

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE ARTES VISUAIS**

**FELIPE MAGALHÃES MACHADO**

**Arquitetura Modular aplicada à Habitação de Interesse Social com uso de  
paredes de concreto pré-fabricado como solução técnica, sustentável e  
replicável**

**GOIÂNIA  
2025**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE ARTES VISUAIS

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Felipe Magalhães Machado

Título do trabalho: Arquitetura Modular aplicada à Habitação de Interesse Social com uso de paredes de concreto pré-fabricado como solução técnica, sustentável e replicável.

### 2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [ X ] SIM [ ] NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

#### Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Braulio Vinicius Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 10/02/2026, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Magalhães Machado, Discente**, em 10/02/2026, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5847688** e o código CRC **B96FBAB6**.

---

Referência: Processo nº 23070.063678/2025-31

SEI nº 5847688

FELIPE MAGALHÃES MACHADO

**Arquitetura Modular aplicada à Habitação de Interesse Social com uso de paredes de concreto pré-fabricado como solução técnica, sustentável e replicável**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Artes Visuais, da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Bráulio Vinícius Ferreira

**GOIÂNIA**

**2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Machado, Felipe  
Arquitetura Modular aplicada à Habitação de Interesse Social com uso de paredes de concreto pré-fabricado como solução técnica, sustentável e replicável [manuscrito] / Felipe Machado. - 2025.  
XLV, 45 f.: 2025

Orientador: Prof. Dr. BRAULIO VINICIUS  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação ) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Artes Visuais (FAV), Arquitetura e Urbanismo, Goiânia, 2025.  
Bibliografia.  
Inclui: gráfico, lista de figuras.

1. Arquitetura Modular. 2. Concreto Pré-fabricado. 3. Customização em Massa.

I. VINICIUS, BRAULIO, orient. II. Título.

CDU 72



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE ARTES VISUAIS

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos cinco dias do mês de dezembro do ano de 2025 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Arquitetura Modular aplicada à Habitação de Interesse Social com uso de paredes de concreto pré-fabricado como solução técnica, sustentável e replicável”, de autoria de Felipe Magalhães Machado, do curso de Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Artes Visuais da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo prof. Dr. Bráulio Vinícius Ferreira - orientador (FAV/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Prof. Ms. Frederico André Rabelo (FAV/UFG); Prof. Dr. Fernando Antônio Oliveira Mello (FAV/UFG) e Prof.<sup>a</sup> Ms. Júlia França de Melo - membra externa. Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 8,5 (oito vírgula cinco), tendo sido o TCC considerado aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Bráulio Vinicius Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 10/12/2025, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Antonio Oliveira Mello, Professor do Magistério Superior**, em 10/12/2025, às 10:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Júlia França De Melo, Usuário Externo**, em 10/12/2025, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Andre Rabelo, Professor do Magistério Superior**, em 10/12/2025, às 11:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5847707** e o código CRC **6F9CB480**.

## RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo investigar soluções arquitetônicas para habitação de interesse social a partir da aplicação de sistemas modulares e industrializados de construção. A proposta considera a racionalização dos processos construtivos como estratégia para redução de custos, aumento da produtividade e melhoria da qualidade final da edificação. A metodologia adotada inclui revisão bibliográfica de autores que tratam da seleção de materiais, desempenho habitacional e sistemas pré-fabricados, além do desenvolvimento de uma proposta arquitetônica fundamentada nesses princípios. Foram analisados aspectos como flexibilidade de uso, desempenho térmico, ciclo de vida dos materiais e viabilidade econômica. O estudo conclui que a adoção de sistemas modulares com componentes pré-moldados, aliados a um planejamento arquitetônico eficiente, pode contribuir significativamente para a ampliação do acesso à moradia digna, sustentável e de qualidade, especialmente em contextos de alta demanda e recursos limitados.

**Palavras-chave:** Habitação de interesse social; Arquitetura modular; Construção industrializada; Sustentabilidade; Pré-moldados.

