

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA IMPLEMENTAÇÃO DA IMPRESSORA 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

¹ Juliana Freitas Guedes Rêgo

² Thomas Simon do Vale Santos

³ Luigi Cerqueira Benevides

Resumo

Este estudo analisa a viabilidade econômica da utilização de impressoras 3D na construção civil brasileira comparando-a aos métodos tradicionais de alvenaria. A impressão 3D, uma inovação da manufatura aditiva, surge como uma alternativa promissora para otimizar processos, reduzir desperdícios e trazer maior eficiência ao setor. A pesquisa teve como base teórica estudos científicos assimilados a temas como manufatura aditiva, impressão 3D e cálculo de viabilidade econômica. A metodologia adotada é uma análise comparativa com os métodos construtivos tradicionais, levando em consideração custos e benefícios, bem como revisão bibliográfica. Os resultados mostraram que para obras menores os métodos tradicionais ainda apresentam menor custo de execução. No entanto, quando se analisa o custo-benefício, a implantação da construção por impressão 3D tem melhores resultados, pois proporciona ganhos consideráveis, tais como: economia de materiais, agilidade no processo, flexibilidade no *design* e potencial para retornos financeiros mais rápidos, especialmente em empreendimentos que demandam soluções personalizadas e sustentáveis.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva; Viabilidade Econômica; Impressão 3D; Análise Comparativa; Construção Civil.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem vivenciado significativas transformações ao longo dos anos, impulsionadas por avanços tecnológicos que buscam otimizar processos e reduzir custos. Uma dessas inovações é a utilização de impressoras 3D que, embora ainda em estágio inicial, apresenta-se como uma alternativa promissora para a construção de edificações, principalmente pela rapidez na execução e pela possibilidade de redução de desperdícios. Essa tecnologia vem sendo testada e implementada em diversos países, levantando questionamentos sobre sua viabilidade econômica em diferentes contextos, como o brasileiro, onde o setor da construção enfrenta desafios específicos, como altos custos de mão de obra, baixa produtividade e déficit habitacional (CELERE, 2018).

¹ Doutora em Economia, na área de desenvolvimento econômico, pela Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia, mestre em Engenharia Ambiental Urbana, na área de riscos ambientais urbanos, pela Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, graduada em Ciências Econômicas pela Faculdade de Ciências Econômicas.

² Bacharelado em Engenharia Civil Unijorge.

³ Bacharelado em Engenharia Civil Unijorge.

A evolução das tecnologias de construção é marcada por uma busca constante por soluções que tragam eficiência e sustentabilidade. Desde o uso de materiais pré-fabricados até sistemas construtivos modulares, as inovações têm transformado a forma de construir, promovendo maior agilidade, qualidade e redução de desperdícios. Recentemente, a impressão 3D emergiu como uma dessas inovações disruptivas, permitindo a fabricação de elementos estruturais diretamente no canteiro de obras, com rapidez e precisão (FLORÊNCIO et al, 2017).

No âmbito da construção civil, a utilização da impressão 3D tem sido recorrente, especialmente na construção de estruturas como paredes, fundações e demais componentes de uma edificação. Tal tecnologia tende a robotizar todo o sistema construtivo, eliminando a necessidade de um número elevado de mão de obra e encurtando o tempo de construção. Países como Estados Unidos, China e Emirados Árabes já contam com obras concluídas a partir deste método, o que instiga a pesquisar e investigar sua viabilidade e aplicabilidade no Brasil.

A técnica pode ser usada tanto para execução de habitações padronizadas, quanto para construções de arquitetura complexa e elaborada. Logo, procurou-se estudar as inovações que a tecnologia 3D traz para construção civil e avaliar a sua viabilidade de implantação nos campos de obra. O problema norteador da pesquisa é: A implementação da impressora 3D na construção civil brasileira é viável economicamente? A hipótese adotada é de que pode ser viável.

Nesta direção, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de viabilidade econômica, tendo como base a técnica de custo-benefício, da tecnologia de impressão 3D na construção civil brasileira. A metodologia adotada é uma análise comparativa com os métodos construtivos tradicionais, levando em consideração custos e benefícios, bem como revisão bibliográfica.

