



2024

Análise do comparativo de custos para uso de impressão 3D na construção de habitações de interesse social no Brasil

Igor Dockhorn Freitas ^a; Gilfranco Medeiros Alves ^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, igor.dockhorn@ufms.br

^b Professor Orientador, Doutor em Arquitetura, gilfranco.alves@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

O déficit habitacional no Brasil, mesmo com décadas de programas variados focados na produção de habitações de interesse social (HIS), demanda urgente inovação tecnológica e métodos construtivos eficientes. Este estudo investiga a viabilidade econômica da impressão 3D na construção de casas populares, comparando-a com a alvenaria estrutural tradicional. A pesquisa exploratória visa analisar quantitativamente os custos e benefícios de cada método. A implementação de impressoras 3D mostra-se promissora, não apenas reduzindo significativamente os custos, mas também acelerando consideravelmente os prazos de construção. Porém, ainda está nos seus primeiros passos no Brasil, necessitando de normas e regulamentações, assim como incentivos governamentais para sua implementação de fato. Resultados específicos indicam que tecnologias como as da ICON e WINSUN podem reduzir os custos em até 70% e 64%, respectivamente, em comparação com a alvenaria estrutural. No entanto, é essencial considerar fatores como instalação, qualificação da mão de obra e aquisição de equipamentos para uma avaliação abrangente. A utilização da impressão 3D na construção civil não apenas apresenta potencial para transformar significativamente o setor, mas também representa uma implementação bem-sucedida. Este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre métodos construtivos mecanizados a partir da fabricação digital, fundamentais para enfrentar o déficit habitacional e promover o desenvolvimento sustentável na habitação de interesse social.

Palavras-chave: Impressão 3D na construção civil. Habitação de interesse social. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

The housing deficit in Brazil, even with decades of varied programs focused on the production of social housing (HIS), requires urgent technological innovation and efficient construction methods. This study investigates the economic forecast of 3D printing in the construction of affordable housing, comparing it with traditional structural masonry. Exploratory research aims to quantitatively analyze the costs and benefits of each method. The implementation of 3D shows promise, not only significantly reducing costs, but also considerably speeding up construction deadlines. However, they are still in their first steps in Brazil, requiring standards and regulations, as well as government incentives for their actual implementation. Specific results indicate that technologies like those from ICON and WINSUN can reduce costs by up to 70% and 64%, respectively, compared to structural masonry. However, it is essential to consider factors such as installation, labor qualifications and equipment acquisition for a comprehensive assessment. The use of 3D printing in construction not only has the potential to significantly transform the sector, but also represents a successful implementation. This study contributes to the advancement of knowledge about mechanized construction methods based on digital manufacturing, which are fundamental to tackling the housing deficit and promoting sustainable development in social housing.

Keywords: 3D printing in construction. Social housing. Economic feasibility.

1. INTRODUÇÃO

As habitações de interesse social (HIS) são um dos principais focos de políticas públicas e ações sociais

na construção civil brasileira, visando atender a população de baixa renda e reduzir o déficit habitacional. Esse conceito abrange projetos destinados a pessoas que, em sua maioria, não possuem acesso ao mercado formal de moradia,

sendo um campo onde a oferta de unidades habitacionais acessíveis ainda é insuficiente. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que o Brasil enfrenta um déficit habitacional de 7 milhões de unidades habitacionais, com famílias vivendo em condições inadequadas, o que reforça a urgência de novas abordagens e tecnologias para aumentar a eficiência, a qualidade e a acessibilidade das construções no setor.

No contexto brasileiro, o método construtivo de alvenaria estrutural, embora amplamente utilizado, apresenta desafios e limitações. Além de exigir um processo de construção demorado e com elevado custo de mão de obra, ele depende de recursos naturais intensivos, como cimento e tijolos, e enfrenta problemas como desperdício de materiais e impacto ambiental. Essa situação levanta questões sobre a sustentabilidade e a eficiência da alvenaria estrutural, especialmente quando aplicada em larga escala para suprir a demanda de HIS no Brasil.

Nesse cenário, a impressão 3D de casas surge como uma tecnologia inovadora, com potencial transformador para a construção civil. Além de ter um potencial de reduzir significativamente os custos e o tempo de construção, a impressão 3D possibilita o uso de materiais sustentáveis, como um tipo de concreto produzido a partir de resíduos de construção, incluindo cimento e fibra de vidro, o que pode impactar positivamente tanto o meio ambiente quanto a economia do setor. Para as HIS, a aplicação da impressão 3D poderia representar um salto tecnológico capaz de atender à demanda crescente de maneira mais rápida e econômica, possibilitando que as construções sejam realizadas em regiões carentes com maior agilidade e flexibilidade de *design*, adaptando-se às necessidades locais.

Este trabalho tem como objetivo explorar, de maneira comparativa, os custos entre a construção por impressão 3D e a alvenaria estrutural, com foco na redução do déficit habitacional. A pesquisa se propõe a analisar a viabilidade econômica e os benefícios potenciais da adoção de tecnologias de impressão 3D na construção de habitações de interesse social no Brasil. Por meio de um estudo detalhado e atualizado, espera-se contribuir para a discussão sobre a modernização da construção civil e o papel das inovações tecnológicas na solução de problemas habitacionais críticos.

Assim, espera-se contribuir para uma compreensão mais clara das possibilidades e limitações da impressão 3D como alternativa para a construção civil brasileira, especialmente em projetos de interesse social.

Ao investigar as potencialidades e os desafios da impressão 3D no contexto da construção civil brasileira, este trabalho busca oferecer uma visão abrangente e fundamentada que possa orientar futuras políticas públicas e iniciativas privadas em direção a um setor mais eficiente, inovador e inclusivo.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Programas habitacionais no Brasil

2.1.1. Conceito e Definição de Habitações de Interesse Social no Brasil

As habitações de interesse social (HIS) no Brasil são uma resposta do poder público à necessidade de moradia digna para populações de baixa renda, que frequentemente enfrentam limitações financeiras e exclusão do mercado imobiliário formal. A concepção das HIS remonta à década de 1940, quando a Fundação de Casas Populares (FCP) foi criada no governo de Eurico Gaspar Dutra, visando atender às demandas habitacionais das classes mais pobres (CORRÊA, 2019). Contudo, esses programas iniciais enfrentaram desafios devido a tendências políticas que favoreciam determinados grupos, o que comprometeu a sua efetividade e a ampliação para todos os que necessitavam. Apenas nas décadas posteriores, especialmente a partir dos anos 1980 com a transição das políticas habitacionais para a Caixa Econômica Federal, o foco nas HIS tornou-se mais abrangente, buscando promover o acesso à moradia de forma estruturada e regularizada. Dessa forma, a HIS não só representa uma alternativa habitacional econômica, mas também é uma ferramenta fundamental de inclusão social e dignidade para a população carente (CECCHETTO et al., 2015).

