



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO CLAUDISMAR DA SILVA JUNIOR

**A IMPRESSÃO 3D DE BLOCOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL DA
MODULAÇÃO M-15 COMO APOIO AO ENSINO NA ENGENHARIA CIVIL**

ANGICOS

2025

FRANCISCO CLAUDISMAR DA SILVA JUNIOR

**A IMPRESSÃO 3D DE BLOCOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL DA
MODULAÇÃO M-15 COMO APOIO AO ENSINO NA ENGENHARIA CIVIL**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Klaus André de Sousa
Medeiros

ANGICOS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

JS586 Junior, Francisco Claudismar da Silva.
i A impressão 3d de blocos de alvenaria
estrutural da modulação m-15 como ao ensino na
engenharia civil / Francisco Claudismar da Silva
Junior. - 2025.
41 f. : il.

Orientador: Klaus Andre de Sousa Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Computação, 2025.

1. impressão 3D. 2. alvenaria estrutural. 3.
modulação M15. 4. modelos em escala. 5. elementos
construtivos. I. Medeiros, Klaus Andre de Sousa ,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO CLAUDISMAR DA SILVA JUNIOR

**A IMPRESSÃO 3D DE BLOCOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL DA
MODULAÇÃO M-15 COMO APOIO AO ENSINO NA ENGENHARIA CIVIL**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 11 / 12 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Klaus André De Sousa Medeiros (UFERSA)
Presidente

Dr. Rodolfo de Azevedo Palhares
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Membro Examinador

Dr. Wallison Angelim Medeiros
Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter guiado meus passos e me concedido força, sabedoria e saúde ao longo de toda esta trajetória. Sem Sua presença, nada disso seria possível.

Agradeço à minha mãe, Zerecilde, cuja dedicação e amor incondicional foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Esta conquista é, sobretudo, para ela.

Estendo meus agradecimentos às minhas irmãs, Juliana e Nayara, pelo apoio constante, pelas palavras de incentivo e por estarem sempre ao meu lado nos momentos mais desafiadores.

Agradeço também à minha companheira de vida, Isabelly, por todo o companheirismo, compreensão e apoio durante essa jornada. Sua presença foi essencial para que eu permanecesse motivado e firme no propósito de concluir esta etapa.

Aos meus amigos de infância e aos colegas que conheci ao longo do curso, deixo minha gratidão pelo companheirismo, pelas conversas, pelas ajudas e pela amizade construída. Cada um, à sua maneira, fez parte desta história.

À UFERSA, agradeço pela estrutura oferecida, pelas oportunidades acadêmicas e pelo ambiente que tornou possível minha formação.

A todos os professores que contribuíram para meu desenvolvimento profissional e pessoal, deixo meus sinceros agradecimentos.

Em especial, agradeço ao Professor Dr. Klaus André de Sousa Medeiros, pela orientação atenciosa, paciência, disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos transmitidos durante a elaboração deste trabalho. Sua orientação foi indispensável para o desenvolvimento deste estudo.

A cada pessoa que fez parte desta história, meu muito obrigado. Este momento é a soma de muitos gestos, muitas mãos e muitos corações.

Parte da jornada é o fim...

Tony Stark

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo explorar a aplicação da tecnologia de impressão 3D no ensino de alvenaria estrutural, por meio da produção de modelos em escala reduzida (1:8) que representam os blocos. No desenvolvimento dos modelos, utilizou-se especificamente a modulação M15 da família 15×30, adotando blocos cujas dimensões e proporções seguem esse padrão amplamente empregado em projetos de alvenaria estrutural. A escolha pela modulação M15 não só garantiu maior fidelidade às práticas construtivas reais, como também permitiu que os estudantes tivessem contato direto com a lógica de modulação mais comum no contexto profissional, facilitando a transição entre o conteúdo teórico e suas aplicações práticas. A metodologia envolveu a modelagem geométrica digital, a impressão dos blocos e sua posterior aplicação em sala de aula, todos baseados na modulação M-15, e sua posterior aplicação em sala de aula. Os resultados apontam para uma aceitação positiva por parte dos alunos e do professor, reforçando o potencial da impressão 3D como ferramenta de apoio ao ensino técnico.

Palavras-chave: impressão 3D; alvenaria estrutural; modulação M15; ensino de engenharia; modelos em escala; elementos construtivos.

ABSTRACT

This study aims to explore the application of 3D printing technology in the teaching of structural masonry through the production of scaled models representing blocks and constructive elements. In developing these models, the M15 modular system of the 15×30 block family was specifically adopted, ensuring dimensional fidelity to real-world structural masonry practices. The use of the M15 modulation enhanced the educational value of the prototypes, allowing students to understand better the logic, coordination, and constructive behavior associated with this widely applied modular standard. The methodology involved digital modeling, 3D printing of the elements, entirely based on the M15 modulation, and their implementation in the classroom. The results showed positive acceptance from both students and instructors, reinforcing the potential of 3D printing as a supportive tool for technical education and highlighting the relevance of using realistic modular systems in engineering training.

Keywords: 3D printing; structural masonry; M15 modular system; engineering education; scaled models; constructive elements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Coliseu de Roma	16
Figura 2	–	Conjunto Habitacional	22
Figura 3	–	Demonstração de amarração em L e em T	23
Figura 4	–	Amarração de cantos e bordas com modulação M-15.....	27
Figura 5	–	Bloco inteiro, meio bloco e canaletas e U.	28
Figura 6	–	Modelagem digital dos blocos no Revit	31
Figura 7	–	Impressora 3D Ultimaker 2+ Connect.....	32
Figura 8	–	Configuração para a impressão dos blocos	33
Figura 9	–	Pré-visualização dos blocos no programa da impressora	33
Figura 10	–	Momento de impressão dos blocos	34
Figura 11	–	Planta baixa feita para base de atividades.....	35
Figura 12	–	Bloco Inteiro 14x19x29.....	36
Figura 13	–	Meio bloco 14x14x19.....	37
Figura 14	–	Bloco e meio 14x19x44.....	37
Figura 15	–	Bloco compensador 14x19x4.....	38
Figura 16	–	Blocos com falha	39
Figura 17	–	Amarração em T	40
Figura 18	–	Amarração em L	40
Figura 19	–	Montagem dos blocos sobre a planta baixa	41
Figura 20	–	Alunos manuseando os blocos sobre a planta baixa	42
Figura 21	–	Professor aplicando didática com os blocos	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Dimensões nominais (mm) dos blocos vazados de concreto (Tabela 1 da NBR 6136).....	16
----------	---	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Three-Dimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
BIM	Building Information Modeling
DR	Doutor
FDM	Fused Deposition Modeling
NBR	Norma Brasileira
PLA	Polylactic Acid (Ácido Polilático)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivo geral	15
1.2	Objetivos específicos	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Histórico e Definições Gerais da Alvenaria estrutural	16
2.2	Modulação da alvenaria estrutural.....	18
2.3	Conceito, fundamentos e impacto estrutural detalhado	19
2.4	Famílias modulares.....	21
2.5	Modulação M-15	22
2.6	Impressão 3D no ensino da engenharia	23
3.	METODOLOGIA.....	26
3.1	Modelagem digital dos blocos em escala reduzida	26
3.2	Processo de impressão 3D dos blocos	27
3.3	Desenvolvimento da planta baixa em escala reduzida	29
3.4	Aplicação didática em ambiente acadêmico.....	30
4.	RESULTADOS	31
5.	CONCLUSÃO.....	38
	REFERENCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um dos sistemas construtivos que mais cresce em sua utilização no Brasil, sendo amplamente empregada em edificações de pequeno e médio porte. Ela se caracteriza pela utilização dos próprios elementos de alvenaria (blocos, argamassa, graute e armadura) para a resistência das cargas da edificação, eliminando, em muitos casos, o uso de vigas e pilares convencionais. Dada sua eficiência e economia, esse sistema ocupa papel relevante tanto na prática profissional quanto no ensino da engenharia civil.

No entanto, apesar de sua importância prática, muitos estudantes de engenharia civil enfrentam dificuldades para compreender conceitos fundamentais da alvenaria estrutural, como o arranjo das fiadas, os tipos de amarração entre blocos, o alinhamento e a correta interpretação dos projetos arquitetônicos e estruturais. Tais dificuldades se devem, em parte, à abstração dos conteúdos teóricos e à limitação das representações bidimensionais em sala de aula.

Com o avanço das tecnologias de fabricação digital, surgem novas possibilidades para o ensino de conteúdos técnicos de forma mais interativa e tangível. A impressão 3D tem ganhado espaço não apenas na indústria, mas também como ferramenta de apoio didático nas ciências exatas. Essa tecnologia permite a criação de modelos físicos precisos, a partir de arquivos digitais, com grande potencial para aplicações educacionais. De acordo com Lasmar e Silva (2022), a impressão 3D permite a representação tátil e visual de componentes estruturais, facilitando o entendimento de conceitos que, até então, eram restritos à imaginação ou à leitura de plantas.