Este trabalho consta desta introdução mais três seções e uma conclusão. Nestas seções são tratados o referencial teórico, a metodologia e os resultados e discussão. Por fim, na conclusão, verificou-se que a hipótese foi validada, sendo o uso da impressora 3D viável economicamente na construção civil brasileira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico vai tratar da manufatura aditiva, mais conhecida como impressão 3D, da manufatura aditiva na construção civil, dos métodos de impressão 3D e dos materiais utilizados. A manufatura aditiva revolucionou a forma de produzir objetos e estruturas. Essa técnica possibilita a criação de peças tridimensionais por meio da sobreposição gradual de camadas.

2.1.1. MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva é um conjunto de tecnologias de fabricação que constrói objetos tridimensionais camada por camada a partir de modelos digitais. Esta técnica difere dos métodos tradicionais de fabricação como a usinagem e a moldagem, que são processos subtrativos, no qual o material é removido para criar uma peça final. Na manufatura aditiva, o material é adicionado gradualmente, o que permite criar geometrias complexas que seriam inviáveis ou muito caras de produzir com métodos tradicionais, bem como redução de desperdício de material e possibilidade de fabricação de alta personalização em pequenas séries de tempo (GOMES, 2020).

Existem várias tecnologias de manufatura aditiva, sendo a *Fused Deposition Modeling* (FDM) a tecnologia mais popular e acessível do contexto. A FDM utiliza filamentos termoplásticos que são derretidos e extrudados em camadas sucessivas para formar o objeto. Sua usabilidade é amplamente explorada em prototipagem rápida e fabricação de peças funcionais em indústrias como a automotiva e a aeroespacial.

Já o modelo *Stereolithography* (SLA) possui a tecnologia de *laser* e tem o processo de solidificar camadas de resina líquida fotopolimerizável, criando peças com alta precisão e detalhes finos. O SLA é comumente utilizado em setores em que são necessários um acabamento de alta qualidade. O *Selective Laser Sintering* (SLS), por sua vez, utiliza um *laser* para sintetizar partículas de pó como polímeros, metais ou cerâmicas, formando cada camada do objeto. Esta tecnologia é adequada para a produção de peças duráveis e funcionais (RIBEIRO, 2021).

A manufatura aditiva tem aplicações amplas, desde a produção de protótipos rápidos, peças funcionais e, até mesmo, produtos finais. Indústrias, como a aeroespacial, a automotiva, a médica e a construção civil estão explorando o potencial dessas tecnologias. Na construção civil, segundo Silva (2018), começou a ganhar destaque no final dos anos 2000, quando surgiram os primeiros experimentos de impressão 3D em larga escala para criar elementos estruturais, como paredes e fundações.

2.1.2. MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

No início, os desafios tecnológicos da manufatura aditiva na construção civil eram enormes, pois envolvia a adaptação de materiais como concreto e o desenvolvimento de impressoras capazes de suportar o trabalho em ambiente de obra, com grandes dimensões e exigências de resistência (SILVA, 2018).

As adaptações dos materiais, especialmente do concreto, foram essenciais para viabilizar a impressão 3D na construção civil. O concreto tradicional, utilizado em métodos convencionais, não possuía as propriedades ideais para impressão 3D, pois sua composição, tempo de cura e resistência inicial não se adequaram ao processo camada por camada, característico da manufatura aditiva. Assim, engenheiros e pesquisadores precisaram desenvolver misturas de concreto com propriedades reológicas específicas. Ou seja, que pudessem fluir facilmente através do bico da impressora e endurecer rapidamente para suportar o peso das camadas subsequentes (SILVA, 2018).

Estas novas formulações de concreto também incluíram aditivos, como polímeros e fibras, que aumentam a adesão entre as camadas e a resistência estrutural. Além disso, o uso de fibras reforçadoras de aço ou de vidro nas misturas permitiu que o concreto tivesse maior durabilidade e capacidade de suportar tensões, possibilitando a construção de estruturas mais complexas e com resistência adequada para atender aos padrões de segurança da construção civil (VOLPATO, 2018).

À medida que a tecnologia evoluiu, novas pesquisas e investimentos permitiram que o setor avançasse para aplicações mais robustas e economicamente viáveis. Atualmente, a manufatura aditiva é utilizada em projetos piloto e comerciais como na construção de casas, pontes e até complexos habitacionais com diversos métodos de impressão 3D em países como China, Estados Unidos e alguns da Europa. Isto só foi possível graças ao desenvolvimento de novos materiais que são mais adaptáveis e apresentam resistência suficiente para atender às normas de segurança e durabilidade exigidas pela construção civil (DALLASEGA, RAUCH e LINDER, 2018).

