALENCIA, N. **Pylos: a impressora 3D que imprime com terra**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/776401/pylos-a-impressora-3d-que-imprime-com-terra>. Acesso em: 20 fev. 2024.

[25] IAAC. **Digital Adobe**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://iaac.net/project/digital-adobe/>. Acesso em: 20 fev. 2024 a.

[26] IAAC. **TerraPerforma – OTF 2016/2017**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://iaac.net/project/terraperforma/>. Acesso em: 20 fev. 2024 c.

[27] DUBOR, A.; CABAY, E.; CHRONIS, A. Energy Efficient Design for 3D Printed Earth Architecture. *In*: HUMANIZING DIGITAL REALITY. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 383–393.