



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS - IFG
CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**IMPRESSÃO 3D COM ARGAMASSA PARA FÔRMAS PERMANENTES: ESTADO
DA ARTE**

LUCAS CARVALHAIS

APARECIDA DE GOIÂNIA

2026

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Lucas Carvalhais

Matrícula: 20221090040036

Título do Trabalho: Impressão 3D com Argamassa para Fôrmas Permanentes: Estado da Arte

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS - IFG
CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS CARVALHAIS

**IMPRESSÃO 3D COM ARGAMASSA PARA FÔRMAS PERMANENTES: ESTADO
DA ARTE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, desenvolvido na linha de pesquisa em Construção Civil, sob orientação de Renato Costa Araújo.

APARECIDA DE GOIÂNIA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C331 Carvalhais, Lucas
Impressão 3D com argamassa para fôrmas permanentes: estado da arte. /
Lucas Carvalhais. - Aparecida de Goiânia, 2026.
38 f. Il.

Orientador: Dr .Renato Costa Araújo
Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal de
Educação Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Aparecida de Goiânia,
Bacharelado em Engenharia Civil, 2026.

1. Fôrmas permanentes. 2. Argamassa. 3. Reforços. 4. 3DC. I. Título.

CDD 693.5

Catalogação na publicação:
Suzane Gonçalves Duarte Peixoto CRB 1/2746

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa da Monografia intitulada **IMPRESSÃO 3D COM ARGAMASSA PARA FÔRMAS PERMANENTES: ESTADO DA ARTE**, sob orientação de Renato Costa Araujo, apresentada pelo aluno **Lucas Carvalhais (20221090040036)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Aparecida de Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **19:00** do dia **10/02/2026** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Renato Costa Araujo** (Presidente)
- **Maria de Jesus Gomides** (Examinadora Interna)
- **Willer Mota Ferreira** (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da Monografia, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota : 9,5

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Renato Costa Araujo** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Willer Mota Ferreira**, em **25/02/2026 10:43:52** com chave **0540da76125011f19ea1005056a537a4**.
- **Maria de Jesus Gomides**, em **25/02/2026 13:21:41** com chave **11a919de126611f188c9005056a537a4**.
- **Renato Costa Araujo**, em **25/02/2026 10:24:31** com chave **5193936c124d11f188fa005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QrCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 26/02/2026

Código de Autenticação: f55f3e



*Dedico este trabalho a Deus, que me sustentou
em cada etapa desta jornada, à minha noiva e
à minha família, cujo amor incondicional foi
meu alicerce nos momentos mais difíceis.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Prof. Renato Costa Araújo, pela paciência, ensinamentos e incentivo durante toda a elaboração deste TCC.

À minha noiva, pelo amor, apoio incondicional e pela força que me deu nos momentos mais difíceis, sendo minha companheira constante nessa jornada.

À minha família, pelo carinho e suporte indispensáveis para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos amigos e colegas que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta caminhada, gratidão.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma revisão de literatura sobre o estado da arte da impressão 3D com argamassa aplicada à produção de fôrmas permanentes para a construção civil. O estudo teve como objetivo investigar formulações de argamassa, estratégias de reforço, desempenho estrutural e aderência entre materiais em sistemas construtivos que integram impressão 3D. Para isso, foram selecionados artigos científicos disponíveis na base ScienceDirect, publicados após 2020, com foco em estudos revisados por pares que abordam aspectos estruturais da tecnologia. Os resultados da análise evidenciam que a impressão 3D de fôrmas, quando associada a materiais otimizados e reforços, pode superar o desempenho de sistemas moldados com fôrmas convencionais, promovendo maior resistência, menor fissuração e melhor aderência interfacial. Além disso, a técnica permite significativa redução na geração de resíduos e na dependência de mão de obra especializada, reforçando seu potencial como alternativa sustentável e eficiente para a racionalização de processos construtivos.

Palavras-chaves: fôrmas permanentes; argamassa; reforços; 3DCP.

ABSTRACT

This research presents a literature review on the state of the art of 3D printing with mortar applied to the production of permanent formwork for civil construction. The study aimed to investigate mortar formulations, reinforcement strategies, structural performance, and adhesion between materials in construction systems that integrate 3D printing. To this end, scientific articles available in the ScienceDirect database, published after 2020, were selected, focusing on peer-reviewed studies that address structural aspects of the technology. The results of the analysis show that 3D printing of formwork, when associated with optimized materials and reinforcements, can outperform conventional molded systems, promoting greater strength, less cracking, and better interfacial adhesion. Furthermore, the technique allows for a significant reduction in waste generation and dependence on specialized labor, reinforcing its potential as a sustainable and efficient alternative for streamlining construction processes.

Keywords: permanent forms; mortar; reinforcements; 3DCP.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3DCP - Impressão 3D em Concreto

3DPF - Fôrmas permanentes impressas em 3D

3DPC - Fôrmas de concreto impressas em 3D

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo Geral.....	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	METODOLOGIA.....	13
4	IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
4.1	Impressão 3D de fôrmas permanentes	18
4.2	Argamassas para impressão 3D de fôrmas permanentes	19
5	REFORÇOS APLICADOS EM FÔRMAS IMPRESSAS.....	23
6	ADERÊNCIA ENTRE AS CAMADAS DE ARGAMASSA IMPRESSA EM 3D	26
7	COMPARATIVO ENTRE FÔRMAS TRADICIONAIS DE MADEIRA E FÔRMAS EM IMPRESSÃO 3D DE ARGAMASSA	27
8	RESULTADOS	29
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Estudos recentes demonstram que parte considerável dos resíduos sólidos gerados em obras tradicionais provém das fôrmas de madeira utilizadas em moldagem in loco, que são frequentemente descartadas após poucas reutilizações. A pré-fabricação, por sua vez, permite a produção de componentes estruturais em ambientes controlados, o que reduz significativamente o desperdício de materiais ao longo do processo construtivo (Cheng *et al.*, 2022).

Estima-se que essa abordagem possa diminuir os resíduos provenientes das fôrmas em até 90%, especialmente em elementos como lajes e paredes retas, que concentram a maior parte dos resíduos evitáveis (Cheng *et al.*, 2022). A construção civil destaca-se como uma das maiores responsáveis pelas emissões de CO₂ em escala global, tendo o cimento como um dos principais agentes nesse processo. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, o carbono incorporado em materiais como o aço e o cimento permanece como uma fonte significativa de emissões, representando cerca de 18% das emissões globais de CO₂ associadas ao setor da construção (Unep, 2025).

As fôrmas tradicionais não contribuem para o desempenho estrutural após a construção, elas não auxiliam na redução das dimensões da seção transversal dos elementos. Consequentemente, seções transversais maiores são frequentemente necessárias para atender aos requisitos estruturais, levando a um aumento das cargas permanentes, maior consumo de materiais e elevadas emissões de CO₂ associadas à produção e construção de elementos de concreto armado (Nguyen *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, torna-se fundamental o desenvolvimento de métodos construtivos mais sustentáveis. Nesse contexto, a impressão 3D de fôrmas permanentes em argamassas surge como uma solução inovadora e promissora, possibilitando a execução de estruturas mais leves, com menor consumo de concreto e redução significativa na geração de resíduos (Cheng *et al.*, 2022). As fôrmas permanentes em impressão 3D com argamassa para criar estruturas que permanecem como parte integrante do elemento construído, eliminando a necessidade de remoção posterior.

Essa tecnologia possibilita a moldagem de fôrmas complexas com alta precisão e redução significativa de resíduos no canteiro de obras, além de contribuir para a sustentabilidade ao

evitar o descarte de materiais utilizados apenas temporariamente. A crescente dificuldade em contratar trabalhadores qualificados tem impulsionado a busca por métodos construtivos mais automatizados e eficientes. A impressão 3D de fôrmas é apresentada como uma solução para contornar a escassez de mão de obra, pois reduz a necessidade de etapas manuais e operários especializados, ao mesmo tempo em que mantém a produtividade e qualidade na execução das obras (Shimizu Corporation, 2021).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o estado da arte da impressão 3D com argamassa, aplicada à produção de fôrmas permanentes na construção civil examinando as principais pesquisas e os materiais empregados.