2.1.3. MÉTODOS E MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPRESSÃO 3 D

Os métodos de manufatura aditiva aplicados na construção civil, como *Contour Crafting* (CC), *Concrete Printing* (CP) e *D-Shape* (DS) têm ganhado relevância ao viabilizar projetos mais rápidos, econômicos e sustentáveis.

A técnica *Contour Crafting* (CC) foi desenvolvida para facilitar a construção de estruturas em larga escala, como casas e edifícios. Ela envolve o uso de um bico extrusor controlado para depositar concreto ou outros materiais em camadas horizontais, formando paredes e estruturas robustas como mostra a Figura 1. A precisão do CC é ideal para construções rápidas e sustentáveis, uma vez que minimiza o desperdício de material, além de possibilitar designs mais complexos (BOTELHO, FOLLA e XAVIER, 2022).

Figura 1 – Exemplo da técnica *Contour Crafting* (CC)



Fonte: Sculpeteo, 2018.

O processo *Concrete Printing* (CP) se destaca por sua flexibilidade e precisão no uso de concreto, que é depositado em camadas finas e permite a construção de componentes arquitetônicos detalhados e de geometrias específicas, como mostra a Figura 2. Esta técnica é frequentemente utilizada para criar elementos não estruturais, como peças decorativas e mobiliário urbano. A tecnologia também permite a adição de fibras ou outros reforços ao material para aumentar sua durabilidade e resistência (PORTO e KADLEC, 2018).

Figura 2 – Exemplo do processo *Concrete Printing*

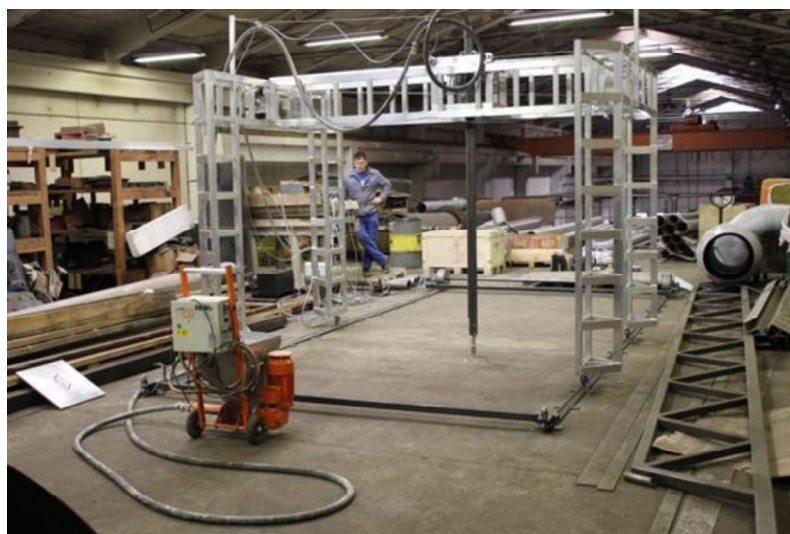


Fonte: *American rock products*, 2024.

Já o método *D-Shape* (DS) é um procedimento que utiliza pó de material, como areia ou pó de pedra, juntamente com um agente aglutinante, que endurece o material em uma

estrutura sólida ao longo do processo de impressão. É conhecido por possibilitar a criação de formas complexas e detalhadas e é especialmente útil para construções em ambientes adversos, como o deserto ou mesmo no espaço, como o modelo mostrado na Figura 3. Esta técnica oferece grande liberdade de design, permitindo construir estruturas complexas com menos limitações geométricas (PORTO, 2016).

Figura 3 – Exemplo de impressora D-Shape



Fonte: 3D Printing Brasil, 2016.

Neste sentido, os avanços no estudo de materiais para impressoras 3D permitem desenvolver construções mais sustentáveis e acessíveis, reduzindo o desperdício. Isto impacta positivamente nos custos e na sustentabilidade das obras, ao mesmo tempo em que diminui a dependência de matérias-primas virgens e incentiva o reaproveitamento de resíduos.

A utilização de concreto e argamassa na impressão 3D tem sido fundamental para o avanço da tecnologia na construção civil, permitindo criar estruturas robustas e duráveis com maior rapidez e menor desperdício. Para isto, as misturas de concreto utilizadas precisam de uma formulação especial, que garantam fluidez suficiente para o processo de extrusão e, ao mesmo tempo, rápida solidificação para suportar o peso das camadas subsequentes. Esta mistura, conhecida como "concreto de impressão 3D", é desenvolvida para proporcionar aderência entre camadas, evitando deformações e garantindo a estabilidade estrutural da obra (ABEPRO, 2023).