Estudos como o de Rodrigues et al. (2023) demonstram que a fabricação de protótipos em escala reduzida por impressão 3D pode melhorar significativamente a assimilação dos conteúdos por parte dos alunos, além de estimular o aprendizado ativo e colaborativo. Nesse sentido, o uso da impressão 3D no ensino de alvenaria estrutural surge como uma alternativa pedagógica inovadora, que alia tecnologia, prática e teoria em um único recurso.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como problema central a dificuldade enfrentada por estudantes de engenharia civil na compreensão dos conceitos construtivos da alvenaria estrutural quando estes são abordados apenas de forma teórica. Como forma de enfrentar esse problema, propõe-se a fabricação de blocos de alvenaria estrutural da modulação M15, da família 15x30, em escala reduzida, utilizando a tecnologia de impressão 3D. O desenvolvimento do trabalho compreende a modelagem digital dos blocos, a impressão tridimensional das peças e sua posterior aplicação como recurso didático em sala de aula, permitindo a demonstração prática das amarrações, da modulação e do arranjo das fiadas.

Espera-se, como resultado, que o uso dos blocos impressos em 3D contribua para uma melhor visualização e compreensão dos conceitos de alvenaria estrutural, auxiliando o processo de ensino-aprendizagem na graduação em engenharia civil. Além disso, pretende-se demonstrar o potencial da impressão 3D como ferramenta de apoio ao ensino técnico, incentivando a adoção de metodologias inovadoras e o uso de tecnologias digitais na formação de profissionais mais capacitados, críticos e preparados para os desafios da construção civil contemporânea.

1.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como finalidade utilizar a tecnologia de impressão 3D como instrumento de apoio didático no ensino da alvenaria estrutural, no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Arido (UFERSA), Campus Angicos, por meio da produção de modelos físicos em escala reduzida. Tal iniciativa visa proporcionar aos discentes uma vivência prática que favoreça a visualização tridimensional dos blocos da família 15x30, a compreensão de sua modulação M-15, dos diferentes sistemas de amarração e da respectiva disposição em planta, estabelecendo, assim, uma relação mais consistente entre os conteúdos teóricos e sua aplicação prática.

1.2 Objetivos específicos

- Modelar digitalmente a geometria dos blocos de alvenaria estrutural da família M-15 em escala 1:8;
- Realizar a impressão 3D dos blocos estruturais;
- Elaborar planta arquitetônica em escala reduzida para fazer a disposição dos blocos de forma prática;
- Aplicar os materiais desenvolvidos em ambiente de sala de aula;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico e Definições Gerais da Alvenaria estrutural

Conforme definição de Camacho (2001), sistema construtivo é “um processo construtivo de elevado nível de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrado pelo processo.” Assim, a alvenaria estrutural pode ser compreendida como um sistema construtivo, pois seu processo integra diversos elementos, todos direcionados por uma mesma lógica, com o objetivo de alcançar um resultado satisfatório.

Reconhecida como um dos métodos mais antigos de construção, a alvenaria estrutural serviu historicamente como a principal solução para o abrigo, proteção e sustentação de obras em todas as escalas. Sua notável evolução acompanha o desenvolvimento tecnológico: de estruturas simples erguidas com pedras naturais, o sistema transformou-se em um modelo moderno e eficiente, baseado na padronização de blocos fabricados industrialmente.

Conforme Reis (2016), os registros mais antigos do emprego das estruturas de alvenaria datam das civilizações egípcia e mesopotâmica. Estes povos pioneiros utilizavam blocos de pedra e tijolos de barro secos ao sol para construir templos, muralhas e habitações. Obras grandiosas, como as pirâmides e o coliseu de Roma (Figura 1), demonstram que o domínio das técnicas de empilhamento, geometrização e amarração já era fundamental, princípios que se mantêm cruciais na alvenaria estrutural moderna. Posteriormente, os romanos impulsionaram grandes avanços, introduzindo o tijolo cozido, o uso do cimento pozolânico e argamassas aprimoradas. Tais inovações garantiram maior durabilidade e resistência às suas edificações, com estruturas icônicas como o Coliseu e os aquedutos servindo de testemunho dessa evolução.

Figura 1: Coliseu de Roma



Fonte: <https://tecne.com/biblioteca/coliseo-romano/> (acesso em 12/09/2025)

A alvenaria estrutural ganhou notoriedade no Brasil a partir da década de 1970, sendo amplamente adotada em programas habitacionais e projetos de interesse social representado na Figura 2. Sua popularização se deu em razão do baixo custo de materiais, da rapidez de execução e da facilidade de integração com a mão de obra local.

Posteriormente, o sistema alcançou um patamar de confiabilidade técnica superior. Graças à evolução das pesquisas nacionais e à consolidação de normas técnicas, como a ABNT NBR 6136:2014 e a ABNT NBR 16868:2020, seu uso foi expandido para edificações de médio porte e condomínios residenciais.

Em suma, o histórico da alvenaria estrutural demonstra que, apesar de suas raízes milenares, ela se mantém em contínua modernização. A sinergia entre tecnologia, padronização e pesquisas assegura que o método permaneça uma solução atual, oferecendo economia e segurança alinhadas às exigências da engenharia civil contemporânea.

A alvenaria estrutural, conforme definida pela ABNT NBR 16868-1:2020, é o sistema em que os elementos de vedação – como blocos de concreto ou cerâmicos – também atuam como parte integrante da estrutura de suporte de cargas. Sua eficácia está condicionada ao correto dimensionamento, posicionamento das fiadas e das amarrações entre os blocos, além da distribuição das cargas de maneira uniforme entre os elementos.

Figura 2 – Conjunto Habitacional



Fonte: <https://www.manaus.am.gov.br/noticia/habitacao/obras-do-residencial-manauara-2-passam-de-80-para-conclusao-dos-500-apartamentos/> (acesso 12/09/2025)

Esse método construtivo se baseia em um conjunto de elementos padronizados, tais como blocos de concreto ou cerâmicos, argamassas de assentamento e grautes, todos

interligados de forma a constituir um conjunto monolítico. A resistência das paredes é distribuída de maneira homogênea, uma vez que os componentes trabalham solidariamente. Para garantir desempenho adequado, a execução deve seguir os critérios normativos estabelecidos pelas normas brasileiras, especialmente a ABNT NBR 16868-1:2020. Alvenaria estrutural – Parte 1: Projeto, a ABNT NBR 16868-2:2020. Alvenaria estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras) a ABNT NBR 6136 (Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria Estrutural) e a ABNT 15270:2023 (Componentes de blocos cerâmicos), que definem requisitos de dimensionamento, qualidade dos blocos e procedimentos de assentamento.

Entre as principais vantagens da alvenaria estrutural, destaca-se a racionalização do processo construtivo, uma vez que o sistema favorece a padronização dos elementos e a redução de desperdícios. A diminuição do uso de formas, aço e concreto contribui diretamente para a redução de custos e do tempo de obra. Além disso, quando a modulação é bem planejada, o que melhora a produtividade e otimiza o consumo de materiais. Outro benefício importante é o desempenho estrutural satisfatório para edificações de pequeno e médio porte, especialmente residenciais.

Por outro lado, esse sistema apresenta limitações que precisam ser cuidadosamente consideradas no projeto. Alterações posteriores na planta baixa, como remoção ou deslocamento de paredes, tornam-se complexas, pois tais elementos são parte da estrutura resistente. Portanto, o sucesso desse tipo de construção depende diretamente de um planejamento prévio bem elaborado e da capacitação adequada da mão de obra.

2.2 Modulação da alvenaria estrutural

De acordo com Bastos (2021), a modulação de um arranjo arquitetônico implica o ajuste preciso das dimensões da edificação, tanto na direção horizontal quanto no pé-direito, em função das dimensões padronizadas das unidades de alvenaria. Essa prática é essencial na Alvenaria Estrutural por garantir a economia e a racionalização do processo, prevenindo o desperdício de material e a necessidade de cortes nos blocos.

A modulação é o alicerce da engenharia de alvenaria estrutural, transcendendo a simples disposição de blocos. Constitui-se na etapa de planejamento dimensional essencial para garantir a eficiência construtiva, a máxima economia de materiais e a racionalização integral do processo. Seu objetivo primordial é assegurar que todas as peças se encaixem com precisão milimétrica, resultando em um conjunto construtivo altamente coeso e harmonioso. Uma modulação corretamente aplicada tem o poder de reduzir drasticamente o desperdício, eliminar

a necessidade de cortes e ajustes improvisados, e simplificar a execução, impactando diretamente a produtividade no canteiro e a qualidade final da edificação.

2.3 Conceito, fundamentos e impacto estrutural detalhado

A modulação pode ser formalmente definida como o planejamento dimensional sistemático da alvenaria. Ela se baseia na organização das fiadas de blocos segundo um módulo-base predefinido, que se torna o denominador comum para todas as medidas, tanto horizontais quanto verticais, ao longo de todo o empreendimento. Esse módulo é estabelecido pela soma das dimensões padronizadas dos blocos e da espessura das juntas, garantindo a compatibilidade intrínseca entre todos os componentes da estrutura.