## **ABSTRACT**

This Final Graduation Project aims to investigate architectural solutions for social housing through the application of modular and industrialized construction systems. The proposal considers construction process rationalization as a strategy to reduce costs, increase productivity, and improve final building quality. The methodology includes a literature review on material selection, building performance, and prefabricated systems, as well as the development of an architectural proposal grounded in these principles. Key aspects such as flexibility of use, thermal performance, material life cycle, and economic feasibility were analyzed. The study concludes that adopting modular systems with precast components, combined with efficient architectural planning, can significantly contribute to increasing access to dignified, sustainable, and quality housing, especially in contexts of high demand and limited resources.

Keywords: Social housing; Modular architecture; Industrialized construction; Sustainability; Precast systems.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1	Habitação de Interesse Social no Brasil .....	6
2.2	Tecnologia dos Pré-Moldados de Concreto.....	G
2.2.1	Introdução ao sistema .....	9
2.2.2	Histórico e evolução no Brasil .....	11
2.2.3	Componentes e Sistemas Construtivos.....	13
2.2.4	Vantagens e Limitações.....	14
2.3	Arquitetura Modular e Customização em Massa.....	16
2.4	Sustentabilidade, Durabilidade e Ciclo de Vida.....	18
2.5	Durabilidade: conceito e relevância nas HIS.....	18
3	ESTUDO TÉCNICO E VIABILIDADE .....	21
3.1	Características do Sistema Construtivo em Concreto Pré-Moldado.....	21
3.2	Comparações Técnicas e de Custo entre o Sistema Tradicional e o Sistema Pré-Moldado.....	23
3.3	Análise Ambiental e Durabilidade .....	26
4	PROJETO MODULAR .....	28
4.1	Diretrizes Arquitetônicas do Projeto .....	28
4.2	Sistema Construtivo com Pré-Moldados de Concreto.....	2G
4.3	Descrição do projeto arquitetônico.....	30
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A crise habitacional que assola o Brasil há décadas se apresenta como um dos desafios mais complexos da urbanização contemporânea. Segundo Bonduki (2014), o histórico déficit habitacional brasileiro é resultado de políticas públicas descontinuadas, expansão urbana desordenada e carência de iniciativas integradas entre moradia, infraestrutura e planejamento territorial. Diante desse cenário, torna-se urgente repensar os modos de produzir habitação popular, especialmente em contextos marcados pela escassez de recursos, adensamento urbano e desigualdade social.

Neste contexto, a habitação de interesse social (HIS) exige soluções que transcendam a simples construção de moradias. Ela deve garantir condições dignas de habitação, atender às normas de desempenho e oferecer espaços adaptáveis, sustentáveis e economicamente viáveis. Para isso, é necessário incorporar abordagens inovadoras tanto na arquitetura quanto nos sistemas construtivos utilizados, integrando tecnologia, racionalização e flexibilidade (CBIC; FJP, 2022).

Uma das estratégias mais promissoras é a adoção da arquitetura modular associada ao uso de elementos pré-fabricados de concreto, como painéis estruturais e lajes. Esse sistema alia a industrialização da construção civil com a possibilidade de produção seriada, redução de prazos, controle de qualidade e menores impactos ambientais (El Debs, 2007). Além disso, a lógica modular favorece a padronização com potencial de customização, respondendo à diversidade de configurações familiares e contextos urbanos — uma diretriz essencial para a habitação social contemporânea (Flauzino Neto, 2020).

A utilização de painéis de concreto pré-moldado como tecnologia principal no desenvolvimento de unidades habitacionais modulares permite enfrentar, de forma integrada, três grandes demandas da HIS: o custo reduzido, a agilidade construtiva e o desempenho técnico. Com a aplicação da modulação e da repetição inteligente de componentes, é possível garantir a escalabilidade da produção sem comprometer a diversidade arquitetônica ou o conforto ambiental.

Este trabalho, portanto, parte da premissa de que a combinação entre arquitetura modular e sistemas pré-moldados pode contribuir significativamente para a inovação no campo da habitação de interesse social. Para além da viabilidade técnica, propõe-se uma reflexão sobre a qualidade arquitetônica, a sustentabilidade dos materiais e a adaptabilidade das unidades habitacionais ao longo do tempo.