2.1.2. Déficit Habitacional e Desafios Sociais

O Brasil possui um histórico deficitário em relação ao acesso à habitação digna, especialmente para as populações de baixa renda. Estudos recentes apontam para um déficit de aproximadamente 7 milhões de unidades habitacionais, das quais uma significativa parcela destina-se a famílias com renda de até três salários mínimos (OLIVEIRA et al., 2017). Esse déficit é resultado de uma combinação de fatores, como a desigualdade de renda, a inflação dos preços imobiliários e a falta de políticas públicas eficazes ao longo das décadas. A insuficiência de HIS força muitas famílias a ocuparem áreas não regulamentadas e de risco, que não possuem infraestrutura ou planejamento urbano adequados, aprofundando problemas sociais e de segurança habitacional (ROGOSKI, 2018). Em muitos casos, as

HIS representam a única forma de acesso a moradias mais estáveis, sendo essenciais para combater o crescimento desordenado das periferias e contribuir para a coesão social.

2.1.3. Importância das Tecnologias Inovadoras no Setor Habitacional

Frente ao alto déficit habitacional e aos desafios de acessibilidade econômica, o desenvolvimento de novas tecnologias, como as impressoras 3D para construção civil, desponta como uma alternativa promissora para otimizar a construção de HIS. Essas inovações possibilitam a produção de moradias com redução de tempo e custo, além de promoverem a sustentabilidade ao usarem materiais menos agressivos ao meio ambiente (MONTEIRO e VERAS, 2017). A utilização de impressoras 3D, por exemplo, permite a criação de habitações em menor tempo e com uma demanda reduzida de mão de obra, sem comprometer a qualidade e segurança das construções. Esse tipo de tecnologia, aliado a políticas habitacionais eficientes, pode ser uma ferramenta poderosa para combater o déficit habitacional, promovendo habitações de baixo custo e de alta durabilidade. Além disso, o uso de técnicas inovadoras na impressão 3D permite a utilização de materiais como concreto com isolantes térmicos (EPS e vermiculita) e geopolímeros, que promovem eficiência energética ao reduzir a troca de calor e a necessidade de climatização. O design das paredes pode incluir camadas ocas para isolamento térmico natural, enquanto o processo contínuo elimina pontos térmicos fracos comuns na construção tradicional. A precisão da impressão reduz desperdícios, e a rapidez na execução diminui impactos ambientais e custos, melhorando a qualidade de vida dos moradores com conforto térmico e sustentabilidade. Dessa forma, a integração de tecnologia na construção de HIS representa não apenas um avanço técnico, mas uma oportunidade de transformar o panorama habitacional brasileiro, tornando-o mais justo e sustentável.

2.2. Alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que se destaca pela racionalização, organização e simplicidade na construção, conceitos que têm suas raízes na antiguidade e permanecem relevantes até os dias atuais (NETO et al., 2015; MASO, 2017). Este método consiste na justaposição de peças, geralmente blocos de concreto ou tijolos cerâmicos, unidas por argamassa, formando uma estrutura coesa e resistente capaz de suportar as cargas aplicadas e desempenhar múltiplas funções, como vedação,

isolamento térmico-acústico e proteção contra o fogo (TAUIL e NESE, 2010).

A introdução da alvenaria estrutural no Brasil ocorreu no final da década de 1960, com a construção dos primeiros edifícios de quatro pavimentos em São Paulo. Este método ganhou popularidade devido à sua eficiência e economia, permitindo uma redução de custos entre 25% e 30% em relação a alvenaria convencional de vedação, o que impulsionou sua adoção em programas habitacionais (SÁNCHEZ, 2013; MOHAMED et al., 2014). Além de ser amplamente utilizada em habitações de interesse social, a alvenaria estrutural é também uma opção viável para edificações de alto padrão, oferecendo uma solução mais barata, rápida e racionalizada em comparação aos métodos que utilizam concreto armado (MASO, 2017).

Especialistas apontam que as construções em alvenaria estrutural não apresentam diferenças estéticas significativas em relação a outros métodos, mantendo níveis equivalentes de conforto térmico e acústico. Paredes feitas com este sistema são tão resistentes quanto as de concreto armado, dissipando o preconceito de que a ausência de vigas comprometeria a integridade estrutural (COTTA et al., 2013). A percepção de que a alvenaria estrutural não compromete a qualidade é fundamental para sua aceitação e disseminação no mercado da construção civil.

A alvenaria estrutural, portanto, não é apenas uma opção econômica, mas uma escolha estratégica para diversos tipos de obras, desde habitações de interesse social até edificações de alto padrão. Sua capacidade de reduzir custos, acelerar o processo construtivo e oferecer soluções técnicas adequadas para isolamento térmico e acústico a torna uma alternativa atrativa e sustentável no setor da construção civil.

2.2.1 Vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é amplamente reconhecida por suas vantagens econômicas e operacionais, tornando-se uma opção atraente para a construção de habitações de interesse social. Entre suas principais vantagens, destaca-se a redução de custos, resultante da menor diversidade de materiais empregados e da maior rapidez de execução. Segundo Camacho (2006), a simplicidade do processo construtivo contribui significativamente para a economia de recursos.

Ramalho e Corrêa (2003) apontam que a alvenaria estrutural também reduz a necessidade de mão de obra especializada em carpintaria, armaduras e

montagens, o que se traduz em menores custos operacionais. Além disso, este sistema apresenta menor desperdício de materiais, o que não só diminui os custos, mas também minimiza imprevistos durante a construção. Hofmann et al. (2012) ressaltam que a produtividade da alvenaria estrutural é superior quando comparada à execução de estruturas em concreto armado convencional, podendo reduzir o prazo de conclusão da obra pela metade.

No entanto, a alvenaria estrutural também possui desvantagens que limitam sua aplicação em determinados contextos. Uma das principais restrições é de natureza arquitetônica, já que as paredes atuam como elementos estruturais, impossibilitando futuras modificações ou arranjos arquitetônicos variados (BISPO, 2018). Além disso, este sistema não permite grandes vãos livres e reformas substanciais, restringindo a flexibilidade e adaptabilidade do espaço construído. A impossibilidade de improvisos durante a construção também pode representar um desafio, exigindo um planejamento rigoroso desde o início do projeto.

Em suma, embora a alvenaria estrutural ofereça vantagens consideráveis em termos de custo, rapidez de execução e produtividade, suas limitações arquitetônicas e a rigidez estrutural devem ser cuidadosamente consideradas na escolha do método construtivo mais adequado para cada projeto.

2.3. Revolução da impressão 3D

A impressão 3D, considerada uma nova Revolução Industrial, está transformando os métodos de produção ao possibilitar a criação de objetos sólidos em três dimensões a partir de desenhos projetados em computadores. Este processo, conhecido como *file-to-factory* (do arquivo para a produção) produz a partir de arquivos regados por *software* que são interpretados por máquinas de controle numérico (CNC), oferecendo a capacidade de produzir peças personalizadas com menor custo, prazo reduzido e menos desperdício (ANDERSON, 2012). A impressão 3D pode ser aplicada em diversas escalas, desde pequenas produções na bioengenharia até grandes projetos na construção civil (ANDERSON, 2012). Esta tecnologia é versátil em termos de materiais, incluindo cera, polietileno, nylon, cerâmica, resíduos reciclados, aço inoxidável, titânio, alumínio, e plásticos de engenharia como ABS e PLA (TAKAGAKI, 2012; PORTO, 2016), além do próprio concreto com diferentes possibilidades de misturas e agregados para otimizar a plasticidade e resistência na sobreposição das camadas (*Contour Crafting*).

