

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CIDADE UNIVERSITÁRIA DOM DELGADO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

SILVANO DE JESUS CANTANHEDE DE OLIVEIRA

**A CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D PARA A PROMOÇÃO
DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

São Luís - MA

2026

SILVANO DE JESUS CANTANHEDE DE OLIVEIRA

**A CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D PARA A PROMOÇÃO
DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso II, apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção de nota final visando ao título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar de Oliveira Queiroz

São Luís - MA

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Oliveira, Silvano de Jesus Cantanhede de.

A contribuição da tecnologia de Impressão 3D para a
promoção da sustentabilidade na construção civil / Silvano
de Jesus Cantanhede de Oliveira. - 2026.

39 f.

Orientador(a): Paulo Cesar de Oliveira Queiroz.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2026.

1. Sustentabilidade. 2. Desperdício. 3. Construção.
4. Civil. 5. Impressão3d. I. Queiroz, Paulo Cesar de
Oliveira. II. Título.

SILVANO DE JESUS CANTANHEDE DE OLIVEIRA

**A CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D PARA A PROMOÇÃO
DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Maranhão com
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em : / / .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar de Oliveira Queiroz
Orientador

Prof. Dr. Arthur Coutinho de Araújo Pereira - UFMA
1º Membro Interno

Prof. Brendon Kaur Araújo Oliveira - IFMA
1º Membro Externo

RESUMO

A construção civil é um dos setores que mais contribuem para o desperdício de materiais e para a degradação ambiental, descartando entre 20% e 40% dos insumos utilizados. Diante deste cenário, este estudo tem como objetivo analisar a contribuição da tecnologia de impressão 3D para a promoção da sustentabilidade na construção civil. A metodologia adotada possui abordagem qualitativa, baseando-se em uma revisão sistemática da literatura impressa e online. Os resultados indicam que o uso de polímeros, a exemplo do polipropileno (PP), poliestireno (PS), ácido polilático (PLA) e PETG, na impressão 3D reduz significativamente o desperdício de materiais e possibilita maior precisão na execução das obras. Além disso, a tecnologia favorece a economia circular, proporciona uma redução de custos a longo prazo e minimiza os impactos ambientais da indústria. Conclui-se que a impressão 3D representa não apenas uma inovação técnica viável, mas um avanço efetivo em prol da sustentabilidade, embora ainda seja necessário superar desafios normativos e regulatórios para a sua consolidação no mercado.

Palavras-chave: Construção civil. Sustentabilidade. Impressão 3D. Desperdício de materiais.

Abstract

The construction industry is a major contributor to material waste and environmental degradation, discarding between 20% and 40% of the inputs used. Given this scenario, this study aims to analyze the contribution of 3D printing technology to promoting sustainability in construction. The methodology adopted employs a qualitative approach based on a systematic review of print and online literature. The results indicate that the use of polymers—such as polypropylene (PP), polystyrene (PS), polylactic acid (PLA), and PETG—in 3D printing significantly reduces material waste and enables greater precision during construction. Furthermore, the technology fosters the circular economy, offers long-term cost savings, and minimizes the industry's environmental impact. The study concludes that 3D printing represents not only a viable technical innovation but also a genuine advancement toward sustainability, although regulatory and standards-related challenges must still be overcome for its market consolidation.

Keywords: Civil construction. Sustainability. 3D printing. Material waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparativo do desperdício do método tradicional vs. o método de impressão 3D	9
Figura 2 – Linha de tempo da origem da impressão 3D na construção civil	13
Figura 3 – Tecnologia <i>Contour Crafting</i> e extrusão de concreto	14
Figura 4 – Detalhe da deposição de camadas de mistura cimentícia sem colapso estrutural	15
Figura 5 – Fluxo industrial do método 3DCP.....	17
Figura 6 – Canteiro de obras de impressão 3D evidenciando a ausência de fôrmas e entulhos.....	18
Figura 7 – Matriz técnica de filamentos de polímeros.....	23
Figura 8 - Maquete arquitetônica impressa em 3D utilizando filamento biodegradável (PLA) para análise de possíveis erros na execução da obra.	26
Figura 9 - Fôrma de polímero impressa em 3D, utilizada para concretagem de nós estruturais complexos e projetada para ser derretida e reutilizada.....	27
Figura 10 - Representação esquemática do processo de reciclagem. (a) Remoção da fôrma, (b) limpeza, (c) trituração, (d) regranulação, (e) produção de filamento, (f) impressão 3D.....	28
Figura 11 - Projeto TECLA (Itália): habitação impressa em 3D que utiliza terra local crua e resíduos agrícolas, eliminando, nesse projeto, o uso de cimento e fôrmas.	29
Figura 12 – Seção transversal de uma parede de concreto impressa em 3D, evidenciando o preenchimento geométrico interno que economiza material e melhora o isolamento termoacústico.	33
Figura 13 – Comprovação da redução na geração de resíduos usando a impressão 3D.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo de desperdícios e otimização de custos (Tradicional vs. 3DCP).....	18
Quadro 2 – Principais polímeros convencionais na construção civil e estratégias de mitigação de desperdícios	19
Quadro 3 – Diferenciação técnica de filamentos para impressão 3D na construção civil.....	22
Quadro 4 – Comparativo dos materiais tradicionais vs. impressão 3D	29
Quadro 5 – Matriz Comparativa: Impressão 3D vs. Método Convencional Atual	30
Quadro 6 - Comparação geral entre construção convencional e impressão 3D	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	METODOLOGIA	11
2.1	Tipo de pesquisa.....	11
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	Origem e Evolução da Tecnologia de Impressão 3D	13
3.2	Principais Materiais Utilizados na Construção Estrutural.....	14
3.3	Desvantagens no uso de materiais cimentícios	15
3.4	Custos, Sustentabilidade e Mitigação de Desperdícios utilizando a impressão 3DCP.....	16
3.5	Comparativo de Custos e Desperdícios: Impressão 3D (3DCP) vs. Métodos Tradicionais	18
3.6	Outros materiais poliméricos convencionais e suas aplicações na construção	19
3.7	A transição para filamentos poliméricos na manufatura aditiva (Impressão 3D)	20
3.8	Desperdício de materiais na construção civil de maneira convencional	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1	A impressão 3D dentro da engenharia civil	26
4.1.1	Maquetes e Prototipagem Rápida (Fase de Planejamento)	26
4.1.2	Fôrmas Inteligentes e Complexas (Fase de Execução Indireta)	26
4.1.3	Manufatura Direta de Estruturas (3DCP) – (misturas cimentícias)	28
4.2	Materiais de Baixo Impacto Ambiental	29
4.3	Discussão dos Resultados e Impacto na Sustentabilidade	31
	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias mais importantes para a economia global, mas também é um dos setores que mais contribui para o desperdício de materiais e para a degradação ambiental. De acordo com Formoso *et al.* (2002), estima-se que entre 20% e 40% dos materiais utilizados na construção são desperdiçados durante o processo, o que gera não apenas perdas financeiras, mas também um impacto significativo no meio ambiente. Este cenário foi agravado por práticas tradicionais de construção, que muitas vezes não consideraram a eficiência dos recursos e a sustentabilidade dos materiais utilizados. Diante disso, a introdução de novas tecnologias, como a impressão 3D, emergiu como uma solução potencial para mitigar esses problemas. Segundo Tomaz (2021), a impressão 3D permitiu a produção de estruturas de forma mais precisa e eficiente, possibilitando a utilização integral dos materiais e reduzindo o desperdício que caracterizava os métodos convencionais de construção. Além disso, a capacidade de personalização oferecida por esta tecnologia pode atender à demanda por projetos arquitetônicos diversos, sem a necessidade de produzir sobras excessivas.

Para além da questão do desperdício, a escolha dos materiais utilizados em construções desempenha um papel crucial na busca pela sustentabilidade. Os polímeros, que são amplamente utilizados na impressão 3D, trouxeram características que podem promover uma construção mais sustentável. Segundo Almeida (2020), os polímeros são geralmente mais leves do que os materiais tradicionais, o que pode resultar em redução nos custos de transporte e instalação. Além disso, diversas pesquisas têm explorado a possibilidade de desenvolvimento de polímeros recicláveis e biodegradáveis, que se encaixam nas diretrizes da economia circular, um conceito fundamental para a sustentabilidade na construção civil. O uso desses materiais pode não apenas reduzir a pegada de carbono da produção da construção, mas também minimizar o impacto dos resíduos ao final da vida útil das estruturas. Gomes e Oliveira (2019) argumentam que a integração de soluções inovadoras, como a impressão 3D, poderia representar uma verdadeira revolução no setor, fazendo com que práticas sustentáveis fossem não apenas desejáveis, mas viáveis economicamente.