Além do concreto, as argamassas também desempenham um papel importante no processo de impressão 3D. Misturas de argamassa são frequentemente empregadas para criar elementos de acabamento e estruturas não estruturais devido à sua versatilidade e menor custo.

Estas argamassas são adaptadas com aditivos que melhoram sua resistência e durabilidade, permitindo maior precisão nos detalhes das estruturas impressas, o que é essencial para projetos arquitetônicos que demandam personalização e complexidade no design (REVISTA FT, 2023).

Há também a possibilidade de utilização de materiais reciclados na impressão 3D. Um exemplo é o emprego de resíduos plásticos, que podem ser processados e utilizados como matéria-prima em impressoras 3D, permitindo a criação de elementos de construção como tijolos e blocos de revestimento sustentáveis (ARCHDAILY, 2023).

Além do plástico, outros materiais reciclados, como resíduos de construção e demolição, podem ser triturados e incorporados a misturas de concreto e argamassa utilizadas na impressão 3D. Estes agregados reciclados oferecem uma forma viável de reutilizar materiais que, de outra forma, seriam descartados, promovendo a economia circular e tornando as construções mais sustentáveis. A introdução destes resíduos na impressão 3D está sendo estudada para avaliar o desempenho mecânico e a durabilidade das estruturas com a finalidade de garantir sua eficiência e segurança (SICTI, 2023).

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, descritiva e exploratória, com enfoque quantitativo. Tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica com base na técnica custo-benefício da aplicação de tecnologias de impressão 3D em concreto na construção civil, comparando-a ao método convencional com blocos cerâmicos. Para isto, a pesquisa foi dividida em três etapas: revisão bibliográfica, levantamento de dados e análise comparativa.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente para fundamentar teoricamente o estudo. Foram analisados artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos que abordam o uso de impressoras 3D na construção civil, bem como suas potencialidades, vantagens e desvantagens em relação aos métodos tradicionais de alvenaria com blocos cerâmicos. Este levantamento incluiu bases de dados como Scielo, ScienceDirect e Google Scholar, utilizando palavras-chave como "impressão 3D na construção civil", "blocos cerâmicos", "viabilidade econômica" e "manufatura aditiva em engenharia civil".

A segunda etapa consistiu no levantamento de dados, em que foram coletados valores referentes aos custos de materiais, mão de obra, tempo de execução e consumo energético para ambos os métodos de construção. Estes dados foram obtidos por meio de entrevistas com engenheiros e empresas de construção civil, além da consulta a catálogos de fornecedores e tabelas de preços de referência, como as tabelas SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices

para a Construção Civil) e CUB (Custo Unitário Básico). Desta forma, foi possível realizar uma avaliação detalhada dos custos diretos e indiretos envolvidos tanto na impressão 3D em concreto quanto no método com blocos cerâmicos.

Na terceira etapa, com os dados obtidos, foi realizada uma análise comparativa entre os métodos, considerando o custo total por metro quadrado construído, o tempo de execução e a demanda de mão de obra e energia. Em seguida, foram avaliados aspectos ambientais e de sustentabilidade, como o volume de resíduos gerados e o consumo de energia ao longo do processo construtivo, a fim de se obter uma análise mais abrangente da viabilidade de cada tecnologia.

Para o tratamento dos dados, foram utilizados *softwares* de análise estatística como SPSS e Excel, que possibilitaram a análise econômica considerando o custo-benefício, inclusive uma comparação entre o investimento inicial, custos operacionais e de manutenção. Além disto, foram feitos cálculos de cálculo do valor presente de uma série uniforme de pagamentos para a averiguação concreta nos dados adquiridos.

Os critérios de avaliação da viabilidade econômica incluíram o custo por metro quadrado construído, o tempo de execução da obra e os de mão de obra. Estes critérios permitiram um comparativo direto entre o uso de impressoras 3D em concreto e o método tradicional com blocos cerâmicos, destacando as principais vantagens e desvantagens de cada técnica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A viabilidade econômica da implementação de impressoras 3D frente aos métodos tradicionais de construção exige uma análise detalhada de múltiplos fatores como o investimento inicial, a redução de custos operacionais, eficiência no uso de materiais, custos de mão de obra e aspectos normativos. Estes valores podem variar conforme a região e a complexidade do projeto.

