

FACULDADE EDUFOR

ENGENHARIA CIVIL

**PEDRO LUCAS REIS SANTOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PERSPECTIVAS PARA O FUTURO**

---



São Luís

2023

S237i Santos, Pedro Lucas Reis

Impressão 3D na construção civil: perspectivas para o futuro /  
Pedro Lucas Reis Santos— São Luís: Faculdade Edufor, 2023.

28 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (ENGENHARIA CIVIL) —  
Faculdade Edufor - São Luís, 2023.

Orientador(a) : Franklin Roosevelt Rodrigues do Ó

1. Impressão 3D. 2. Construção civil. 3. Manufatura aditiva. I.  
Título.

# IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

**Pedro Lucas Reis Santos<sup>1</sup>**

**Me. Franklin Roosevelt do Ó<sup>2</sup>**

## **Resumo**

O presente trabalho explora o uso da impressão 3D na indústria da construção, uma tecnologia inovadora com o potencial de revolucionar as práticas tradicionais de construção. A impressão 3D é uma forma de manufatura aditiva que utiliza modelos virtuais para criar objetos tridimensionais a partir de projetos computacionais. Diferentes técnicas de impressão 3D operam de maneiras distintas e fazem uso de materiais específicos. Algumas impressoras depositam camadas de plástico derretido para construir objetos, enquanto outras utilizam lasers para solidificar camadas de resina ou pó, resultando na formação do produto a partir de uma matéria-prima em camadas. Além disso, algumas são capazes de criar objetos com materiais como vidro, aço e concreto. A aplicação da impressão 3D na construção civil apresenta a promessa de reduzir substancialmente os custos de construção, melhorar a precisão e permitir a personalização eficiente de estruturas. No entanto, existem desafios significativos que precisam ser superados. Isso inclui a capacidade de imprimir em escalas maiores, o desenvolvimento de materiais adequados, a ausência de regulamentações específicas, a necessidade de estudos de simulação computacional do processo, a avaliação da integridade estrutural dos elementos impressos e o desenvolvimento de software para o monitoramento em tempo real do processo de construção. Neste artigo, realizamos uma análise abrangente do estado atual da aplicação da impressão 3D na construção civil. o nosso objetivo é explorar as perspectivas dessa tecnologia na construção civil, considerando suas vantagens, desafios e limitações. Conclui-se que a tecnologia desempenha um papel fundamental na transformação da indústria, impulsionando uma revolução na concepção, produção e consumo de produtos, alinhando-se aos paradigmas emergentes da sociedade contemporânea.

Palavras-chave: Impressão 3D, Construção civil. Manufatura aditiva.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Edufor São Luís. E-mail: [Pedro.lucas.reis.santos@alunoedufor.com.br](mailto:Pedro.lucas.reis.santos@alunoedufor.com.br)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Elétrica. E-mail: [franklin.doo@edufor.edu.br](mailto:franklin.doo@edufor.edu.br)

## **Abstract**

The present work explores the use of 3D printing in the construction industry, an innovative technology with the potential to revolutionize traditional construction practices. 3D printing is a form of additive manufacturing that utilizes virtual models to create three-dimensional objects from computer-generated designs. Different 3D printing techniques operate in distinct ways and make use of specific materials. Some printers deposit layers of melted plastic to build objects, while others use lasers to solidify layers of resin or powder, resulting in the formation of the product from layered raw materials. Additionally, some are capable of creating objects with materials such as glass, steel, and concrete. The application of 3D printing in the construction industry holds the promise of substantially reducing construction costs, improving accuracy, and enabling efficient customization of structures. However, there are significant challenges that need to be overcome. This includes the ability to print on larger scales, the development of suitable materials, the absence of specific regulations, the need for computational simulation studies of the process, the assessment of structural integrity of printed elements, and the development of software for real-time monitoring of the construction process. In this article, we conduct a comprehensive analysis of the current state of 3D printing application in the construction industry. Our goal is to explore the prospects of this technology in construction, considering its advantages, challenges, and limitations. It is concluded that the technology plays a fundamental role in transforming the industry, driving a revolution in the design, production, and consumption of products, aligning with the emerging paradigms of contemporary society.

**Keywords:** 3D printing, Civil construction, Additive manufacturing.

## 1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D, tem como componente central o uso de modelos virtuais. Esses modelos virtuais são criados por meio de softwares computacionais, como os do tipo Computer-Aided Design (CAD), fornecendo à impressora 3D as informações fundamentais necessárias para a fabricação do produto desejado. Essa tecnologia tem sido amplamente aplicada em diversos setores industriais devido às suas vantagens notáveis. Entre essas vantagens, destacam-se a capacidade de criar protótipos funcionais de forma rápida, a redução do tempo entre a concepção e a prototipagem, a minimização do desperdício de material e a interrupção da cadeia de suprimentos tradicional (RIBEIRO et. Al, 2018).

No contexto da construção civil, a impressão 3D tem conquistado espaço como uma solução inovadora que pode revolucionar os métodos tradicionais de construção. O interesse em utilizar a tecnologia de impressão 3D nesse setor tem crescido exponencialmente nos últimos anos, especialmente devido às suas características de redução de desperdícios, aumento da eficiência e economia de tempo (Almeida, 2021).

Um exemplo notável é a técnica conhecida como "Contour Crafting", que utiliza impressoras 3D de grande porte para construir edifícios sem a necessidade de mão de obra intensiva. Essa abordagem tem o potencial de reduzir significativamente os custos de construção, melhorar a precisão e permitir a personalização de estruturas de forma rápida e eficiente (Almeida, 2021).

No entanto, apesar do grande potencial da impressão 3D na construção civil, ainda existem desafios a serem superados. Alguns dos principais desafios incluem a impressão em escalas maiores, o desenvolvimento de materiais adequados, a falta de regulamentações específicas, a necessidade de estudos de simulação computacional do processo, a avaliação da integridade estrutural dos elementos impressos e o desenvolvimento de softwares para o monitoramento em tempo real do processo de construção (RIBEIRO et. Al, 2018).

No cenário internacional, países como a China e Rússia já estão aplicando a impressão 3D na construção civil de forma prática, com casas inteiras sendo construídas

usando essa tecnologia. No entanto, no Brasil, a utilização da impressora 3D na construção civil ainda está em estágios iniciais, com a maioria das aplicações limitadas à prototipagem e maquetes (CARDOSO et al., 2022).

À medida que avançamos na leitura deste artigo, os leitores serão conduzidos pelo nosso objetivo que é analisar as perspectivas da impressão 3D na construção civil, avaliando suas vantagens, desafios e limitações, enquanto nos dirigimos a um futuro onde a construção civil é moldada de forma notável por essa tecnologia disruptiva.