No entanto, apesar das promessas que a tecnologia de impressão 3D apresenta, ainda existem desafios a serem superados para sua adoção generalizada na construção civil. É necessário que haja um engajamento maior de todos os agentes

envolvidos na cadeia produtiva, desde arquitetos até empreiteiras, na busca por uma mudança de paradigma. Ferreira *et al.* (2020) ressaltam que as práticas ecológicas, quando aliadas a inovações tecnológicas, podem criar um ambiente propício para cidades mais sustentáveis. Nesse sentido, são fundamentais investigações e desenvolvimentos que comprovem a viabilidade econômica da impressão 3D em comparação às técnicas tradicionais. Embora a impressão 3D apresente um grande potencial para transformar a construção civil, ainda são indispensáveis políticas públicas e incentivos que estimulem seu uso, bem como a capacitação de profissionais que estejam prontos para adaptar-se a essas novas práticas. Navegando entre desafios e oportunidades, a tecnologia de impressão 3D pode estabelecer um novo padrão de sustentabilidade e eficiência na construção civil, contribuindo para a redução do desperdício de materiais e promovendo, assim, um futuro mais verde e sustentável para o setor (Santos, 2022).

A importância do estudo sobre a contribuição da tecnologia de impressão 3D para a promoção da sustentabilidade na construção civil configura-se em um contexto em que o setor enfrenta desafios ambientais urgentes. A construção civil é responsável por uma parte significativa da geração de resíduos e do consumo de recursos naturais, contribuindo para a degradação ambiental em escala global. O desperdício de materiais utilizados em obras foi amplamente abordado na literatura recente (Costa, 2019; Formoso *et al.*, 2002; Gomes; Oliveira, 2019). E nesse cenário, a impressão 3D desponta como uma inovação promissora, capaz de transformar práticas tradicionais, possibilitando uma construção mais eficiente e menos impactante. Como visto na Figura 1, o presente estudo propõe-se a investigar o papel dessa tecnologia como uma solução viável que não apenas mitiga o desperdício, mas também integra conceitos de sustentabilidade, propiciando uma replicação de práticas construtivas com menor pegada ecológica (Silva; Mendes, 2020).

Além da redução do desperdício, a impressão 3D oferece vantagens significativas em termos de eficiência no uso de materiais e personalização no design arquitetônico. A tecnologia possibilitou a produção de componentes complexos com menor necessidade de ajustes ou recursos adicionais, reduzindo o que chamamos de "excesso construtivo". Como abordado em diversas literaturas recentes, essa visão não apenas permitiu um melhor aproveitamento dos insumos, mas também favoreceu um uso mais consciente e criterioso dos recursos. Com a utilização de polímeros, os

materiais podem ser recicláveis e projetados para uma vida útil maior, contribuindo para um ciclo de vida mais longo e sustentável dos edifícios. Isso é especialmente relevante em um contexto onde as exigências por construções verdes e certificações ambientais tornaram-se cada vez mais relevantes para investidores e consumidores (Santos, 2022; Andrade, 2018; Silva; Mendes, 2020; Ferreira *et al.*, 2020).

Figura 1 – Comparativo do desperdício do método tradicional vs. o método de impressão 3D



Fonte: Gerada por Gemini (NotebookLM) em 09 jul. 2026. Adaptado de Silva; Mendes (2020).

Como parte deste estudo, a origem da impressão 3D na construção civil passa pelo uso de outros materiais além de polímeros, tais como, mistura cimentícia (concreto) e terra crua. A fim de enriquecer o conhecimento dos tipos de tecnologia em impressão 3D existentes e sendo um comparativo em relação às técnicas convencionais existentes. Daí, um estudo do uso da tecnologia 3DCP usadas com a técnica de extrusão e sua relevância para a sustentabilidade na construção civil.

Outro aspecto de relevância que compõe a importância deste estudo é a necessidade de integração entre inovação tecnológica e práticas sustentáveis nas cidades, um tema cada vez mais discutido na literatura acadêmica. O conceito de “cidades sustentáveis” ganhou destaque quando se considerou a emergência de soluções adequadas para lidar com a urbanização crescente e seus desafios. A utilização da impressão 3D não apenas promove eficiência e sustentabilidade na construção de edificações, mas também poderia fomentar a revitalização econômica de áreas afetadas pela degradação ambiental (Machado, 2022). Este estudo, ao explorar as potencialidades da impressão 3D no contexto da construção civil,

reconheceu que a inovação tecnológica pode contribuir diretamente para a resiliência das cidades e para a construção de um futuro mais equilibrado. Portanto, compreender e difundir esse conhecimento é crucial para o avanço não apenas da construção civil, mas também das práticas urbanas sustentáveis como um todo (Gomes; Oliveira, 2019).

2 METODOLOGIA

Na seção de metodologia deste estudo propõe-se delinear os processos adotados para a análise da contribuição da tecnologia de impressão 3D na promoção da sustentabilidade na construção civil. Para isso, a pesquisa adotou um enfoque qualitativo, que buscou compreender de maneira profunda como essa tecnologia pode impactar práticas construtivas, evitando excessos e promovendo soluções mais ecológicas. O método escolhido se alinha com os objetivos do trabalho, que visam investigar e avaliar as potencialidades e limitações da impressão 3D em projetos de construção (Tomaz, 2021).

A coleta de dados foi realizada por meio de uma revisão sistemática da literatura e de relatórios técnicos *online*. Essa abordagem permitiu compilar e analisar estudos existentes sobre a impressão 3D e seu impacto em práticas de sustentabilidade na construção civil. A revisão incluiu artigos acadêmicos, livros e relatórios técnicos recentes que abordaram o tema (Silva; Mendes, 2020).

A partir da análise da literatura, foi possível identificar variáveis-chave e indicadores que evidenciaram a relação entre a impressão 3D e a sustentabilidade. A investigação buscou compreender como a redução do desperdício de materiais, obtida por meio de *design* digital e processos de impressão sob demanda, pode transformar as dinâmicas de produção na construção civil. Essas variáveis incluíram fatores como eficiência no uso de recursos e a diminuição da geração de resíduos (Andrade, 2018).

Além da revisão da literatura, diversos outros meios, tais como notícias em sites especializados, enriqueceram o trabalho. Isso proporcionou uma visão prática e atualizada sobre a implementação da impressão 3D (Machado, 2022).

2.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa em questão adotou um tipo de abordagem qualitativa, uma vez que se propôs a compreender as nuances e implicações da tecnologia de impressão 3D na construção civil. A utilização desse tipo de pesquisa se justificou pela necessidade de explorar como essa tecnologia pode promover a sustentabilidade, analisando suas vantagens e limitações (Silva; Mendes, 2020).

Para isso, a metodologia contemplou uma revisão sistemática da literatura e de

relatórios técnicos *online*, que visou compilar e avaliar estudos anteriores sobre a impressão 3D e suas manifestações na construção civil. Este levantamento foi crucial para fundamentar teoricamente a pesquisa, identificando lacunas e tendências que evidenciam a relação entre essa tecnologia e práticas sustentáveis (Costa, 2019). A revisão foi pautada em publicações recentes, focando em artigos científicos, livros, e relatórios técnicos relevantes *online* na área.

A combinação das duas estratégias metodológicas – revisão da literatura e relatórios técnicos *online* – possibilitou a identificação de variáveis-chave que conectam a impressão 3D à redução do desperdício de materiais. Assim, espera-se que a pesquisa contribua para o reconhecimento das práticas construtivas mais sustentáveis, promovendo uma reflexão crítica sobre o futuro do setor (Almeida, 2020). Através desse processo, a pesquisa pode elucidar os desafios e oportunidades que a impressora 3D trouxe para o mundo da construção civil.

Em síntese, o tipo de pesquisa escolhido permitiu não apenas a construção de um arcabouço teórico sólido, mas também uma visão mais prática vindo das publicações atuais online. A suma intenção foi aprofundar a discussão sobre a impressão 3D, oferecendo subsídios para uma construção mais sustentável e alinhada com as exigências ambientais contemporâneas (Navarro, 2021; Santos, 2022).

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura é uma etapa fundamental em um estudo acadêmico, pois proporciona uma visão abrangente das contribuições e dos desafios que envolvem o tema investigado. No contexto da adoção da manufatura aditiva (impressão 3D) baseada em matrizes poliméricas, é fundamental abordar a origem e a evolução dessa tecnologia, bem como investigar o comportamento dos materiais convencionais frente aos passivos ambientais e como as metodologias emergentes propõem a mitigação desses gargalos. O setor, historicamente marcado pela extração intensiva de recursos naturais, encontra na transição de processos subtrativos para aditivos uma oportunidade de otimização geométrica e eficiência ecológica (Machado, 2022; Silva; Mendes, 2020).