A relevância acadêmica desta pesquisa reside no aprofundamento do debate sobre a incorporação de tecnologias industriais ao campo da arquitetura, com foco no projeto habitacional. No âmbito social, a proposta visa contribuir para o aprimoramento das soluções destinadas às camadas mais vulneráveis da população, aliando eficiência à dignidade habitacional. Em termos pessoais, o interesse do autor se alinha à busca por soluções arquitetônicas sustentáveis e replicáveis, compatíveis com os desafios urbanos brasileiros.

A pesquisa será conduzida com base em revisão bibliográfica especializada, análise técnica de sistemas construtivos, entrevistas com profissionais atuantes na área e desenvolvimento de um projeto arquitetônico modular replicável. O objetivo é avaliar criticamente a aplicação do concreto pré-moldado como tecnologia para HIS, considerando desempenho técnico, custo, sustentabilidade e replicabilidade e propor um módulo habitacional arquitetônico replicável.

A estrutura do trabalho está organizada em cinco capítulos. Após esta introdução, o Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, abordando a habitação social no Brasil, os pré-moldados de concreto, a arquitetura modular e critérios de sustentabilidade. O Capítulo 3 desenvolve o estudo técnico e a análise de viabilidade do sistema pré-moldado. O Capítulo 4 detalha o projeto arquitetônico proposto com base na lógica modular. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais, destacando as contribuições da pesquisa e possíveis desdobramentos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Habitação de Interesse Social no Brasil**

A habitação de interesse social (HIS) no Brasil se consolidou como política pública a partir da constatação de que o mercado imobiliário privado, por si só, não seria capaz de atender à demanda habitacional da população com baixas condições econômicas. Desde o início do século XX, especialmente a partir da Era Vargas, o Estado passou a assumir papel mais ativo na política habitacional, intervindo por meio da criação de instituições como os Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAPs) e a Fundação da Casa Popular (FCP), bem como a promulgação do Decreto-Lei Inquilinato em 1942, que visava proteger os inquilinos frente à especulação (Bonduki, 1998). Esse processo marcou uma ruptura com o liberalismo até então dominante, estabelecendo uma base para o papel do Estado como agente promotor da produção habitacional e da regulação do acesso à moradia. No entanto, mesmo com os avanços institucionais, os déficits quantitativos e qualitativos persistiram, o que exigiu a reformulação constante das estratégias de política habitacional ao longo das décadas (CBIC; FJP, 2022).

Durante as décadas de 1940 e 1960, as ações estatais possibilitaram a construção de mais de 140 mil unidades habitacionais, com destaque para os conjuntos projetados pelos IAPs, que apresentavam uma qualidade arquitetônica satisfatória, adequação ao tecido urbano e adoção de princípios do modernismo. Essa produção refletia uma visão que aliava política social e qualidade projetual, permitindo que trabalhadores com pouca condição financeira ocupassem espaços urbanos com boa localização e infraestrutura (Bonduki, 1998). Essa abordagem revela que, quando a política habitacional é orientada não apenas por metas quantitativas, mas também por diretrizes projetuais e urbanas, ela é capaz de oferecer respostas mais completas ao problema habitacional. A qualidade desses conjuntos mostra que é possível equilibrar racionalização e qualidade arquitetônica, mesmo em programas de larga escala.

Com a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH), em 1964, a política habitacional brasileira foi redirecionada para uma lógica mais quantitativa, com forte participação da iniciativa privada e financiamento via Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS). Essa nova etapa, embora tenha promovido um grande aumento na produção de moradias, foi marcada por uma intensa padronização, conjuntos periféricos e segregação socioespacial. O foco passou a ser a produção em larga

escala, muitas vezes desvinculada das características urbanas e sociais das famílias atendidas (Bonduki, 1998). Esse ponto evidencia um paradoxo do HIS no Brasil: ao ampliar o acesso à moradia, os programas passaram a comprometer a qualidade de vida urbana. A localização distante, os conjuntos homogêneos e sem expressão da personalidade e preferências do usuário, a precariedade dos acabamentos e a baixa qualidade dos espaços projetados tornaram-se recorrentes, o que compromete a percepção da moradia como direito pleno.