## **2. IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

O progresso de um país depende, em grande parte, da capacidade de sua indústria de construção em adotar novos materiais, processos e tecnologias. As empresas são incentivadas a investir em inovação e incorporar novas práticas para manter sua competitividade. No Brasil, temos testemunhado a adoção de novos sistemas construtivos com o objetivo de acelerar a produção e reduzir custos. Paralelamente, temos observado um aumento na construção de edifícios sustentáveis, que consideram o ciclo de vida dos materiais utilizados e seus impactos ambientais. É igualmente evidente que a engenharia tem se beneficiado substancialmente do avanço da tecnologia computacional, resultando em melhorias significativas na produtividade e vantagens relacionadas ao armazenamento e processamento de informações (POTT, 2017).

As tecnologias de impressão 3D tiveram seu surgimento nos primórdios da década de 1980 e eram originalmente conhecidas como Tecnologias de Prototipagem Rápida. Essa denominação reflete o fato de que esses processos foram inicialmente concebidos como métodos rápidos e economicamente vantajosos para a criação de protótipos durante o desenvolvimento de produtos na indústria (3D PRINTING INDUSTRY, 2016). Atualmente, existe uma diversidade de métodos de impressão 3D, cada um com suas peculiaridades e materiais específicos. Enquanto algumas impressoras depositam camadas de plástico derretido para construir objetos, outras fazem uso de lasers para solidificar camadas de resina ou pó, resultando na formação do produto a partir de um leito de matéria-prima. Há também aquelas capazes de produzir objetos com materiais como vidro, aço e concreto (BECA et. Al, 2022).

De acordo com Anderson (2012), autor do livro "Makers - A Nova Revolução Industrial," estamos atualmente testemunhando uma nova Revolução Industrial impulsionada pela disseminação das impressoras 3D. Este fenômeno está reconfigurando fundamentalmente a maneira como a produção é conduzida. Com uma impressora 3D, é possível fabricar objetos tridimensionais a partir de um projeto criado no computador. O objeto é construído camada por camada, utilizando um raio laser para moldar o material. Em termos práticos, estamos diante de uma espécie de microfábrica que viabiliza a criação de produtos personalizados a um custo menor, com menos desperdício e requerendo menos mão de obra em comparação com a indústria tradicional.

Conforme a demanda por produtos feitos sob medida e personalizados continua a aumentar, as impressoras 3D se destacam devido ao seu potencial em termos de sustentabilidade. Os custos de transporte são reduzidos, já que a produção pode ocorrer diretamente no local de uso do produto. Além disso, a quantidade de resíduos gerados é praticamente nula, uma vez que a impressão 3D utiliza apenas a quantidade necessária de material. Por fim, os produtos personalizados tendem a ser menos descartados, pois os usuários têm uma conexão mais forte com eles em comparação com produtos produzidos em massa (MENEZES FILHO, 2021).

Nesse cenário, é evidente que a impressão 3D emerge como uma ferramenta que simplifica a personalização e à customização, ao contrário dos métodos tradicionais de fabricação em massa, que tendem a enfatizar a repetição e a padronização. A grande vantagem da fabricação digital é portanto, a flexibilidade de escolher entre essas duas abordagens de produção, possibilitando a coexistência da produção em larga escala e da produção sob medida no contexto da fabricação automatizada. Esse novo paradigma oferece inúmeras possibilidades para a indústria, desde a criação de produtos altamente personalizados até a produção eficiente e econômica em grande escala, adaptando-se às necessidades específicas de cada aplicação (SILVA, 2023). Dessa forma, a impressão 3D está desempenhando um papel fundamental na transformação da indústria e na condução de uma revolução na maneira como os produtos são concebidos, produzidos e consumidos.

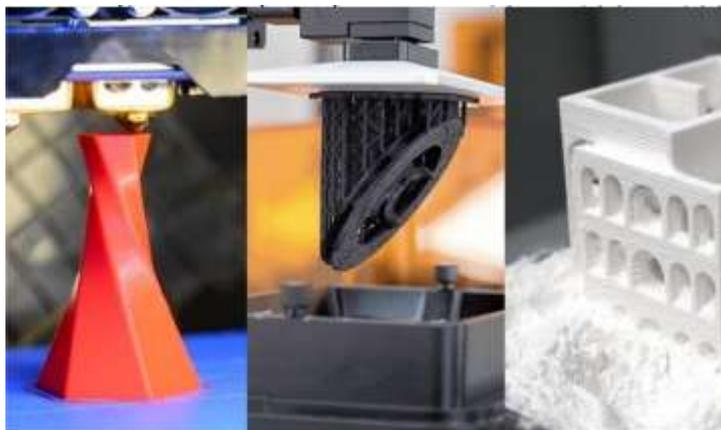
### 3. METODOS DE IMPRESSÃO

Segundo RAULINO (2011), a Prototipagem Rápida (RP - Rapid Prototyping) é um método de fabricação que se baseia na adição de material em camadas planas e surgiu no final dos anos 80 em resposta à crescente demanda da indústria por redução de custos no processo de desenvolvimento de produtos. Por outro lado, na técnica denominada Prototipagem Rápida Subtrativa (SRP), os modelos são obtidos através da usinagem de blocos feitos de diversos materiais.

Hoje em dia, existem diversas técnicas de impressão 3D, e cada uma delas opera de maneira distinta, fazendo uso de materiais específicos. Algumas impressoras funcionam extraíndo camadas de plástico derretido para construir os objetos, enquanto outras utilizam lasers para endurecer camadas de resina ou pó, permitindo que o produto seja formado a partir de um banho de matéria-prima. Outras tecnologias ainda são capazes de produzir objetos utilizando materiais como vidro, aço e concreto (EL-SAYEGH et. Al ,2020).

A American Society for Testing and Materials (ASTM) categorizou todas as terminologias relacionadas à impressão 3D em sete gêneros em 2010. Dentre os métodos mais comuns nesse processo, destacam-se a Modelagem por Fusão e Depósito (FDM), a Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e a Estereolitografia (SLA). A Figura 1 apresenta fotografias de exemplos dos três principais tipos de processos na manufatura aditiva.

Figura 1 – Fotografias da esquerda para a direita: (a) FDM, (b) SLA, (c) SLS.



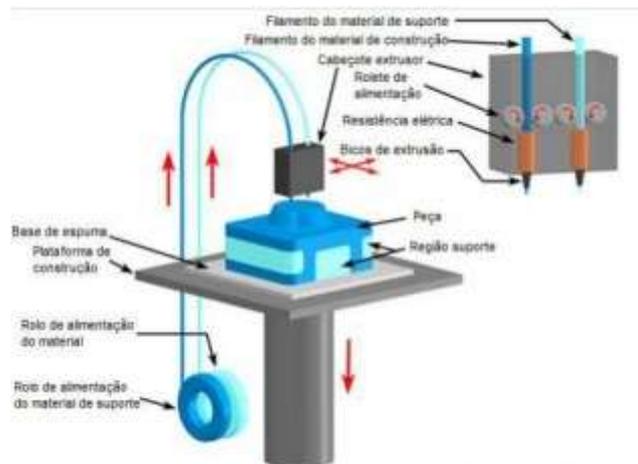
Fonte: Martinelli (2019).