2.2 Objetivos Específicos

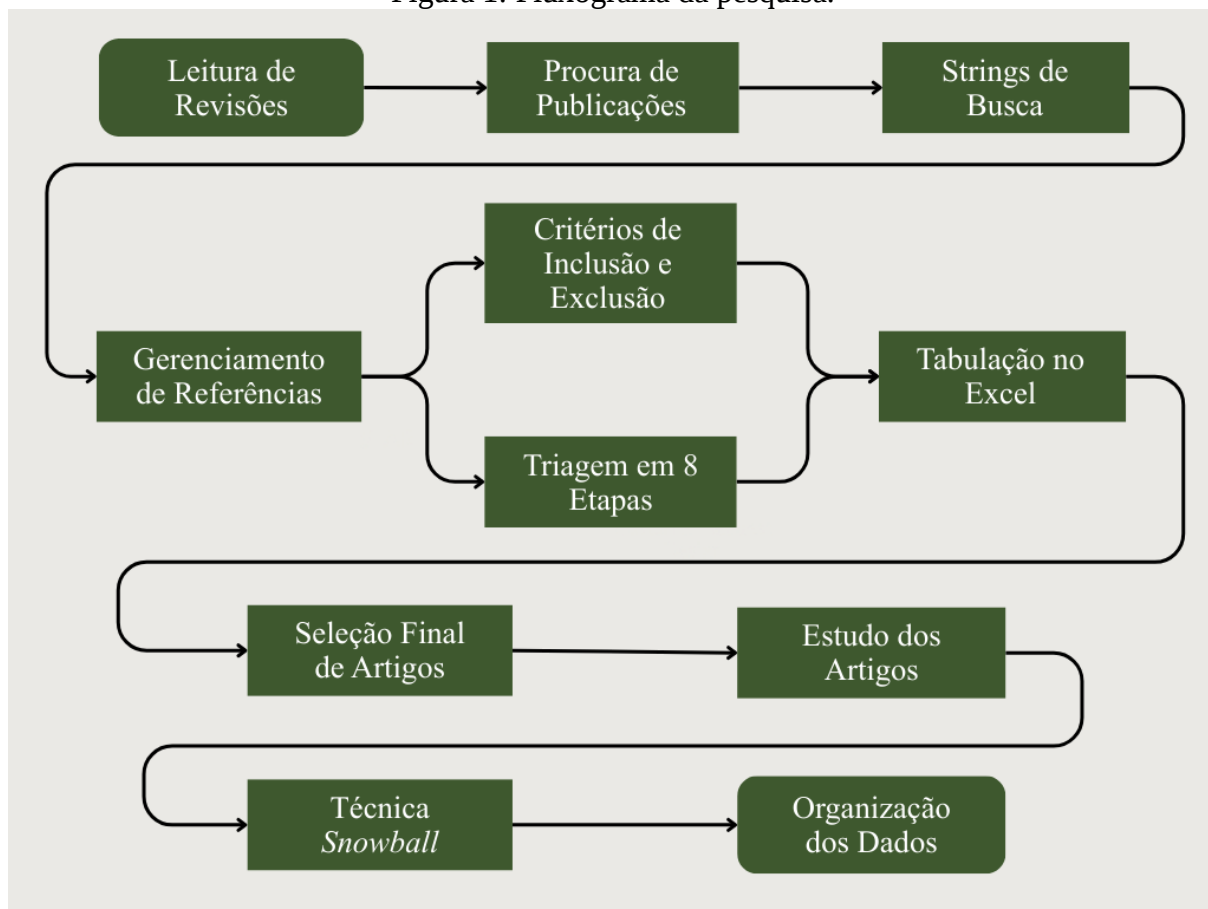
Este trabalho tem como objetivos específicos:

1. Identificar os diferentes tipos de argamassas e suas composições empregados na impressão 3D para fôrmas permanentes;
2. Verificar os tipos de reforços utilizados nas fôrmas permanentes;
3. Verificar a aderência entre as camadas da argamassa no processo construtivo das fôrmas permanentes;
4. Comparar as fôrmas tradicionais com as fôrmas permanentes impressas em 3D;
5. Avaliar o potencial dessa inovação como alternativa sustentável e eficiente aos métodos construtivos convencionais.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa exploratória foi conduzida como um estudo de revisão da literatura, com abordagem qualitativa, voltada para a análise do estado da arte sobre a aplicação da impressão 3D com argamassa na produção de fôrmas permanentes para a construção civil. Na Figura 1, pode-se visualizar o fluxograma de como a pesquisa foi conduzida.

Figura 1: Fluxograma da pesquisa.

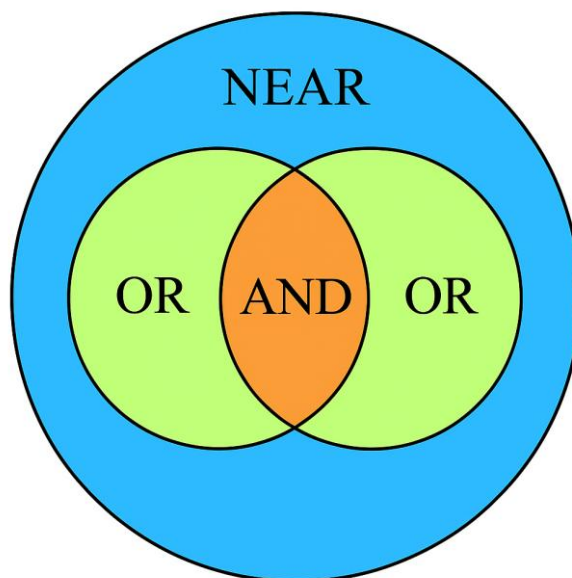


Fonte: Próprio autor, 2025.

A etapa inicial foi identificar, selecionar e examinar publicações científicas que abordassem aspectos técnicos, estruturais e funcionais dessa tecnologia construtiva emergente. Para isso, as buscas foram realizadas nas bases *ScienceDirect*, *Web of Science* e *Scopus*. No entanto, ao analisar os resultados, verificou-se que o mesmo material encontrado nas bases *Web of Science* e *Scopus* também estava presente na *ScienceDirect*. Dessa forma, optou-se por manter a pesquisa apenas na base *ScienceDirect*. Portanto, foi utilizado operadores booleanos “**OR**”, “**AND**” e “**NEAR**” e combinados a termos técnicos relacionados às fôrmas permanentes (Figura 2). A partir disso, foram testadas as strings “(PERMANENT* **NEAR** FRAMEWORK*)

AND (3D PRINT OR 3DCP*)*”, “*(PERMANENT FORMWORKS* OR MORTAR*) AND (3D CONCRETE PRINTING* OR 3DCP*)*” e “*(PERMANENT FORMWORKS* OR FORMWORKS*) AND (3D concrete printing* OR 3DCP*)*”. Após análise da relevância e adequação dos resultados, optou-se pela última string, por apresentar maior quantidade de arquivos.

Figura 2: Operadores booleanos.

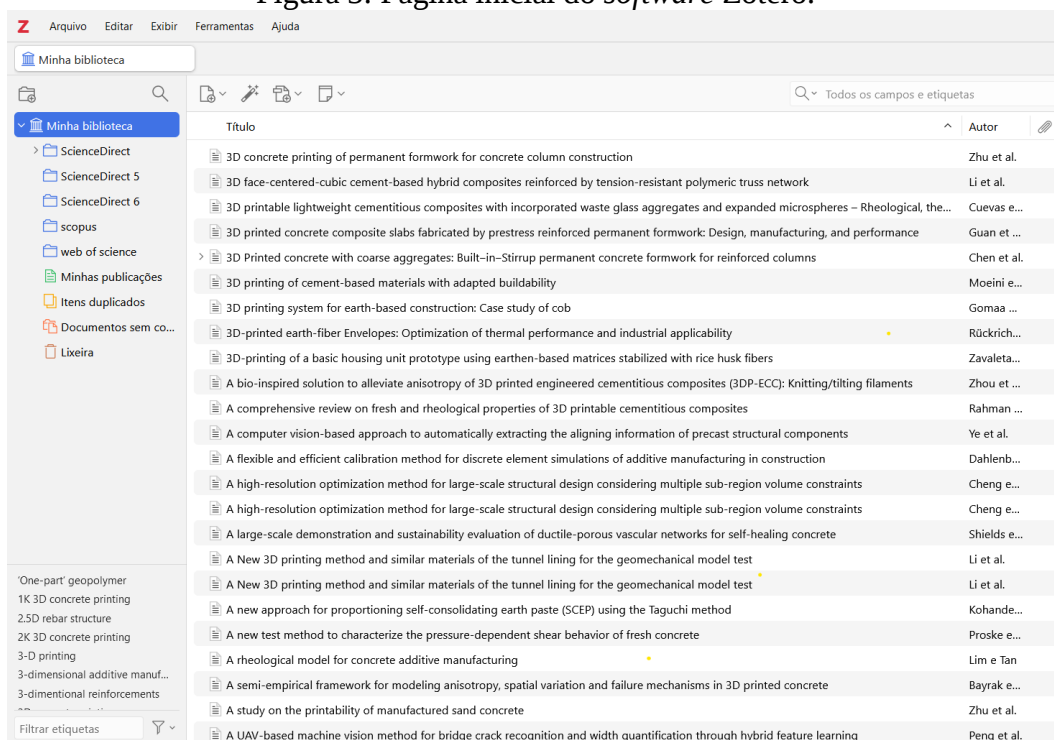


Fonte: Próprio autor, 2025.