4.1.1. Custos de Implementação Inicial

- **Impressoras 3D de grande escala:** O custo das impressoras para construção civil é significativo, incluindo não apenas a máquina, mas também a adaptação do espaço e a infraestrutura para suporte.

- **Equipamentos auxiliares e *software*:** São necessários sistemas especializados para design e planejamento (BIM), além de profissionais treinados para operar e monitorar o processo.

Este investimento inicial costuma ser alto, o que pode dificultar a implementação em grande escala no curto prazo. No entanto, para projetos em larga escala e a longo prazo, a amortização do custo pode se tornar vantajosa.

4.1.2. Redução de Custos Operacionais

- A construção com impressora 3D é **mais rápida** que os métodos tradicionais de alvenaria, o que reduz os custos com mão de obra e tempo de execução.
- **Menos desperdício de material:** A impressão 3D é mais precisa, diminuindo o desperdício de concreto ou outros materiais, o que é um ponto positivo na análise de custos de materiais.

4.1.3. Comparação dos Custos de Mão de Obra

- O método tradicional de alvenaria estrutural envolve uma equipe especializada para a colocação dos blocos e acabamento.
- A construção por impressora 3D exige menos mão de obra direta, mas requer técnicos especializados para operação e manutenção do equipamento, o que pode reduzir o custo com mão de obra em projetos extensos e repetitivos, mas é uma vantagem a ser analisada conforme o tipo de projeto.

4.1.4. Comparação com valores reais

Para fazer uma análise de custo-benefício entre os dois métodos construtivos será considerada a construção de uma casa de 50m², térrea e de padrão econômico.

4.1.4.1. Construção de uma residência de 50m²

4.1.4.1.1. Método Tradicional (Alvenaria Estrutural)

Custos envolvidos:

- **Mão de obra:** Para uma casa de 50m², a equipe pode incluir pedreiros, serventes, mestres de obra etc.
- **Materiais:** Blocos de concreto, argamassa, aço para reforço, cimento e outros insumos.
- **Prazo estimado:** 6 semanas.

TABELA 1 – Valor para uma residência de 50m² método tradicional

Item	Custo por unidade	Quantidade	Custo total estimado
Blocos de concreto	R\$ 4,00 por bloco	1.200 blocos	R\$ 4.800
Cimento	R\$ 50 por saco (50kg)	30 sacos	R\$ 1.500
Areia e brita	R\$ 120 por m ³	5 m ³	R\$ 600
Aço para reforço	R\$ 10 por kg	150 kg	R\$ 1.500
Mão de obra	R\$ 60/m ²	50 m ²	R\$ 3.000
Outras despesas (ferramentas, água, luz)	—	—	R\$ 1.000
Total estimado	—	—	R\$ 12.400

Fonte: Autores, 2024.

4.1.4.1.2. Método com Impressora 3D

Custos envolvidos:

- **Custo do equipamento e insumos:** Geralmente, o uso de impressoras 3D envolve um custo inicial alto, mas ele é diluído ao longo de várias construções.
- **Materiais específicos para impressão 3D:** Concreto especial adaptado para impressão.
- **Prazo estimado:** 1 semana.

TABELA 02 – Valor para uma residência de 50m² método impressão 3D

Item	Custo por unidade	Quantidade	Custo total estimado
Concreto especial para impressão	R\$ 250 por m ³	5 m ³	R\$ 1.250
Equipamento e operação (aluguel)	R\$ 300/m ²	50 m ²	R\$ 15.000
Mão de obra técnica	R\$ 50/m ²	50 m ²	R\$ 2.500
Outras despesas (conectores, acabamento)	—	—	R\$ 1.000
Total estimado	—	—	R\$ 19.750

Fonte: Autores, 2024.

Analisando os dados encontrados, apesar do método por impressão 3D oferecer um prazo de execução muito mais rápido (cerca de 1/4 do tempo do método tradicional), o método tradicional na construção de uma residência de 50m² é economicamente mais viável, quando comparado com o método de impressão 3D.

TABELA 03 – Comparação dos Custos Totais

Método	Custo Total (estimado)	Prazo Estimado
Alvenaria Tradicional	R\$ 12.400	6 a 8 semanas
Impressão 3D	R\$ 19.750	1 a 2 semanas

Fonte: Autores, 2024.