Nas décadas seguintes, sobretudo com a Constituição de 1988, o direito à moradia foi consolidado como direito social. Em 2005, a criação do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) promoveu avanços ao propor um modelo descentralizado, participativo e articulado entre esferas de governo (CBIC; FJP, 2022). Mesmo assim, o setor seguiu enfrentando entraves históricos, como a fragmentação institucional, a ausência de integração com planejamento urbano e a dificuldade de articulação entre habitação, mobilidade, infraestrutura e meio ambiente.

Em 2009, o lançamento do Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) marcou um novo momento da política habitacional brasileira, com forte expansão da produção de unidades para famílias de baixa renda. Apesar dos resultados quantitativos expressivos, o programa foi bastante criticado por reproduzir falhas anteriores, como localização periférica, baixa qualidade projetual e arquitetônica e pouca articulação com o ambiente urbano (CBIC; FJP, 2022). Essas recorrências demonstram que a superação do déficit habitacional não pode ser medida apenas pela quantidade de unidades construídas. A qualidade do projeto, a inserção urbana, a adaptabilidade das moradias referentes às diferentes necessidades da população e a sustentabilidade construtiva são aspectos fundamentais não apenas para a garantia da habitação, mas da cidadania.

Diante desse cenário, a adoção de novos modelos de produção habitacional torna-se necessário. A industrialização da construção, por meio de sistemas como painéis pré-moldados de concreto e a arquitetura modular adaptável, pode representar uma solução para os problemas decorrentes de modelos tradicionais de construção. A possibilidade de combinar eficiência construtiva, sustentabilidade e flexibilidade

projetal contribui para qualificar a HIS e não apenas tratar a moradia como uma questão quantitativa, homogênea e ineficiente.

Desde suas origens, a produção de habitação de interesse social no Brasil esteve atrelada a modelos construtivos de baixa complexidade tecnológica, frequentemente baseados em autoconstrução, mutirões e uso extensivo de alvenaria convencional, como forma de suprir rapidamente a demanda crescente por moradia nas cidades em expansão. Nas primeiras iniciativas estatais do século XX, como os conjuntos operários do Instituto de Aposentadorias e Pensões (IAPs) e os programas do Departamento de Habitação Popular (DHP), a construção era realizada com sistemas tradicionais, priorizando mão de obra intensiva e processos manuais (BONDUKI, 2014).

Durante o regime do Banco Nacional da Habitação (BNH), entre as décadas de 1960 e 1980, houve um avanço em termos de escala produtiva e tentativas de racionalização construtiva. No entanto, mesmo com incentivos à padronização e repetição de modelos, a construção seguiu predominantemente baseada em alvenaria estrutural, com poucos investimentos em industrialização ou inovação tecnológica. As iniciativas de pré-fabricação que surgiram nesse período foram pontuais, geralmente concentradas em grandes cidades e voltadas a experiências institucionais ou ao setor privado (CBIC; FJP, 2022).

Somente a partir dos anos 2000, com o crescimento dos programas federais como o Minha Casa Minha Vida (MCMV), surgiram novas discussões sobre a necessidade de incorporar tecnologias construtivas mais eficientes, sustentáveis e replicáveis. Nesse contexto, empresas e agentes públicos passaram a experimentar o uso de painéis pré-moldados, estruturas metálicas leves (steel frame) e sistemas integrados, ainda que de forma limitada e sem diretrizes técnicas consolidadas (FLAUZINO NETO, 2020). Essas experiências apontaram para a necessidade de alinhar projeto arquitetônico, tecnologia e políticas habitacionais para alcançar soluções de maior desempenho e menor custo em larga escala.

## **2.2 Tecnologia dos Pré-Moldados de Concreto**

### **2.2.1 Introdução ao sistema**

Ao se comparar a indústria da construção civil com outros ramos industriais, a mesma tem sido considerada atrasada. A baixa produtividade, o grande desperdício de materiais, a morosidade e o baixo controle de qualidade são razões que contribuem para essa consideração (El Debs, 2021.)