A triagem inicial seguiu critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Foram considerados apenas artigos completos, redigidos em inglês, publicados em periódicos revisados por pares e relacionados às áreas de engenharia civil e ciência dos materiais. O recorte temporal compreendeu o período de 2020 a 2025, por se tratar de uma tecnologia recente, com maior concentração de estudos relevantes nesse intervalo. Foram excluídos trabalhos duplicados, publicações opinativas e revisões narrativas sem embasamento técnico.

Para organizar, gerenciar, quantificar e verificar a duplicidade das referências, utilizou-se o *software* gratuito Zotero, conforme a Figura 3. Para que o programa identificasse os itens repetidos entre as diferentes bases, foi necessário exportar todas as referências obtidas nos formatos BibTeX ou RIS. A separação por pastas possibilitou identificar e remover duplicatas, facilitando o gerenciamento dos arquivos e garantindo que todas as fontes utilizadas fossem devidamente citadas.

Figura 3: Página inicial do *software* Zotero.



Fonte: Próprio autor, 2025.

De forma complementar, recorreu-se ao Microsoft Excel[®] para a criação do Quadro 1 e da Tabela 1. O Quadro 1 registrou os critérios de aceitação e rejeição, definidos a partir da análise preliminar das pesquisas e da identificação de palavras-chave recorrentes e a Tabela 1 contabilizou a quantidade de artigos encontrados em cada base e o número de publicações excluídas após a aplicação dos filtros e regras estabelecidos, apresentando os dados de forma sistematizada. Esse método possibilitou acompanhar quantitativamente cada etapa da seleção e assegurar transparência no processo, resultando em um conjunto final de trabalhos aptos a compor a revisão.

Quadro 1: Critérios definidos.

Critérios de Aceitação	Critérios de Rejeição
Impressão 3D com argamassa para fôrmas permanentes	Fôrmas modulares
	Fôrmas permanentes moldadas com argamassa
	Utilização de concreto reciclado

Fonte: Próprio autor, 2025.

A seleção dos estudos seguiu oito etapas sequenciais: (1) contabilização de todos os arquivos encontrados; (2) filtragem para artigos de pesquisa; (3) filtragem pela área de conhecimento; (4) triagem pelo título; (5) exclusão de duplicatas; (6) análise temática; (7) leitura do resumo;

e (8) leitura integral. Apenas os trabalhos que atenderam a todos os critérios permaneceram na amostra final.

Tabela 1: Gerenciamento de arquivos.

Etapas		Quantidade
1	Artigos encontrados (2020 a 2025)	1389
2	Exclusão após filtragem de artigos de pesquisa	278
3	Exclusão após filtragem pela área de conhecimento (Engenharia, Ciência dos Materiais e Tecnologia da Construção Civil)	74
4	Exclusão após filtragem pelo título (Construção e Materiais de Construção, Engenharia de Construção, Automação na Construção, Estruturas de Engenharia, Estudos de Caso em Materiais)	467
5	Exclusão de artigos duplicados	10
6	Exclusão pelo tema	536
7	Exclusão pelo resumo	9
8	Exclusão após leitura integral	3
9	Artigos selecionados	12

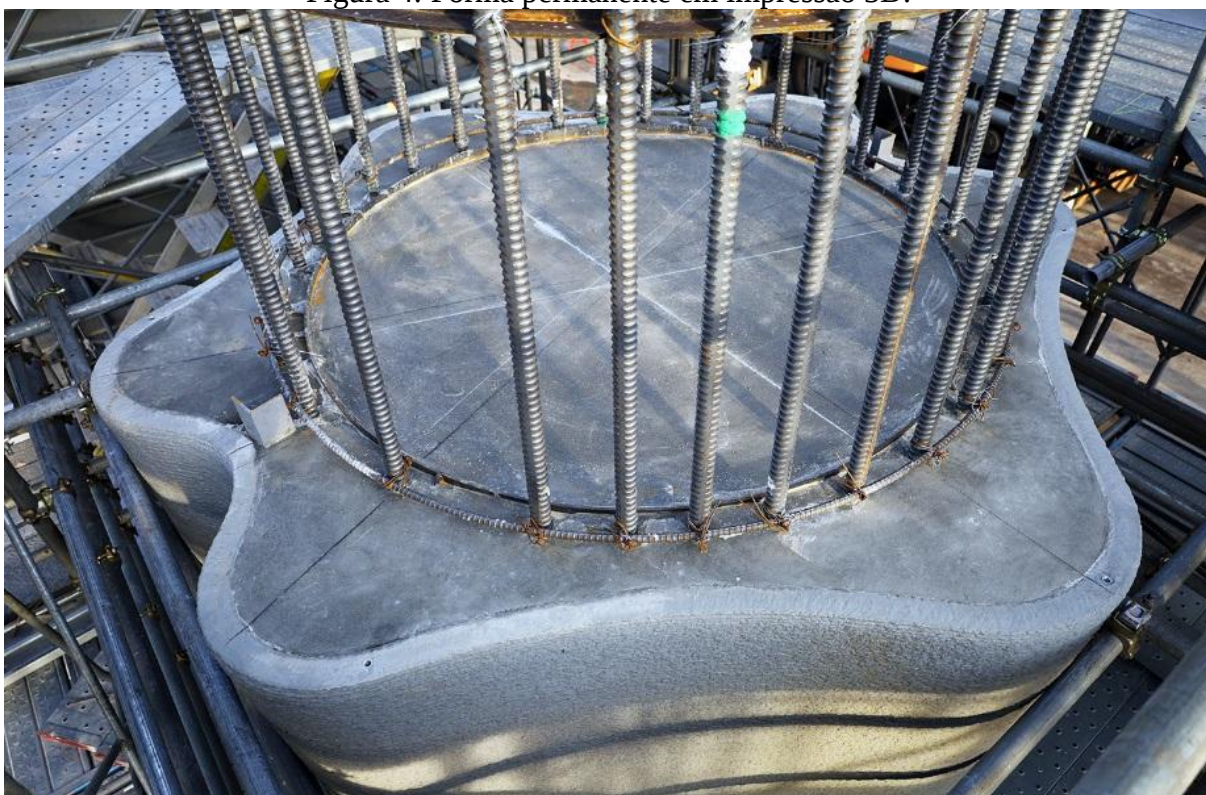
Fonte: Próprio autor, 2025.

Por fim, a análise crítica dos artigos selecionados resultou em um conjunto de estudos capazes de contribuir de forma significativa para esta revisão. Nessa etapa foram avaliadas detalhadamente as informações sobre as propriedades e formulação das argamassas, bem como as soluções de reforço empregadas. Após a seleção dos artigos, aplicou-se a técnica Snowball, por meio da qual foram identificados mais três artigos, permitindo a ampliação do levantamento bibliográfico e a identificação de novos estudos relevantes relacionados ao tema.

4 IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A empresa japonesa Shimizu Corporation (2021) desenvolveu um sistema de impressão 3D de grande escala voltado especificamente à fabricação de fôrmas permanentes. Na Figura 4 é possível observar a tecnologia que pode ser produzida no próprio local da obra, com o uso de argamassas formuladas com cimento de pega rápida e aditivos que garantem fluidez e resistência entre camadas. Essa inovação reduz drasticamente o tempo de execução e a dependência de mão de obra intensiva.