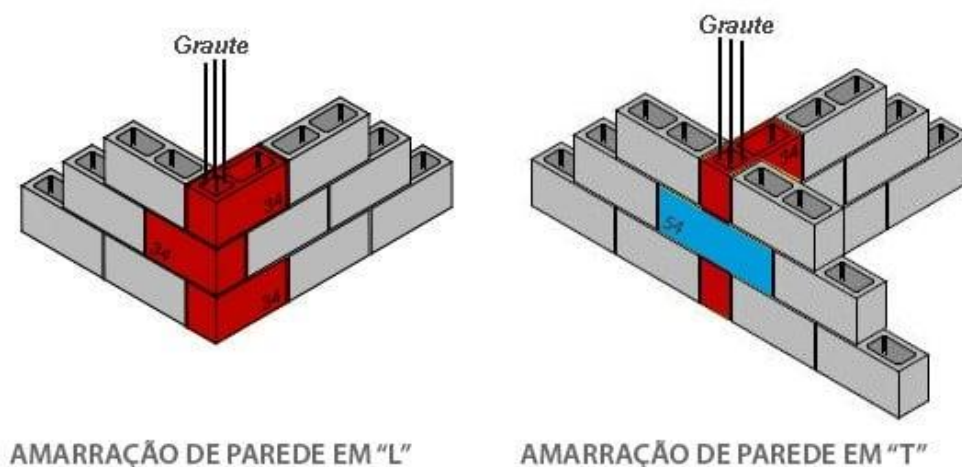
Segundo (Pastro, 2007), o projeto de edifícios em alvenaria estrutural exige um estudo minucioso de modulação em conjunto com o projeto arquitetônico. Essa modulação visa o perfeito "encaixe" dos blocos, formando uma estrutura prismática que respeita todas as amarrações. Para otimizar a funcionalidade da obra, é fundamental evitar ao máximo arranjos e emendas, privilegiando a uniformidade dimensional dos blocos. A edificação resultante terá dimensões múltiplas das medidas dos blocos utilizados, sendo que atenção especial deve ser dada aos cantos e encontros de paredes.

No contexto rigoroso da alvenaria estrutural, a modulação exerce um impacto crítico no comportamento estrutural das paredes. Uma modulação coerente é fundamental para:

- **Alinhamento de Cargas:** Assegura que as cargas sejam transmitidas de forma contínua e uniforme através dos blocos até a fundação, otimizando a capacidade de suporte da estrutura.
- **Controle de Juntas:** O correto escalonamento das fiadas impede a temida formação de juntas verticais contínuas, que atuam como linhas de fragilidade estrutural.
- **Melhora da Amarração:** Fortalece os encontros entre paredes (em L, T ou cruz), Figura 3, permitindo que a estrutura atue como um monolito e resistindo melhor a esforços laterais, como os causados pelo vento.

A negligência na modulação é uma causa comum de manifestações patológicas, como fissuras, destacamentos e sobrecargas localizadas. Além dos benefícios estruturais, a modulação se torna um pré-requisito para a integração eficaz de projetos complementares. A previsão de nichos para caixas elétricas, prumadas hidrossanitárias e dutos de ventilação deve ser feita em total sintonia com o módulo do bloco, evitando a quebra de alvenaria após a construção.

Figura 3: Demonstração de amarração em L e em T



Fonte: <https://blog.altoqi.com.br/estrutural/alvenaria-como-sistema-estrutural-estagios>
(acesso 10/11/2025)

Ramalho e Corrêa (2003) explicam que o módulo horizontal é determinado pelas dimensões de largura e comprimento do bloco. Os autores ressaltam a importância de que o módulo longitudinal dos blocos seja igual ou múltiplo da largura de projeto. Essa compatibilidade simplifica o arranjo das paredes e gera ganhos significativos na racionalização do sistema construtivo, possibilitando evitar o uso de blocos especiais ou fora do padrão de mercado.

- Modulação Horizontal: Relacionada ao comprimento total das paredes e ao alinhamento preciso dos blocos na planta baixa.

A coordenação modular vertical é análoga à horizontal, pois todas as dimensões verticais da edificação — incluindo a altura das aberturas e o pé-direito — devem ser múltiplas da unidade-base vertical de 20 cm. Essa unidade de 20cm é estabelecida pela combinação da altura do bloco e da espessura da junta de argamassa (Prudêncio Jr. et al., 2002).

- Modulação Vertical: Refere-se à determinação da altura exata das fiadas, compatibilizando as alturas de pé-direito, janelas e portas com os blocos inteiros, eliminando a necessidade de cortes no sentido da altura.

É imperativo que estas duas modulações sejam tratadas de forma sincrônica e detalhada na fase de projeto, impedindo correções dispendiosas e improvisações na etapa de execução.

2.4 Famílias modulares

Os blocos utilizados são categorizados em famílias modulares, geralmente identificadas pela medida do módulo principal em centímetros. Cada família oferece um elenco completo de componentes padronizados, essenciais para a montagem sem cortes:

- Blocos inteiros e meios blocos.
- Blocos de amarração (para garantir a ligação estrutural em encontros de paredes).
- Blocos compensadores (para pequenos ajustes dimensionais).
- Blocos canaleta (para execução de vergas, contravergas e cintas de amarração com armadura).

As designações M-20, M-15, M12,5 e M-10 representam as dimensões modulares dos blocos. E são diretamente relacionadas à largura do bloco, lembrando que a variação de 1,0 cm na largura refere-se à espessura da argamassa de assentamento. Na Tabela 1 podemos ver as características e dimensões nominais dos blocos vazados de concreto, modulares e submodulares, de acordo com a ABNT NBR 6136:2014.

Tabela 1 – Dimensões nominais (mm) dos blocos vazados de concreto.

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

NOTA 1

As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de ± 2,0 mm para a largura e ± 3,0 mm para a altura e para o comprimento.

NOTA 2

Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873.

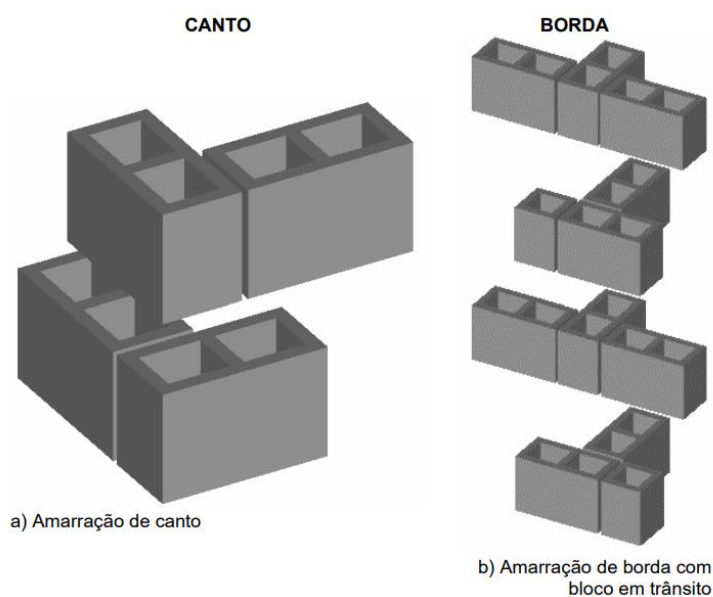
NOTA 3

As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.

Fonte: ABNT NBR 6136:2014

Os cantos e as bordas são regiões que podem trazer conflitos, pois é onde deve haver a disposição alternada de fiadas que garantirá o perfeito funcionamento da amarração direta. A amarração de canto das paredes com blocos BL-15, traz facilidades de projeto e de execução, ilustrado na Figura 4 (Mamede, 2001).

Figura 4: Amarração de cantos e bordas com modulação M-15



Fonte: Mamede (2001)

A escolha da família modular mais adequada é uma decisão de projeto que considera a viabilidade estrutural, a disponibilidade regional dos blocos e os requisitos de desempenho térmico e acústico da obra. O módulo M-15 apresenta excelente relação entre resistência, peso próprio e facilidade de manuseio, e também se harmoniza bem com as dimensões padrão de portas, janelas e ambientes residenciais.

A utilização consistente dessas famílias modulares padronizadas é um marco da industrialização da construção civil. Traz como benefícios imediatos a redução acentuada de retrabalhos, um controle de qualidade facilitado e uma previsibilidade orçamentária muito maior. Estes fatores, em conjunto, levam à otimização de recursos e ao aumento tangível da produtividade.

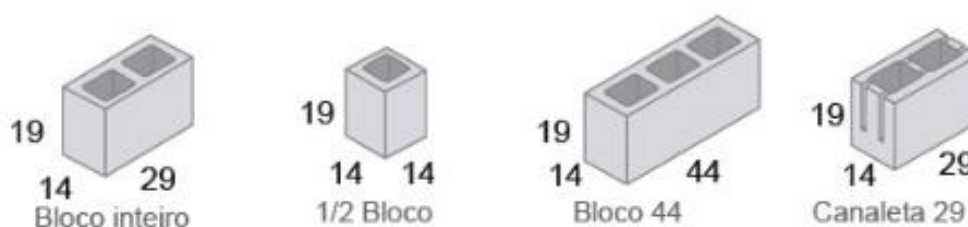
2.5 Modulação M-15

A Modulação M-15 é um sistema amplamente consolidado, onde o módulo base de 15 cm é atingido pela combinação das dimensões do bloco com a junta de argamassa. Este sistema

modular completo permite que a obra seja montada como um *kit*, minimizando a intervenção manual e o descarte de material. Os principais elementos da Família M-15, Figura 5, são:

- Bloco Inteiro (29cm, 19cm, 14cm): Elemento volumétrico principal para a execução da parede.
- Meio Bloco (14cm, 19cm, 14cm): Essencial para o ajuste de vãos e para garantir o trespasse nas amarrações.
- Blocos Canaleta e U: Utilizados para a concretagem de elementos horizontais estruturais (cintas).