### 3.1 Modelagem por Fusão e Depósito - FDM

A técnica de Modelagem por Fusão e Depósito é fundamentada na extrusão de termoplásticos. A máquina consiste em um cabeçote que se desloca nos eixos x e y, juntamente com uma plataforma que realiza movimentos verticais. O injetor de material aquece e extrai o filamento de plástico, o qual é alimentado a partir de uma bobina. Esse material é então conduzido por meio de dois bicos extrusores localizados no cabeçote, sendo que um bico é responsável por depositar o material que formará o objeto desejado, enquanto o outro bico é utilizado para o material de suporte, especialmente quando se produzem superfícies complexas (RAULINO, 2011).

Após a conclusão de uma camada, a plataforma desce em uma distância equivalente à espessura da nova camada, permitindo a criação da próxima camada. Nesse tipo de impressora, pode ocorrer uma variação no processo, em que a base se movimenta nos eixos X e Y, enquanto a extrusora movimenta-se no eixo Z. Essas etapas são repetidas conforme necessário até que o objeto 3D esteja completamente formado. A duração desse processo pode variar de alguns minutos a algumas horas, dependendo da complexidade do objeto e da qualidade da impressora (RAULINO, 2011). O esquema do processo pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema da FDM.



Fonte: HERMANN (2019)

A tecnologia de Modelagem por Fusão e Depósito (FDM) apresenta várias vantagens em comparação com outras técnicas de impressão. Entre essas vantagens estão a redução do desperdício de material e a necessidade mínima de limpeza. De acordo com

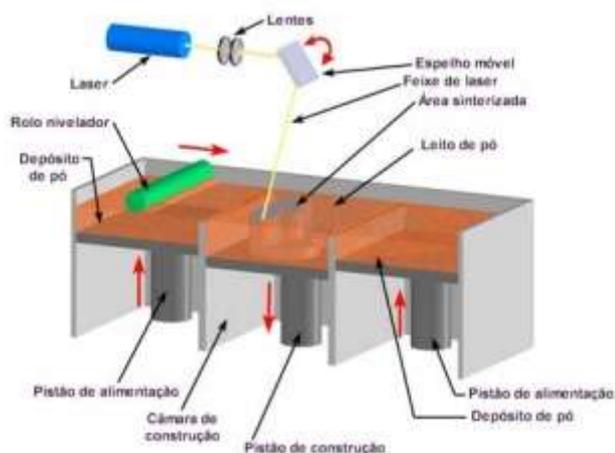
RAULINO (2011), a impressora FDM é amplamente utilizada na fabricação de produtos que exigem menos precisão, sendo frequentemente empregada em atividades acadêmicas e na produção de produtos personalizados para comercialização. Além disso, outra vantagem notável é o espaço físico menor que ela ocupa, uma vez que os motores de acionamento requerem menos potência e refrigeração em comparação com as tecnologias baseadas em lasers. Essas características tornam possível a instalação de impressoras FDM em ambientes não industriais.

### **3.2 Sinterização Seletiva a Laser - SLS**

A Sinterização Seletiva a Laser (SLS) é um processo de fabricação de objetos tridimensionais que envolve a sobreposição de camadas uniformes de polímeros em pó. Essa tecnologia utiliza equipamentos mais robustos em comparação com a FDM e oferece boas propriedades de resistência mecânica e térmica. Uma das principais vantagens do SLS é a sua capacidade de utilizar uma variedade de materiais na fabricação de objetos, incluindo poliamidas, elastômeros, cerâmicas e até metais com polímeros aglutinantes, conforme apontado por (SILVA et. Al ,2019).

O processo de fabricação tem início com o carregamento da câmara de impressão com o pó. Em seguida, a máquina niveladora ajusta o material, e um laser de alta potência é direcionado para o pó, fundindo-o. Após a conclusão de uma camada, a plataforma central desce, e um rolo aquecido passa sobre a superfície de impressão, cobrindo a camada recém-formada com mais pó. Esse processo é repetido até que o objeto esteja totalmente finalizado (SILVA, 2023). O esquema do processo pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Esquema SLS.



Fonte: ICHI (2010)

Ao término do processo, é essencial a remoção de todo o excesso de pó do objeto impresso. Essa limpeza é realizada por meio de um jato de ar comprimido ou o uso de escovas específicas para essa finalidade. Importante ressaltar que o pó que não passou pelo processo de sinterização, ou seja, não foi utilizado para a formação do objeto, desempenhou o papel de suporte ao longo do processo e, no final, pode ser reaproveitado. Portanto, o desperdício é mínimo.

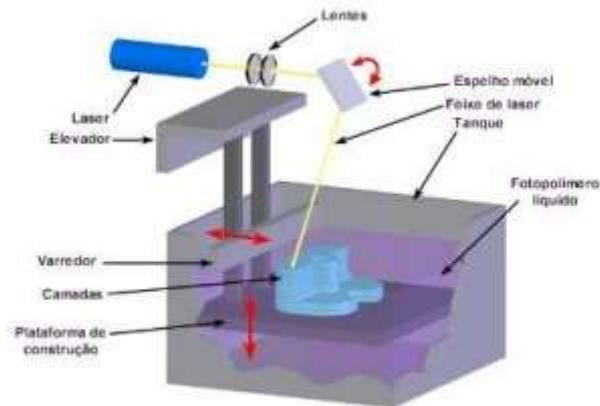
### 3.3 Estereolitografia (SLA)

A técnica pioneira de impressão 3D, denominada Estereolitografia (SLA), foi concebida por Charles Hull, um inventor norte-americano, e apresenta semelhanças com a Sinterização Seletiva a Laser (SLS). Ao invés de utilizar polímeros em pó para formar camadas, a SLA emprega resina que endurece mediante a exposição a um laser. Nesse processo, a tecnologia se baseia na polimerização de uma resina fotossensível composta por monômeros, foto iniciadores e aditivos, através da aplicação de um feixe de laser ultravioleta, como explicado por PORTO (2016).

O processo de construção do objeto começa com o preenchimento de uma cuba com resina. Dentro dessa cuba, há uma plataforma que pode se movimentar verticalmente. Controlada pelo sistema de comando numérico, um laser é projetado na

superfície da resina, levando à solidificação da resina no local onde o laser incide. À medida que uma camada é formada, a plataforma desce, permitindo a imersão na cuba para a criação de uma nova camada, e esse processo é repetido em sequência (SILVA, 2023). A figura 4 ilustra esse processo.

Figura 4 - Esquema SLA.