Sendo assim, a aplicação de técnicas associadas à utilização de elementos pré-moldados, denominado de concreto pré-moldado (CPM), surge como uma das formas para atingir a redução desse atraso. Essa tecnologia consiste na fabricação de elementos estruturais e não estruturais (lajes, vigas, pilares, painéis de vedação, escadas, etc.) em ambiente controlado e posterior transporte e montagem no local definitivo (El Debs, 2021).

Quadro 1 - Denominação dos Elementos pré-moldados de uso mais comum

Fonte: EL DEBS (2021)

Essa lógica construtiva rompe com o modelo tradicional de obra artesanal, uma vez que desloca o centro da produção do canteiro para o pátio de pré-fabricação. Além disso, oferece vantagens como padronização de peças, repetibilidade, maior controle de qualidade, diminuição do desperdício de materiais e significativa aceleração do cronograma (Leite, 2007). Essas características também são reforçadas por El Debs (2021):

“As características do CPM possibilitam benefícios bastante importantes para a construção, tais como: diminuição do tempo de construção, melhor controle dos componentes pré-moldados e redução do desperdício de materiais na construção.”

A adoção dos pré-moldados de concreto consiste em uma ruptura de paradigma, visto que o modelo tradicional, artesanal e muitas vezes moroso é deixado de lado para assumir um modelo racional, preciso, replicável e sustentável, essencial para uma produção mais limpa e em larga escala. Essa abordagem é muito relevante

no contexto da HIS, onde há alta demanda, restrição orçamentária e necessidade de controle rigoroso de tempo e recursos.

### **2.2.2 Histórico e evolução no Brasil**

A história da pré-fabricação em concreto está profundamente ligada às transformações industriais e tecnológicas da construção civil ao longo do século XX. A busca por maior produtividade, controle de qualidade e redução de custos levou ao desenvolvimento de sistemas construtivos mais racionais, entre eles, os pré-fabricados de concreto, que passaram a ocupar um papel estratégico na produção arquitetônica e urbana contemporânea.

De forma geral, entende-se como pré-fabricado todo elemento estrutural ou de vedação que é produzido fora do local definitivo de instalação, em ambiente industrial ou semi-industrial, com posterior transporte e montagem no canteiro de obras. Essa distinção em relação ao molde "in loco" é fundamental, pois transfere parte do processo construtivo para condições mais controladas, permitindo maior padronização, repetibilidade e redução de desperdícios (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

Segundo os autores, os primeiros registros do uso de pré-moldados remontam ao início do século XX, quando elementos de concreto armado começaram a ser moldados fora da obra. Contudo, foi somente após a Segunda Guerra Mundial que a pré-fabricação se consolidou como solução escalável, especialmente na Europa, onde a necessidade de reconstrução rápida das cidades impulsionou o desenvolvimento de sistemas padronizados e de montagem rápida. Países como França, Alemanha e União Soviética lideraram esse movimento, utilizando a industrialização da construção como política habitacional em massa.

No Brasil, o processo de consolidação da pré-fabricação ocorreu de forma mais tímida e fragmentada. O primeiro registro significativo data de 1926, com a construção do Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, que utilizou elementos moldados fora da obra (VASCONCELOS, 2002). Apesar disso, o uso sistemático de pré-fabricados em obras arquitetônicas só começou a ganhar força nos anos 1950, em São Paulo, com a atuação da Construtora Mauá, que empregava processos semi-industriais no próprio canteiro (SERRA et al., 2005).

A história da evolução dos sistemas pode ser dividida, segundo Salas (1988 apud SERRA et al., 2005), em três grandes fases:

a) Fase do Ciclo Fechado (1950–1970):

Foi marcada pelo uso intensivo de sistemas totalmente industrializados, onde todos os componentes eram produzidos por um único fornecedor, com projeto arquitetônico subordinado à lógica da produção. Essa abordagem foi bem-sucedida do ponto de vista quantitativo, mas gerou críticas quanto à padronização excessiva, baixa adaptabilidade e frequência de patologias estruturais. Muitos edifícios desse período apresentaram sérios problemas de desempenho térmico, acústico e estrutural, contribuindo para o estigma de "moradias em série desumanizadas".