Desde sua introdução pela 3DSystems em 1987 com a tecnologia de estereolitografia, que solidifica resina líquida por meio de laser ultravioleta, a impressão 3D evoluiu significativamente. Originalmente usada para visualizar modelos e testar protótipos antes da produção, ela agora encontra aplicações em engenharia, medicina, arquitetura e outros campos (WOHLERS e GORNET, 2014; ARAÚJO, 2016). A impressão 3D permite maior dinamismo no design das peças, criando modelos em diversas formas (ARAÚJO, 2016).

2.3.1 Avanços tecnológicos com impressão 3D na construção civil

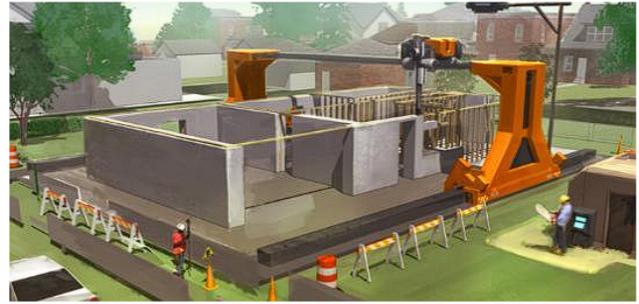
A aplicação da impressão 3D na construção civil é um dos avanços mais disruptivos do setor, promovendo mudanças significativas nos processos construtivos e na redução de custos, tempo e desperdícios. Segundo Zucca et al. (2018), essa tecnologia, amplamente adotada em setores variados, tem transformado processos de fabricação, demonstrando potencial para impactar profundamente a construção civil. Ao possibilitar a criação de edificações completas em menor tempo e com menor necessidade de mão de obra, a impressão 3D também incorpora uma liberdade projetual que viabiliza formas arquitetônicas complexas, como curvas e superfícies orgânicas, paredes com vazados decorativos, estruturas geométricas assimétricas e designs parametrizados, que seriam difíceis de realizar por métodos convencionais (CELERE, 2018). Para atender a essa demanda, o uso de materiais como concreto especial de alta resistência já permite a construção de estruturas duráveis e que igualam ou até superam a longevidade das construções em alvenaria convencional (ICON, 2017). Além disso, o surgimento das tecnologias CAD e BIM nas últimas décadas revolucionou a fase de projeto e planejamento, proporcionando melhor visualização, simulação e redução de erros antes mesmo do início da obra (SACKS et al., 2021). A integração da impressão 3D com essas tecnologias digitais tem um potencial para uma abordagem mais precisa e eficiente, alinhada aos princípios da Indústria 4.0, pois aumentaria a viabilidade de construções automatizadas e de grande escala, que poderiam ser executadas com maior segurança e menor impacto ambiental.

Além dos benefícios econômicos, a impressão 3D na construção civil oferece vantagens ambientais significativas, incluindo a redução do impacto ambiental pela minimização de resíduos e otimização de materiais. A possibilidade de imprimir em concreto, por exemplo, reduziria drasticamente o

desperdício de recursos e mitigaria o impacto das obras sobre o meio ambiente (FLORENCIO et al., 2016). Essa tecnologia também enfrenta e resolve desafios comuns em países desenvolvidos, como a escassez de mão de obra qualificada, por meio da mecanização e automação dos processos, e se mostra como uma solução potencial para o déficit habitacional, possibilitando construções rápidas e acessíveis (MAIA e SOUZA, 2018). Em termos de impacto social, a impressão 3D permite construir moradias de baixo custo em um curto período, como no caso de parcerias entre organizações sem fins lucrativos e empresas de tecnologia, que já viabilizaram protótipos habitacionais para populações carentes em menos de 24 horas (HOSSAIN et al., 2020). Essas inovações oferecem à indústria da construção uma oportunidade de adaptação às necessidades atuais de sustentabilidade, eficiência e acessibilidade, fazendo da impressão 3D uma ferramenta central para o futuro da engenharia civil e da construção habitacional.

2.3.2 *Contour Crafting*

O método construtivo *Contour Crafting* (CC), desenvolvido na *University of Southern California*, é uma inovação que utiliza impressão 3D aplicada à construção civil, com grande potencial para revolucionar o setor (SILVA, 2022). O CC, ao contrário de outras tecnologias de impressão 3D, permite a fabricação de componentes estruturais de grandes dimensões, eliminando a necessidade de cofragens e possibilitando a construção de estruturas inteiras diretamente no local da obra (BHUSAL e KSHIRSAGAR, 2020). Esse método utiliza um sistema robotizado em formato de pórtico, no qual um bico de impressão desloca-se ao longo de duas faixas paralelas instaladas na área de construção, realizando movimentos em eixos X, Y e Z, o que permite a deposição precisa de camadas sucessivas de concreto (FORMIGA e CARNEIRO, 2021). Durante o processo, o bico de impressão aplica o concreto de forma contínua e precisa, seguindo o perímetro da estrutura, camada por camada. Ao final de cada camada, o bico é elevado verticalmente para iniciar a deposição da próxima, e o concreto é simultaneamente alisado, conferindo um acabamento uniforme à superfície (SILVA, 2022). Na figura 1, mostra a execução de um projeto através desse método construtivo.



Para garantir a integridade estrutural durante a construção, a mistura de concreto usada no *Contour Crafting* é composta por aditivos e fibras que conferem resistência suficiente para suportar as camadas subsequentes (SILVA, 2022). Além disso, o método permite a incorporação de conduítes hidráulicos, elétricos e de ventilação, assim como reforços estruturais, o que possibilita a integração desses elementos sem interrupções no processo de impressão (BHUSAL e KSHIRSAGAR, 2020). Essa incorporação é feita de forma planejada, com os espaços para os conduítes sendo criados durante a impressão das camadas do material. Em muitos casos, os conduítes são posicionados manualmente em etapas específicas, seguindo o avanço da impressora, ou são previamente inseridos em moldes ou nichos criados pelo software de modelagem, garantindo precisão e integração direta ao projeto. Em relação a fundação e as lajes, são feitas de forma convencional. Essa capacidade de imprimir componentes estruturais e de infraestrutura simultaneamente torna o CC uma solução eficiente e altamente adaptável a diferentes tipos de projetos, incluindo habitações de baixo custo, abrigos emergenciais e edificações arquitetônicas com formas complexas (BHUSAL e KSHIRSAGAR, 2020).

No entanto, o sistema de pórtico apresenta limitações, como o tamanho da estrutura, que deve ser maior que o componente a ser construído, o que pode gerar dificuldades no transporte e instalação (FORMIGA e CARNEIRO, 2021). Adicionalmente, o movimento ortogonal da cabeça de impressão restringe a curvatura da estrutura ao plano horizontal e dificulta a criação de cantos afiados. Para mitigar esses desafios, algumas versões mais recentes do CC incluem um grau extra de liberdade que permite a rotação do bico em torno do eixo Z, otimizando a impressão em áreas de geometria complexa (CAMACHO et al., 2018; EL-SAYEGH et al., 2020). Em resumo, o *Contour Crafting* se destaca como uma abordagem inovadora e promissora na construção civil, ao combinar rapidez, precisão e flexibilidade no projeto com possibilidades de

Figura 1 - Construção de uma casa, com uso de CC.
Fonte: Contour Crafting Corporation (2017)

customização, ainda que desafios técnicos e logísticos precisem ser considerados para sua implementação em larga escala.