Figura 5: Bloco inteiro, meio bloco e canaletas e U.



Fonte: Pavertech (2020)

Em termos de Amarração, o M15 é flexível, permitindo configurações em "L", "T", "Cruzamento" e até encontros alinhados. A regra de ouro é o uso criterioso dos meios blocos para evitar o alinhamento das juntas verticais e garantir a transferência eficiente de tensões entre os painéis.

A Modulação Vertical no M15 é determinante para a coordenação dos vãos. Idealmente, as alturas de vergas e contravergas (acima e abaixo de portas e janelas) devem ser múltiplas do módulo vertical, considerando a altura do bloco mais a junta). Isso elimina a necessidade de quebrar blocos ou preencher espaços com graute, resultando em um acabamento mais limpo e maior integridade estrutural.

A vasta adoção da Modulação M15 no Brasil promove a racionalização do projeto e a otimização de recursos. Sua familiaridade no mercado e a facilidade de ensino a tornam a família modular mais utilizada em disciplinas acadêmicas e materiais didáticos, como os blocos reduzidos utilizados neste contexto.

2.6 Impressão 3D no ensino da engenharia

No ensino da engenharia civil, um dos desafios enfrentados é transmitir ao aluno, de maneira clara, os princípios construtivos da alvenaria estrutural. As limitações das

representações bidimensionais tornam o aprendizado mais abstrato. Assim, os recursos visuais e táteis, como maquetes físicas ou modelos tridimensionais, têm ganhado espaço como ferramentas pedagógicas eficazes (Lasmar e Silva, 2022).

A tecnologia de impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, vem ganhando espaço em diversos setores da engenharia, arquitetura e design, sobretudo pela capacidade de materializar modelos físicos com precisão e rapidez. No contexto educacional, essa tecnologia tem se mostrado uma ferramenta valiosa para apoiar o ensino prático, permitindo a construção de protótipos, modelos conceituais e representações em escala reduzida, que auxiliam na visualização e compreensão de sistemas construtivos complexos. Sua aplicação no ensino de engenharia civil, embora ainda em consolidação, já demonstra potencial significativo para aprimorar metodologias pedagógicas tradicionais.

Segundo Machado et al. (2023), “a adoção da impressão 3D no ensino estabelece uma ligação direta entre conceitos teóricos e aplicações práticas, estimulando uma compreensão mais profunda e fomentando a criatividade dos estudantes.” Essa abordagem inovadora contribui para reduzir a distância entre a teoria e a prática, tornando o aprendizado mais dinâmico e envolvente.

A pesquisa de Rodrigues et al. (2023) também enfatiza que a impressão 3D permite reduzir erros de interpretação de projetos bidimensionais, uma vez que o aluno passa a interagir com o modelo real de forma tátil e visual. Isso é especialmente relevante para sistemas como a alvenaria estrutural, que dependem da correta compreensão dos encaixes e distribuição de cargas.

A impressão 3D é um processo de fabricação baseado na deposição sucessiva de camadas de material, resultando na formação de um objeto físico tridimensional a partir de um modelo digital. Entre os métodos mais comuns, destaca-se a *Fused Deposition Modeling* (FDM), caracterizada pelo uso de filamentos termoplásticos, como *Polylactic Acid* (PLA) e *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), que são aquecidos, extrudados e solidificados camada a camada. A simplicidade operacional, o baixo custo e a ampla acessibilidade das impressoras FDM fazem com que esse método seja largamente utilizado em ambientes acadêmicos e de prototipagem rápida.

No contexto da engenharia civil, a impressão 3D proporciona vantagens como a possibilidade de produzir modelos estruturais, componentes de edificações e representações geométricas de elementos construtivos. Esses recursos permitem análises preliminares, validação visual de soluções e comunicação facilitada entre estudantes, professores e

profissionais. Além disso, a tecnologia contribui para a experimentação prática em ambientes nos quais o custo ou a escala real inviabilizariam a construção de elementos físicos.

A utilização da impressão 3D como recurso educacional se alinha às tendências contemporâneas de ensino, que valorizam metodologias ativas e a aprendizagem baseada em projetos. Ao permitir que os estudantes manipulem modelos físicos, a impressão 3D estimula o pensamento espacial, a capacidade de abstração e a compreensão integrada de conceitos construtivos. Esses aspectos são fundamentais para disciplinas técnicas da engenharia civil, especialmente aquelas relacionadas ao estudo de materiais, sistemas estruturais e processos executivos.

Diversas instituições de ensino superior têm incorporado laboratórios de fabricação digital como ferramentas de apoio didático, ampliando o acesso dos alunos à prototipagem e ao desenvolvimento de soluções experimentais. Em disciplinas como alvenaria estrutural, a impressão 3D possibilita a criação de blocos e componentes em escalas reduzidas, que replicam as geometrias reais e permitem simular amarrações, modulações, interferências e detalhes executivos. Essa abordagem torna o aprendizado mais dinâmico, aproximando o estudante das condições práticas encontradas em canteiros de obras.

Além do ganho pedagógico, a impressão 3D favorece o engajamento dos alunos, pois transforma conteúdos abstratos em experiências táteis e visuais. Modelos reduzidos permitem demonstrar, com maior clareza, conceitos como continuidade estrutural, distribuição de cargas, alinhamento de juntas e organização modular. Para o professor, esses protótipos funcionam como ferramentas de demonstração em sala de aula, facilitando explicações e experimentações em tempo real.

Machado, Sousa e Capibaribe (2022) reforça que, quando integradas ao ensino, tecnologias como a impressão 3D estimulam o aprendizado ativo e colaborativo, pois os alunos se tornam agentes no processo de construção do conhecimento, manipulando os modelos, analisando as estruturas e compreendendo melhor as interações entre os elementos.

Segundo Machado, Sousa e Capibaribe (2023), a integração da impressão 3D no ensino de Engenharia Civil permite uma compreensão mais profunda dos conceitos estruturais, ao conectar teoria e prática por meio de maquetes parametrizadas. Portanto, o uso da impressão 3D como recurso didático reforça a importância da inovação tecnológica no ensino de engenharia civil, contribuindo para formar profissionais mais preparados, com melhor entendimento das técnicas construtivas e maior capacidade de interpretar e aplicar conceitos estruturais na prática.

3. METODOLOGIA

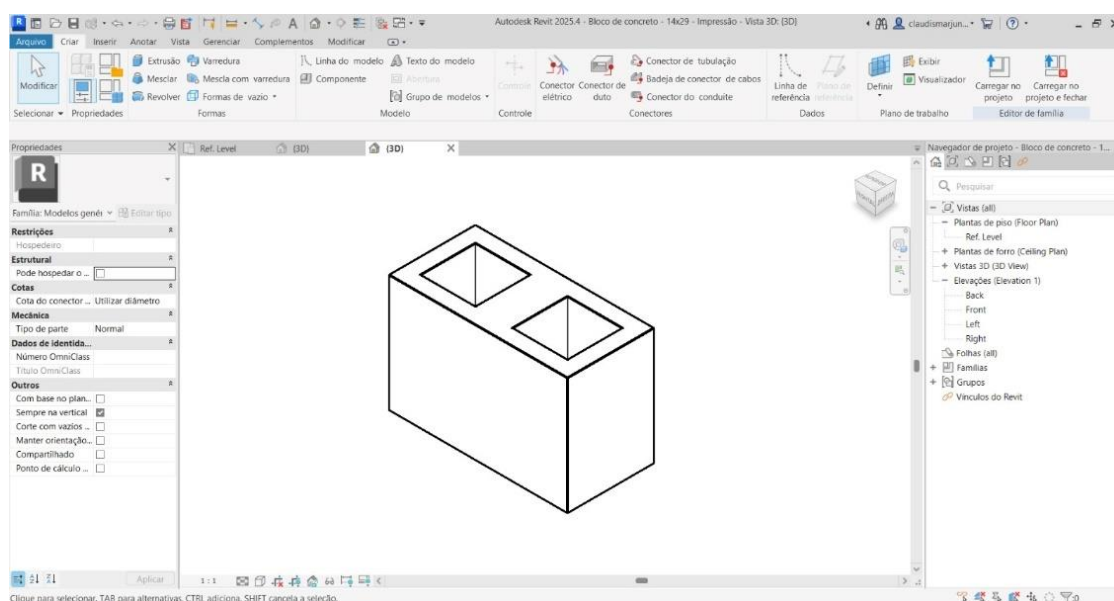
Este capítulo apresenta a caracterização da pesquisa, descrevendo de forma detalhada os métodos, etapas e ferramentas utilizadas ao longo do desenvolvimento do trabalho. A investigação possui natureza aplicada, com abordagem qualitativa, e configura-se como um estudo de caso, uma vez que se concentra na análise aprofundada de um fenômeno específico: o uso da tecnologia de impressão 3D como recurso didático para o ensino de alvenaria estrutural.

A escolha por esse delineamento metodológico justifica-se pela possibilidade de compreender, de forma contextualizada, um objeto de estudo ainda pouco explorado na literatura da Engenharia Civil, permitindo extrair contribuições práticas para o ensino e para a formação profissional.