b) Crise e transição (1970–1980):

Após o auge dos sistemas de ciclo fechado, surgiram críticas severas à rigidez e à falta de adaptabilidade desses modelos. Além disso, vários acidentes e colapsos estruturais na Europa e na América Latina contribuíram para a desvalorização do sistema. Como resultado, houve uma desaceleração na adoção da pré-fabricação, especialmente em programas habitacionais. Essa fase é caracterizada pela reflexão crítica sobre os limites da industrialização cega na arquitetura.

c) Fase do Ciclo Aberto (1980 em diante):

Com o amadurecimento técnico e a incorporação de lições do passado, surgiu um novo modelo baseado em sistemas abertos e flexíveis, nos quais diferentes componentes podem ser produzidos por fornecedores distintos, com maior liberdade projetual. Isso permitiu a combinação de elementos estruturais de diversas origens, a introdução de novos materiais e a valorização do papel do arquiteto como articulador de soluções.

Essa última fase culmina no surgimento, a partir dos anos 2000, dos chamados "sistemas de terceira geração", que aliam tecnologia avançada com personalização e liberdade formal. Elliot (2002) os classifica como sistemas flexibilizados, pois unem a lógica industrial à customização, permitindo que diferentes arquiteturas sejam viabilizadas sem comprometer a eficiência do processo construtivo.

No contexto brasileiro, a pré-fabricação voltou a ganhar força nos anos 1990, impulsionada pelo crescimento das edificações comerciais e industriais, que demandavam prazos reduzidos e acabamentos mais controlados. Sistemas como tilt-up, painéis arquitetônicos, e módulos sanitários prontos passaram a ser utilizados em edifícios corporativos, centros logísticos, escolas e hospitais. A Associação Brasileira

da Construção Industrializada (ABCI) e a ABESC tiveram papel fundamental nesse processo de disseminação e regulamentação (ABESC, 2005).

Em programas habitacionais públicos, no entanto, o avanço foi mais modesto. Durante o período do BNH, por exemplo, a pré-fabricação foi inicialmente desestimulada, por ser considerada uma ameaça à geração de empregos locais. Posteriormente, o banco apoiou experiências piloto em conjuntos como Carapicuíba (SP) e Narandiba (BA), mas os resultados foram insatisfatórios: muitas unidades apresentaram falhas técnicas e acabaram demolidas. Esses fracassos alimentaram uma cultura de desconfiança quanto à pré-fabricação na habitação popular (SERRA et al., 2005).

A partir dos anos 2010, com o avanço das normas técnicas, como a NBR 9062/2017 (Projeto e execução de estruturas pré-moldadas de concreto) e a NBR 15575/2013 (Desempenho das edificações habitacionais), os sistemas passaram a ter critérios de desempenho mais bem definidos, o que permitiu sua incorporação com mais segurança em projetos diversos, inclusive habitacionais.

Hoje, observa-se uma valorização crescente do sistema, especialmente em função da sua eficiência logística, baixo índice de desperdício, qualidade final elevada e versatilidade estética. Ao contrário do passado, em que os pré-moldados eram associados à estética rígida e repetitiva, atualmente já é possível desenvolver soluções com maior liberdade formal, integrando os pré-fabricados à linguagem arquitetônica contemporânea.

### **2.2.3 Componentes e Sistemas Construtivos**

A construção com elementos pré-moldados de concreto é composta por uma série de componentes padronizados, que se articulam estrutural e funcionalmente para formar edifícios completos. Segundo El Debs (2011), esses elementos podem ser classificados em estruturais, de vedação, de fechamento ou arquitetônicos, sendo produzidos em ambiente controlado e transportados posteriormente ao canteiro para montagem.

Entre os principais elementos estruturais, destacam-se os pilares, vigas retangulares ou em forma de “T” e “L”, lajes alveolares, lajes treliçadas, painéis de parede estrutural, fundações pré-moldadas e escadas. Cada um desses componentes

é dimensionado segundo seu papel estrutural e compatibilizado com as exigências de montagem, transporte e desempenho da edificação (EL DEBS, 2011, p. 79–102).