Fonte: ICHI (2010)

No final do processo de impressão, é necessário retirar o excesso de líquido das peças e posteriormente realizar o processo de cura em um forno. A tecnologia SLA oferece a produção de objetos com uma precisão superior em comparação com a técnica FDM. Além disso, possibilita a criação de modelos mais complexos e resistentes. No entanto, é importante mencionar que os custos de aquisição, manutenção e operação da máquina e dos materiais associados são mais elevados, o que a torna uma tecnologia mais dispendiosa, conforme destacado por (Kamar et. Al, 2018).

#### 4. TÉCNICAS DE IMPRESSÃO 3D

O setor da construção civil tem acompanhado de perto os avanços nas técnicas de impressão 3D e recentemente, tem adotado essas tecnologias em uma escala maior. Em particular, a impressão de concreto e materiais cimentícios tem despertado grande interesse no campo da arquitetura e construção. Uma das técnicas pioneiras nesse contexto é o Contour Crafting, uma forma de fabricação aditiva que utiliza o controle por computador para construir estruturas a partir de materiais cerâmicos e cimentos (BECA et. Al, 2022).

Além da Contour Crafting, diversos grupos de pesquisa têm se dedicado ao desenvolvimento de misturas especiais à base de cimento que podem ser impressas, resultando em grandes componentes adequados para uso na construção. Um exemplo é um grupo da Universidade de Loughborough, que introduziu em 2008 um sistema de impressão baseado em extrusão, chamado Concrete Printing, que é semelhante à operação de máquinas Fused Deposition Modeling (FDM). No entanto, eles têm a capacidade de produzir peças volumosas com uma variedade de formas, além de incorporar elementos internos, como sistemas de água, gás ou eletricidade. Outra abordagem inovadora é a técnica conhecida como D-Shape, desenvolvida por Enrico Dini, que utiliza um processo de deposição de pó, conforme documentado por (GARDNER et. al, 2013).

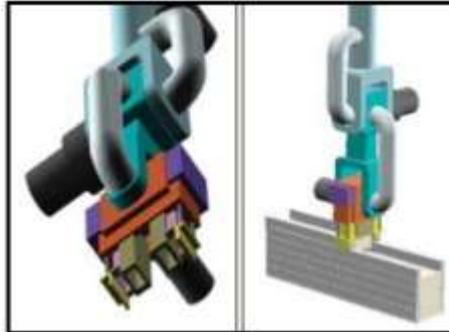
#### **4.1 CONTOUR CRAFTING (CC)**

O Contour Crafting (CC) é uma tecnologia de construção automatizada por computador desenvolvida na University of Southern California, com o objetivo de proporcionar produção rápida, facilidade de uso, redução significativa de resíduos e economias substanciais de custos. As primeiras publicações sobre a técnica de Khoshnevis datam de 1998, e desde então, houve um progresso significativo. Essa técnica pioneira de impressão, que utiliza materiais cerâmicos e cimentícios, serviu de base para o desenvolvimento de outras tecnologias relacionadas (KHOSHNEVIS, 2017).

Este método de fabricação é uma abordagem híbrida que combina um processo de extrusão para formar as superfícies externas dos objetos e um processo de preenchimento para construir o núcleo do objeto em camadas. Conforme ilustrado na Figura 5, o bocal de extrusão usado para criar os componentes estruturais possui várias saídas, uma para cada lado externo e outras para o interior (núcleo) da estrutura da parede. Cada lado dessas saídas é acompanhado por uma espátula adjacente. Durante o processo de extrusão do material, as espátulas que se movimentam criam superfícies externas e topos lisos em cada camada, alcançando uma precisão de até 2 microns, como exemplificado na Figura 6. Além disso, o bocal pode ser ajustado para produzir superfícies não-ortogonais, como cúpulas e abóbadas. É possível também a co-extrusão de múltiplos materiais, como, por exemplo, a combinação de gesso como material para

as superfícies externas e concreto como material estrutural do núcleo, utilizando os bocais, conforme descrito por KHOSHNEVIS (2017).

FIGURA 5: Conjunto do Bocal



FONTE: KHOSHNEVIS (2004)

FIGURA 6: Parede impressa.



FONTE: CONTOUR CRAFTING (2016)

De acordo com as informações de KHOSHNEVIS (2017), a tecnologia Contour Crafting (CC) não apenas oferece um grande potencial econômico, mas também foi concebida com o objetivo de melhorar a qualidade de vida, proporcionar maior segurança e reduzir o impacto ambiental. Nesse sentido, essa técnica promete a construção de habitações com design personalizado a um custo reduzido e com um nível de qualidade elevado. Além disso, a CC incorpora elementos de segurança que têm o potencial de reduzir significativamente as taxas de lesões no local de trabalho, o que é uma ocorrência comum na indústria da construção. Isso, por sua vez, pode resultar em uma diminuição nos custos associados a litígios, seguros e tratamentos médicos.

Outro benefício notável está relacionado ao impacto ambiental. A CC tem o potencial de economizar energia durante o processo de construção e quase eliminar o desperdício de materiais, contribuindo para a redução do impacto ambiental.

TABELA 1-Comparação Contour Crafting x Construção Convencional

Parcela de custo da Construção Convencional	Devido a	Se automatizado pela Contour Crafting
20-25%	Financiamento	Curta duração do projeto e controle do tempo de mercado irá eliminar ou reduzir drasticamente custo de financiamento
25-30%	Materiais	Sem desperdício na construção
45-55%	Mão de Obra	O trabalho manual será significativamente reduzido. O poder muscular será substituído pelo poder cerebral.

FONTE: PORTO (2016).

A tecnologia possui uma notável taxa de construção de 3 minutos por metro quadrado para a elevação das paredes. Com essa eficiência, ela tem o potencial de construir uma casa de 200 metros quadrados em apenas 20 horas, com uma equipe de trabalho composta por apenas 4 pessoas. Graças a essa velocidade de construção e aos custos reduzidos, o criador Khoshnevis planeja utilizar a tecnologia para construir habitações acessíveis e dignas para a população de baixa renda. Além disso, pretende empregar a CC para a rápida construção de abrigos em regiões afetadas por desastres naturais. A CC visa construir as paredes das edificações no local (in situ), como ilustrado na Figura 7, e também realizar as instalações de forma automatizada com o auxílio de braços robóticos, conforme documentado pela CONTOUR CRAFTING (2016).

FIGURA 7: Esquema de construção com Contour Crafting.

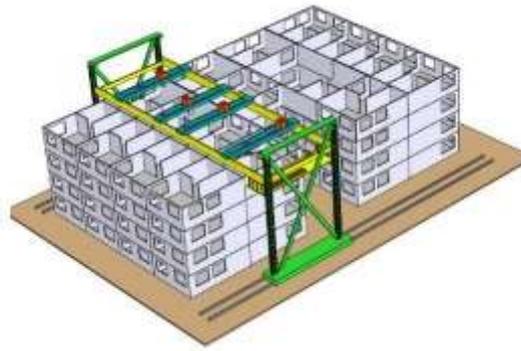


FONTE: CONTOUR CRAFTING (2016).