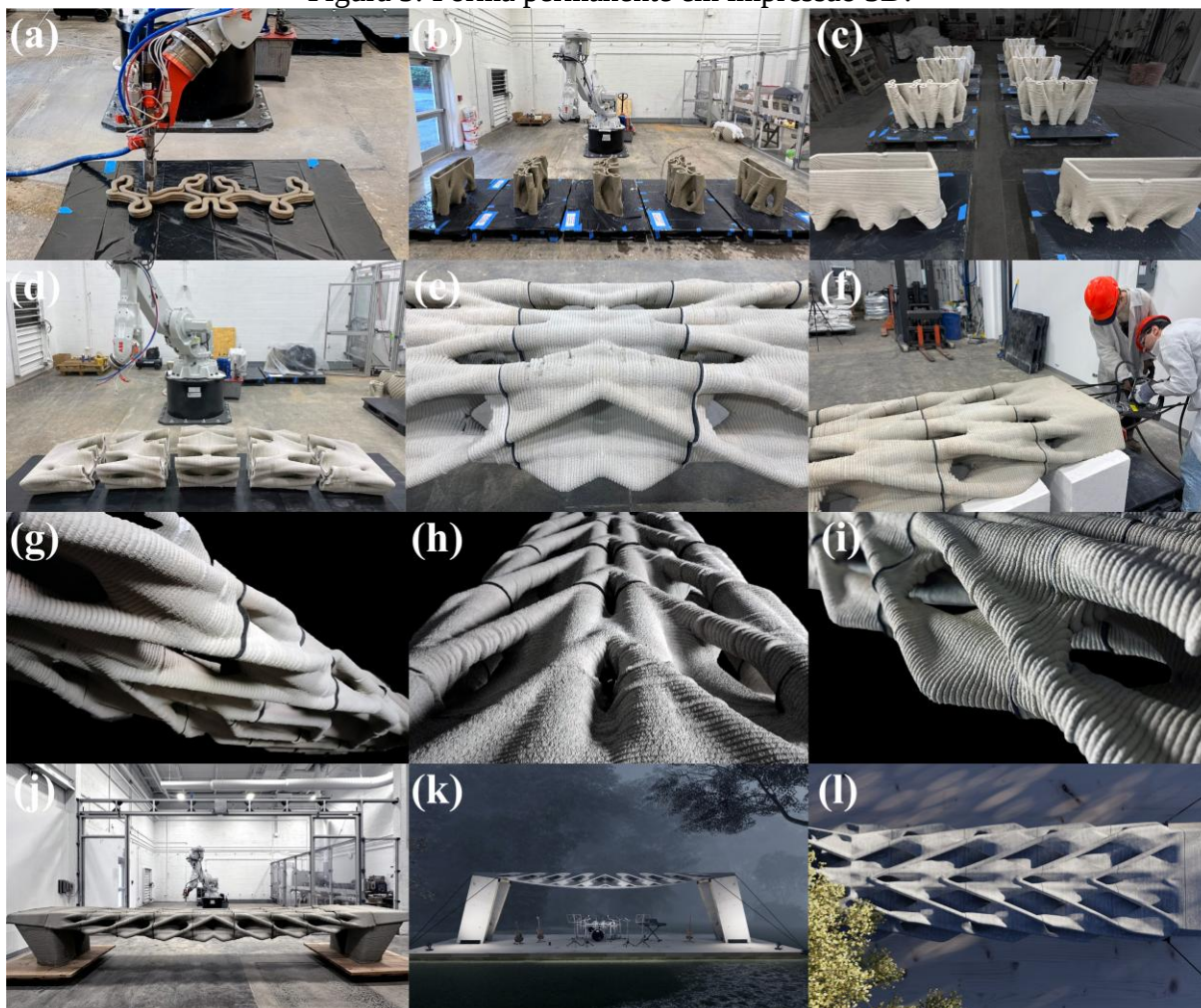
Figura 4: Fôrma permanente em impressão 3D.



Fonte: Shimizu Corporation, 2021.

Na Universidade da Pensilvânia no Laboratório de Estruturas Poliédricas o Akbarzadeh *et al.* (2024) imprimiram uma fôrma permanente em 3DCP para a construção de uma cobertura, denominada Cobertura Diamanti (Figura 5). Essa cobertura possui um vão de 10 metros e é sustentada por uma plataforma de madeira laminada cruzada. A forma estrutural dessa cobertura composta considera diretamente as forças de compressão e tração, inerentes aos sistemas estruturais de concreto, distribuindo as cargas por meio de sua geometria única.

Figura 5: Fôrma permanente em impressão 3D.



Fonte: Akbarzadeh *et al.*, 2021.

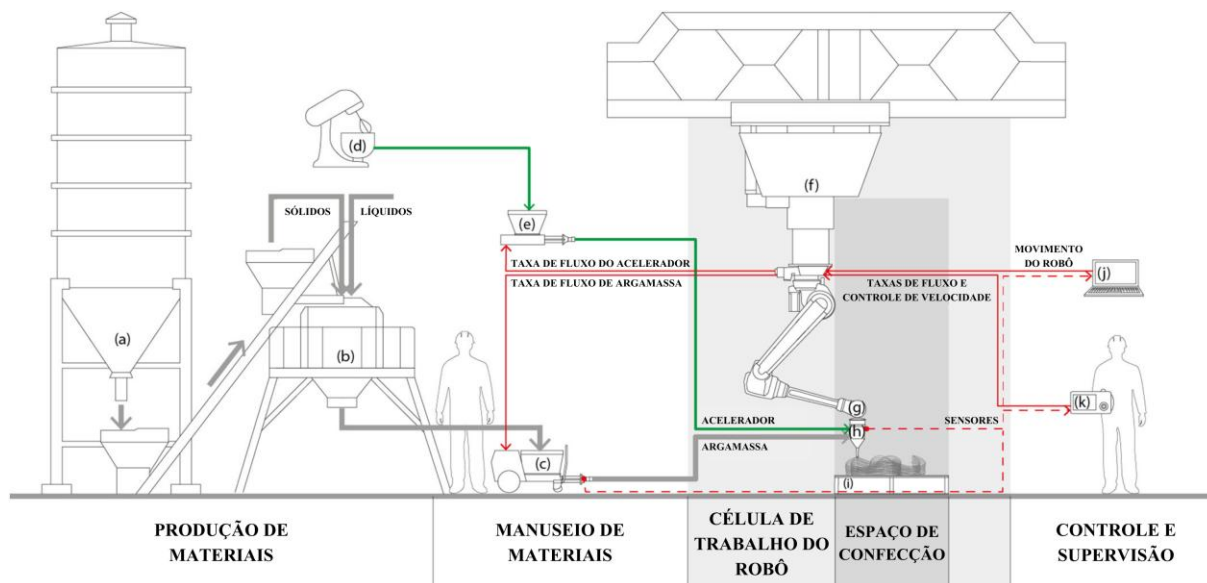
Com isso a figura (a), (b) e (c) mostra a confecção da fôrma e cura; (d), (e) e (f) montagem e protensão; (g), (h) e (i) características e design; (j), (k) e (l) resultado final.

4.1 Impressão 3D de fôrmas permanentes

De acordo com Anton *et al.* (2021) os requisitos para as colunas influenciaram a escolha específica da formulação do material e dos métodos de projeto integrados por meio da plataforma 3DCP. O roteiro apresentado neste artigo se beneficia da interação direta e da cooperação entre arquitetos, cientistas de materiais, engenheiros e especialistas em robótica. A troca de informações entre as partes envolvidas foi planejada em uma estrutura organizacional horizontal, com especialistas liderando suas respectivas áreas de conhecimento.

A impressora 3D de concreto é configurada integrando material, extrusora e cinemática em um processo unificado, esquematicamente mostrado na Figura 6. Os espaços de produção requerem uma área de mistura de concreto também dedicada ao manuseio de materiais, uma área segura e fechada para a célula de trabalho do robô e uma área limpa para controle e supervisão do processo (Anton *et al.*, 2021).

Figura 6: Diagrama da área de produção de concreto moldado in loco (3DCP).