3.1 Origem e Evolução da Tecnologia de Impressão 3D

Para iniciar, analisar a trajetória histórica e as perspectivas futuras, a impressão 3D é importante para este estudo.

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, teve sua origem na década de 1980, quando Charles Hull patenteou o processo de estereolitografia (SLA) em 1984. Nas décadas seguintes, surgiram outras técnicas consolidadas, como a Modelagem por Fusão e Deposição (FDM). Inicialmente voltada de forma quase exclusiva para a prototipagem rápida nas indústrias automotiva e aeroespacial, a tecnologia expandiu rapidamente seu horizonte de aplicações (Machado, 2022) (Figura 2).

Figura 2 – Linha de tempo da origem da impressão 3D na construção civil



Fonte: Gerada por Gemini (NotebookLM) em 09 jul. 2026. Adaptado de Machado, 2022.

Na construção civil, o grande marco teórico e prático ocorreu no final da década de 1990 e início dos anos 2000, com o desenvolvimento da tecnologia *Contour Crafting* pelo professor Behrokh Khoshnevis. Essa inovação adaptou o conceito de extrusão de polímeros para o uso de pastas cimentícias, utilizando pórticos cartesianos automatizados (Machado, 2022) (Figura 3).

Figura 3 – Tecnologia *Contour Crafting* e extrusão de concreto



Fonte: Gerada por Gemini (NotebookLM) em 09 jul. 2026. Adaptado de Khoshnevis (2004, p. 10). Disponível em: <https://www.instagram.com/reels/DW4op7dj4Wd/>

Desde então, empresas pioneiras elevaram a tecnologia, passando da impressão de componentes isolados para a execução de habitações completas, demonstrando viabilidade inclusive para moradias de interesse social.

3.2 Principais Materiais Utilizados na Construção Estrutural

A diversificação de materiais é um dos pilares da manufatura aditiva. A construção civil exige propriedades mecânicas e reológicas bastante específicas, conforme ilustra o comportamento do material logo após a deposição, demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Detalhe da deposição de camadas de mistura cimentícia sem colapso estrutural



Fonte: Adaptado de Souza e Machado (2022, p. 45). Disponível em: <https://thumbs.dreamstime.com/b/textura-resultante-da-impress%C3%A3o-em-d-no-setor-constru%C3%A7%C3%A3o-camadas-de-cimento-formada-por-tecnologia-cada-camada-apresenta-uma-381482327.jpg?w=992>

- **Misturas Cimentícias (Concretos e Argamassas):** São os materiais base da técnica de *3D Concrete Printing* (3DCP). Exigem uma reologia rigorosa que garanta fluidez para a extrusão contínua (*extrudability*) e, simultaneamente, capacidade de suporte (*buildability*).
- **Geopolímeros e Materiais Naturais:** Com foco em sustentabilidade, os concretos geopoliméricos (que utilizam cinzas volantes e escória) e misturas à base de terra crua visam construções com pegada de carbono quase nula.

A deposição em camadas de argamassas e concretos (*3D Concrete Printing* - 3DCP) alinha-se melhor à tradição construtiva. Contudo, a supressão das fôrmas convencionais impõe uma complexidade reológica e estrutural sem precedentes no estado fresco e endurecido do material (Bos *et al.*, 2016).

3.3 Desvantagens no uso de materiais cimentícios

Nem tudo na impressão 3D usando materiais cimentícios pode ser considerado apenas vantajoso, por isso esse método enfrenta ainda alguns impecílios para uma implantação confortável no âmbito da construção civil.

- **O Paradoxo Reológico (Extrudabilidade vs. Construtibilidade):** O compósito cimentício exige um controle tixotrópico rigoroso. Deve apresentar fluidez e baixa tensão de escoamento para ser bombeado e extrudado sem causar obstrução no bico (*extrudability*), porém necessita de um ganho de resistência inicial quase instantâneo para suportar o peso das camadas subsequentes sem colapso plástico (*buildability*) (Le *et al.*, 2012).

- **Anisotropia Mecânica e Juntas Frias:** Ao contrário do concreto moldado *in loco* (isotrópico), o concreto impresso exibe comportamento ortotrópico ou anisotrópico. A interface entre as camadas sucessivas constitui o elo mais fraco da matriz, resultando em deficiência na resistência à tração e ao cisalhamento interlamelar (*interlayer bond*), o que torna a estrutura altamente vulnerável a esforços laterais, como ações do vento e sismos (Bos *et al.*, 2016; Tay *et al.*, 2017).
- **Ausência de Reforço Contínuo (Armaduras):** O concreto é um material de natureza frágil à tração. A integração de armaduras de aço de forma automatizada e síncrona ao processo de extrusão contínua permanece como a principal lacuna tecnológica da área. Soluções atuais, como inserção de microfibras ou colocação manual de vergalhões em vazios impressos, ainda não substituem a eficiência das armaduras estruturais convencionais (Mechtcherine *et al.*, 2021).
- **Elevada Retração e Fissuração:** Para garantir o fluxo através das bombas e bicos de impressão, a dosagem geométrica das misturas cimentícias para 3DCP frequentemente exclui agregados graúdos (brita) e utiliza elevados teores de aglomerantes e fílers. Este excesso de pasta acentua drasticamente a retração autogêna e por secagem, favorecendo o surgimento precoce de fissuras que comprometem a durabilidade e a estética da estrutura (Le *et al.*, 2012).
- **Sensibilidade às Condições Termo-Higrométricas:** A ausência de fôrmas priva o concreto fresco de sua proteção primária. Consequentemente, o processo de cura é severamente afetado pelas condições ambientais locais (temperatura, umidade relativa e velocidade do vento), podendo induzir à perda de umidade prematura, plastificação excessiva ou colapso estrutural durante a impressão (Buswell *et al.*, 2018).

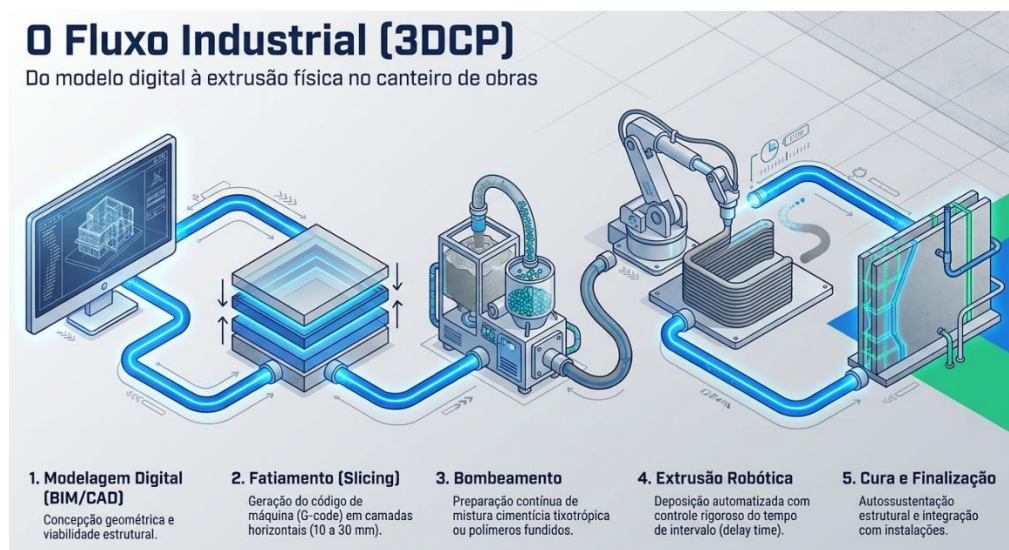
3.4 Custos, Sustentabilidade e Mitigação de Desperdícios utilizando a impressão 3DCP

A seguir, é importante contextualizar a relação entre a construção civil e a sustentabilidade. A pesquisa aponta que essa indústria é uma das principais responsáveis pela geração de resíduos e pelo uso intensivo de recursos naturais. A

construção civil tradicional é notória por ser uma das maiores geradoras de resíduos sólidos da construção civil (RCC), muitas vezes desperdiçando em média 30% dos materiais adquiridos (Costa, 2019; Formoso *et al*, 2002).

Para ilustrar o processo e fluxo do modelo industrial 3DCP, a Figura 5 mostra esse fluxo de forma clara e bem concisa.

Figura 5 – Fluxo industrial do método 3DCP



Fonte: Gerada por Gemini (NotebookLM) em 09 jul. 2026. Adaptado de Silva, 2020.

Assim, o surgimento de tecnologias como a impressão 3D promete uma mudança significativa nos paradigmas tradicionais de construção, possibilitando não apenas a redução do desperdício, mas também a otimização de processos, resultando em edificações mais sustentáveis e eficientes (Silva; Mendes, 2020; Santos, 2022; Andrade, 2018).