3.1 Modelagem digital dos blocos em escala reduzida

A modelagem digital dos blocos de alvenaria estrutural foi realizada em escala reduzida 1:8 no software *AutoDesk Revit*, conforme mostra a Figura 6. A escolha da escala foi pensada de modo em que o manuseio das peças seja facilitado e a distribuição na planta baixa seja bem visualizada, assim como para aproveitar ao máximo o material. A utilização de um software BIM (*Building Information Modeling*) possibilitou maior precisão geométrica e coerência dimensional dos modelos, assegurando que as miniaturas mantivessem proporções reais e preservassem características essenciais dos blocos utilizados em sistemas construtivos convencionais.

Figura 6: Modelagem digital dos blocos no Revit



Fonte: Autoria própria (2025)

3.2 Processo de impressão 3D dos blocos

A segunda etapa constituiu-se como a fase experimental da pesquisa, envolvendo a impressão tridimensional dos modelos projetados. A impressora utilizada foi uma Ultimaker 2+ Connect, mostrada na Figura 7, reconhecida pela precisão e estabilidade no processo de manufatura aditiva, disponibilizada pelo Laboratório de Projetos e Desenvolvimento de Produto do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Angicos.

Figura 7: Impressora 3d Ultimaker 2+ Connect.

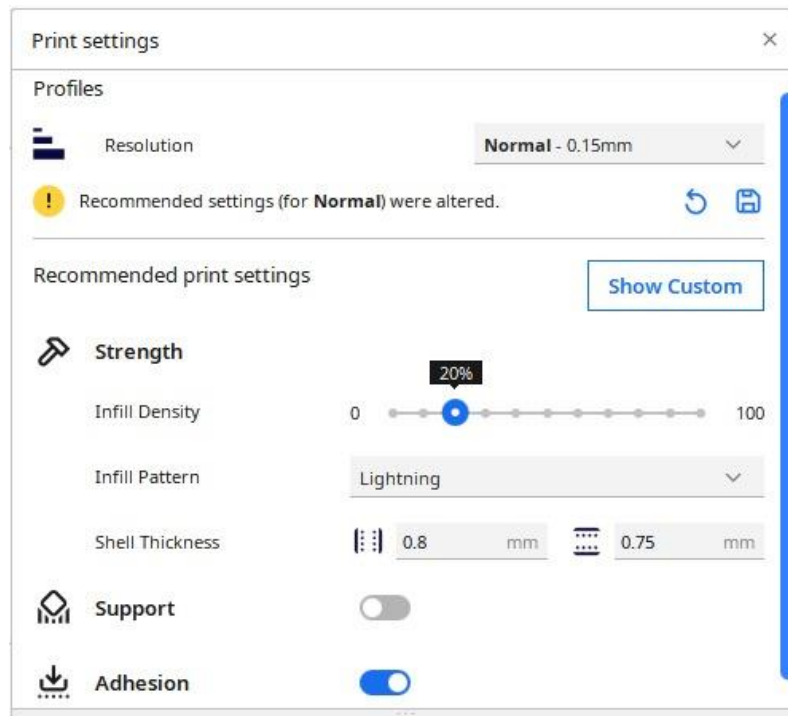


Fonte: Autoria própria (2025)

O material empregado foi PLA com diâmetro 2,85 mm, filamento original disponível no equipamento. Esse filamento garante boa adesão entre camadas, facilidade de extrusão e baixa propensão à deformação — características adequadas para prototipagem no contexto acadêmico. Foi utilizado apenas uma bobina para a impressão de todos os 74 blocos, para os quais não houveram custos adicionais, uma vez que o material estava disponível no laboratório aonde foram feitas as impressões.

Para garantir qualidade dimensional e minimizar inconsistências durante o processo, foram adotados parâmetros baseados em recomendações do fabricante e em testes preliminares: temperatura de extrusão a 200 °C e temperatura da mesa aquecida a 60 °C. Esses ajustes foram essenciais para evitar falhas de adesão, empenamento ou irregularidades na geometria final dos blocos. A Figura 8 ilustra configuração de impressão, passo que se define a porcentagem de densidade interna do bloco, o tipo de configuração de desenho interno e a espessura da base em que sustenta os blocos na impressão.

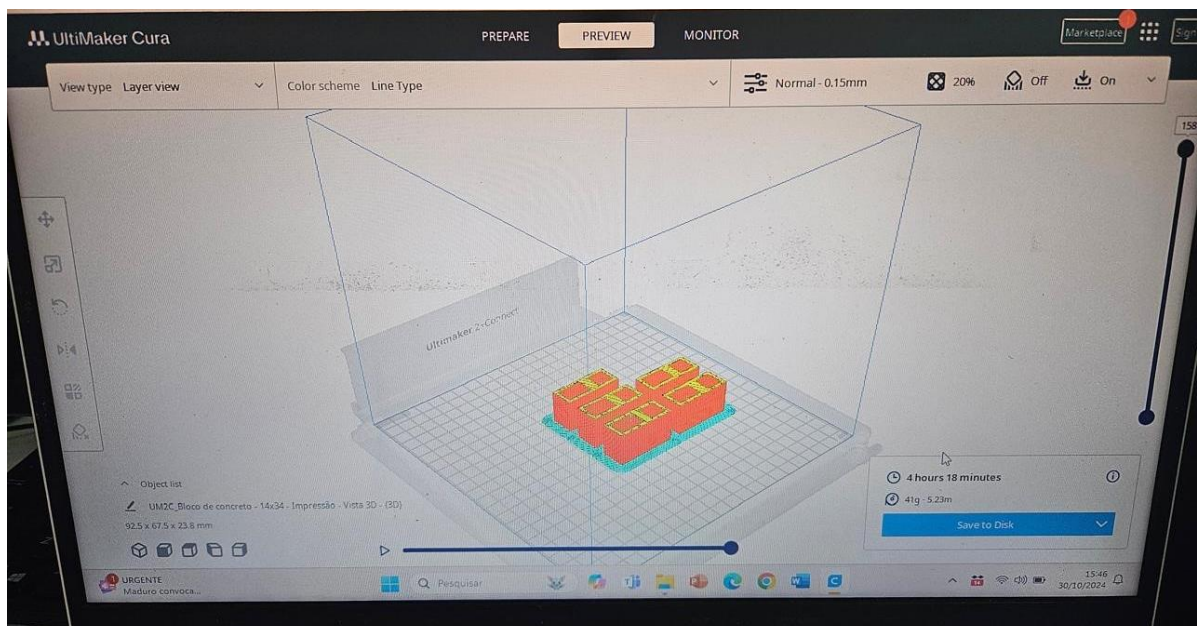
Figura 8: Configuração para a impressão dos blocos



Fonte: Autoria própria (2025)

Foi traçado uma dinâmica para uma maior eficácia na produção dos blocos, tendo em vista que iria demandar um certo tempo. Como visto na Figura 9, de pré-visualização, a impressão de cinco blocos iria durar por volta de 4 horas e 18 minutos.

Figura 9: Pré-visualização dos blocos no programa da impressora



Fonte: Autoria própria (2025)

Durante o processo de impressão, conforme ilustrado na Figura 10, diferentes peças foram monitoradas para assegurar a uniformidade e a estabilidade do processo, sendo que a identificação de eventuais falhas em alguns blocos foi realizada apenas por meio de inspeção visual, não sendo empregados instrumentos de medição específicos para avaliação dimensional.

Figura 10: Momento de impressão dos blocos



Fonte: Autoria própria (2025)

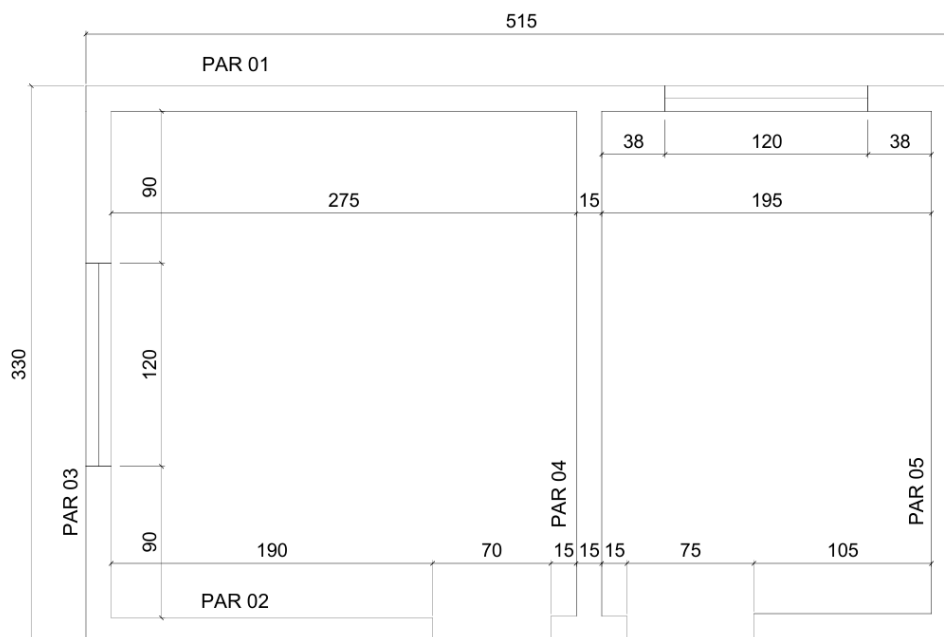
3.3 Desenvolvimento da planta baixa em escala reduzida

Foi escolhida uma planta baixa simplificada do trabalho de Mamede (2001) com o objetivo de servir como base para atividades práticas com os estudantes. A representação dessa planta foi ajustada para a escala 1:8 no software Autodesk Revit. Essa escolha foi estratégica, pois permitiu garantir a precisão geométrica do layout, assegurando a coerência dimensional entre a base gráfica e os blocos físicos impressos. O uso do Revit facilitou a inserção precisa de cotas e aberturas de vãos em total alinhamento com a modulação modular predefinida, resultando em um material didático fiel aos princípios de racionalização construtiva, o resultado é mostrado na Figura 11.