A pesquisa conduzida na University of Southern California em 2013 tem sido desenvolvida em três fases distintas:

- Fase I - Esta etapa concentra-se no desenvolvimento da tecnologia básica da CC para a impressão de estruturas de residência única em uma única operação. Nesse processo, um sistema de pórtico transporta o conjunto de bocal e outros braços robóticos operam em duas faixas paralelas no local de construção, como ilustrado na Figura 7.
- Fase II - A segunda fase visa expandir o sistema para estruturas maiores, incluindo edifícios comunitários e residenciais multilaterais, conforme representado na Figura 8. Esse sistema de construção integrado também incorpora métodos automáticos para revestimento, instalação de encanamento, fiação elétrica e pintura. Isso possibilita a produção eficiente de edifícios residenciais, hospitais, escolas e prédios governamentais.
- Fase III - A terceira e última fase prevê a adaptação da CC como a técnica de construção para comunidades inteiras. Nesse estágio, sistemas e tecnologias de informação sensorial serão integrados para possibilitar inspeção em tempo real e feedback para a gestão de projetos, com o objetivo de alcançar uma implantação eficaz desse método inovador.

FIGURA 8: Impressão de edifício



FONTE: CONTOUR CRAFTING (2016).

#### 4.2 Concrete Printing

Nos últimos anos, várias tecnologias de impressão 3D foram desenvolvidas para atender às demandas da indústria da construção, com um foco especial na impressão de concreto. Um exemplo disso é a equipe de pesquisa da Loughborough University, que concebeu um processo conhecido como Concrete Printing. Embora semelhante à técnica de Khoshnevis, o Concrete Printing é baseado na extrusão de argamassa de cimento. No entanto, em comparação com a CC, essa tecnologia tem uma menor resolução de deposição, com camadas de 4-6 mm de profundidade, o que proporciona maior liberdade tridimensional. Isso permite um maior controle sobre as geometrias internas e externas das estruturas, conforme ilustrado na Figura 9. Uma característica notável desse processo é o acabamento da superfície com nervuras, já que a aparência da superfície resultante é amplamente influenciada pela espessura da camada, conforme documentado por PORTO (2016).

FIGURA 9: Concrete Printing.



FONTE: LIM et al. (2012).

Apesar das numerosas vantagens da tecnologia Contour Crafting (CC), LIM et al. (2012) identificaram algumas limitações. Por exemplo, o molde utilizado na CC não

é descartado, tornando-se uma parte permanente da parede construída. Além disso, o processo da CC envolve várias etapas, incluindo moldagem, instalação de reforços e extrusão de concreto para criar camadas de até 20 mm de altura. Essas limitações motivaram os pesquisadores da Loughborough University a explorar um novo método de construção chamado Concrete Printing. A máquina de impressão de concreto possui um quadro com dimensões de 5,4 m x 4,4 m x 5,4 m (altura) e uma cabeça de impressão que se move ao longo de uma viga móvel. Para a deposição do material, utiliza-se um bocal de 9 milímetros, que é montado na cabeça de impressão (PORTO, 2016).

Segundo PORTO (2016) foi conduzido um programa experimental com o objetivo de encontrar a mistura ótima para o concreto de alto desempenho. A pesquisa considerou não apenas propriedades de endurecimento, como resistência à compressão de 100 MPa e resistência à flexão de 10 MPa após 28 dias, mas também requisitos de trabalhabilidade e extrusão. Para atender a esses requisitos, foi desenvolvida uma mistura reforçada com fibras, que incluía superplastificantes e um retardador para melhorar a trabalhabilidade e a resistência do concreto.

### **4.3 D-SHAPE**

O D-Shape é um processo de impressão 3D desenvolvido por Enrico Dini, semelhante à CC e à Concrete Printing no conceito de fabricação aditiva, mas com um método de operação distinto. Ao contrário dos outros dois modelos, o D-Shape não imprime peças por meio de extrusão (WOLFES, 2015).

A técnica do D-Shape utiliza a deposição de pó seletivamente endurecido por meio da aplicação local de um material ligante. Camadas de areia são dispostas com a espessura desejada e compactadas. Uma cabeça de impressão composta por 300 bocais, montada em uma estrutura de pórtico de alumínio (conforme ilustrado na Figura 10 - esquerda), se move sobre a área de impressão e aplica o aglutinante nos locais onde a peça deve ser sólida. Essa tecnologia é capaz de imprimir estruturas arquitetônicas de até 6 x 6 x 6 metros (WOLFES, 2015).

Após a conclusão da impressão, a peça é escavada para fora da camada de areia solta. A areia não endurecida atua como um suporte temporário para as camadas

superiores, permitindo a criação de formas que não seriam possíveis com um único material de extrusão (Figura 10 - direita). No entanto, uma desvantagem dessa técnica é que a areia precisa ser espalhada e compactada para cada camada, e, uma vez que o elemento está pronto, toda a areia não utilizada deve ser removida (WOLFES, 2015).

FIGURA 10: D-Shape



FONTE: WOLFES (2015).

#### 4.4 COMPARATIVO

As tecnologias Contour Crafting (CC), Concrete Printing e D-Shape desempenharam um papel fundamental na indústria da construção ao longo da última década. Esses métodos de impressão serviram como referência para o surgimento de novas tecnologias e para experimentações recentes na área de impressão de edifícios. Devido à sua importância no cenário da impressão em concreto e à disponibilidade de informações detalhadas sobre essas técnicas, este tópico oferece uma comparação entre esses processos (PORTO, 2016).

As três tecnologias foram desenvolvidas com o propósito de imprimir estruturas de concreto e compartilham muitas semelhanças em termos de processo de impressão. Todas elas se baseiam no conceito de fabricação aditiva. No entanto, cada uma possui características no local de construção. Tanto o D-Shape quanto o Concrete Printing são processos de fabricação baseados em pórticos, concebidos para a fabricação fora do local de aplicação, conforme destacado por Almeida (2021).

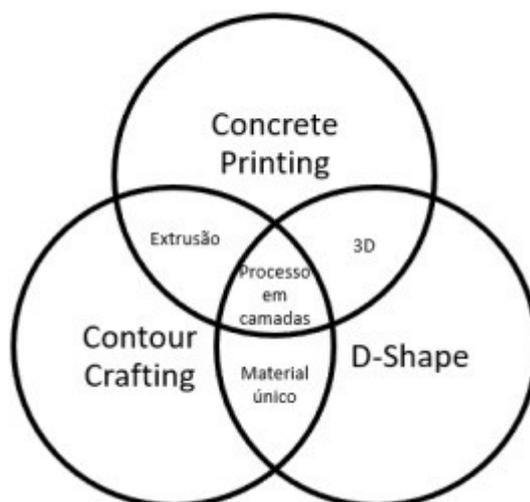
De acordo com LIMA (2023), o processo de impressão por extrusão oferece várias vantagens em relação a outros métodos. Ao optar por uma máquina baseada em extrusão, a maior parte do projeto se torna independente do material a ser extrudido.