A impressão 3D atua diretamente na raiz desse problema. Por ser uma tecnologia aditiva, o material é depositado apenas onde exigido pelo modelo digital (Figura 6). Isso garante índices de desperdício próximos ao mínimo aceitável (Silva, 2023)

Figura 6 – Canteiro de obras de impressão 3D evidenciando a ausência de fôrmas e entulhos



Fonte: Adaptado de Silva (2023, p. 22).

A dispensa das fôrmas de madeira (que chegam a representar de 20% a 40% do custo estrutural tradicional) elimina um dos maiores geradores de resíduos e custos operacionais. Adicionalmente, a automação drástica diminui a necessidade de grandes equipes, aumentando a segurança no canteiro (Formoso *et al.*, 2002).

3.5 Comparativo de Custos e Desperdícios: Impressão 3D (3DCP) vs. Métodos Tradicionais

Para evidenciar a sustentabilidade econômica e ambiental, como forma comparativa entre os métodos tradicional e a técnica 3DCP, o Quadro 1 apresenta esse comparativo de impactos ambiental e econômico.

Quadro 1 – Comparativo de desperdícios e otimização de custos (Tradicional vs. 3DCP)

Fator de Custo/Desperdício	Construção Convencional	Impressão 3D (3DCP)	Impacto na Sustentabilidade e Economia
Índice de Perda de Material	Alto (5% a 20%).	Baixo (inferior a 2%).	Elimina a "taxa de perda" no orçamento, usando apenas o volume estritamente necessário.
Uso de Fôrmas	Obrigatório (alto	Desnecessário.	Zera o descarte de

	custo).		madeira e elimina transporte de caçambas de entulho.
Retrabalho (Quebras)	Constante para instalações.	Nulo.	A máquina já projeta os vãos para os dutos MEP, eliminando quebras.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.6 Outros materiais poliméricos convencionais e suas aplicações na construção

Os polímeros desempenham um papel crucial na construção civil, devido à sua versatilidade e propriedades específicas que atendem a uma variedade de aplicações. Os materiais poliméricos, como o poliestireno, o poliuretano e o policarbonato, são amplamente utilizados pela sua resistência, leveza e capacidade de moldagem (Andrade, 2018). Contudo, a aplicação desses materiais por meio de métodos convencionais (corte e adaptação *in loco*) resulta em perdas significativas. Apesar disso, suas propriedades os tornam adequados para a produção de componentes estruturais, acabamentos e elementos decorativos.

Para compreender o impacto e as estratégias de contenção de desperdícios no modelo tradicional, o Quadro 2 sistematiza os principais polímeros utilizados comercialmente, suas aplicações diretas e as táticas de gestão necessárias.

Quadro 2 – Principais polímeros convencionais na construção civil e estratégias de mitigação de desperdícios

Tipo de Polímero	Aplicação Principal na Construção Civil	Estratégia Prática para Redução de Desperdícios
PVC (Policloreto de Vinila)	Tubulações hidráulicas, conduítes elétricos, esquadrias e forros.	Paginação rigorosa e cortes otimizados via modelagem BIM. Encaminhamento de sobras de tubos para usinas de reciclagem.
EPS (Poliestireno Expandido)	Nivelamento de lajes, blocos de fundação leve e isolamento térmico.	Exigência de fornecimento de blocos pré-cortados na medida do projeto, evitando o corte manual no canteiro.
PU (Poliuretano)	Espumas expansivas para selagem, impermeabilização e isolamento acústico.	Treinamento da mão de obra para aplicação precisa (evitando superdimensionamento) e armazenamento adequado dos cilindros.

PET (Politereftalato de Etileno)	Fibras de reforço em matrizes de concreto (para evitar fissuração).	Priorização da compra de fibras PET de origem 100% reciclada (pós-consumo), promovendo a economia circular.
---	---	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em (Mano; Mendes, 2004) e Karpinski *et al.* (2009).

Como demonstrado no Quadro 2, a redução do desperdício de polímeros na forma comercial exige forte controle logístico e adoção de softwares de gestão, evidenciando que a perda está associada ao processo de adaptação do material no canteiro (Agrawal *et al.*, 2011).

3.7 A transição para filamentos poliméricos na manufatura aditiva (Impressão 3D)

A impressão 3D desses materiais não apenas agiliza o processo de fabricação, mas também facilita a customização de projetos, permitindo atender às necessidades específicas de cada construção (Machado, 2022).

A evolução das matrizes poliméricas no setor converge, atualmente, para a fabricação digital. Ao migrar das peças padronizadas para a impressão 3D por extrusão (FDM/FFF), o controle do desperdício deixa de ser reativo e passa a ser preditivo (Volpato, 2017). Na manufatura aditiva, deposita-se apenas a quantidade exata de material exigida pelo arranjo estrutural (*zero waste*).

Ademais, a utilização de polímeros na impressão 3D pode contribuir para a redução de desperdícios, uma vez que a tecnologia permite a deposição precisa de material somente onde é necessário. O desperdício de insumos na construção civil e suas tentativas de redução foram tratadas pela literatura vigente amplamente (Costa, 2019; Formoso *et al.*, 2002; Tomaz, 2021; Almeida, 2020). Ao adotar a impressão 3D, é possível minimizar essa perda, efetivamente tornando a construção mais ecológica e econômica. Assim, a tecnologia não apenas melhora a eficiência, mas também propõe um novo paradigma sustentável.

Outra vantagem dos polímeros é sua capacidade de serem formulados para apresentar propriedades específicas que podem ser ajustadas de acordo com a aplicação desejada. Por exemplo, polímeros reciclados ou biodegradáveis estão ganhando destaque na indústria devido à crescente preocupação ambiental. Almeida (2020) observa que a evolução dos materiais poliméricos permite que aqueles que apresentam características inovadoras sejam utilizados em impressoras 3D,

ampliando as possibilidades de construção sustentável.

Entretanto, apesar das vantagens significativas, a implementação de polímeros na impressão 3D enfrenta desafios. Além das barreiras tecnológicas, há aspectos regulatórios e culturais que precisam ser considerados. Santos (2022) enfatiza que a aceitação de novos materiais e processos pela comunidade da construção civil pode ser lenta, exigindo educação dos profissionais do setor e confiança nas novas práticas. A superação desses desafios é essencial para que a impressão 3D de polímeros ganhe espaço na construção.

Não obstante, a sua aplicação estrutural é mitigada por fatores mecânicos e ambientais críticos (Ngo *et al.*, 2018).

- **Vulnerabilidade Térmica e Inflamabilidade:** Em contraste com os materiais tradicionais, os polímeros apresentam baixa estabilidade térmica. A necessidade de atender aos rigorosos códigos de segurança contra incêndio (Eurocódigos ou normas da ABNT, por exemplo) exige a incorporação de aditivos retardantes de chama, os quais podem alterar a viscosidade do material e comprometer o processo de extrusão (Ngo *et al.*, 2018).
- **Comportamento Viscoelástico e Fluência (*Creep*):** Estruturas poliméricas são altamente suscetíveis à fluência sob solicitações de carga permanente (como o peso próprio e cargas acidentais de longa duração). Essa deformação contínua ao longo do tempo inviabiliza a previsibilidade exigida no cálculo estrutural de edificações de múltiplos pavimentos (Tay *et al.*, 2017).
- **Degradação por Intemperismo (Fotodegradação UV):** A exposição contínua à radiação ultravioleta e às oscilações térmicas promove a cisão das cadeias macromoleculares dos polímeros. Tal fenômeno resulta na perda progressiva de tenacidade, tornando o material quebradiço e exigindo manutenção frequente com revestimentos protetores contra intempéries.
- **Inviabilidade Econômica em Larga Escala:** O custo unitário de polímeros com grau de engenharia, capazes de satisfazer os requisitos de resistência mecânica para a construção civil, é substancialmente superior ao dos compósitos tradicionais, tornando o uso volumétrico economicamente proibitivo para estruturas primárias.

Em suma, os polímeros têm um papel central na transformação da construção civil em direção à sustentabilidade. A capacidade de reduzir desperdícios e se adaptar a novas demandas através da impressão 3D torna essa tecnologia uma solução

promissora (Almeida, 2020; Ferreira *et al.*, 2020). O futuro do setor pode ser fortemente influenciado por inovações que favoreçam a economia circular e a utilização responsável dos recursos, orientando o desenvolvimento de construções mais comprometidas com o meio ambiente e a eficiência (Navarro, 2021).

Entretanto, para que a sustentabilidade seja garantida, a escolha do filamento deve ser adequada às solicitações mecânicas e ambientais da obra. O Quadro 3 apresenta um comparativo técnico dos principais filamentos poliméricos estudados para aplicações construtivas e como eles contribuem para a economia de recursos.