O uso da planta foi pensado de modo a permitir a correta disposição dos blocos impressos e a simulação de:

- Fiadas;
- Alinhamentos;
- Amarrações;
- Relações de modulação horizontal e vertical.

Figura 11: Planta baixa feita para base de atividades



Fonte: Adaptado de Mamede (2001)

3.4 Aplicação didática em ambiente acadêmico

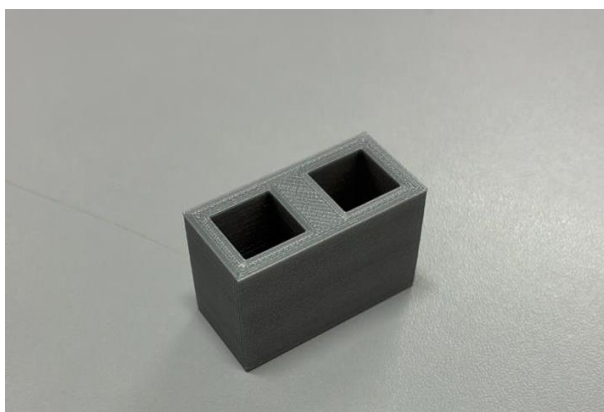
A etapa final consistiu na aplicação prática dos blocos impressos em sala de aula, permitindo que os estudantes manipulassem diretamente as peças e visualizassem, de forma concreta, os princípios da alvenaria estrutural. Essa aplicação teve caráter eminentemente qualitativo, fundamentando-se na observação direta do comportamento dos alunos, nas interações estabelecidas durante a atividade e nos comentários espontâneos realizados ao longo da explicação do conteúdo.

Inicialmente, foi considerada a elaboração de um questionário avaliativo, com o objetivo de obter uma métrica quantitativa acerca da aprovação do recurso didático, da compreensão dos conceitos abordados e da permanência de eventuais dúvidas. Contudo, esse instrumento não foi aplicado, uma vez que a turma participante apresentava um número reduzido de estudantes, o que inviabilizaria a obtenção de uma amostra estatisticamente representativa. Dessa forma, optou-se por privilegiar a análise qualitativa, baseada na percepção do docente e nas observações realizadas durante a atividade, as quais forneceram subsídios relevantes para avaliar o potencial dos blocos impressos em 3D como ferramenta de apoio ao ensino da alvenaria estrutural.

4. RESULTADOS

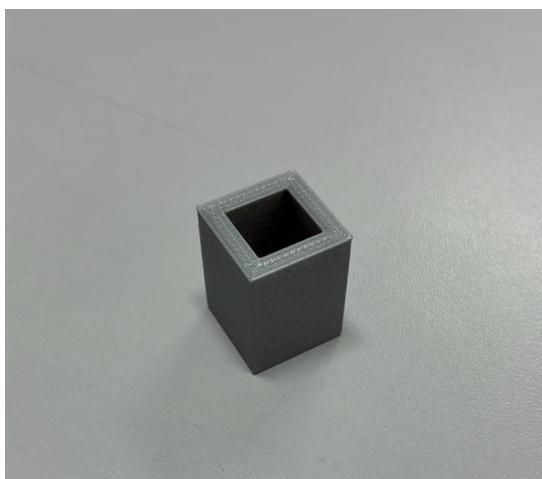
Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho evidenciam a viabilidade técnica e didática da produção de blocos de alvenaria estrutural em escala reduzida por meio de impressão 3D, bem como sua efetividade na demonstração prática de conceitos essenciais da disciplina de Alvenaria Estrutural. Ao todo, foram produzidos 74 blocos, distribuídos em seis tipologias distintas, contemplando bloco inteiro, meio bloco, bloco e meio e bloco compensador, como mostra as imagens dos resultados dos blocos nas Figuras 12 a 15, permitindo a representação fiel de situações reais de modulação e amarração presentes em obras que utilizam alvenaria estrutural. Esse conjunto variado foi fundamental para garantir que as atividades práticas pudessem abranger tanto as fiadas corridas quanto os ajustes necessários em encontros de paredes, cantos e transições dimensionais.

Figura 12: Bloco Inteiro 14x19x29



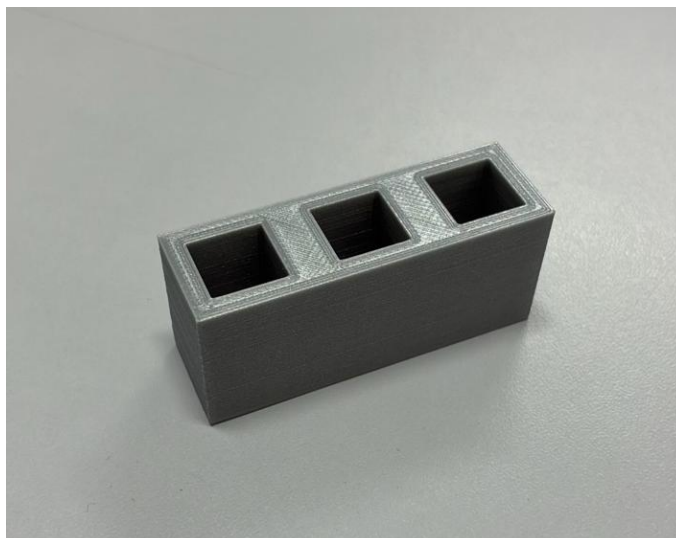
fonte: Autoria própria (2025)

Figura 13: Meio bloco 14x14x19



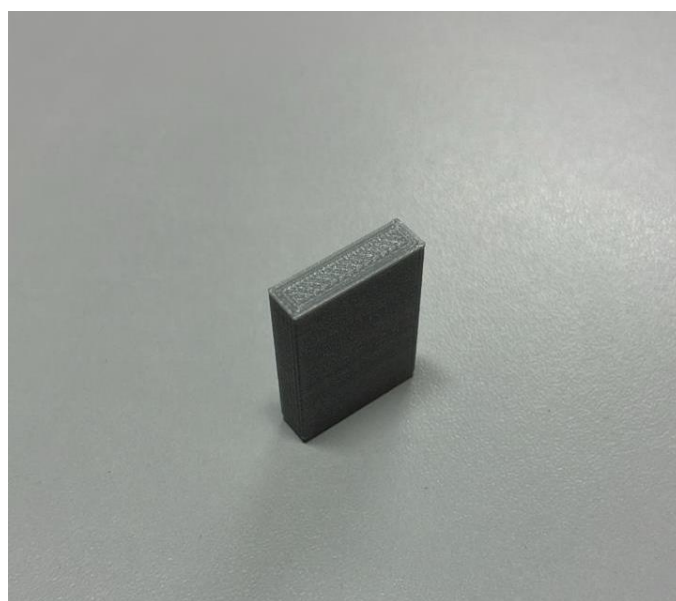
fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 14: Bloco e meio 14x19x44



fonte: Autoria própria (2025)

Figura 15: Bloco compensador 14x19x4

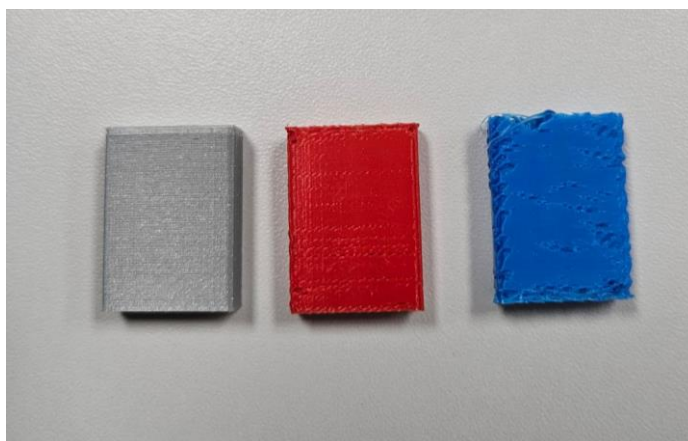


fonte: Autoria própria (2025)

A produção dos blocos impressos exigiu um processo detalhado de preparação e verificação dos modelos digitais, seguido da fase de impressão tridimensional utilizando filamento PLA compatível com a impressora disponível. O tempo médio necessário para a produção foi de aproximadamente 4 horas e 30 minutos para cada conjunto de cinco peças, o que corresponde a cerca de uma hora por bloco, refletindo o nível de detalhamento e a necessidade de precisão dimensional exigidos pelo objetivo didático do projeto. Durante as tentativas de otimizar o processo e melhorar a distinção visual entre os diferentes tipos de

blocos, testou-se a utilização de filamentos de outras cores; no entanto, verificou-se que esses materiais não eram compatíveis com o sistema de extrusão da impressora, por ser filamentos de diâmetros diferentes do que a impressora utiliza, resultando em falhas de adesão entre camadas, extrusão irregular e interrupções inesperadas na impressão, falhas ilustradas na Figura 16. Por essa razão, optou-se por manter exclusivamente o filamento padrão, que garantiu estabilidade, qualidade e repetibilidade no processo.