Isso proporciona um grau de flexibilidade significativo, permitindo que algumas decisões de design sejam adiadas ou desacopladas umas das outras. Em um sistema de deposição de pó, como o D-Shape, as características específicas do material de impressão devem ser conhecidas desde o início do processo de design, uma vez que seu confinamento e distribuição se tornam componentes cruciais do projeto mecânico da impressora. No entanto, em uma máquina baseada em extrusão, se um material melhor for desenvolvido durante a vida útil da impressora, é possível simplesmente efetuar a troca da cabeça de impressão e do material, mantendo a estrutura mecânica intacta. Isso demonstra a flexibilidade e a adaptabilidade oferecidas pelo processo de extrusão em comparação com outras abordagens.

Outra diferença significativa entre as tecnologias está relacionada às soluções para aberturas nas paredes. A CC produz elementos verticais que são principalmente de compressão. Para a criação de aberturas de portas ou janelas, uma verga é necessária, e a parede pode ser construída acima dela, evitando problemas de equilíbrio estrutural. Por outro lado, as tecnologias D-Shape e Concrete Printing requerem suporte adicional para a construção de estruturas em balanço ou com características de formas livres. O D-Shape, por ser um processo baseado na deposição de pó, utiliza o material não consolidado como suporte. O Concrete Printing emprega um segundo material de suporte, de maneira semelhante ao Fused Deposition Modeling (FDM). No entanto, a desvantagem desses tipos de processos é que a adição de dispositivos de deposição adicionais implica em maior manutenção, limpeza e controle (POTT, 2017).

A simplicidade das abordagens baseadas em pó, como o D-Shape, precisa ser equilibrada com a considerável quantidade de material que deve ser depositada na área de construção e, posteriormente, removida para revelar a peça final. Essas semelhanças e diferenças são resumidas na Figura 11, conforme descrito por PORTO (2016).

FIGURA 11: Similaridades entre os processos.



FONTE: PORTO (2016).

A resolução de impressão, em termos de espessura da camada, varia entre 4 e 6 milímetros nas tecnologias Concrete Printing e D-Shape, enquanto na CC, essa espessura é aproximadamente de 13 milímetros. A espessura da camada tem uma relação direta com a velocidade de construção, uma vez que camadas mais finas resultam em velocidades de construção mais lentas. Outros fatores que influenciam a resolução de impressão incluem o tamanho mínimo de detalhes, o acabamento superficial e as propriedades do material utilizado. Os processos de extrusão são significativamente afetados pelo design da peça, pelo tamanho das partículas que podem limitar a finura da extrusão e pela estabilidade do filamento extrudido para criar uma ligação sólida. No caso do processo D-Shape, a capacidade do aglutinante penetrar efetivamente em cada camada é um parâmetro crucial a ser considerado (PORTO, 2016).

Conforme observado por (BECA et. Al, 2022), a velocidade de impressão também é influenciada pelo material de impressão e/ou pela taxa de deposição do aglutinante. Na CC, evitam-se ciclos prolongados entre as camadas, permitindo a impressão de uma camada completa com duas passagens da cabeça de deposição. Esse processo utiliza um diâmetro de extrusão maior, resultando em uma alta taxa de construção de camadas e, assim, reduzindo o tempo de impressão.

Em contrapartida, a tecnologia D-Shape emprega um pórtico com vários bicos montados em série, necessitando de uma única passagem por camada. No entanto, o

material de construção deve ser espalhado por toda a área de construção, comprimido e nivelado. Já o Concrete Printing utiliza um único bico de deposição, o que significa que apenas o material necessário é depositado para a construção. No entanto, a abordagem de bico único inevitavelmente limita a taxa de deposição, uma vez que o bocal deve percorrer toda a área de construção (WOLFES, 2015). As características descritas de cada tecnologia são resumidas na Tabela.

TABELA 2-Comparação entre tecnologias de impressão de para construção civil

	Contour Crafting	Concrete Printing	D-Shape
Processo	Extrusão	Extrusão	Impressão tridimensional
Uso de forma	Sim. Torna-se parte da peça	Não	Primeira tentativa para construção livre
Material de Impressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mistura de argamassa para molde</li> <li>• Material cimentício para construção</li> </ul>	Concreto para impressão (fórmula própria)	Material granular (pó de areia / rocha)
Aglutinante	Não. Extrusão de material úmido	Não. Extrusão de material úmido	Material à base de cloro líquido
Diâmetro do bocal	15mm	9 - 20mm	Desconhecido
Número de bocais	1	1	6 - 200
Espessura da camada	13mm	6 - 25mm	4 - 6mm
Reforço	Sim	Sim	Não
Prós	Bom acabamento. Devido a ação das espátulas laterais	Liberdade de forma	Liberdade de forma
Contra	Processo de extra (moldagem)	Taxa de deposição (bico único)	Remoção e limpeza do material após a impressão
Aplicações	Paredes e peças de concreto	Paredes e peças de concreto	Elementos paisagísticos e projetos marítimos

FONTE: PORTO (2016).

Por fim, é importante destacar que o acabamento e o pós-processamento variam entre os diferentes processos. Na CC, é comum produzir um acabamento característico com nervuras, que pode ser controlado e até mesmo explorado como um efeito estilístico. Para obter superfícies mais lisas, é necessário alisar o material úmido durante o processo de construção ou adicionar acabamentos convencionais, como gesso ou argamassa, sobre a superfície impressa. O design da cabeça de deposição na CC permite a suavização das paredes externas durante a fase de construção. Semelhante ao Concrete

Printing, o processo D-Shape resulta em uma textura no acabamento, o que pode requerer moagem e polimento se uma superfície mais lisa for desejada (PORTO, 2016).

## 5. Benefícios e Desafios:

A construção habitacional é um setor com um enorme potencial para se beneficiar da adoção da tecnologia de impressão 3D. No modelo tradicional de construção, cada edifício demanda investimentos significativos em ferramentas e equipamentos especializados. Por outro lado, a introdução da impressão 3D requer apenas ajustes no modelo digital do projeto. Portanto, espera-se que essa abordagem resulte em melhorias substanciais em termos de custo, eficiência e velocidade, tanto para o consumidor quanto para a construtora (POTT, 2017).