Quadro 3 – Diferenciação técnica de filamentos para impressão 3D na construção civil

Tipo de Filamento	Propriedades Técnicas	Aplicação na Construção Civil	Contribuição para a Sustentabilidade
PLA (Ácido Polilático)	Origem biológica, baixa retração térmica (<i>warping</i>) e elevada rigidez.	Fôrmas temporárias complexas para concreto e maquetes físicas.	Por ser biodegradável e de fácil impressão, minimiza descartes por erros e permite a moagem/reutilização local.
PETG (Polietileno Tereftalato Glicolizado)	Alta resistência a intempéries, estabilidade térmica e resistência ao impacto.	Elementos de fachada, cobogós e componentes expostos ao tempo.	Permite a formulação a partir de garrafas PET recicladas, garantindo logística reversa e economia circular efetiva.
ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno)	Elevada tenacidade e resistência térmica superior.	Conectores estruturais modulares e fôrmas permanentes.	Exige controle de <i>warping</i> ; a redução de perdas se dá pela aderência correta e reprocessamento mecânico.
TPU (Poliuretano Termoplástico)	Excelente memória elástica, flexibilidade e amortecimento de vibrações.	Juntas de dilatação customizadas e coxins de isolamento acústico.	Impressão na geometria exata do vão, eliminando totalmente as sobras oriundas do corte manual de mantas tradicionais.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Santos e Lima (2023) e Souza e Silva (2023).

O Quadro 3 deixa claro que a impressão 3D altera a natureza do resíduo na construção. O foco passa a ser o aperfeiçoamento do fatiamento digital (*slicing*) e a formulação de novos compósitos com resíduos de construção civil e demolição (RCD), integrando definitivamente a engenharia de materiais aos princípios de uma economia de baixo carbono (Souza; Silva, 2023).

E continuando, a literatura aponta que os polímeros, quando utilizados na

impressão 3D, apresentam vantagens relevantes no que diz respeito à leveza e à versatilidade, características que podem contribuir para a eficiência energética e a redução de emissões de carbono durante a construção (Figura 7). Tais atributos não apenas possibilitam a exploração de novas formas arquitetônicas, mas também favorecem a redução da quantidade de material necessário, impactando diretamente na sustentabilidade do processo construtivo (Almeida, 2020; Navarro, 2021).

Figura 7 – Matriz técnica de filamentos de polímeros



Fonte: Gerada por Gemini (NotebookLM) em 09 jul. 2026. Adaptado de Navarro, 2021.

Outro aspecto que deve ser considerado na revisão de literatura é a questão dos desafios associados à adoção da impressão 3D de polímeros. Embora existam oportunidades significativas, a implementação dessa tecnologia enfrenta barreiras associadas à regulamentação, à capacitação dos profissionais e à aceitação por parte do mercado (Ferreira *et al.*, 2020). Esses obstáculos necessitam de atenção especial, visto que o avanço sustentável na construção civil depende não apenas da inovação tecnológica, mas também da harmonização com as práticas já estabelecidas.

Por fim, a pesquisa sobre a impressão 3D de polímeros e sua contribuição para a sustentabilidade na construção civil evidencia a necessidade de um olhar crítico e amplo sobre o tema. A literatura atual já traz subsídios importantes que corroboram a hipótese de que essa tecnologia pode ser um caminho viável para promover práticas construtivas mais sustentáveis (Almeida, 2020; Tomaz, 2021). Assim, a continuidade

das discussões nesse campo se torna fundamental para a formação de um futuro mais equilibrado e responsável em relação ao meio ambiente.

3.8 Desperdício de materiais na construção civil de maneira convencional

O desperdício de materiais é uma questão crítica na construção civil, com implicações profundas tanto econômicas quanto ambientais. Como já discutido anteriormente neste estudo e amplamente explorado na literatura vigente, o desperdício de insumos e materiais da construção varia entre 20% e 40%. Além disso, esse desperdício não apenas demanda uma gestão financeira ineficiente, mas também contribui para a degradação do solo e consumo excessivo de recursos naturais. Portanto, a redução do desperdício de materiais é um imperativo para a promoção da sustentabilidade nesta indústria (Costa, 2019; Formoso *et al*, 2002).

Para mitigar esse cenário, a literatura aponta para a adoção de filosofias de gestão como a *Lean Construction* (Construção Enxuta), que visa a eliminação de atividades e materiais que não agregam valor ao produto final (Almeida; Picchi, 2018). É sob a ótica da racionalização de recursos que as novas tecnologias de manufatura são avaliadas, buscando eliminar o superdimensionamento e os descartes prematuros (Costa, 2019).

A tecnologia de impressão 3D apresenta-se como uma solução inovadora para mitigar os altos níveis de desperdício na construção civil. Esse método permite a criação de estruturas complexas diretamente a partir de modelos digitais, utilizando apenas a quantidade exata de material necessário para cada peça. Com essa abordagem, é possível desenvolver componentes arquitetônicos que utilizam menos recursos e minimizam o excedente que normalmente seria gerado nas técnicas tradicionais de construção. Ao empregar a impressão 3D, o setor pode obter uma significativa redução nos resíduos e promover práticas mais sustentáveis (Silva; Mendes, 2020; Andrade, 2018).

Além disso, a impressão 3D possibilita o uso de materiais poliméricos recicláveis e biodegradáveis, que muitas vezes apresentam propriedades semelhantes ou até superiores aos materiais convencionais, como o concreto e o aço (Almeida, 2020). A adaptação e inovação trazidas pelos polímeros na impressão 3D não apenas aumentam a eficiência dos processos construtivos, mas também colocam em evidência a importância do conceito de economia circular. Esta última

busca integrar processos de recuperação, reutilização e reciclagem dentro do ciclo de vida dos materiais utilizados na construção.

Contudo, a implementação da impressão 3D no setor da construção civil ainda enfrenta desafios consideráveis. A transição para práticas mais sustentáveis requer um esforço conjunto de todos os atores envolvidos, incluindo governantes, empresas e a academia, para garantir que os benefícios dessa tecnologia possam ser plenamente aproveitados (Navarro, 2021).

Em conclusão, a redução do desperdício de materiais é um dos principais pilares para a sustentabilidade na construção civil. A impressão 3D se mostra promissora nesse contexto, não apenas pela diminuição da quantidade de resíduos gerados, mas também pela possibilidade de uso sustentável de novos materiais. Em um cenário de crescente demanda por soluções ecológicas, a combinação de inovação tecnológica e uma gestão consciente dos recursos pode definir um novo padrão para a construção civil do futuro (Tomaz, 2021; Gomes; Oliveira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

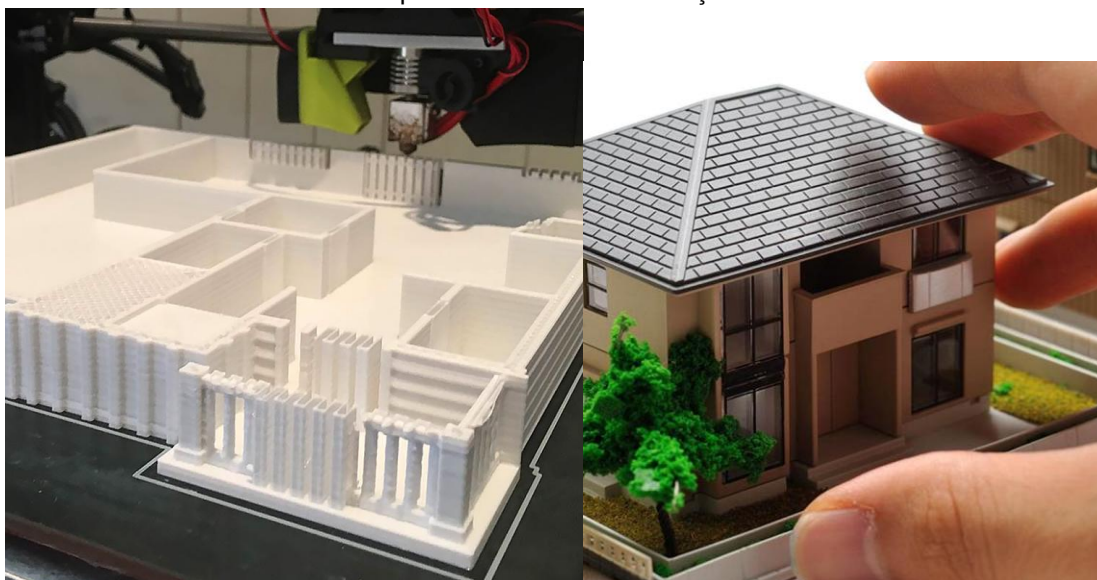
A sustentabilidade atrelada à impressão 3D manifesta-se em pelo menos três frentes distintas dentro da engenharia civil: nas maquetes de planejamento, nas fôrmas inteligentes e na impressão direta de estruturas.