4.1.5. Análise custo-benefício entre os métodos

Para a análise de viabilidade econômica, foi utilizado o cálculo do valor presente de uma série de pagamentos uniforme, conforme descrito por Miranda (2011). Esta abordagem, amplamente empregada em estudos de Engenharia Econômica, permite considerar o efeito do valor do dinheiro no tempo, sendo essencial para avaliar a viabilidade de diferentes alternativas com base no fluxo de caixa descontado. A aplicação deste método possibilita a comparação entre os custos e os benefícios esperados de cada alternativa, seguindo os princípios do custo-benefício, o que fornece uma base sólida para a tomada de decisão em projetos econômicos.

Foi utilizada uma análise comparativa de custo-benefício com base no cálculo do saldo $B-C$, em que:

- B: Benefícios, definidos pela redução dos prejuízos em relação ao outro método.
- C: Custos total de cada projeto.

4.1.5.1. Etapas do cálculo:

4.1.5.1.1. Cálculo dos benefícios (B):

Consideramos um valor de benefício para o método de impressora 3D de R\$ 20.000,00. Este valor foi estimado baseado nos seguintes fatores:

- Redução de tempo de execução: diminuir o prazo reduz custos fixos como aluguel de equipamentos, supervisão e instalações do canteiro.
- Redução de desperdício de materiais: economia de até 30% em materiais com impressão 3D.
- Redução de mão de obra: necessidade da quantidade de trabalhadores necessário no canteiro de obra.
- Menor impacto ambiental (possibilidade de obter incentivos fiscais).
- Diferenciação no mercado, aumentando a atratividade para investidores.
- Maior precisão estrutural, reduzindo gastos futuros com correções.
- Retorno financeiro: possibilidade de ganhos financeiros em aluguéis antecipados, devido a velocidade de finalização.
- Flexibilidade no design: permite a criação de formas complexas e personalizadas que seriam inviáveis ou caras com métodos tradicionais.
- Redução de impactos no canteiro de obras: minimiza poeira, ruídos e entulhos, reduzindo os impactos ambientais e melhorando as condições de trabalho.

4.1.5.1.2. Cálculo dos custos totais (C):

Para avaliação do custo semanal do método da impressora 3D, calculamos quanto se gasta por semana ao longo do tempo de projeto, que nesse caso é de uma semana.

Fórmula Geral:

$$P = A * \frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n * i}$$

Dados fornecidos:

- $P = 19.750$
- $I = 11,25\%$ (taxa Selic em novembro de 2024, necessário converter para taxa semanal)
- $n = 1$ semanas

Passo 1: Converter i para a taxa semanal

A taxa anual é $i = 11,25\% = 0,1125$. Sabendo que um ano possui 52 semanas, a taxa semanal será:

$$i_{semanal} = (1 + i_{anual})^{\frac{1}{52}} - 1$$

$$i_{semanal} = 0,002052$$

Passo 2: Substituir os valores e calcular A:

Reorganizamos a fórmula para encontrar A:

$$A = P * \frac{(1 + i)^n * 1}{(1 + i)^n - 1}$$

$$A = 19.750 * \frac{(1 + 0,002052)^1 * 1}{(1 + 0,002052)^1 - 0,002052}$$

$$A = 19.790,53$$

E para avaliação do custo semanal do método tradicional, calculamos quanto se gasta por semana ao longo do tempo de projeto, que neste caso é de seis semanas.

Fórmula Geral:

$$P = A * \frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n * i}$$

Dados fornecidos:

- $P = 12.400P$
- $I = 11,25\%$ (precisamos converter para taxa semanal)
- $n = 6$ semanas

Passo 1: Converter i para a taxa semanal

A taxa anual é $i=11,25\%=0,1125$. Sabendo que um ano possui 52 semanas, a taxa semanal será:

$$i_{semanal} = (1 + i_{anual})^{\frac{1}{52}} - 1$$

$$i_{semanal} = 0,002052$$

Passo 2: Substituir os valores e calcular A:

Reorganizamos a fórmula para encontrar A:

$$A = P * \frac{(1 + i)^n * 1}{(1 + i)^n - 1}$$

$$A = 12.400 * \frac{(1 + 0,002052)^6 * 1}{(1 + 0,002052)^6 - 0,0022052}$$

$$A = 2.081,54$$

Logo, o custo será:

$$(Método impressora 3D - Método tradicional) = 19.790,53 - 2.081,54 = 17.708,89$$

4.1.5.1.3. Cálculo do saldo (B-C):

Subtrai-se os custos totais (C) dos benefícios (B):

$$B - C = 20.000,00 - 17.708,89 = 2.291,11$$

Sempre que este valor for maior que zero, ou seja positivo, escolhemos o primeiro método (o método descrito no começo da comparação). Neste caso, o método de impressora 3D, então quando $B - C > 0$, escolhemos o primeiro método.