2.3.3 Impressão 3D para habitação popular

A China lidera a utilização de impressão 3D na construção de casas, prédios e escritórios, destacando-se pela empresa *WINSUN* que utiliza o método de *Contour Crafting* com apenas três funcionários (WINSUN, 2018). Este processo é eficiente e reduz custos de transporte, como demonstrado pela empresa *Huashang Tengda*, que imprimiu uma casa no local em 45 dias (PORTO, 2016).

A impressora *Vulcan*, por exemplo, pode construir uma casa de 56 a 74 m² em cerca de 24 horas, sendo vista como uma ferramenta crucial para reduzir o déficit habitacional global (ICON, 2017). No Brasil, a *startup Inovahouse3D*, em parceria com a Universidade Federal de Brasília (UNB), desenvolveu um protótipo de impressora 3D para construção civil. Este projeto visa facilitar o acesso a moradias de baixo custo, crucial em um país com um grande déficit habitacional.

Embora o Brasil ainda esteja nas fases iniciais desta tecnologia, espera-se que a impressão 3D possa impactar significativamente a construção de habitações populares. A racionalização de materiais e a redução de resíduos são benefícios notáveis, além da potencial diminuição de custos e melhoria na produtividade da construção civil (SILVA et al., 2019). Para viabilizar essa tecnologia, é necessário o apoio do governo e das construtoras, além da criação e validação de normas técnicas específicas (HOSSAIN et al., 2020).

2.3.4 Exemplos de Construções Impressas em 3D

A utilização da impressão 3D na construção civil tem proporcionado avanços significativos, destacando-se pela rapidez, eficiência e inovação que oferece ao setor. Exemplos notáveis de construções impressas em 3D evidenciam o potencial desse método ao redor do mundo, como no caso da *Apis Cor*, empresa especializada que, em 2016, construiu uma moradia de 38 m² na cidade russa de Stupino em menos de 24 horas. Essa edificação, produzida in situ, ou seja, diretamente no local de instalação sem necessidade de peças pré-fabricadas, foi projetada para durar até 175 anos. A estrutura apresenta um formato de ciclone, simbolizando a velocidade de sua construção (SILVA, 2022). A figura 2 ilustra a habitação russa pronta.

Figura 2 - Habitação russa feita pela Apis Cor. Fonte: (SILVA, 2022)



No Brasil, um exemplo semelhante foi concretizado em 2020 na cidade de Macaíba, no Rio Grande do Norte (Figura 3). A residência de 68 m² foi erguida em 48 horas, utilizando o método *Contour Crafting* e tendo como material principal o concreto. Esta construção, fruto de uma parceria entre as empresas *InovaHouse3D* e *3DHomeConstruction*, visa atender a padrões de habitação social, sinalizando a possibilidade de adoção dessa tecnologia para edificações rápidas e economicamente acessíveis (SILVA, 2022).

Figura 3 - Residência construída por startup brasileira. Fonte: Santos. Disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/projeto-no-rn-construi-1a-casa-do-brasil-com-impressora-3d/>.



Outro exemplo significativo é o projeto *Wolf Ranch* em Austin, Texas, nos Estados Unidos, liderado pela empresa *Icon* em parceria com a *Lennar* e o estúdio *Bjarke Ingels Group*, está estabelecendo o primeiro e maior bairro inteiramente construído por impressão 3D (Figura 4). Com cem casas planejadas e utilizando a impressora *Vulcan*, de 14,2 metros de largura e 4,75 metros de altura, a construção segue um design programado com supervisão mínima, imprimindo camadas de uma mistura semelhante ao cimento para criar estruturas robustas e energeticamente eficientes. O bairro inclui modelos variados de casas entre 140 e 195 m², com recursos

de casa inteligente e sustentabilidade, incluindo painéis solares, iluminação natural e automação de controle térmico, demonstrando um novo padrão para o futuro das construções residenciais (FABRIS, 2024).

Figura 4 - Projeto *Wolf Ranch*, maior bairro impresso construído em 3D. Fonte: Costa. Disponível em: <https://canaltech.com.br/inovacao/conheca-o-maior-bairro-impresso-em-3d-do-mundo/>.



Esses exemplos refletem a versatilidade e flexibilidade da impressão 3D na construção civil, abrangendo desde moradias populares até edifícios técnicos, reafirmando o potencial dessa tecnologia para tornar as construções mais rápidas, econômicas e sustentáveis.

2.3.5 Vantagens e desvantagens da impressão 3D

A impressão 3D na construção civil apresenta uma série de vantagens e desvantagens que a tornam uma alternativa inovadora, porém desafiadora, em relação aos métodos convencionais. Entre as principais vantagens, destaca-se a segurança no ambiente de trabalho, pois a utilização de impressoras automatizadas minimiza a necessidade de presença humana nos canteiros de obras, reduzindo significativamente o risco de acidentes (WOLFF, 2020). Esse método também é econômico, já que a impressão em 3D reduz o uso de materiais e diminui o tempo de execução, o que, em algumas aplicações, pode levar a uma economia de até quatro vezes em comparação com construções tradicionais (WOLFF, 2020). Além disso, a impressão 3D oferece alta precisão, praticamente eliminando desperdícios e sendo considerada uma prática ambientalmente sustentável, pois evita a emissão de ruídos e minimiza a liberação de CO₂, especialmente em projetos que utilizam materiais alternativos como resíduos de produção agrícola (MHAMUNKAR, 2022). Outra vantagem notável é a flexibilidade de design, já que a tecnologia permite criar formas complexas e personalizadas que seriam impraticáveis ou caras de se realizar com métodos convencionais (BHUSAL e KSHIRSAGAR, 2020).

No entanto, a tecnologia ainda enfrenta limitações significativas. Uma das maiores desvantagens está no alto custo inicial dos equipamentos de impressão, que pode inviabilizar projetos de menor escala e representa uma barreira para a adoção em larga escala (BHUSAL e KSHIRSAGAR, 2020). Outro desafio envolve a necessidade de mão-de-obra especializada, pois o domínio de *softwares* de modelagem CAD e de impressão 3D é essencial, limitando a disponibilidade de profissionais aptos para operar e manter o equipamento (BHUSAL e KSHIRSAGAR, 2020). Além disso, dependendo do sistema de impressão utilizado, pode ser necessário montar e desmontar o braço robótico várias vezes para imprimir construções maiores, o que pode gerar ineficiências em projetos de grande escala (KHAJAVI, 2021). Esses fatores ressaltam que, embora a impressão 3D traga vantagens significativas para a construção civil, seu uso em larga escala ainda exige avanços tecnológicos e adaptações para superar as limitações existentes.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica com abordagem quantitativa e exploratória, com finalidade de apresentar um estudo comparativo entre os sistemas construtivos utilizando impressoras 3D e alvenaria estrutural.

O levantamento de custos baseia-se nas premissas estabelecidas por Lima et al. (2020), e nas simulações de casos feitas por Mhamunkar et al. (2022) e Silva (2022).