4.1 A impressão 3D dentro da engenharia civil

4.1.1 Maquetes e Prototipagem Rápida (Fase de Planejamento)

Antes da execução, o uso de impressoras de fusão de termoplásticos (FDM) para a criação de maquetes físicas e protótipos de nós estruturais diminui o retrabalho em obra. Em vez de usar madeira balsa, papelão ou plásticos mistos que vão para o lixo, a prototipagem 3D utiliza o PLA (Ácido Polilático), um biopolímero compostável derivado de fontes renováveis como o milho e a cana-de-açúcar. Na Figura 8, a imagem mostra uma vista espacial (maquete) que procura minimizar os erros de compatibilização que, na obra, resultariam em quebras e desperdício de concreto.

Figura 8 - Maquete arquitetônica impressa em 3D utilizando filamento biodegradável (PLA) para análise de possíveis erros na execução da obra.



Fonte: Disponível em: <https://www.facil3d.com.br/impressao-3d-maquetes>

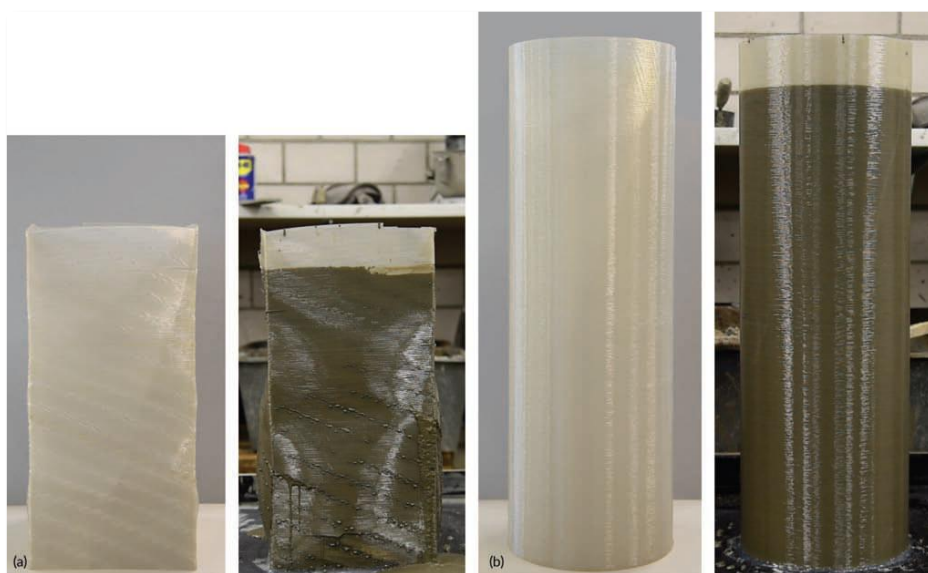
4.1.2 Fôrmas Inteligentes e Complexas (Fase de Execução Indireta)

Um dos maiores avanços recentes é o uso da impressão 3D para fabricar

fôrmas para a concretagem tradicional. A fôrma de madeira é um dos itens menos sustentáveis da obra: tem baixa taxa de reaproveitamento, perde suas propriedades rapidamente e gera grande volume de entulho.

Por meio da impressão 3D de polímeros recicláveis ou espumas industriais, é possível criar fôrmas com geometrias complexas (otimização topológica). Após a cura do concreto, essa fôrma polimérica pode ser removida, derretida ou triturada e reimpressa para a próxima obra, criando um ciclo de sustentabilidade com reaproveitamento do material em quase sua totalidade (Jipa; Dibucci, 2023).

Figura 9 - Fôrma de polímero impressa em 3D, utilizada para concretagem de nós estruturais complexos e projetada para ser derretida e reutilizada.

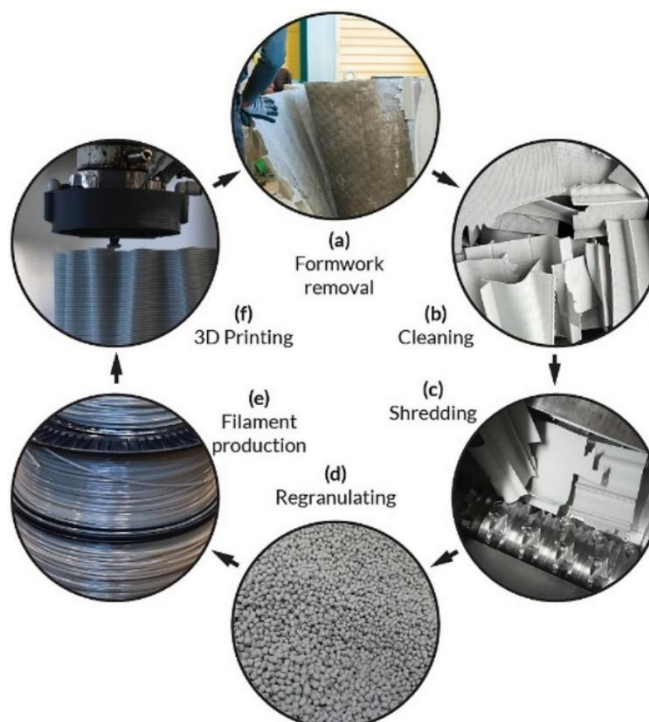


Fonte: Jipa e Dibucci (2023). Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24751448.2023.2245724>

Na Figura 9, a imagem da esquerda mostra a fôrma impressa, enquanto a da direita mostra a fôrma durante a fundição, momentos antes da cura.

Para ilustrar o conceito de reciclagem dessas fôrmas, a Figura 10 apresenta esse processo.

Figura 10 - Representação esquemática do processo de reciclagem. (a) Remoção da fôrma, (b) limpeza, (c) trituração, (d) regranulação, (e) produção de filamento, (f) impressão 3D.



Fonte: Adaptado de (Burger *et al*, 2023). Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/24751448.2023.2245724>

4.1.3 Manufatura Direta de Estruturas (3DCP) – (misturas cimentícias)

Para este estudo, esta técnica foi usada para um comparativo tecnológico e como forma de conhecimento das outras formas de uso da impressão 3D na construção civil. A aplicação mais direta desta técnica está na extrusão de misturas cimentícias ou naturais (3D *Concrete Printing* - 3DCP). Aqui, o desperdício de material de construção pesado (areia, cimento, brita) é eliminado, pois a fôrma deixa de existir. Além disso, o preenchimento interno das paredes em padrões geométricos vazados reduz o volume total de argamassa em até 40% em comparação a uma parede de alvenaria maciça, mantendo as propriedades acústicas e estruturais, como visto na Figura 11 (Souza *et al.*, 2023).

Figura 11 - Projeto TECLA (Itália): habitação impressa em 3D que utiliza terra local crua e resíduos agrícolas, eliminando, nesse projeto, o uso de cimento e fôrmas.



Fonte: Adaptado de Wasp (2025). Disponível em: www.3dwasp.com/en/3d-printing-from-corn-waste-for-sustainable-construction

4.2 Materiais de Baixo Impacto Ambiental

Para que a economia de desperdício faça sentido ecológico, os materiais usados nas diversas técnicas de impressão também evoluíram, visto no Quadro 4:

Quadro 4 – Comparativo dos materiais tradicionais vs. impressão 3D

Aplicação na Obra	Material Tradicional (Alto Impacto)	Material na Impressão 3D (Baixo Impacto)	Vantagem Sustentável
Maquetes	Papelão, Colas	Biopolímero PLA	Compostável,

	Tóxicas, Acrílico	(Ácido Polilático)	derivado de fontes renováveis.
Fôrmas	Madeira compensada (descartada após usos)	Polímeros Termoplásticos Recicláveis (PETG, ABS reciclado)	Permite derretimento e total reaproveitamento (Logística Reversa).
Estruturas	Cimento Portland (Alta emissão de CO ₂)	Geopolímeros, Terra local (argila), Fibras naturais	Redução drástica na pegada de carbono; reaproveita resíduos siderúrgicos e da própria escavação do lote.

A análise comparativa entre a manufatura aditiva (impressão 3D) e os métodos convencionais de construção revela um panorama de profundas transformações operacionais e ecológicas. Para fundamentar a viabilidade técnica e sustentável da inserção da impressão 3D nos canteiros de obras contemporâneos, elaborou-se o Quadro 5, que confronta os principais indicadores de desempenho (Ferreira, 2023; Carbonari, 2024).