4.1.6. Área em que a Impressão 3D se Torna Viável

Os valores encontrados para a construção, seja ela de 50 m² ou 500 m², baseados nos resultados acima, consideramos o aluguel da impressora 3D. Realizando a análise para a construção, incluindo a substituição do aluguel pela aquisição da impressora a fim de encontrar o *Payback* para recuperar o investimento inicial de compra da impressora.

O preço de uma impressora de grande porte varia de acordo com o fabricante e da complexidade tecnológica. Estimamos o preço de uma impressora de grande porte como aproximadamente R\$ 1,75 milhões.

Necessita-se calcular a área em metros quadrados (m²), em que o custo acumulado do método de impressão 3D (incluindo a compra da máquina) iguala ou se torna inferior ao custo acumulado do método tradicional.

4.1.6.1. Parâmetros do Cálculo

1. **Custo inicial da Impressora 3D:** R\$ 1.750.000.
2. **Custo por metro quadrado da Impressão 3D (sem aluguel):** R\$ 185/m².
3. **Custo por metro quadrado do Método Tradicional:** R\$ 231,20/m².

4.1.6.2. Fórmulas Utilizadas

Para calcular o custo acumulado de cada método à medida que a área construída aumenta:

- **Custo acumulado com Impressão 3D:**

$$\text{Custo acumulado 3D} = \text{Custo inicial} + (\text{Custo por m}^2 \text{ 3D} \times \text{Área})$$

Substituindo os valores:

$$\text{Custo acumulado 3D} = 1.750.000 + (185 \times \text{Área})$$

- **Custo acumulado do Método Tradicional:**

$$\text{Custo acumulado Tradicional} = \text{Custo por m}^2 \text{ Tradicional} \times \text{Área}$$

Substituindo os valores:

$$\text{Custo acumulado Tradicional} = 231,20 \times \text{Área}$$

4.1.6.3. Igualando os Custos para Encontrar o Ponto de *Payback*

Para encontrar o ponto de *payback*, igualamos o custo acumulado dos dois métodos, ou seja:

$$1.750.000 + (185 \times \text{Área}) = 231,20 \times \text{Área}$$

Agora, vamos resolver esta equação para encontrar o valor da "Área" que iguala os custos.

1. Isolando a variável "Área":

$$1.750.000 = (231,20 - 185) \times \text{Área}$$

2. Simplificando a expressão:

$$1.750.000 = 46,20 \times \text{Área}$$

3. Dividindo ambos os lados por 46,20 para encontrar "Área":

$$\text{Área} = \frac{1.750.000}{46,20}$$

Para atingir o *payback* com a compra da impressora 3D seria necessário construir aproximadamente **37.879 m²** de área. Este é o ponto em que o custo acumulado do método de impressão 3D, incluindo o investimento inicial da máquina, se iguala ao custo do método tradicional.

TABELA 4 – Comparação dos Custos com o *Payback*

Descrição	Método Tradicional (Alvenaria)	Método Impressão 3D (com compra da máquina)
Custo fixo por m ²	R\$ 231,20/m ²	R\$ 185/m ²
Investimento inicial	R\$ 0	R\$ 1.750.000
Custo acumulado após 37.879 m ²	R\$ 8.756.600	R\$ 8.756.600
Área de payback aproximada	N/A	37.879 m ²
Observação	Custo constante por m ²	Custo reduzido por m ² sem o aluguel da impressora

Fonte: Autores, 2024.

Portanto, após construir 37.879 m², o investimento inicial da impressora 3D seria totalmente compensado e, a partir deste ponto, a construção com impressão 3D se torna mais econômica em comparação ao método tradicional de alvenaria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método construtivo por impressora 3D já é uma realidade nos países desenvolvidos. No contexto brasileiro, embora o uso dessa tecnologia ainda esteja em estágios iniciais, esse mostra uma possibilidade cada vez mais concreta alinhada ao avanço das inovações tecnológicas no setor.

Com base nos cálculos realizados no estudo, o método tradicional de construção tem melhores resultados competitivos em relação ao método da impressão. No entanto, após a análise comparativa dos resultados, levando em consideração fatores que influenciam diretamente e indiretamente no valor final como custos e benefícios, constatou-se que o método construtivo por impressora 3D é viável economicamente, sendo R\$ 2.291,11 mais econômico. O que faz da impressão 3D um método viável para ser implantado nos campos de obra.