Inicialmente foi utilizado um projeto básico de uma casa térrea em Campo Grande, Mato Grosso do Sul (MS), disponibilizada no Banco de Projetos da Agência de Habitação Popular do Estado de Mato Grosso do Sul (Agehab), e dados disponíveis no SINAPI referentes à Dezembro de 2021 para o estado do MS, considerando os encargos sociais não desonerados. Diante disso, foi coletado o orçamento referente à construção de uma casa térrea de 42,56 m² de área construída. Para ajustar os dados ao cenário atual de 2024, os reajustes no orçamento foram feitos com base no Índice Nacional de Custo da Construção, utilizando como referência o INCC-DI acumulado, ajustado até Outubro de 2024 (Fonte: IBRE/FGV). Durante esse período, o INCC-DI acumulado aumentou em 19,42%.

Nesta pesquisa, foi considerado apenas o custo direto por metro quadrado, dispensando os dados referentes à instalação, transporte e mão de obra fixa da impressora, uma vez que não se tem dados referentes

ao custo na literatura (LIMA et al., 2020). Os dados referentes aos serviços preliminares, movimentação de terra também foram excluídos dos custos para que a análise seja exclusivamente do processo de construção da casa em si, deixando apenas os custos da fundação até o acabamento da obra. Para a atualização dos custos das impressões 3D, que são internacionais, os reajustes foram realizados utilizando o índice *Laspeyres* do setor da construção civil nos Estados Unidos (CARDOSO et al., 2022). Os dados fornecidos por Lima et al., (2020) desconsidera a parte de fundações e as simulações dos projetos 3D o incluem, logo, para ter uma equivalência entre todos os casos e uma análise mais justa dos custos, foi adicionado o custo da implantação da fundação nas premissas de Lima et al., que é fornecida de forma separada na simulação de Silva (2022).

Os dados de Lima et al., (2020) e da fundação foram atualizados para Outubro de 2024, considerando o Índice de Laspeyres acumulado no período (39,34% para 2020 e 12,57% para 2022). Em relação aos dados de Mhamunkar (2022), foi coletado o custo operacional da simulação (em rupias indianas), que depois foi dividido pela área da construção (55,74 m²), encontrando um valor em rupias indianas por m², esse custo foi convertido para reais, usando o câmbio do período (1 rupia indiana = 0,068 reais em 2022), após isso, foi atualizado para 2024 aplicando o Índice de Laspeyres acumulado no período (12,57%). Em relação aos dados de Silva (2022) foi coletado, também, o custo operacional que foi dividido pela área construída da simulação (55,25 m²) e depois atualizado para 2024 usando o mesmo Índice de Laspeyres acumulado para o ano de 2022.

Para fazer a análise comparativa dos custos de todas as fontes, foi utilizado os custos R\$/m² reajustados para 2024, que foram multiplicados pela área construída da habitação de Campo Grande, MS (42,56 m²), resultando em um custo total, para, assim, comparar todos e fazer uma análise do comparativo de custos entre eles.

É importante pontuar que tal metodologia adotada não é a mais precisa para fazer a comparação, no entanto, foi a única possível durante o período de produção deste artigo. E também não foi encontrado na literatura nenhuma referência a custos ligados à construção de uma casa impressa em 3D no Brasil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a comparação dos custos entre os dois sistemas, alvenaria estrutural e construção por impressão 3D, foi utilizado como referência o projeto

disponibilizado pela Agehab. Uma planilha orçamentária do projeto foi utilizada e atualizada na pesquisa, permitindo a comparação entre os dois métodos construtivos estudados. Em relação aos custos indiretos, como a aquisição de impressoras e o transporte das mesmas, estes não foram considerados devido à ausência de dados disponíveis na literatura (LIMA et al., 2020).

4.1 Simulação de custo geral da obra utilizando o sistema de alvenaria estrutural

Na Tabela 1, são apresentados os custos referentes à construção de uma habitação popular de 42,56 m² de área construída em alvenaria estrutural, assim como a atualização dos custos diretos da construção da casa para o mês de Outubro de 2024. Os dados dos custos foram baseados nos dados do SINAPI, considerando o Relatório de Insumos e Composições para o estado do MS, referente ao mês de Dezembro de 2021, com encargos sociais não desonerados. Já para a atualização dos custos diretos foi usado como referência o INCC-DI para mensurar a variação percentual do período de Dezembro de 2021 a Outubro de 2024.

Tabela 1 - Custos do sistema construtivo de alvenaria estrutural. Fonte: Autor, 2024

Item	Descrição	Orçamento 2021 - R\$	Orçamento 2024 - R\$	Custo %
1	Fundação	R\$5 776,66	R\$6 898,26	8,28%
2	Paredes	R\$8 856,00	R\$10 575,48	12,69%
3	Revestimento	R\$10 556,61	R\$12 606,28	15,13%
4	Pavimentação	R\$2 538,26	R\$3 031,09	3,64%
5	Pintura	R\$5 842,07	R\$6 976,37	8,37%
6	Cobertura	R\$10 908,90	R\$13 026,97	15,63%
7	Forro	R\$293,16	R\$350,08	0,42%
8	Esquadrias	R\$7 590,84	R\$9 064,68	10,88%
9	Instalações Hidráulicas e Sanitárias	R\$10 304,17	R\$12 304,83	14,77%
10	Instalações Elétricas, Tomadas e Iluminações	R\$6 265,96	R\$7 482,56	8,98%
11	Outros gastos	R\$848,75	R\$1 013,54	1,22%
12	Custo total	R\$69 781,38	R\$83 330,13	100%

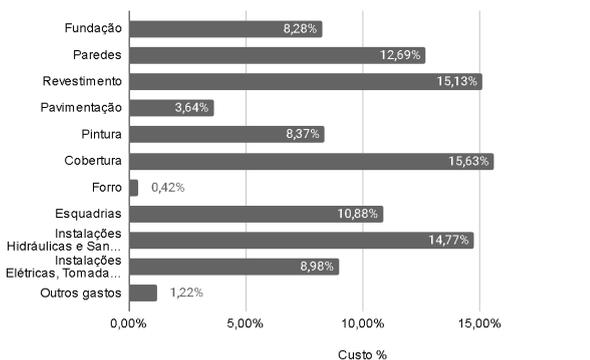
Com o resultado da Tabela 1, o valor obtido para o projeto avaliado, com metragem de 42,56 m², foi de R\$1639,60 por m², valor que fica relativamente bem acima dos dados disponíveis na plataforma do IBGE, referentes ao mês de março de 2020, para uma casa popular (LIMA et al., 2020).

“Segundo critérios do IBGE (2020), o custo do projeto por m² pode ter o padrão de acabamento definido em três tipos, como, padrão normal, com valor de R\$1.177,27 por m²; padrão baixo, com valor de R\$825,81 por m² e padrão mínimo, com valor de R\$717,90 por m²”. (LIMA, et al., 2020, p.09).

Realizando a atualização dos valores conforme o aumento acumulado do INCC-DI até Outubro de 2024, que foi de 46,51%, obtém-se o valor de R\$ 1.957,94 por m² para a implantação do mesmo tipo de residência. O valor reajustado para o padrão normal por m² é de R\$ 1.724,82; para o padrão baixo, o valor é de R\$ 1.209,89; e para o padrão mínimo, o valor é de R\$ 1.051,80. Assim, o custo por m² ficou 13,52% a mais do que o padrão normal, por ter um acabamento um pouco superior ao padrão exigido.

A Figura 5 refere-se aos valores percentuais das categorias do sistema construtivo de alvenaria estrutural.