Quadro 5 – Matriz Comparativa: Impressão 3D vs. Método Convencional Atual

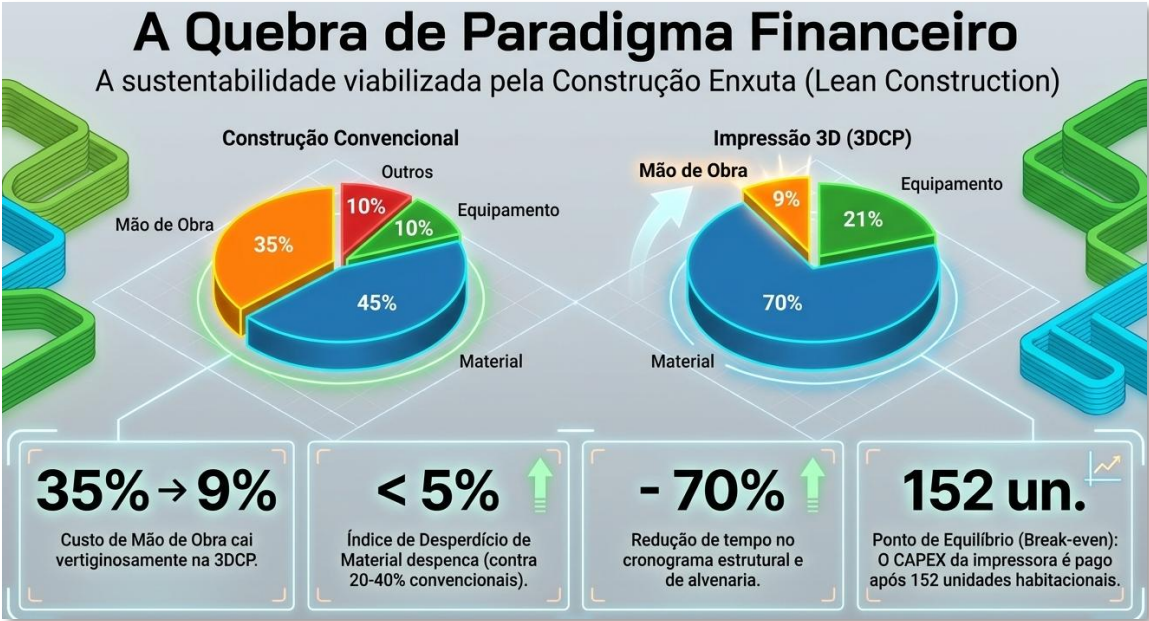
Critério de Análise	Método Convencional (Alvenaria / Concreto Armado)	Impressão 3D na Construção Civil (Manufatura Aditiva)
Custos Iniciais (CAPEX)	Baixo a Moderado: Equipamentos tradicionais possuem baixo custo de aquisição (Quintella, 2024b).	Elevado: Alto investimento na aquisição ou locação de pórticos industriais e braços robóticos.
Custos Operacionais e Desperdício	Elevado: Perda de materiais por quebra varia entre 10% e 20%. Alto custo de remoção de entulho (RCD).	Baixíssimo: Desperdício de material próximo a 0%. Eliminação total dos custos com fôrmas (Carbonari, 2024).
Durabilidade e Desempenho	Consolidada: Comportamento estrutural respaldado por normas rígidas (NBR 6118 e NBR 15575).	Em Validação: Potencial mecânico alto, mas exige monitoramento das juntas de aderência (anisotropia).
Possibilidades Arquitetônicas	Limitada: Formas curvas demandam fôrmas especiais caras e geram alto índice de erro.	Ilimitada: Liberdade de design geométrico sem custo extra (otimização topológica via BIM).
Velocidade de Execução	Lenta a Moderada: Depende	Ultra-rápida: Redução do

	do tempo de cura do concreto em fôrmas e sofre interferência climática.	tempo de execução da superestrutura, o que permite erguer paredes em poucas horas (Ferreira, 2023).
Pontos Positivos (Prós)	Cadeia de suprimentos madura e arcabouço normativo robusto no Brasil.	Desperdício nulo; redução drástica no cronograma; canteiro de obras limpo e seguro.
Pontos Negativos (Contras)	Alta pegada de carbono; geração massiva de resíduos; baixa produtividade crônica.	Escassez de mão de obra especializada; ausência de normatização técnica da ABNT para o 3DCP.

4.3 Discussão dos Resultados e Impacto na Sustentabilidade

A partir dos dados confrontados, observa-se que a viabilidade da impressão 3D na construção civil reside na inversão da lógica financeira tradicional. Enquanto o método convencional apresenta um custo inicial atrativo devido à maturidade tecnológica, ele penaliza o balanço final da obra por meio de sua ineficiência crônica, caracterizada pelo desperdício massivo de insumos (Quintella, 2024b).

Gráfico 1 – Curva de Break-even (Ponto de Equilíbrio): Comparativo de custos totais acumulados entre Construção Convencional e Impressão 3D ao longo da execução de lotes residenciais.
Composição dos custos diretos: Convencional vs. 3DCP



Fonte: Gerado por Gemini (NotebookLM) em 09 jul. 2026. Adaptado de Raza et al. (2024)

No quesito **sustentabilidade**, o desperdício perto de zero da manufatura aditiva mitiga diretamente a geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Segundo Carbonari (2024), a dispensa de fôrmas de madeira e a redução das atividades manuais de quebra podem diminuir os custos globais da construção em até 35%. Além disso, a possibilidade de utilizar misturas ecológicas reduz drasticamente a pegada de carbono quando comparada ao uso exclusivo de cimento Portland.

O Quadro 6 apresenta um comparativo geral e especulativo entre a construção convencional e a impressão 3D na construção de residências com 100m².

Quadro 6 - Comparação geral entre construção convencional e impressão 3D

Parâmetro Analisado	Construção Convencional (Alvenaria)	Impressão 3D (3DCP)
Tempo total de obra (casa ~100m ²)	4 a 6 meses (120 a 180 dias)	Aproximadamente 50 dias
Tempo de execução de paredes	45 a 60 dias	3 a 5 dias (incluindo setup)
Custo estimado por m ² (Santos <i>et al</i> , 2026)	R\$ 2.500 a R\$ 2.800	R\$ 1.850 a R\$ 2.100
Participação da mão de obra no custo	30% a 40%	Apenas 9%
Índice de desperdício de materiais	20% a 40%	Inferior a 5%
Necessidade do fôrmas e escoramentos	Sim (alto custo e geração de resíduo)	Não (tecnologia autoportante)
Precisão geométrica da estrutura	Variável (dependente do pedreiro)	Milimétrica (±2mm, via software)

Fonte: Adaptado de Santos *et al* (2026)

Sob a ótica das **possibilidades arquitetônicas e estruturais**, o método tradicional atua como uma barreira limitadora à otimização. A impressão 3D democratiza a complexidade geométrica, permitindo a execução de paredes otimizadas internamente com padrões de preenchimento que economizam massa sem perder resistência, como visto na Figura 12 (Ferreira, 2023).

Figura 12 – Seção transversal de uma parede de concreto impressa em 3D, evidenciando o preenchimento geométrico interno que economiza material e melhora o isolamento termoacústico.



Fonte: Adaptado de Quintella (2024a). Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/398238719/figure/fig3/AS:11431281759082507@1764681652263/A-large-scale-concrete-3D-printer-at-work-The-concrete-is-extruded-in-layers-by-a.png>

Por fim, como proposta para trabalhos futuros, pode-se ter o levantamento e o custo de manutenção, bem como o custo de reparo, técnicas usadas e no eixo de **durabilidade**, a discussão técnica esbarra na anisotropia do material impresso. As interfaces criadas entre a deposição de uma camada e outra (juntas frias) constituem planos potenciais de fraqueza, sendo este um dos principais focos de estudo para a futura normalização da técnica no Brasil (Quintella, 2024b).

O uso de polímeros recicláveis também tem se ampliado na impressão 3D. Materiais como PETG, um copoliéster, estão sendo explorados por sua transparência e resistência à umidade, atributos que ampliam suas aplicações (Machado, 2022). A utilização desses polímeros recicláveis não só diminui a demanda por novos materiais, como também contribui para o fechamento do ciclo de vida dos produtos.

Por fim, a escolha acertada dos polímeros a serem utilizados na impressão 3D pode ter um impacto substancial não só na eficiência dos projetos, mas também na promoção de um futuro mais sustentável. É imprescindível que novos estudos

explorem as opções de polímeros, visando otimizar suas propriedades e potencializar os benefícios no setor da construção civil (Ferreira *et al.*, 2020).