EL-SAYEGH (2020) destaca que a incorporação da impressora 3D na construção civil pode gerar melhorias notáveis em termos de produtividade, que incluem:

- **Flexibilidade:** A tecnologia possibilita a criação de estruturas com formatos e funcionalidades especiais, como maior flexibilidade ou isolamento térmico, sem aumentar o peso. Designs únicos e personalizados derivados do desenho assistido por computador (CAD) e da Modelagem da Informação da Construção (BIM) tornam-se mais simples de implementar. Um exemplo notável é a produção de casas de isolamento para situações como a pandemia de COVID-19 (EL-SAYEGH, 2020).
- **Autonomia e Economia na Construção:** A tecnologia demanda pouca intervenção humana e reduz a necessidade de outros tipos de equipamentos, o que resulta em uma menor incidência de acidentes de trabalho (EL-SAYEGH, 2020).
- **Maior Previsibilidade e Rapidez:** É possível prever com maior precisão o tempo de produção, e o processo de impressão 3D é significativamente mais rápido do que as abordagens convencionais. A impressão 3D pode resultar em reduções significativas no tempo de construção, como observado na redução de 35% no tempo de construção de uma parede

estrutural em comparação com a construção em alvenaria (BUSWELL et al., 2007).

- **Sustentabilidade:** As impressoras 3D podem fazer uso de materiais recicláveis e reaproveitar resíduos de outras obras, como demonstrado no caso do prédio mais alto já impresso em 3D (OLIVEIRA, 2015).

A tecnologia 3D se apresenta como uma valiosa aliada para a indústria da construção, oferecendo uma série de benefícios notáveis. Os engenheiros podem encontrar nessa tecnologia um recurso valioso, permitindo a redução da dependência de mão de obra não especializada, ao mesmo tempo em que possibilita o planejamento e a execução de projetos com maior qualidade e precisão (FARIAS, 2019).

De acordo com as análises de (CARDOSO et al., 2022) as vantagens desse modelo tecnológico abrangem diversos aspectos, incluindo benefícios econômicos, eficiência no cronograma de projetos, flexibilidade de design, sustentabilidade, qualidade, segurança e não menos importante a preservação do meio ambiente por meio da ampla adoção de métodos e técnicas que favorecem a conservação ecológica (CARDOSO et al., 2022).

O desperdício representa um desafio em qualquer campo ou setor profissional e requer medidas preventivas. A tecnologia de impressão 3D emerge como uma facilitadora para otimizar o uso das ferramentas disponíveis aos profissionais, resultando em benefícios tangíveis, como a redução de despesas e a promoção de práticas ambientalmente responsáveis. Isso se traduz em uma diminuição do consumo de papel e produtos derivados, contribuindo para a adoção de abordagens mais sustentáveis (SILVA et al., 2019).

Nesse contexto, Bastian (2021) destaca uma série de vantagens essenciais da tecnologia 3D na construção civil, tais como a redução do contingente de trabalhadores nos canteiros de obras, o que conseqüentemente resulta em uma diminuição dos incidentes laborais. Além disso, ressalta-se a diminuição do prazo de execução dos projetos de engenharia na construção civil, bem como o fomento à sustentabilidade,

uma vez que essa abordagem contribui para a redução significativa do uso de produtos químicos e resíduos.

Analogamente à sumarização geral de benefícios, pode-se condensar alguns dos desafios mais frequentes dos projetos em:

- **Alto Custo de Entrada:** Embora seja altamente econômica em termos de operação, a aquisição de uma impressora 3D para construção civil pode representar um investimento significativo, variando de 500 mil a 2 milhões de dólares (CARDOSO et al., 2022). Algumas empresas, como a Apis Cor, oferecem treinamento para os compradores de suas impressoras. Uma alternativa para superar esse desafio é o desenvolvimento de impressoras personalizadas pelos empreendedores, considerando que a tecnologia FDM é amplamente conhecida e implementável, embora sua aplicação específica possa apresentar desafios.
- **Controle dos Materiais:** As impressoras 3D usam materiais líquidos ou semilíquidos que endurecem durante o processo de impressão. As condições de temperatura e clima podem afetar esse processo, exigindo habilidade da equipe para entender e adaptar novos materiais à obra (FORMIGA, 2021).
- **Regulamentação:** A utilização de impressão 3D na construção civil muitas vezes esbarra em questões burocráticas, especialmente em locais que requerem regulamentações específicas para essa tecnologia (FORMIGA, 2021).
- **Dimensão:** Um desafio significativo ocorre em áreas com alta demanda de habitação, uma vez que essas áreas já são densamente habitadas e construídas. Isso torna imperativa a necessidade de impressoras capazes de construir prédios com vários andares. Atualmente, as empresas estão trabalhando arduamente para superar essa limitação, com a esperança de desenvolver novas tecnologias e avanços em breve (FORMIGA, 2021).

É importante ressaltar que as impressoras 3D ainda operam com algumas limitações, principalmente na produção de estruturas de construção. Para expandir sua eficácia, são requeridas integrações e avanços adicionais (SOUZA, 2021). A otimização e a validação da metodologia em várias áreas demandam tempo e esforço contínuos. No entanto, para a indústria da construção civil, a adoção de impressoras 3D representa um passo significativo, impulsionando a melhoria dos resultados e a prestação de serviços com maior qualidade e personalização.

Com relação aos obstáculos a serem vencidos, Formiga e Carneiro (2021) esclarecem que os desafios incluem a impressão em larga escala, a identificação dos materiais adequados, a falta de regulamentação legal, bem como a escassez de pesquisas abordando a simulação computacional. Adicionalmente, é essencial explorar a análise abrangente das estruturas dos componentes produzidos, além do desenvolvimento de programas ou códigos capazes de supervisionar em tempo real o processo de impressão.

Ruiz (2022) destaca que a impressão em 3D na construção civil encontra-se em uma fase de crescimento e expansão notáveis, atraindo considerável atenção da mídia. A convergência entre as inovações tecnológicas e a capacidade de construir residências e edifícios revela-se um método revolucionário com o potencial de abordar eficazmente o desafio global da habitação. Essa tendência promissora continua a se desenvolver, e os desafios associados a ela estão sendo enfrentados de maneira ativa à medida que a indústria da construção civil abraça essa transformação.

### **Conclusões finais**

Este trabalho tem como um de seus principais objetivos destacar os avanços e perspectivas da tecnologia de impressão 3D, com foco em sua aplicação na indústria da construção civil. A impressão 3D possui o potencial de revolucionar a indústria como um todo, proporcionando redução de custos na produção personalizada e customização. As impressoras utilizam tecnologia que minimiza a geração de resíduos, demanda menos mão de obra em comparação com outros métodos construtivos e simplifica a fase de prototipagem. Em contraposição à abordagem predominantemente artesanal ainda

prevalente na construção civil, caracterizada por um processo manual, a tecnologia de impressão 3D oferece uma alternativa mais eficiente para atender às demandas do mercado contemporâneo, marcado por alta produção e velocidade.