Figura 5 - Composição de custos por categoria.
Fonte: Autor, 2024



De acordo com a Figura 5, os maiores custos se encontram na cobertura (15,63%) e no revestimento (15,13%) e o menor no forro (0,42%). No entanto, isto pode mudar de acordo com o tipo de acabamento escolhido.

Em relação ao INCC-DI que variou aproximadamente 19,42% no período, observou-se que a pandemia do coronavírus ocasionou um impacto profundo no mundo todo, gerando consequências para a construção civil devido à elevada dependência dos preços das commodities nos insumos básicos necessários para a construção. Esse aumento significativo nos preços dos insumos elevou diretamente os custos da construção, afetando, por exemplo, o preço da ferragem para armação, essencial na indústria da construção (CARDOSO et al., 2022). Além disso, a inflação alta afeta diretamente o poder de compra dos cidadãos,

assim, complicando ainda mais os investimentos no setor de construção civil.

4.1 Simulação de custo de obra utilizando o sistema construção por impressão 3D

Para o cálculo dos custos de construção utilizando impressão 3D, foram considerados os valores referentes ao custo de projeto por m² de três empresas diferentes, *ICON*, *APIS COR* e *WINSUN*, desconsiderando as fundações, conforme os dados publicados pelo IBGE em dezembro de 2020 (LIMA et al., 2020). Os dados estão de acordo com o câmbio do mês de Abril de 2020, que era de R\$ 5,20, que será atualizado para 23 de Outubro de 2024 (R\$ 5,69), e também será aplicado o índice de *Laspeyres*, que teve um aumento de 39,34% nesse período (Tabela 2). Também será adicionado o custo de implantação da fundação para esses projetos, para que seja uma análise mais assertiva (Tabela 3). O valor da fundação será retirado da simulação do projeto de Silva (2022), que subdividiu os custos de uma casa impressa russa de acordo com suas partes estruturais (fundação, paredes e laje de cobertura), e esse valor também será reajustado para Outubro de 2024, mas usando o Índice de *Laspeyres* acumulado de 12,57%.

Em relação aos materiais utilizados nas casas impressas, os quais podem variar para cada projeto, podem ser usadas misturas de concreto, resíduos de demolição de construções, ou materiais reciclados, o que contribui diretamente para a redução dos custos da obra. Assim, os dados utilizados na pesquisa estão apresentados na Tabela 2, referentes às tecnologias *WINSUN*, *ICON* e *APIS COR* (LIMA, et al. 2020)

Tabela 2 - Cotação do Dólar frente ao Real e resumo qualitativo das principais tecnologias adotadas.
Fonte: Adaptado - Lima et al. 2020

Base de Dados, Ano	Acabamento	Índice referência	Custo Operacional (\$)	Custo 2024 (R\$) - reajustado
WINSUN (2014)	Padrão	Laspeyres	\$ 4.800,00	R\$ 38.056,54
ICON (2018)	Padrão	Laspeyres	\$ 4.000,00	R\$ 31.713,78
APIS COR (2017)	Alto	Laspeyres	\$ 10.134,00	R\$ 80.346,87

Na Tabela 2, percebe-se que a impressão da *WINSUN* tem um preço acessível pelo seu tipo de acabamento. Em seguida, a *ICON* possui um custo operacional de 16,67% inferior em relação ao da *WINSUN*. “Ainda assim as duas empresas já construíram protótipos de casas que tiveram uma

duração no processo construtivo em torno de 24 horas. Existe a possibilidade destas empresas imprimirem estruturas de casas populares em um tempo mais reduzido quando comparado à construção por alvenaria, além disso a aprovação desta tecnologia para o setor pode ser um divisor de águas. Avalia-se que a diferença está ligada tanto ao custo, quanto à eficiência de cada uma.” (LIMA, et al. 2020, p.10). A APIS COR, por ter um acabamento de alta qualidade, apresenta um custo bem superior às anteriores.

A implementação de impressoras 3D no Brasil pode ser favorecida pela redução da cotação do dólar, isso se deve ao fato de que a impressora é um equipamento importado e a sua compra é geralmente feita em dólar. No entanto, um ponto preocupante que pode afetar a introdução dessa tecnologia no país é o aumento significativo da taxa básica de juros (Taxa Selic). Esses aumentos tornam os financiamentos mais caros para os empresários do setor da construção civil, o que deixa menos atrativo a compra dessa tecnologia, fazendo com que dificulte a entrada de novas tecnologias inovadoras até que se estabilize uma taxa de juros que promova o investimento do mesmo.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados dos reajustes dos custos por m², em reais, para a construção de habitações de interesse social nos anos de 2020 e 2024, ajustados conforme a taxa de câmbio do dólar e corrigidos pelo índice *Laspeyres - Price Index of New Single - Family Houses Under Construction*, um indicador que reflete a inflação setorial nos Estados Unidos entre 2020 e 2024, estimada em 39,34% (Fonte: *Census Construction Price Indexes / EUA*), e o custo por m² da fundação baseado nos dados de Silva, (2022), que será atualizado com o índice de *Laspeyres* de 12, 57%, e posteriormente somado ao custo reajustado por m² para encontrar um custo total atualizado em reais para 2024.

Tabela 3 - Reajustes dos custos por m². Fonte: Adaptado - Lima et al. 2020

Base de Dados	Custo por m ² (R\$) (LIMA et al., 2020)	Custo por m ² da fundação (R\$) (SILVA, 2022)	Custo por m ² 2024 (R\$)	Custo por m ² da fundação 2024 (R\$)	Custo total por m ² 2024 (R\$)
WINSUN	R\$ 471,27	R\$ 41,60	R\$ 656,67	R\$ 46,83	R\$ 703,50
ICON	R\$ 385,32	R\$ 41,60	R\$ 536,90	R\$ 46,83	R\$ 583,73
APIS COR	R\$ 1.440,07	R\$ 41,60	R\$ 2.006,59	R\$ 46,83	R\$ 2.053,42

Com base nos resultados obtidos após a conversão dos valores para a moeda brasileira, é possível constatar que a impressão feita pela ICON demonstrou ser mais econômica em termos de custos de construção. Além disso, a impressora utilizada pela ICON, a *Vulcan II*, oferece algumas vantagens como a capacidade de imprimir uma casa em até 24 horas diretamente no canteiro de obras (ICON, 2022). Por outro lado, foram observados custos mais altos para as casas construídas pela empresa APIS COR, que emprega uma mistura de concreto imitando paredes de blocos de concreto (CMU), o que pode justificar o maior valor investido.

Não só os custos são atrativos para o setor, mas como a velocidade de impressão, que reduz o prazo de entrega de obras e também exige menos mão de obra e consequentemente, menos riscos de acidentes durante o trabalho.

Para ver novos horizontes além de casas que foram impressas por empresas internacionais, foram analisadas duas simulações de projetos de casas populares, para complementar a análise de custos comparativos entre os sistemas construtivos e ter mais fontes comparativas para um resultado mais assertivo.

A tabela 4 apresenta os custos operacionais de cada simulação em seu respectivo câmbio de estudo, no caso de Mhamunkar et al. (2022), foi usada a rupia indiana, moeda corrente oficial da Índia e reais para os dados coletados de Silva (2022). Os custos operacionais foram convertidos em custos por m² em reais e depois reajustados com o índice de *Laspeyres*, que aumentou em 12,57% durante o período até Outubro de 2024.