Figura 16: Blocos com falha



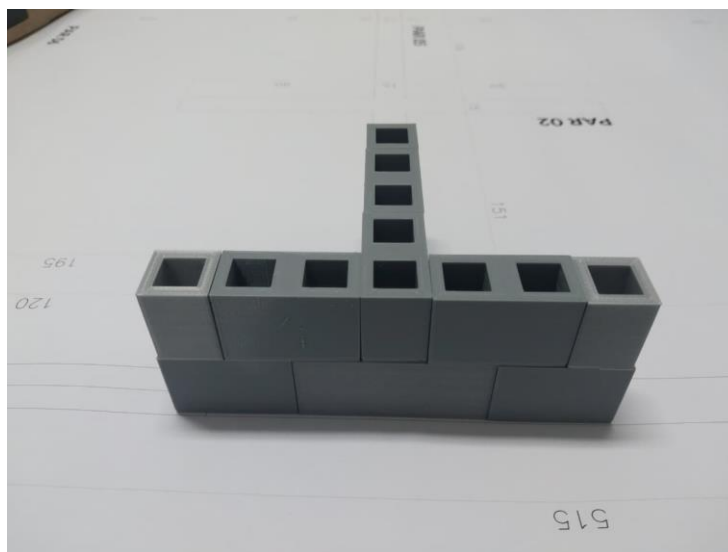
Fonte: Autoria própria (2025)

Os blocos produzidos apresentaram fidelidade geométrica significativa, preservando as proporções, cavidades, septos internos e características gerais dos blocos reais utilizados em alvenaria estrutural. As peças impressas demonstraram uniformidade dimensional, ausência de deformações perceptíveis e adequada aderência entre camadas, o que possibilitou seu manuseio frequente sem risco de danos estruturais. A qualidade obtida permitiu que as miniaturas fossem utilizadas para simulações de modulação horizontal e vertical, possibilitando ao professor demonstrar com clareza como se distribuem as fiadas, como funcionam as juntas verticais, os alinhamentos, os ajustes dimensionais e os princípios que regem a paginação em alvenaria modular.

Com a impressão concluída, iniciou-se a aplicação dos blocos em ambiente acadêmico, utilizando também a planta arquitetônica simplificada desenvolvida em escala 1:8. Esse elemento serviu como base orientadora para a montagem das fiadas, garantindo a correta correspondência entre dimensões, alinhamentos e direções das paredes. A planta permitiu demonstrar a espacialidade do sistema construtivo e facilitou a compreensão das relações entre os blocos e os ambientes representados, reforçando a percepção dos estudantes sobre a

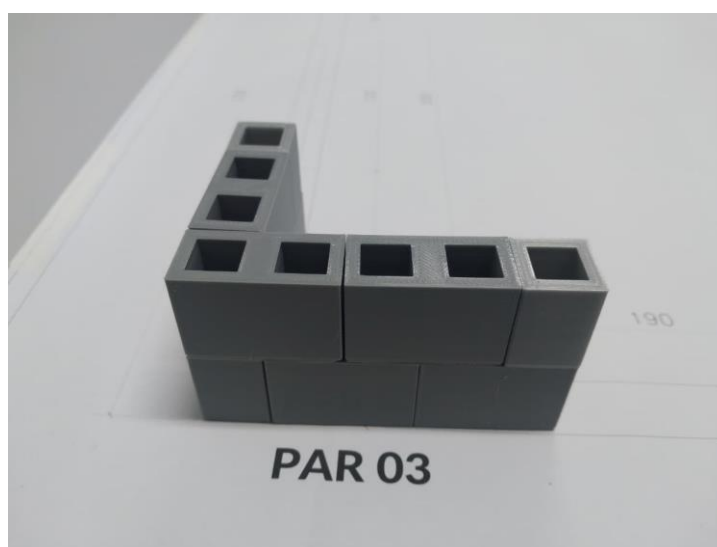
importância da modulação e da coordenação entre os elementos arquitetônicos e estruturais. Durante as demonstrações, foi possível executar com sucesso as amarrações em L e em T, como mostrado na Figura 17 e Figura 18, dois dos encontros mais comuns e mais relevantes no contexto da alvenaria estrutural. Esses arranjos foram montados com fidelidade, e os blocos ajustaram-se adequadamente às expectativas, reforçando a capacidade do conjunto de representar situações construtivas reais.

Figura 17: Amarração em T



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 18: Amarração em L

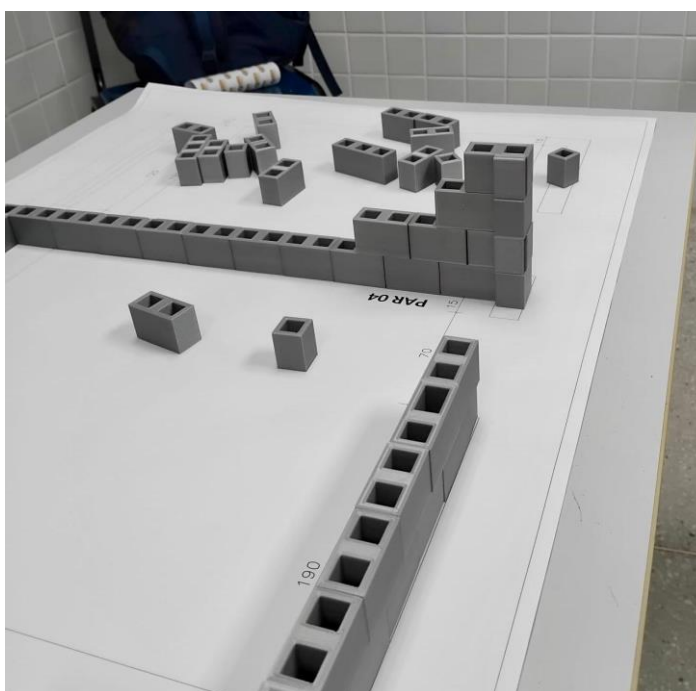


Fonte: Autoria Própria (2025)

O professor responsável pela disciplina utilizou o material em sala de aula conforme o planejado, confirmando que o conjunto de blocos impressos e a planta reduzida forneceram suporte adequado às explicações teóricas. As miniaturas facilitaram a visualização tridimensional do sistema, permitindo que conceitos usualmente de difícil interpretação — quando apresentados apenas em desenhos técnicos bidimensionais — fossem compreendidos de maneira concreta e intuitiva. Além disso, a resistência física dos blocos e a qualidade da impressão permitiram a repetição do processo de montagem diversas vezes, sem prejuízo à integridade das peças.

A representação gráfica criada buscou reproduzir, de forma simplificada, situações reais de aplicação da alvenaria estrutural em obras, mas em um formato adaptado ao ambiente didático, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19: Montagem dos blocos sobre a planta baixa

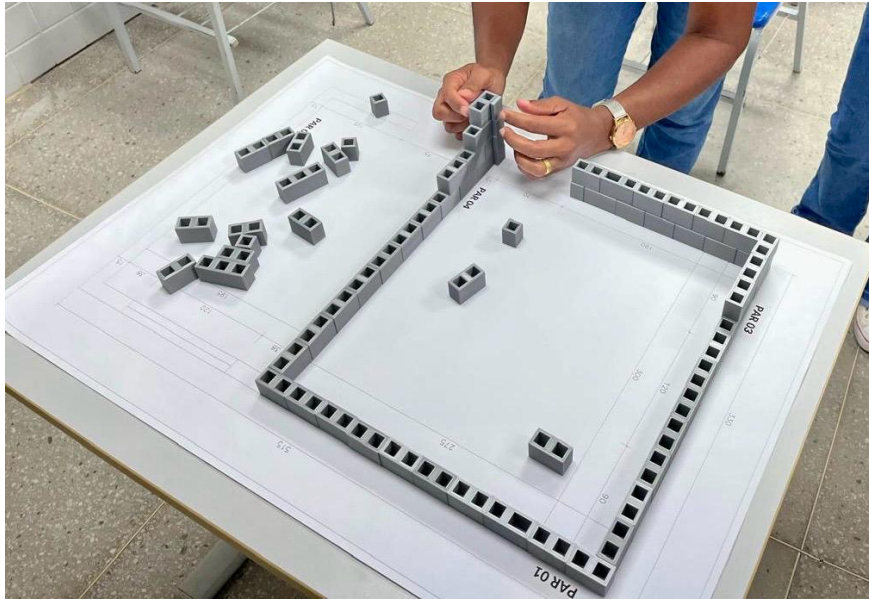


Fonte: Autoria própria (2025)

Durante a atividade, Figura 20, os discentes puderam compreender:

- As diferentes amarrações entre blocos,
- A lógica da modulação,
- O planejamento de fiadas,
- A importância da compatibilização dimensional para evitar recortes e desperdícios.