As inovações na construção civil frequentemente derivam de tecnologias previamente testadas por projetistas e construtores. Métodos construtivos tradicionais, como a Alvenaria Estrutural e a Parede de Concreto, embora não sejam novidades, experimentaram um ressurgimento significativo no Brasil nos últimos 10 anos, sendo adotados como soluções de baixo custo. Por outro lado, o avanço tecnológico do Building Information Modeling (BIM) emerge como uma nova ferramenta de software para modelagem, armazenamento e análise de projetos. O BIM desempenha um papel crucial em projetos altamente industrializados, como na construção com impressão de concreto, e sua modelagem é essencial para o dimensionamento, operação de equipamentos de movimentação e logística de entrega. Além da evidente eficiência na construção, a tecnologia é reconhecida por seu papel crucial na promoção da sustentabilidade, não apenas pela redução no consumo de papel e derivados, mas também pela minimização do impacto ambiental ao diminuir a necessidade de produtos químicos e a geração de resíduos.

A análise aprofundada do texto aborda desafios como o custo inicial elevado e a imprescindibilidade de um rigoroso controle de materiais na implementação da impressão 3D na construção civil. Conclui-se ressaltando que esta tecnologia não apenas simplifica a personalização e individualização, contrastando com métodos tradicionais de produção em massa, mas desempenha um papel fundamental na transformação da indústria, impulsionando uma revolução na concepção, produção e consumo de produtos, alinhando-se aos paradigmas emergentes da sociedade contemporânea.

## REFERÊNCIAS

3D PRINTING INDUSTRY. **History of 3D Printing**. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history> Acesso em: 23 out.2023.

ALMEIDA, Isadora Nunes de. **Impressão 3D e sua Aplicação na Engenharia Civil**. 2021. Dissertação de Mestrado.

BASTIAN, Humberto Pinto. Automação na construção civil: o avanço das impressoras 3D. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, 2021. Disponível em <https://hdl.handle.net/1822/74535>. Acesso em 30 out. 2023.

BECA, Ignácio Giocondo Cesar. um estudo da utilização da impressora 3d na engenharia e na medicina. **recisatec - revista científica saúde e tecnologia -issn 2763-8405**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. e2170, 2022. doi: 10.53612/recisatecv2i1.70. disponível em: <https://recisatec.com.br/index.php/recisatec/article/view/70>. acesso em: 6 nov. 2023.

BUSWELL, R., SOAR, R., GIBB, A. ET AL. **FREEFORM CONSTRUCTION: MEGA-SCALE RAPID MANUFACTURING FOR CONSTRUCTION**, 2007.

CARDOSO, Everton et al. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para uso da impressão 3D na construção de casas populares no Brasil**. Trabalho de Conclusão II. Universidade Anhembi Morumbi, 2022. Disponível em [https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/26189/2/Estudo%20da%20viabilidade%20te%CC%81cnica%20e%20econo%CC%82mica%20para%20uso%20da%20impress%CC%83o%203D\\_EC\\_CEN%20.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/26189/2/Estudo%20da%20viabilidade%20te%CC%81cnica%20e%20econo%CC%82mica%20para%20uso%20da%20impress%CC%83o%203D_EC_CEN%20.pdf). Acesso em 30 out. 2023.

CONTOUR CRAFTING, Home, 2016. Disponível em: < <http://www.contourcrafting.org> > Acesso em: 23 out. 2023.

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*. Volume 20, 2020.

FARIAS, Ana Caroline Cordeiro; SANTOS, Huaster Kennedy Guimarães. **Tecnologia aplicada no desenvolvimento de projeto sob nova perspectiva ótica**. In: Revista

eletrônica de Educação da UniAraguaia. n. 1. 2018. Goiânia. **Anuário. Goiânia: Revista eletrônica de Educação da UniAraguaia.**, 2019, p. 1-6.

FORMIGA, Caio Vinicius Efigenio; CARNEIRO, Marcos Lajovic. Impressão 3D para construção civil: revisão da literatura e desafios. **Revista de Engenharia e tecnologia**, v. 13, n. 4, 2021.

GARDNER, m., alwi, a., karayiannis, s., et al. **konstruktion, megascale 3d printing. university of surrey**, 2013.

HERMANN, kelvin et al. **plano de negócios: plataforma de venda de produtos de impressão 3d**. 2019.

ICHI, á. análise da viabilidade da aplicação da tecnologia cad-cam por prototipagem rápida na confecção de estrutura metálica da prótese parcial removível comparando-a ao método convencional. são paulo: universidade de são paulo, faculdade de odontologia; 2010.

KAMAR, K. A. M., Omar, A. M., Mohamed, O. A., & Ahmed, M. A. (2018). **3D printing technology in construction industry: A review. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems**, 10(sp9), 1701-1711.

KHOSHNEVIS, B. (2017). **Automated construction by contour crafting–related robotics and information technologies. Automation in Construction**, 74, 59-73.

LIM, s., buswell, r., le, t., et al. **developments in construction-scale additive manufacturing processes. automation in construction**, 21, 262-268. 2012

LIMA, Yuri Araújo; DE ARAÚJO, Davi Santiago; PIRES, Rachel Cristina Santos. **Automatização da Construção Civil Através de Impressoras 3D. Epitaya Ebooks**, v. 1, n. 32, p. 24-32, 2023.

MARTINELLI, juliana. as tecnologias de impressão 3d mais utilizadas: fff, sla e sls. inova house 3d. 2019. disponível em: <https://www.inovahouse3d.com.br/post/blog-tecnologias-deimpressao-3d>. acesso em: 22 out. 2023.

MENEZES FILHO, Welber Vaz; VIEIRA, Débora Bispo; PIRES, Plínio Ferreira. o futuro da impressão 3d na engenharia brasileira. **anais do simpósio nacional de ciências e engenharias (sinacen)**, v. 6, n. 1, p. 172-178, 2021.

OLIVEIRA, T. Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações. Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2015.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, v. 9, 2016.

POTT, Luana Mariana; EICH, Monique Costa; ROJAS, Fernando Cuenca. Inovações tecnológicas na construção civil. Seminário Interinstitucional De Ensino, Pesquisa E Extensão, v. 22, 2017.

RAULINO, B. R. **Manufatura Aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (Modelagem por fusão e deposição)**, Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

RIBEIRO, Arthur et al. **O uso da impressão 3D na construção civil**. Anuário Acadêmico - científico da UniAraguaia, v. 7, n. 1, p. 142-144, 2018.

RUIZ, Felipe Pessoa. **Estudo de viabilidade da aplicação de impressão 3D em empreendimentos na construção civil**. 2022.

SILVA, Alexandre Macedo; FERREIRA, André Silvestre; SILVA, Igor Oliveira.

**Impressão 3d na construção civil. In: iv jornada interdisciplinar de engenharia civil**, nº 3, 2019, anápolis. Anais. Anápolis: editora x, 2019, p.10-15

SILVA, isabella mangueira da. **Estudo exploratório do uso da impressão 3d na construção civil**. 2023. Trabalho de conclusão de curso.

WOLFES, R. **3D Printing of Concrete Structures. Graduation Thesis**, Eindhoven University of Technology, 2015.