Fonte: Anton *et al.*, 2021.

Onde, (a) silo de mistura seca; (b) betoneira; (c) bomba de concreto; (d) misturador acelerador; (e) bomba aceleradora; (f) pórtico de 3 eixos; (g) manipulador robótico ; (h) ferramenta extrusora; (i) objeto de trabalho; (j) computador; (k) painel de controle.

4.2 Argamassas para impressão 3D de fôrmas permanentes

A formulação da argamassa utilizada na impressão 3D em construção civil tem evoluído para atender exigências técnicas específicas no processo construtivo. Conforme apontado pela Shimizu Corporation (2021), a argamassa desenvolvida para esse sistema apresenta uma composição reforçada com fibras, o que proporciona adequada resistência e ductilidade. Essas propriedades são fundamentais para manter a estabilidade da geometria impressa durante e após a extrusão, eliminando a necessidade de cofragens temporárias. A mistura foi formulada para garantir elevada extrudabilidade, permitindo que a argamassa conserve sua forma mesmo com a sobreposição de camadas, evitando colapsos estruturais ao longo da execução.

Em concordância com essa abordagem, Zhu *et al.* (2021) formularam uma argamassa otimizada para impressão 3D, que trouxe estabilidade e aderência ao concreto estrutural. O sistema ligante empregado nesse estudo foi composto por cimento Portland comum (OPC), cimento sulfoaluminato (SAC) e sílica ativa (SF), sendo o OPC do tipo II (52,5), com resistência à compressão de 52,8 MPa aos 28 dias. O SAC foi utilizado como acelerador do OPC para intensificar as reações de hidratação do aluminato e melhorar a formação da estrutura, atingindo 46,4 MPa em apenas um dia, além de apresentar menor emissão de CO₂.

Empregou como agregado fino, areia de rio e areia de sílica fina, com módulo de finura e o tamanho máximo foram de 2,51 e 1 mm, na proporção mássica de 3:1. Além disso, a adição de um superplastificante à base de policarboxilato (PCE) com capacidade de redução de água de 45% em massa e fração de sólidos de 20% foi utilizado para reduzir a relação água/aglomerante (A/A). A incorporação de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), como modificador de viscosidade, foi essencial para conferir comportamento tixotrópico ao material, favorecendo a retenção da forma imediatamente após a extrusão (Zhu *et al.*, 2021).

Complementando essas contribuições, Liu *et al.* (2024b) utilizaram uma formulação de argamassa para impressão 3D de fôrmas permanentes mostrada na Tabela 2. Essa fôrma foi impressa e preenchida com concreto, sobre resistência a compressão axial teve um valor maior do que as colunas moldadas in loco. Esse aumento é atribuído principalmente à alta resistência do material da fôrma permanente de concreto impressa em 3D e a interação entre a fôrma externa e o concreto interno.

Tabela 2: Proporções da mistura para impressão 3D de fôrmas permanentes de concreto (kg/m³).

Cimento	Duplam ente Rápido	Areia de quartzito	Fumo de sílica	Fibras de PVA	Agente de Expansão	Antiesp umante	Agente de incorpor ação de ar	carboxi metilcel ulose sódica (CMC)	Agente reductor de água	Água
1148,1	63,6	850	143,4	2,5	15,4	5,8	0,36	0,54	15,43	460,7

Fonte: Liu *et al.*, 2024b.

No estudo de Guan *et al.* (2025), o concreto utilizado para a impressão 3D de fôrmas permanentes de laje tem relação água/aglomerante é de 0,244, sua composição inclui cimento Portland comum (OPC) com classe de resistência (42,5), cimento sulfoaluminato de alto teor de belita (HB-CSA) com classe de resistência 42,5, sílica ativa (SF) com tamanho médio de

partícula de 2 µm e finura superior a 80% passando por uma peneira de 1 µm, areia de quartzo (SS) com tamanhos de partícula variando de 180 a 420 µm, redutor de água de alta eficiência à base de policarboxilato (HWR-S) com taxa de redução de água de 23%, cinza volante (FA) com tamanho médio de partícula de 20 a 30 µm e fibra de polipropileno (PPF) para aumento da tenacidade, com dosagem de 0,3%, comprimento de 9 mm e diâmetro de 50 µm. Na Tabela 3 mostra as proporções da mistura.

Tabela 3: Proporções da mistura de concreto impresso (relação em massa).

OPC	HB-CSA	SS	São Francisco	FA	Água	HWR-S	PPF
0,917	0,083	1,278	0,083	0,056	0,278	0,003	0,003

Fonte: Guan *et al.*, 2025.

Em outro estudo, foi utilizado como formulação para argamassa impressa em 3D o cimento Portland comum (OPC), cimento de sulfato de alumínio (SAC), Areia de rio (S) com módulo de finura de (2,6), Fibra de polipropileno (PP) e superplastificante de éter policarboxilato (PCE). A relação massa areia/aglomerante foi fixada em 1,56 e a relação massa água/aglomerante foi definida em 0,30. Foi utilizado para obter trabalhabilidade adequada no estado fresco do concreto o superplastificante de éter policarboxilato (PCE) com 20% de conteúdo de fase sólida e aditivo modificador de viscosidade à base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) com viscosidade de 75000Pa (YU *et al.*, 2024).

Nesse contexto, este estudo usou como componentes da argamassa para fôrma permanente de concreto impressa em 3D, areia de quartzo (tamanho das partículas varia de 178 a 420 µm.), fibras de polipropileno (PP), aditivo redutor de água e cimento sulfoaluminato de alta belita, com pequenas quantidades de cinzas de sílica e cinzas volantes. A dosagem do concreto para impressão 3D é apresentada na Tabela 4 (Zhang *et al.*, 2023a).

Tabela 4: Dosagem do concreto para impressão 3D (kg.m⁻³).

Cimento	Fibras de PP	Areia	Cinzas de sílica	cinzas volantes	Água	Agente redutor de água
36	0,128	46	3	2	10	0,108

Fonte: Zhang *et al.*, 2023a.

Por conseguinte, para criação da fôrma permanente 3DCP, Zou *et al.* (2025) utilizaram na formulação da argamassa cimento Portland comum PO 42,5R (OPC), areia de quartzo (QS)

de granulometria 40-70 mesh e agregado de borracha reciclado (RA) com três granulometrias diferentes (30, 50 e 70 mesh) nomeadas por RA-30, RA-50 e RA-70. O RA de 50 mesh foi submetido a três modificações superficiais: imersão em água, revestimento com cimento e tratamento térmico. O sistema de aditivos incluiu hidroxipropilmetilcelulose (HPMC, viscosidade de 20.000 mPa.s), superplastificante à base de policarboxilato (PC, redução de água de 32%) e nanocarga de argila.

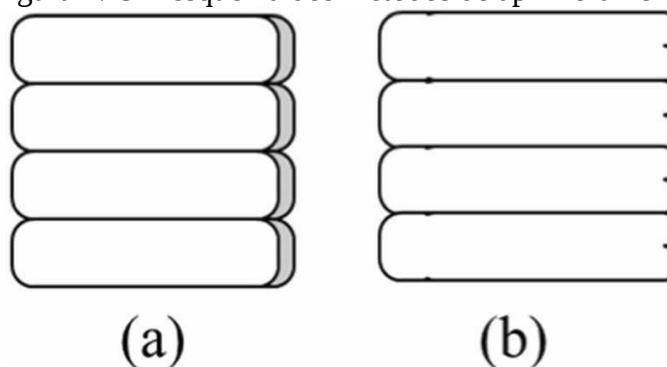
Complementarmente, os autores Raza *et al.* (2025) utilizaram uma pré-mistura 3DPC comercial da Lafarge (França), que foi utilizada para a impressão dos corpos de prova de fôrma. As proporções de água e superplastificante F9 da Ductal na composição da mistura foram de 9,1% e 0,66%, respectivamente. A argamassa foi preparada em lotes de 100 kg em um misturador. Um acelerador à base de sulfato de alumínio foi utilizado para a impressão 3D do concreto. Três amostras foram ensaiadas em cada orientação (X, Y e Z), tanto para resistência à compressão quanto à flexão. No total, 9 cubos foram ensaiados em compressão e 9 prismas em flexão. Foi possível notar que a resistência à flexão, particularmente nas orientações X e Z, é altamente influenciada pelas concentrações de tensão nos entalhes formados devido às diferenças entre as larguras interfilamento e intrafilamento.