Tabela 4 - Reajuste dos custos das simulações de casas impressas 3D. Fonte: Autor, 2024

Base de Dados	Custo operacional (R\$)	Custo por m ² (R\$)	Custo por m ² 2022 (R\$)	Custo por m ² 2024 (R\$)
Mhamunkar et al., 2022	R\$ 550.000,00	R\$ 9.867,24	R\$ 670,97	R\$ 755,31
Silva, 2022	R\$ 35.993,00	-	R\$ 651,40	R\$ 733,28

Os dados mostraram-se muito próximos, isso se deve ao fato de que ambas as habitações simuladas tinham áreas construídas bem próximas, no caso de Silva (2022) era de 55,25 m² e a outra era de 55,74 m². Logo, pode-se concluir que não há muita diferença de custos mesmo em países diferentes, com culturas distintas, e isso abre horizontes para que essa nova tecnologia inovadora da impressão 3D consiga ajudar países com um alto déficit de moradia, trazendo oportunidades, mas de uma forma mais acessível e que impacte positivamente no planeta, como a diminuição da emissão de CO₂, menos acidentes com trabalhadores e a diminuição de resíduos gerados pelas obras.

Em comparação com a *ICON*, as simulações tiveram um custo por m² um pouco acima, corroborando mais uma vez que essa tecnologia tem um grande potencial para atrair investimentos pelo mundo todo em busca de um planeta mais sustentável e buscando soluções para problemas de déficits de habitações.

4.3 Comparativo de custo dos métodos construtivos por impressão 3D e o método de alvenaria estrutural

A tabela 5 mostra de forma completa todos os custos por m² e custo total, todos atualizados, para ser feita uma análise da viabilidade da construção de habitações de interesse social através da impressão 3D.

Tabela 5 - Valores comparativos entre a construção da casa popular por impressão 3D e alvenaria estrutural

Base de Dados	Custo por m ² (R\$)	Custo total (R\$)
WINSUN	R\$ 703,50	R\$ 29.943,09
ICON	R\$ 583,73	R\$ 24.843,55
APIS COR	R\$ 2.053,42	R\$ 87.393,55
Mhamunkar et al., 2022	R\$ 755,31	R\$ 32.145,99
Silva, 2022	R\$ 733,28	R\$ 31.208,40
Alvenaria Estrutural	R\$ 1.957,94	R\$ 83.329,93

A análise revela uma redução de custos ao utilizar as impressoras das empresas *WINSUN* (64,07%) e *ICON* (70,19%), em comparação com o método construtivo de alvenaria estrutural. Por outro lado, no caso da impressora *APIS COR*, cujas obras são caracterizadas por alto padrão de acabamento,

apresentou um aumento de 4,87%, mostrando-se um investimento um pouco maior por conta do acabamento. No entanto, em termos de tempo de execução, essa tecnologia pode se destacar em relação ao método tradicional de alvenaria convencional. Em relação às simulações, Mhamunkar et al. (2022) apresentou uma redução de 61,43%, enquanto Silva (2022) foi de 62,55%. Portanto, com exceção à *APIS COR*, todas as outras tiveram uma redução de mais de 60% em relação a alvenaria estrutural, o que mostra que além das vantagens sustentáveis, velocidade de execução, também apresenta uma significativa redução de custos, o que torna muito atrativo para tentar solucionar o problema de déficit habitacional no Brasil.

Mesmo tendo uma expressiva redução de custo em relação à alvenaria estrutural, há uma limitação no custo final dos modelos impressos em 3D, por não ter alguns valores diluídos nesse custo final, como a aquisição, operação, manutenção e transporte do maquinário, e também, a questão do consumo de energia da impressora, entre outros custos indiretos que não foram analisados.

No entanto, há algumas desvantagens a serem consideradas na comparação. O alto investimento inicial necessário para comprar uma impressora 3D é um obstáculo significativo, juntamente com a escassez de mão de obra qualificada, fundamental para o sucesso da execução das obras. Além disso, a logística envolvida na instalação no canteiro de obras demanda investimentos substanciais em estruturas de suporte, transporte e armazenamento. Conforme observado por Laubier et al. (2018), a impressão 3D ainda não pode competir com métodos de pré-fabricação em termos de custo e resistência estrutural. Mas ainda traz resultados satisfatórios em termos de resistência e vida útil da obra.

Além disso, a falta de incentivos e subsídios do governo, somados à falta de leis e normas para construções 3D, dificultam a entrada e crescimento da tecnologia no país, fazendo com que empresas privadas promovam esse incentivo para tentar solucionar os problemas com habitações de interesse social no Brasil.

Apesar desses desafios, a construção por impressão 3D demonstra um potencial significativo para transformar o setor da construção civil. Conforme destacado por Lopes (2016), a tecnologia de impressão 3D de casas abre caminho para a adoção de novas técnicas construtivas que testam materiais mais acessíveis e sustentáveis. Essa inovação está se tornando uma realidade crescente na construção de

pequenas residências, edifícios e habitações de interesse social.

Embora haja uma lacuna na literatura em termos de dados específicos, já há indicações claras de que a impressão 3D pode resultar em ganhos significativos de tempo e eficiência na construção civil.

5. CONCLUSÃO

A análise dos resultados revela que a economia brasileira, atualmente em um estado de fragilidade, acentua a necessidade urgente de reduzir os custos no setor da construção civil. O crescente déficit habitacional no Brasil está intimamente ligado à renda da população e ao custo elevado dos serviços, impactando significativamente a construção de moradias. Os dados desta pesquisa indicam que a mecanização e a digitalização dos processos construtivos, através de métodos inovadores, pode contribuir para a redução desses custos.

A proposta de implementar a tecnologia de impressão 3D para reduzir os custos na construção civil é interessante e viável, já que a utilização delas na construção de habitações de interesse social apresenta um elevado potencial, evidenciado pela possibilidade de redução significativa dos custos financeiros e ambientais, proporcionando mais sustentabilidade e diminuindo os acidentes de trabalho. Apesar dos desafios inerentes, como a implementação, o treinamento de mão de obra, a logística e a manutenção, a impressão 3D oferece benefícios substanciais, incluindo liberdade geométrica, sustentabilidade e redução no tempo de execução das obras, com uma diminuição de até 35% no período de construção. Tais vantagens destacam o potencial da tecnologia para impactar positivamente o setor.

No entanto, a viabilidade e a atratividade dessa tecnologia são influenciadas por fatores econômicos, como a cotação do dólar e a taxa Selic. A redução da cotação do dólar pode facilitar a aquisição de maquinário internacional, enquanto a alta taxa de juros pode tornar os financiamentos mais onerosos, impactando os custos gerais da construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEHAB. Programas Habitacionais. Disponível em: <https://www.agehab.ms.gov.br/>. Acesso em: 15 Out. 2024.

ANDERSON, Chris. *Makers A Nova Revolução Industrial*. Elsevier Brasil, 2012

ARAÚJO, G. G. de. A Impressão 3D e os Parâmetros que Influenciam o Produto Final. 62 f. **Monografia**

(Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino "Eurípides Soares da Rocha", mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2016.