Portanto, a discussão aponta que a sustentabilidade viabilizada pela impressão 3D de polímeros não é apenas um rótulo ecológico, mas uma robusta ferramenta de controle financeiro. Ao integrar a tecnologia aos preceitos da Construção Enxuta (*Lean Construction*), o setor reverte o cenário estatístico de desperdício, assegurando melhoria de processos, agilidade e expressiva economia de capital. Na Figura 13 é visto que a geração de resíduos pode ter uma redução de até 88%, comprovando que a viabilidade de redução do desperdício com a impressão 3DCP é muito bem vinda na construção civil.

Figura 13 – Comprovação da redução na geração de resíduos usando a impressão 3D.



Fonte: Gerada por Gemini (NotebookLM) em 09 jul. 2026. Adaptado de Santos *et al.* (2026)

CONCLUSÃO

A análise dos achados deste estudo sobre a impressão 3D na construção civil revela que a tecnologia não apenas representa uma inovação técnica, mas também configura um efetivo avanço em termos de sustentabilidade. Primeiramente, observou-se uma redução significativa no desperdício de materiais quer fora visto sendo um dos principais problemas enfrentados pela indústria da construção civil. A impressão 3D permite o uso preciso de polímeros e de misturas cimentícias, minimizando sobras e excessos que frequentemente ocorrem nos métodos construtivos tradicionais.

Em segundo lugar, a flexibilidade proporcionada pela impressão 3D de polímeros possibilita a criação de estruturas mais leves e adaptáveis, que demandam menos recursos energéticos durante sua produção e instalação. Essa eficiência energética contribui para a diminuição da pegada de carbono associada à construção, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade preconizados atualmente. A capacidade de projetar formas complexas sem o uso excessivo de materiais é uma vantagem significativa.

Além disso, a pesquisa indicou que o uso de polímeros reciclados na impressão 3D pode contribuir para a economia circular, fazendo com que a reutilização de materiais seja uma forma de reduzir custos. Isso aponta para uma integração mais harmoniosa dos processos produtivos, em que os resíduos gerados em uma etapa podem se transformar-se em recursos para outra, diminuindo o impacto ambiental global da construção civil.

É importante enfatizar, como já visto anterior, que a adoção dessa tecnologia na construção civil também envolve desafios, como a necessidade de regulamentações e normativas que garantam a segurança e confiabilidade das estruturas impressas. Contudo, a tendência mostra-se promissora, refletindo um movimento em direção à sustentabilidade e à inovação.

Por fim, a impressão 3D destaca-se como uma solução viável e inovadora para os problemas enfrentados pela construção civil em termos de sustentabilidade. Seus impactos positivos sugerem uma transformação significativa na maneira como as edificações são projetadas e construídas, apontando para um futuro mais responsável e eficiente no setor.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, P. et al. Reciclagem de resíduos plásticos na construção civil: uma alternativa sustentável. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, n. 4, p. 320-327, 2011.
- ALMEIDA, E. L. G. de; PICCHI, F. A. Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 91-109, mar. 2018.
- ALMEIDA, Tiago. **Sustentabilidade e Construção: O Papel dos Polímeros**. Porto Alegre: Editora PUC, 2020.
- ANDRADE, Fernanda. **Materiais Poliméricos e suas Aplicações**. Brasília: Editora da UnB, 2018.
- BOS, F. et al. *Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing*. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 11, n. 3, p. 209-225, 2016.
- BURGER, J.; LLORET-FRITSCHI, E.; AKERMANN, M.; SCHWENDEMANN, D.; GRAMAZIO, F.; & KOHLER, M. (2023). *Circular Formwork: Recycling of 3D Printed Thermoplastic Formwork for Concrete*. **Technology|Architecture + Design**, 7(2), p. 204–215. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24751448.2023.2245724>
- BUSWELL, R. A. et al. *3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research*. **Cement and Concrete Research**, v. 112, p. 37-49, 2018.
- CARBONARI, L. T. Impressão 3D na construção civil: uma revisão sistemática com foco no desempenho termoenergético. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2024. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br>. Acesso em: 6 jul. 2026.
- COSTA, Paulo R. **O Desperdício na Construção Civil**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2019.
- FERREIRA, Camila et al. **Práticas Ecológicas na Construção Civil**. São Paulo: Editora Senai, 2020.
- FERREIRA, R. A. **Manufatura aditiva na construção civil: elementos de concreto**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2023.
- FORMOSO, C. T. et al. Material waste in building industry: a main cause of poor performance. **Journal of Management in Engineering**, Reston, v. 18, n. 3, p. 128-137, jul. 2002.
- GOMES, Sérgio; OLIVEIRA, Juliana. **Inovação e Sustentabilidade**. Salvador: Editora UFBA, 2019.
- JIPA, A.; DIBUCCI, A. *3D-printed formwork for concrete: state-of-the-art, opportunities, challenges, and applications*. **3D Printing and Additive**

Manufacturing, Nova York, v. 10, n. 4, p. 740-758, 2023. Disponível em periódicos internacionais.

KARPINSKI, L. A. et al. **Gestão de resíduos na construção civil**: abordagem prática e sustentável. Porto Alegre: Bookman, 2009.

KHOSHNEVIS, B. *Automated construction by contour crafting - related robotics and information technologies*. **Automation in Construction**, v. 13, n. 1, p. 5-19, 2004.

LE, T. T. et al. *Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete*. **Materials and Structures**, v. 45, n. 8, p. 1221-1232, 2012.

MACHADO, Luiz. **Impressão 3D**: Uma Nova Era na Construção Civil. Curitiba: Editora UFPR, 2022.

MANO, Eloisa B.; MENDES, Luis C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MECHTCHERINE, V. et al. *Integrating reinforcement in digital fabrication with concrete: A review and classification framework*. **Cement and Concrete Composites**, v. 119, p. 103964, 2021.

NAVARRO, Paulo. **Os Polímeros e a Transição Ecológica na Construção**. Florianópolis: Editora UFSC, 2021.

NGO, T. D. et al. *Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges*. **Composites Part B: Engineering**, v. 143, p. 172-196, 2018.

QUINTELLA, I. P. C. P.; FLORÊNCIO, E. Q. O uso de braços robóticos aplicados à manufatura aditiva em concreto: inovação do design à fabricação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024a.

QUINTELLA, I. P. C. P.; FLORÊNCIO, E. Q. Impressão 3D: como essa tecnologia vem impactando atualmente a construção civil? **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 114, p. 32-35, abr./jun, 2024b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2024.114.0002>. Acesso em: 5 jul. 2026.

SANTOS, Tânia A.; NONO, Valdinei S.; HOFFMANN, Victor A. Z.; SANTOS, Vinícius M. dos; FURTADO, Sérgio G. **Análise da viabilidade técnica da impressão 3D aplicada à construção civil**, 2026. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2026. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/63142>. Acesso em: 5 jul. 2026.

SANTOS, M. R. dos; LIMA, J. C. Manufatura aditiva na construção civil: uma análise do uso de polímeros reciclados como alternativa sustentável. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 33, n. 2, p. e2023015, 2023.

SANTOS, Renata. **A Impressão 3D no Setor Construtivo**. Campinas: Editora Unicamp, 2022.

RAZA, Muhammad H.; BESKLUBOVA, Svetlana; ZHONG, Ray Y. SCIEDIRECT. ***Economic analysis of offsite and onsite 3D construction printing techniques for low-rise buildings: A comparative value stream.*** Elsevier, *Additive Manufacturing*, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860424003385>. Acesso em: 2 jul. 2026.

SILVA, João A.; MENDES, Ana L. **Tecnologia e Sustentabilidade na Construção Civil.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2020.

SILVA, N. B. da. **O uso de impressoras 3D na construção civil: um estudo de viabilidade financeira e sustentabilidade.** 2023. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

SOUZA, F. M.; SILVA, L. H. Aplicação de filamentos poliméricos recicláveis na manufatura aditiva para a construção civil. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 1-12, e13421, 2023.

SOUZA, R. P. *et al.* Uso de polímeros recicláveis para fôrmas complexas de concreto impresso em 3D e seus impactos na redução do RCD. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 115-130, 2023.

SOUZA, R. P.; MACHADO, A. L. Reologia de argamassas cimentícias para aplicação em manufatura aditiva na construção civil. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, e13150, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 7 jul. 2026.

TAY, Y. W. D. *et al.* 3D printing trends in building and construction industry: a review. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 12, n. 3, p. 261-276, 2017.

TOMAZ, Carlos. **Impressão 3D e seus Impactos Ambientais.** São Paulo: Editora Universitária, 2021.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D.** São Paulo: Blucher, 2017.

WASP – World's Advanced Saving Project. **TECLA: Technology and Clay 3D Printed House.** 3D Printing from Corn waste for Sustainable Construction. Massa Lombarda, Itália, 2025. Disponível em: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printing-from-corn-waste-for-sustainable-construction>. Acesso em: 9 jul. 2026.