5 REFORÇOS APLICADOS EM FÔRMAS IMPRESSAS

A aplicação de reforços fibrosos tem se mostrado uma alternativa eficaz para superar as limitações da impressão 3D em concreto, especialmente diante da dificuldade de incorporar armaduras metálicas tradicionais nesse processo. Zhu *et al.* (2021) exploraram o uso de fibras curtas de polietileno com 6 mm de comprimento e também fibras de carbonato de cálcio. Foram empregados como materiais de reforço para reduzir o risco de encolhimento dos materiais de impressão e melhorar, em certa medida, o desempenho micromecânico.

Em um estudo, foi utilizado como reforço Fibra de polipropileno (PP) para reduzir a retração da argamassa. Mas também, três métodos diferentes para reforço da interface foram utilizados para melhorar o desempenho da adesão entre o filamento impresso em 3D (3DPF) e o concreto de cimento Portland (PCC). O primeiro método é a estratégia de reforço químico, este método consiste em revestir a lateral do filamento impresso com pasta de cimento com uma relação água/cimento (A/C) de 0,5 antes da aplicação do PCC, garantindo que a pasta de cimento cubra completamente a superfície lateral do 3DPF, conforme mostrado na Figura 7 (a). O segundo método é a estratégia de reforço físico, este método baseia em fixar uma engrenagem circular na lateral do bico, criando sulcos (profundidade de $3 \pm 0,5$ mm e uma largura de $2 \pm 0,5$ mm) na superfície lateral do filamento impresso durante a impressão, conforme mostrado na Figura 7 (b) (YU *et al.*, 2024).

Figura 7: Um esquema dos métodos de aprimoramento.



Fonte: YU *et al.*, 2024.

Dando continuidade nessa temática, como elemento de reforço, os autores adotaram a inserção pinos de cisalhamento na parte interna da fôrma (são pregos de aço inoxidável com uma ponta lisa em uma extremidade e uma ponta serrilhada na outra, com comprimento de 30mm e diâmetro de 1mm), que são espaçados a cada 50mm na direção horizontal e

distribuídos uniformemente a cada cinco camadas, conforme mostrado na Figura 8 (a). Após a concretagem, as extremidades serrilhadas dos pregos se integram ao concreto do núcleo, aumentando as propriedades de aderência da interface entre a fôrma e o concreto do núcleo. Para outro corpo de prova, na Figura 8 (b) utilizou anéis de aço inoxidável (aço inoxidável martensítico 304 com 1 mm de espessura, 12 mm de largura, espaçamento de 60 mm e pré-tensionado por parafusos) posicionados externamente para aumentar o atrito entre a fôrma 3DCP e o concreto interno, aprimorando, assim, o desempenho sinérgico da fôrma e do concreto armado interno (Zhang *et al.*, 2023a).

Figura 8: Reforços utilizados na interface.



Fonte: Zhang *et al.*, 2023a.

De forma similar, a Shimizu Corporation (2021) também adotou o uso de fibras curtas (não foi revelado o tipo de fibra) na formulação de argamassas para fôrmas permanentes impressas em 3D. Esses elementos foram responsáveis por reforçar internamente a estrutura, atuando como suporte para conter o concreto lançado posteriormente. Ensaio de flexão com o modelo comprovaram que a matriz reforçada apresentava boa resiliência e capacidade de flexão, mesmo sob aplicação de cargas. A empresa ainda empregou simulações e testes iterativos para definir materiais compatíveis com a impressão em grandes alturas, assegurando estabilidade geométrica e viabilidade técnica da construção.

Ampliando o escopo dos reforços, o estudo de Liu *et al.* (2024a) combinou o uso das fibras de PVA e barras de polímero reforçado com fibra de basalto (BFRP), empregada como armadura no núcleo de concreto. Essa solução híbrida resultou em colunas com elevado desempenho mecânico, caracterizadas por resistência e ductilidade superiores. Os resultados evidenciam o potencial da integração entre impressão 3D e sistemas de reforço adaptados, oferecendo soluções mais eficientes e robustas.

O diferencial do estudo de Guan *et al.* (2025) está na incorporação de cabos de pré-tensão inseridos longitudinalmente na fôrma impressa em 3D. Esses cabos foram tensionados antes da concretagem da laje, promovendo compressão ativa na fôrma e contribuindo para o confinamento do concreto estrutural. Essa técnica foi utilizada com o objetivo de aumentar a capacidade resistente da estrutura composta e controlar a fissuração nas zonas tracionadas. Também foi utilizado malha de aço de alta resistência, para evitar o descolamento da fôrma com o concreto moldado in loco, e reforço ao cisalhamento, aumentando a densidade de estribos e aprimorando a resistência ao cisalhamento da estrutura.

6 ADERÊNCIA ENTRE AS CAMADAS DE ARGAMASSA IMPRESSA EM 3D

A aderência entre camadas de argamassa da 3DPF é um fator importante, que traz melhoria na resistência da fôrma. Diante disso, os autores Liu *et al.* (2024a) analisaram o desempenho à compressão de colunas compostas de concreto impresso em 3D com fibra de PVA e fôrmas permanentes, reforçadas com barras de BFRP. Esse estudo trouxe que a quantidade de fibra proporciona um efeito de ponteamto de tensão até certo ponto. Com isso, fez com que não ocorresse delaminação nas interfaces das camadas impressas, e a tensão nessas interfaces não diferiu da de outras partes da amostra, demonstrando a boa integridade. Foi destacado, que a superfície interna quando está mais rugosa proporciona uma melhor aderência interfacial entre o concreto moldado e a fôrma permanente, além de um mecanismo de transferência de carga mais eficiente, o que melhora a capacidade de carga do espécime.

Segundo YU *et al.* (2024), em seu estudo mostrou que a amostra com menor porosidade correspondeu à maior resistência de ligação interfacial de impressão 3D. Já, em outra amostra com maior porosidade correspondeu à menor resistência de ligação interfacial de impressão 3D. A alta porosidade fez com que trincas se desenvolveram nos corpos de prova sob cargas mais baixas, e essas trincas se propagaram rapidamente sob cargas máximas, correspondendo às maiores larguras de trinca.

Em um estudo, os autores resolveram descobrir a resistência entre as camadas de concreto impressa em 3D. Desse modo, as amostras foram submetidas a testes de tração para medir a resistência da ligação entre as camadas. Descobriram que o aumento do número de camadas empilhadas exerce uma influência negativa na resistência da ligação entre as camadas da estrutura impressa, especialmente na interface com o aumento da altura das camadas empilhadas verticalmente. A camada inferior é gradualmente comprimida e deformada, os poros existentes na zona intercamada tornam-se planos e alongados, podendo até mesmo poros adjacentes se conectarem e gradualmente se transformarem em poros maiores (Zhang *et al.*, 2023b).

7 COMPARATIVO ENTRE FÔRMAS TRADICIONAIS DE MADEIRA E FÔRMAS EM IMPRESSÃO 3D DE ARGAMASSA

A tecnologia em fôrmas permanentes representa uma solução eficaz para substituir as fôrmas temporárias convencionais. A aplicação direta da fôrma impressa elimina etapas como montagem, desforma e descarte, contribuindo para a redução de resíduos no canteiro. De acordo com Cheng *et al.* (2022), os resíduos de fôrmas representam de 20% a 30% do total de resíduos da construção. Além disso, a quantidade de materiais que compõem uma fôrma convencional é maior. Na Figura 9(a) é possível ver os materiais que compõem uma fôrma tradicional e na Figura 9(b) observa-se que após a fabricação da fôrma por 3DCP não há necessidade de materiais adicionais para compor a fôrma.

Figura 9: (a) Fôrma tradicional e (b) fôrma permanente 3DCP.



Fonte: (a) Próprio autor, 2022; (b) Shimizu Corporation, 2021.