BISPO, L. S. R. Projeto de alvenaria estrutural-analise de um projeto em alvenaria residencial unifamiliar. 105f. **Monografia (Graduação em Engenharia civil) – Curso de Engenharia Civil, UniEvangelica. Anápolis-GO, 2018.**

BHUSAL, S; KSHIRSAGAR S. **Comparison of Construction with Traditional Method and 3D Printing Technology**. IRE Journals, v. 3, n. 11, 2020.

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. In: Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural**. Anais. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2006.

CECCHETTO, C. T. et al. **Habitação de Interesse Social: Alternativas Sustentáveis**. Revista Gedecon. vol 3. UNICRUZ. Cruz Alta – RS. 2015.

CELERE. Impressão 3D na construção civil: cenário atual e perspectivas de futuro. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3MHXoC9>>. Acesso em: 19 Out. 2024.

CENSUS. Constant Quality (Laspeyres) Price Index of New Single-Family Houses Under Construction. Census, EUA. 2022.

CORRÊA, A. O. Políticas habitacionais em Codó-MA: o programa Minha Casa Minha Vida (2009- 2019). 83f. **Monografia (Graduação em Historia) – Universidade Federal do Maranhão, campus VII, Curso de Ciências Humanas, Codó, Maranhão, 2019.**

COTTA, R. M. M. et al. **Pobreza, injustiça, e desigualdade social: repensando a formação de profissionais de saúde**. Revista Brasileira de Educação Médica, Rio de Janeiro, v. 31, n. 3, p. 278- 286, 2013.

EL-SAYEGH, S.; ROMDHANE, L.; MANJIKIAN, S. **A critical review of 3D printing in construction: benefits, challenges and risks**. Archives of civil and mechanical engineering, 2020.

FABRIS, R. Construção: o maior bairro impresso em 3D do mundo está quase pronto, confira como é o processo. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/construcao-o-maior-bairro-o-impresso-em-3d-do-mundo-esta-quase-pronto-confira-como-e-o-processo/>. Acesso em: 19 Out. 2024.

FLORÊNCIO, E. Q.; QUINTELLA, I. P. C. P.; FERREIRASEGUNDO, D. B. **O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura**. Blucher Design Proceedings, v. 3, n. 1, p. 305-309, 2016.

FORMIGA, C. V. E.; CARNEIRO, M. L. **Impressão 3D para construção civil: revisão da literatura e desafios**. Revista de Engenharia e Tecnologia, vol 13, n. 4. PUC - GO. Goiás, 2021.

- HOFMANN, L. G.; BRESSIANI, L.; FURLAN, G. C.; THOMAZ, W. A. **Alvenaria Estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional**. III Simpósio de pós-graduação em engenharia urbana. Artigo. MARINGÁ, 2012.
- HOSSAIN, Z. P. K., **A review of 3D printing in construction and its impact on the labor Market**. Nazarbayev University, Cazaquistão. 2020.
- IBRE/FGV. Índice nacional de custo da construção. INCC, São Paulo. 2024.
- ICON. Vulcan construction system. Icon, Austin. 2022.
- KHAJAV, S.H.; Tetik, M.; Mohite, A.; Peltokorpi, A.; Li, M.; Weng, Y.; Holmström, J. **Additive Manufacturing in the Construction Industry: The Comparative Competitiveness of 3D Concrete Printing**. Appl. Sci. 2021, 11, 3865.
- LIMA, M. D., **Alvenaria estrutural e método 3D: comparativo de custo para construção de habitações de interesse social**. Unicatólica, Tocantins. 2020.
- MAIA, M. G.; SOUZA, R. B. **Compósito cimentício para impressão 3D**. VIII Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI, São Bernardo do Campo – 2018.
- MHAMUNKAR, R. R., et al. **Comparative analysis of conventional building with 3Dprinted building having consideration of its advanced compact mobile robot technology**. JETIR, vol. 9, n. 5, May 2022.
- MASO, J. B. Análise comparativa entre o sistema construtivo light steel framing e alvenaria estrutural. 155f. **Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - curso de Engenharia civil da Universidade do Sul de Santa Catarina**. Palhoça, SC 2017.
- MOHAMED, G. **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo. Ed. Blucher, 2015.
- MONTEIRO, A. R.; VERAS, A. T. de R. **A questão habitacional no Brasil**. Mercator (Fortaleza), v. 16, 2017.
- NETO, Á. P. do P.; PELUSO, E. de O.; CARVALHO, V. T. A. de. Alvenaria estrutural: Empreendimento Flora Park II. 58f. **Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás - UFG Escola de Engenharia Civil - EEC**. Goiânia, 2015.
- OLIVEIRA, J. P. G.; SILVA, L. C.; DA SILVA FERNANDES, F. A. **Satisfação Casa Tipo 1.0 em bloco de concreto estrutural: conforto térmico, acústico e estrutural na cidade de Palmas -TO**. Revista Integralização Universitária, n. 16, 2017.
- PORTO., **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016.
- RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo, PINI, 2003.
- ROGOSKI, E. R. I. Estudo comparativo entre os sistemas construtivos: alvenaria estrutural e painéis pré-moldados autoportantes de concreto armado. **Monografia (Graduação em Engenharia Civil), 87f. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Santa Rosa, RS, 2018.
- SACKS, R., et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2021.
- SÁNCHEZ, E. **Nova Normalização Brasileira para a Alvenaria Estrutural**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013.
- SILVA, L. S. da. **Uso da impressão 3D na construção de pequenas moradias no Brasil: uma oportunidade ou uma utopia?** 2024. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Especialização em construções — Universade do Porto**, Portugal, 2022
- TAKAGAKI, L. K. **Tecnologia de impressão 3D**. Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 28-40, 2012.
- TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.
- WINSUN, 2018. Disponível em :<https://www.winsun3d.com/En>. Acesso em: 22 Out. 2024
- WOHLERS, T.; GORNET, T. **History of additive manufacturing**. Wohlers report, v. 24, n. 2014, p. 118, 2014.
- WOLFF, A. M. **Construção automatizada através do método contour crafting**. **Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, SC., 2020**
- ZUCCA, R., et al. **Uso de resíduos de construção como agregado graúdo destinado à confecção de blocos para alvenaria de vedação**. Enciclopédia Biosfera, 2018.



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



ATA DA AVALIAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA - 2024

No dia **4 de dezembro de 2024**, o estudante **Igor Dockhorn Freitas**, RGA **2015.2102.006-0**, defendeu em sessão pública a monografia do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Análise do comparativo de custos para uso de impressão 3D na construção de habitações de interesse social no Brasil**”, tendo sido considerado:

Aprovado

Reprovado

Comissão avaliadora
Prof. Dr. Gilfranco Alves (Orientador) (FAENG/UFMS)
Prof. Dr. Arthur Santos Silva (FAENG/UFMS)
Eng. Civil Felipe Peccini

Ciente,

Prof. Sidiclei Formagini

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Civil (FAENG/UFMS)

Campo Grande, 4 de dezembro de 2024

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gilfranco Medeiros Alves, Professor do Magisterio Superior**, em 04/12/2024, às 09:20, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Arthur Santos Silva, Professor do Magisterio Superior**, em 04/12/2024, às 09:21, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Rosa Peccini, Usuário Externo**, em 04/12/2024, às 19:24, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5258235** e o código CRC **979F6CD7**.

FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.001532/2024-87

SEI nº 5258235