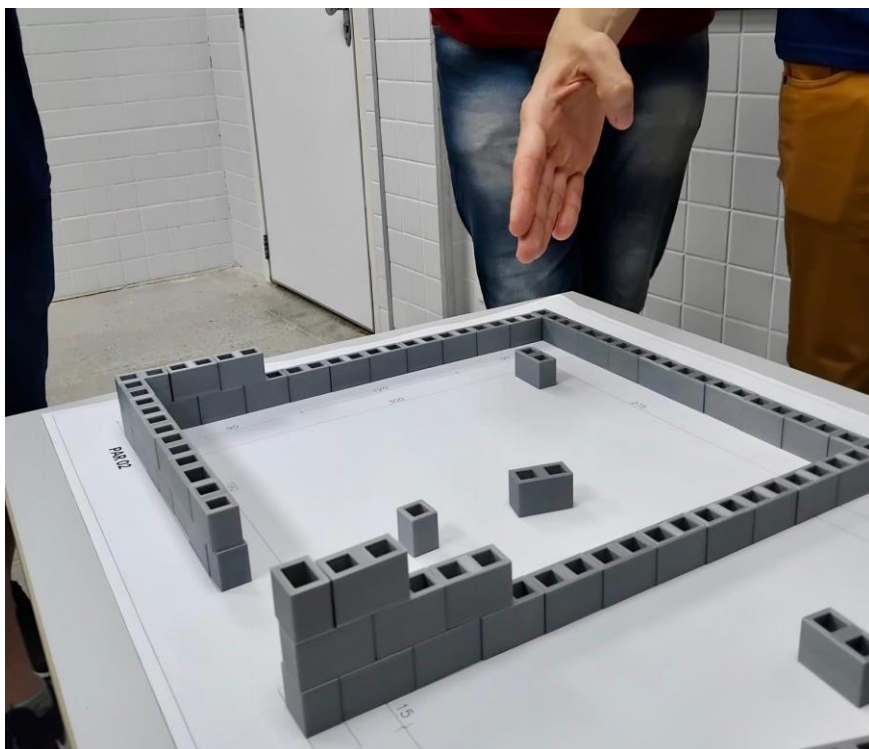
Figura 20: Alunos manuseando os blocos sobre a planta baixa



Fonte: Autoria própria (2025)

Essa aproximação entre teoria e prática, demonstrada na Figura 21, teve como objetivo favorecer a aprendizagem ativada, proporcionando uma experiência visual e tátil que contribui para o desenvolvimento de competências técnicas essenciais à formação em Engenharia Civil.

Figura 21: Professor aplicando didática com os blocos



Fonte: Autoria Própria

Dessa forma, os resultados demonstraram que a impressão 3D pode ser considerada um recurso eficiente, econômico e de grande potencial para complementar o ensino de alvenaria estrutural no curso de Engenharia Civil.

Em síntese, os resultados mostraram que o processo de impressão 3D foi tecnicamente eficiente, com blocos de alta qualidade e plenamente funcionais para a simulação da modulação estrutural; que o conjunto de 74 peças foi suficiente para demonstrar arranjos construtivos típicos; e que o material desenvolvido atendeu plenamente às expectativas pedagógicas do docente responsável, evidenciando a aplicabilidade da manufatura aditiva como ferramenta de apoio ao ensino. Esses achados reforçam o potencial da tecnologia de impressão 3D como instrumento de inovação didática e como alternativa promissora para a produção de recursos físicos em disciplinas que exigem compreensão espacial e manipulação de elementos modulares, como é o caso da alvenaria estrutural.

5. CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi delineado com o objetivo central de aplicar a tecnologia de Impressão 3D como um recurso didático complementar e inovador para o ensino da Alvenaria Estrutural no currículo da Engenharia Civil na UFERSA, Campus Angicos. O ponto de partida consistiu na criação e prototipagem de um *kit* didático composto por blocos da modulação M-15 (família 15x30) reduzidos na escala 1:8 e uma planta arquitetônica proporcional que serviu como base modular. A finalidade dessa materialização foi oferecer aos estudantes uma oportunidade de apreender de maneira visual, tátil e manipulável, os princípios operacionais cruciais de modulação, paginação e amarração — conceitos que, tradicionalmente, são transmitidos de maneira excessivamente abstrata por meio de desenhos técnicos e representações bidimensionais.

Destaca-se que o uso do filamento PLA, em conjunto com a calibração dos parâmetros operacionais (como ajustes de temperatura e testes preliminares de aderência), garantiu a produção de peças com a rigidez estrutural adequada, excelente aderência entre camadas e ausência de deformações significativas.

Os resultados alcançados ao longo das fases de elaboração, prototipagem e aplicação prática do material demonstraram o alto potencial pedagógico inerente à prototipagem tridimensional. A integração da modelagem em ambiente BIM, com o processo de manufatura aditiva permitiu a produção de peças com fidelidade geométrica. Essa fidelidade foi um fator chave para facilitar a visualização imediata de conceitos que, quando apresentados unicamente por meio de plantas, cortes e elevações, frequentemente resultam em dúvidas, dificuldades de interpretação e falhas de comunicação espacial entre os discentes.

A interação com os blocos promoveu um salto qualitativo na clareza da compreensão. Os alunos puderam, de fato, manipular as peças para entender a lógica das ligações entre fiadas, os diferentes tipos de amarração em cantos e encontros, e o raciocínio matemático e geométrico da lógica modular que fundamenta a racionalização da Alvenaria Estrutural. Muitos discentes manifestaram maior segurança na identificação e correção imediata de erros construtivos comuns, como desalinhamentos, incompatibilidades modulares e falhas nas amarrações.

Do ponto de vista da viabilidade tecnológica e da racionalização, o processo de Impressão 3D utilizado mostrou-se eficiente e replicável, sendo uma ferramenta de alto valor agregado para o ensino de disciplinas que envolvem sistemas construtivos, especialmente aquelas que demandam intensa compreensão espacial, raciocínio lógico e racionalização geométrica. A metodologia de desenvolvimento apresentada neste trabalho possui a vantagem

de ser extensível para outros conteúdos técnicos, incluindo alvenaria de vedação, detalhes de estruturas de concreto armado, nós de estruturas metálicas ou a simulação de patologias construtivas.

É imperativo, contudo, reconhecer as limitações inerentes a este estudo de caso. O experimento foi aplicado em uma única instituição e com um grupo restrito de estudantes, o que impede a realização de generalizações amplas dos resultados para toda a população discente de Engenharia Civil. Ademais, a avaliação do impacto pedagógico foi predominantemente de cunho qualitativo, focada na observação e na percepção de clareza dos alunos.

Nesse sentido, estudos futuros são recomendados para aprofundar uma análise quantitativa, incluindo:

- O desenvolvimento e a aplicação de métricas quantitativas de desempenho (testes padronizados).
- A realização de avaliações comparativas entre um grupo experimental (utilizando os blocos 3D) e um grupo de controle (utilizando apenas métodos tradicionais).
- Análises de desempenho que avaliem a retenção do conhecimento antes e depois da utilização do protótipo.
- A replicação da metodologia em múltiplas instituições e cenários variados para validar a escalabilidade do recurso.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT NBR 16868-1:2020 — Alvenaria estrutural — Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT NBR 16868-2:2020 — Alvenaria estrutural — Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT NBR 6136:2016 — Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT NBR 15270:2017 — Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT NBR 6492:1994 — Representação de projetos de arquitetura. Rio de Janeiro, 1994.

BASTOS, Paulo Sérgio. *Alvenaria Estrutural*. Bauru, SP: UNESP - Departamento de Engenharia Civil, 2021.

CAMACHO, Jefferson Sidney. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural: notas de aula*. Ilha Solteira, 2000. Disponível em:

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/projeto-de-edificios-de-alvenaria-estrutural.pdf>. Acesso em: mai. 2025.

LASMAR, Carolina C.; SILVA, Daniela S. *Metodologias ativas no ensino de materiais de construção com impressão 3D*. Belo Horizonte: CEFET-MG, 2022. Disponível em:

https://www.eng-materiais.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/189/2022/09/2022-1_TCC-II_CarolinaCLasmar-DanielaSSilva_VersaoFinal.pdf. Acesso em: mai. 2025.

MACHADO, E. R.; SOUSA, S. F.; CAPIBARIBE, A. *Abordagens metodológicas no ensino de engenharia civil com impressão 3D*. Revista FT, v. 10, n. 2, p. 45–58, 2023. Disponível em:

<https://revistaft.com.br/abordagens-metodologicas-no-ensino-de-engenharia-civil-com-impressao-3d/>. Acesso em: mai. 2025.

MAMEDE, Fabiana Cristina. *Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural*. 2001. Dissertação (Mestrado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PASTRO, Rodrigo Zambotto. *Alvenaria estrutural: sistema construtivo*. Itatiba: Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Civil, 2007.

PAVERTECH (SP). **Blocos de Concreto**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://pavertech.com.br/blocos-concreto/>. Acesso em: 22 out. 2025.

PRUDÊNCIO JR, Luiz Roberto; OLIVEIRA, Alexandre Lima; BEDIN, Carlos Augusto. *Alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Florianópolis: ABCP, 2002.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. São Paulo: Pini, 2003.

REIS, Walmir Costa dos. *Alvenaria estrutural com blocos de concreto vazados*. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológicas, Curso de Arquitetura e Urbanismo, 2016.

RODRIGUES, I. A. et al. *Soluções projetuais utilizando a impressão 3D e materiais naturais*. 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/378926999>. Acesso em: mai. 2025.