Comparando algumas características de uma estrutura moldada em fôrmas tradicionais e em fôrmas permanentes 3DCP, no estudo conduzido por Zhu *et al.* (2021), foram construídos e ensaiados pilares de concreto utilizando fôrmas permanentes impressas em 3D, os quais foram comparados a pilares moldados com fôrmas convencionais. Os resultados mostraram que os elementos produzidos com fôrmas impressas apresentaram maior rigidez inicial e maior capacidade de carga, mesmo sem alterações significativas. Essa diferença foi atribuída à boa

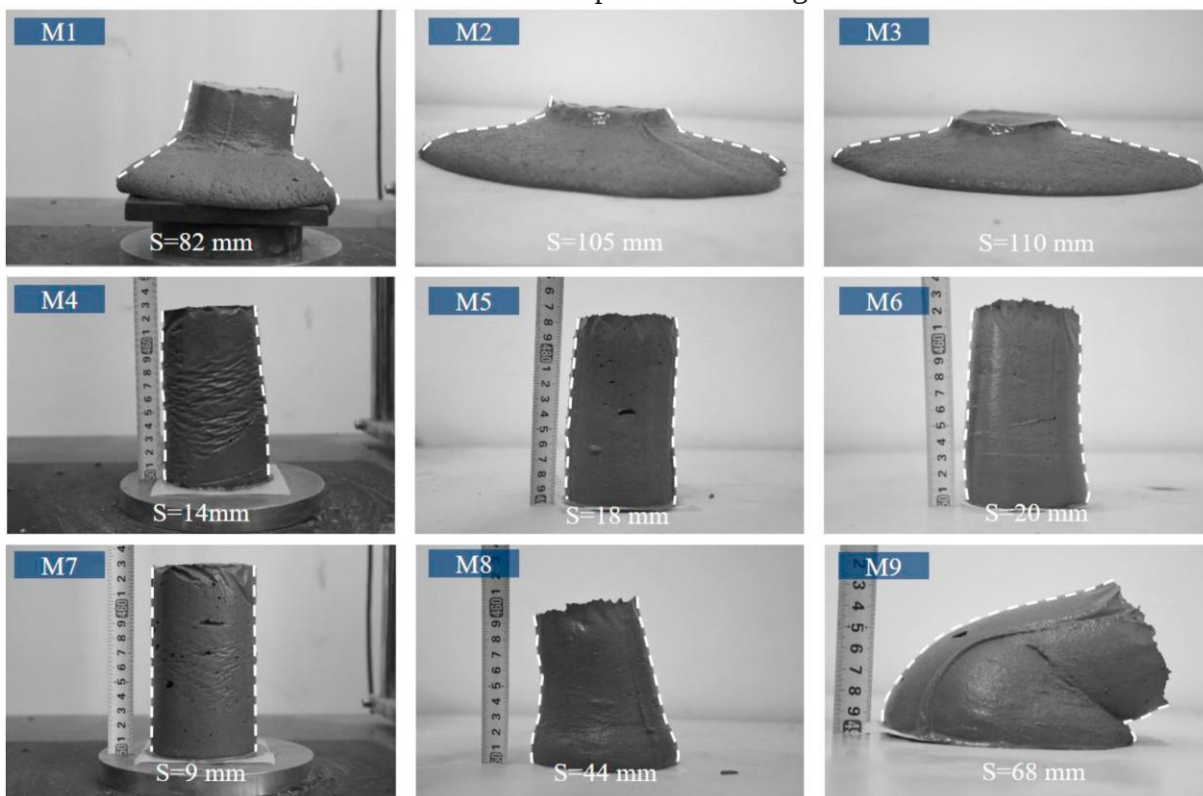
aderência entre a fôrma impressa e o concreto lançado, além do confinamento adicional oferecido pela parede da fôrma de argamassa, que se mantém no elemento final.

8 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da análise dos estudos publicados entre 2020 a 2025 mostram o potencial da impressão 3D com argamassa aplicada à produção de fôrmas permanentes como solução tecnicamente viável e eficiente para a construção civil. De modo geral, as pesquisas analisadas convergem ao demonstrar que a fôrma impressa em 3D deixa de exercer apenas a função de moldagem, passando a integrar o elemento final e a contribuir diretamente para o desempenho da estrutura.

O estudo de Zhu *et al.* (2021), mostraram que a formulação da argamassa exerce influência determinante na viabilidade da impressão 3D de fôrmas permanentes, sendo identificada como mistura ótima (M7) aquela com relação água/aglomerante de 0,27 e teor de HPMC de 0,0006, que apresentou a maior tensão de escoamento estática, elevada tixotropia e maior resistência verde, garantindo excelente retenção de forma e estabilidade das camadas impressas (Figura 10).

Figura 10: Capacidade de retenção de forma e valores de abatimento (S) de diferentes amostras frescas após a desmoldagem.



Fonte: Zhu *et al.*, 2021.

A aplicação dessa mistura permitiu a impressão de fôrmas permanentes sem ocorrência de colapso significativo ou delaminação entre camadas, evidenciando boa integridade estrutural do elemento impresso. Nos ensaios de compressão axial, as colunas produzidas com fôrmas permanentes impressas apresentaram maior rigidez inicial e maior capacidade de carga em comparação às colunas moldadas com fôrmas convencionais, resultado atribuído ao efeito de confinamento proporcionado pela fôrma impressa e à maior resistência do concreto utilizado na impressão. Observou-se ainda boa aderência entre o concreto moldado in loco e a fôrma impressa, favorecida pela superfície interna rugosa de geometria côncavo-convexa, que proporcionou transferência eficiente de esforços e contribuiu para o aumento da capacidade resistente global dos elementos estruturais (Zhu *et al.*, 2021).

Prosseguindo, na pesquisa dos autores Liu *et al.* (2024a), demonstrou-se que as colunas compostas com fôrmas permanentes impressas em 3D reforçadas com fibras de PVA e barras de BFRP apresentaram desempenho estrutural superior quando comparadas às colunas moldadas por métodos convencionais. Observou-se redução significativa dos danos superficiais e ausência de delaminação entre as camadas impressas, evidenciando boa integridade interfacial. A capacidade resistente à compressão axial das colunas com fôrma impressa foi entre 13% e 16% superior à das colunas convencionais, resultado atribuído ao efeito de confinamento proporcionado pela fôrma impressa e ao ponteamto de tensões promovido pelas fibras de PVA. Complementando, verificou-se redução de 4,8% a 27,6% nos deslocamentos laterais sob compressão excêntrica, indicando aumento da rigidez e da capacidade à flexão. As barras de BFRP desempenharam papel fundamental na manutenção da ductilidade e da capacidade pós-pico, enquanto a superfície interna rugosa da fôrma impressa garantiu melhor aderência e transferência de esforços entre o concreto moldado e a fôrma permanente.

A estrutura composta por fôrmas permanentes impressas em 3D reforçadas por protensão apresentou desempenho estrutural elevado e comportamento confiável em todas as fases de ensaio, segundo Guan *et al.* (2025). Durante a etapa de montagem, observou-se perda de protensão em torno de 2% após 14 dias, atribuída à retração e fluência do concreto impresso, sendo recomendado o acréscimo de 2% na força de protensão inicial para compensação desse efeito. Após a concretagem e cura, a laje composta suportou carga de serviço correspondente a 18,76kN. No ensaio de ruptura, a estrutura atingiu carga última de aproximadamente 141kN,

apresentando elevada ductilidade e ausência de deslizamento ou delaminação entre a fôrma impressa e o concreto moldado (Figura 11).

Figura 11: Modo de falha final.



Fonte: Guan *et al.*, 2025.

A investigação conduzida por Yu *et al.* (2024) explicou que o desempenho da ligação entre a fôrma permanente impressa em 3D (3DPF) e o concreto moldado posteriormente (PCC) depende da forma de tratamento da interface. Os ensaios de tração por compressão diametral e de cisalhamento trouxeram que tanto o método químico (pasta de cimento) quanto o método físico (ranhuras) aumentam a resistência de aderência interfacial. Enquanto o método composto (ranhuras e pasta de cimento) reduz o desempenho da ligação. O tratamento físico apresentou os melhores resultados, elevando a resistência ao cisalhamento em até 30,68% em comparação ao grupo sem tratamento, efeito atribuído ao aumento das estruturas de intertravamento mecânico na interface. Os modos de ruptura analisados afirmaram que o aumento do intertravamento mecânico desloca a falha do plano de interface para o interior do concreto moldado, assegurando que o tratamento físico é o mais eficiente para garantir ligação confiável entre 3DPF e PCC em aplicações estruturais.