Esta análise é fundamentada no aumento dos benefícios da impressora 3D, como menor necessidade de mão de obra, diminuição do tempo de execução e redução do desperdício de materiais. Além da maior flexibilidade do *design* e antecipação de retorno financeiro por meio de aluguéis ou comercialização mais rápida dos imóveis. Sendo assim, a impressão 3D é uma tecnologia viável para se aplicar na construção civil, mas é preciso se atentar para alguns custos do método que ainda pesam como a necessidade de treinamento especializado, por exemplo, além do alto investimento inicial.

Para estudos futuros, sugerimos ampliar esta análise de viabilidade econômica, com base na técnica custo-benefício, tendo em conta a análise de três a cinco cenários dentre otimistas e pessimistas no que diz respeito a taxa Selic, a fim de retratar cenários de baixa e de alta da taxa básica de juros da economia brasileira.

REFERÊNCIAS

3D PRINTING INDUSTRY. **History of 3D Printing**. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide>. Acesso em: 15 set. 2024.

BOTELHO, Guilherme Ferreira; FOLLA, Marcelo Aparecido; XAVIER, Milton Domingos. **A evolução da manufatura aditiva no meio acadêmico**. *REMIPE - Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec Osasco*, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 24–37, 2022. DOI: 10.21574/remipe.v8i1.367. Disponível em: <http://remipe.fatecosasco.edu.br/index.php/remipe/article/view/367>. Acesso em: 24 out. 2024.

CELERE. **Impressão 3D na construção civil: cenário atual e perspectivas de futuro**. 2018. Disponível em: <https://www.celere.com.br>. Acesso em: 10 out. 2024.

DALLASEGA, Patrick; RAUCH, Erwin; LINDER, Christian. **Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review**. *Computers in Industry*, p. 205-225, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361517305043?via%3Dihub>. Acesso em: 24 out. 2024.

FLORÊNCIO, E. Q. et al. Concreto para uso em impressora 3d e sua utilização na construção de edificações: um estudo prospectivo. **Cadernos de Prospecção**, 2017.

FONSECA, C. M.; FONSECA, S. L. **Impressão 3D como ferramenta de inovação tecnológica em materiais de construção civil**. *Revista Científica SICTI*, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifg.edu.br/sicti/article/view/1378>. Acesso em: 28 out. 2024.

MIRANDA, J. B. de. **Engenharia Econômica**. Palhoça: UnisulVirtual, 2011.

NOGUEIRA, A.; PRADINES, J. **Onde usar materiais reciclados na arquitetura e urbanismo: 8 aplicações possíveis.** *ArchDaily Brasil*, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/943222/onde-usar-materiais-reciclados-na-arquitetura-e-urbanismo-8-aplicacoes-possiveis>. Acesso em: 28 out. 2024.

PORTO, Gabriele de Bonis Patekoski; KADLEC, Thalita Malucelli de Moraes. **Mapeamento de estudos prospectivos de tecnologias na revolução 4.0:** um olhar para a indústria da construção civil. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8115>. Acesso em: 25 out. 2024.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil.** 2016. 92 f. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019793.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

RIBEIRO, F. F.; LIMA, V. A. **Avaliando a sustentabilidade econômica da implementação de impressoras 3D no Brasil.** In: **Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, 2020, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_WPG_346_1779_41448.pdf. Acesso em: 28 out. 2024.

SILVA, Jorge Vicente Lopes da. **A manufatura aditiva (impressão 3D):** desafios e oportunidades para as empresas inovadoras. *Medium*, 2018. Disponível em: <https://medium.com/hist%C3%B3riasweme/a-manufatura-aditiva-impress%C3%A3o-3d-desafios-e-oportunidades-para-as-empresas-inovadoras-19edab646004>. Acesso em: 23 out. 2024.

TAKAGAKI, Luiz Koiti. **Tecnologia de impressão 3D.** *Revista Inovação Tecnológica*, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 28-40, jul./dez. 2012. Disponível em: <http://rit.faculdadeflamingo.com.br/ojs/index.php/rit/article/view/54>. Acesso em: 12 jul. 2017. Um panorama sobre a impressão 3D de concreto. *Revista Fator T*. Disponível em: <https://revistaft.com.br/um-panorama-sobre-a-impressao-3d-de-concreto/>. Acesso em: 28 out. 2024.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D.** 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ni9dDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 23 out. 2024.