Zhang *et al.* (2023a) avaliaram o comportamento histerético de colunas segmentadas com fôrmas permanentes impressas em 3D sob carregamento cíclico quase estático, verificando que os modelos com fôrma permanente impressa em 3D (3DPCPSC) apresentaram desempenho estrutural superior ao das colunas segmentadas convencionais (PSRC), desde que não ocorresse o desprendimento da fôrma impressa. O espécime sem tratamento interfacial (3DPCPSC-N) apresentaram lascamento da fôrma, resultando em redução da capacidade resistente em relação ao modelo PSRC. Em contrapartida, os modelos com chaves de cisalhamento internas (3DPCPSC-I) e confinamento ativo externo por anel de aço

inoxidável (3DPCPSC-E) apresentaram capacidade resistente próxima ou superior à da coluna convencional, além de maior rigidez inicial (Tabela 5). A dissipação de energia acumulada do modelo 3DPCPSC-E foi a mais elevada entre todos os espécimes, atingindo valor 1,14 vezes superior ao da coluna PSRC. A análise pelo coeficiente global de desempenho histerético η indicou que o modelo 3DPCPSC-E apresentou o melhor comportamento estrutural enquanto o modelo sem reforço interfacial apresentou o pior desempenho.

Tabela 5: Propriedades mecânicas.

Modelo	Capacidade de carga máxima (kN)		Rigidez inicial (kN/mm)		Dissipação de energia acumulada (10^4 kN·mm)	Amortecimento viscoso equivalente (%)	Proporção residual (%)	η
	Empurrar	Puxar	Empurrar	Puxar				
PSRC	-73,23	74,11	4,85	4,28	17,474	3,865	0,04898	1282,3
3DPCPSC-N	-54,69	57,04	5,43	4,08	13,413	4,774	0,5008	82,955
3DPCPSC-I	-77,33	65,4	5,73	4,51	16,145	4,872	0,77187	92,685
3DPCPSC-E	-79,74	70,91	6,67	6,12	19,869	5,528	0,40422	261,44

Fonte: Zhang *et al.*, 2023a.

O comportamento à flexão de fôrmas permanentes de concreto impresso em 3D reforçadas por protensão foi examinada por Raza *et al.* (2025). As fôrmas foram desenvolvidas para aplicação em lajes nervuradas, verificando que o sistema proposto apresenta capacidade estrutural suficiente para atuar como elemento portante. Os ensaios de flexão em quatro pontos demonstraram que as fôrmas protendidas exibiram capacidade de momento de fissuração de aproximadamente 18 kNm e 22 kNm para as configurações de 2 e 3 nervuras. As análises de deformação e monitoramento por correlação digital de imagens confirmaram que as primeiras fissuras ocorreram predominantemente na região de interfilamento, associadas à concentração de tensões em zonas de menor continuidade material. Os resultados de carga última indicaram que o modelo com maior largura de filamento (45 mm) apresentou maior rigidez, maior ductilidade e evitou falhas prematuras por cisalhamento. A avaliação de projeto mostrou ainda que as fôrmas protendidas podem suportar vãos de até 5 m sem escoramento, confirmando a viabilidade estrutural da fôrma permanente impressa em 3D como solução portante para lajes nervuradas.

Por fim, a viabilidade do concreto emborrachado impresso em 3D como fôrma permanente, demonstrou que a incorporação de agregados de borracha reciclada (RA) influencia

simultaneamente o desempenho mecânico, a qualidade da interface intercamadas e a durabilidade do material, segundo o estudo de Zou *et al.* (2025). Os resultados mostraram que a adição de RA reduz parcialmente as resistências à compressão e à flexão, porém diminui significativamente a anisotropia mecânica. O processo de absorção e dessorção de água pelos RA reduziu o teor de umidade superficial dos filamentos extrudados e promoveu cura interna nas interfaces, resultando na supressão de poros alongados, refinamento da estrutura porosa e aumento da resistência de aderência intercamadas. Desse modo, o concreto emborrachado impresso em 3D como fôrma permanente alcançou resistência à compressão de 49,78 MPa e resistência à flexão de 10,59 MPa, validando sua aplicação como fôrma permanente para concreto estrutural de classe C40 ou inferior.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio desta revisão, observa-se que, com o avanço tecnológico e a escassez de mão de obra qualificada, torna-se necessário o desenvolvimento de novas soluções construtivas. A impressão 3D em argamassa para fôrmas permanentes configura-se como uma tecnologia emergente, que ainda demanda aprofundamento em estudos, desenvolvimento de normas técnicas e novas descobertas. A partir da análise dos diferentes trabalhos revisados, verificou-se que a base principal dessa técnica está na formulação da argamassa, sendo essencial para garantir resistência, aderência, precisão geométrica e sustentação entre as camadas.

Portanto, destaca-se como vantagens a produtividade, a precisão das geometrias e o potencial de sustentabilidade, embora o custo elevado associado principalmente aos equipamentos de impressão e à necessidade de profissionais especializados, ainda represente um desafio para sua ampla aplicação. Conclui-se que esta revisão apresentou um panorama atual do estado da tecnologia, evidenciando que o objetivo proposto foi alcançado e que a área continua em expansão, com crescente número de estudos e significativo potencial de desenvolvimento futuro.

REFERÊNCIAS

- AKBARZADEH, Masoud *et al.* Diamanti: 3D-printed, post-tensioned concrete canopy. **Fabricate 2024: Creating Resourceful Futures**, v. 5, p. 292-301, 2024.
- ANTON, Ana *et al.* A 3D concrete printing prefabrication platform for bespoke columns. **Automation in Construction**, v. 122, p. 103467, 2021.
- CHENG, Baoquan *et al.* BIM-enabled life cycle assessment of concrete formwork waste reduction through prefabrication. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 53, p. 102449, 2022.
- GUAN, Jingyuan *et al.* 3D printed concrete composite slabs fabricated by prestress reinforced permanent formwork: design, manufacturing, and performance. **Engineering Structures**, v. 325, p. 119446, 2025.
- LIU, Bing *et al.* Compressive performance of PVA fiber-reinforced 3D concrete printing permanent formwork composite columns reinforced with BFRP bars. **Journal of Building Engineering**, v. 98, p. 111174, 2024a.
- LIU, Bing *et al.* Study on the compression performance of 3D printing concrete permanent formwork composite columns. **Journal of Building Engineering**, v. 98, p. 111245, 2024b.
- NGUYEN, Minh Hai *et al.* A quantitative evaluation of structural efficiency and CO₂ emission reduction of permanent formwork for reinforced concrete beams. **Construction and Building Materials**, v. 499, p. 144066, 2025.
- RAZA, Saim *et al.* Flexural behavior of stay-in-place load-bearing 3D-printed concrete formwork for ribbed slabs. **Engineering Structures**, v. 338, p. 120531, 2025.
- SHIMIZU CORPORATION. Smart construction with 3D printer. Tóquio: Shimizu Corporation, [s.d.]. Disponível em: <https://www.shimz.co.jp/en/topics/technology/item01/>. Acesso em: 16 jul. 2025.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. Not just another brick in the wall: the solutions exist – scaling them will build on progress and cut emissions fast. Global status report for buildings

and construction 2024/2025. [S.l.]: UNEP, 2025. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/47214>. Acesso em: 12 jul. 2025.

YU, Qian *et al.* An investigation on enhancing the bonding properties of 3D printed concrete permanent formwork and post-casted concrete. **Construction and Building Materials**, v. 444, p. 137841, 2024.

ZHANG, Dan *et al.* Cyclic behavior of unbonded post-tensioned precast segmental concrete columns fabricated by 3D printed concrete permanent formwork. **Engineering Structures**, v. 292, p. 116436, 2023a.

ZHANG, Yu *et al.* Interlayer adhesion of 3D printed concrete: Influence of layer stacked vertically. **Construction and Building Materials**, v. 399, p. 132424, 2023b.

ZHU, Binrong *et al.* 3D concrete printing of permanent formwork for concrete column construction. **Cement and Concrete Composites**, v. 121, p. 104039, 2021.

ZOU, Mengtong *et al.* Feasibility study of 3D-printed rubberized concrete as a permanent formwork: mechanical properties, interlayer interface and durability. **Journal of Building Engineering**, v. 106, p. 112544, 2025.