A laje alveolar, por exemplo, é formada por painéis pré-moldados com vazios longitudinais que reduzem o peso próprio da peça, sem comprometer sua resistência. Isso diminui o consumo de concreto, facilita o transporte e possibilita vãos maiores, o que amplia a liberdade arquitetônica (EL DEBS, 2011, p. 89–90).

Já os painéis de vedação são utilizados como fechamento lateral de edifícios. Quando não contribuem estruturalmente, são chamados de painéis não estruturais, e quando participam do sistema resistente, recebem o nome de painéis estruturais, como no caso de paredes de concreto tipo sanduíche ou painéis integrais (EL DEBS, 2011, p. 103–108).

Além dos elementos principais, há também peças especiais como banheiros prontos (pods), reservatórios, passarelas, módulos técnicos e até mesmo estruturas completas montadas a seco. Esse conjunto compõe os chamados sistemas construtivos, que podem variar em função do grau de pré-fabricação adotado (EL DEBS, 2011, p. 137–140).

Do ponto de vista do nível de integração, os sistemas podem ser classificados em:

Sistema do tipo pórtico: formado por vigas e pilares articulados ou engastados, tradicionalmente usado em edifícios industriais e comerciais;

Sistema de paredes estruturais (wall-frame): ideal para edifícios residenciais, como no caso da habitação de interesse social, com alto grau de repetição;

Sistemas mistos ou híbridos: combinam elementos moldados in loco com componentes pré-fabricados (EL DEBS, 2011, p. 141–147).

#### **2.2.4 Vantagens e Limitações**

A tecnologia do concreto pré-moldado apresenta vantagens significativas em relação aos métodos convencionais, sendo considerada uma das principais estratégias de industrialização da construção civil. Conforme El Debs (2011), esses

benefícios se manifestam em aspectos técnicos, econômicos, ambientais e operacionais.

Entre as principais vantagens, destacam-se:

**Rapidez de execução:** a montagem das estruturas é mais rápida, pois os elementos já chegam prontos ao canteiro. Isso reduz o tempo total da obra e os custos indiretos com canteiro, segurança e administração;

**Qualidade e padronização:** por serem fabricados em ambiente fabril, os componentes atingem um padrão de acabamento superior, com menor variabilidade dimensional, o que reduz retrabalhos e facilita a modulação (EL DEBS, 2011, p. 149–152);

**Redução de desperdícios:** a produção controlada permite melhor aproveitamento de materiais, reduz perdas de concreto, aço e madeira, e diminui a geração de entulho;

**Segurança no trabalho:** com menos operações manuais em altura e maior mecanização, o sistema tende a apresentar menos acidentes e exposição a riscos (EL DEBS, 2011, p. 153–155);

**Sustentabilidade:** o menor consumo de recursos, a redução no tempo de execução e a facilidade de desmontagem e reaproveitamento tornam os pré-moldados compatíveis com diretrizes de construção sustentável.

Contudo, o sistema também apresenta limitações e desafios, como:

**Necessidade de planejamento detalhado:** o sucesso do sistema depende de projetos compatibilizados desde as etapas iniciais, com atenção especial às ligações, transporte e montagem. Um erro de projeto pode comprometer a obra toda;

**Custo inicial elevado:** embora os custos totais sejam competitivos, o investimento em moldes, formas, equipamentos e transporte pode ser mais alto, o que exige produção em escala ou planejamento logístico eficiente (EL DEBS, 2011, p. 155–158);

**Transporte e logística:** elementos grandes e pesados exigem equipamentos especiais e rotas de transporte sem restrições, o que pode limitar a aplicação em áreas urbanas adensadas;

**Restrições arquitetônicas aparentes:** ainda existe a percepção de que a pré-fabricação limita a criatividade arquitetônica, embora essa ideia venha sendo

superada com o uso de painéis arquitetônicos, formas especiais e integração BIM (EL DEBS, 2011, p. 160–163).

### **2.3 Arquitetura Modular e Customização em Massa**

A arquitetura modular representa uma das vertentes mais promissoras da racionalização construtiva contemporânea. Seu princípio básico reside na criação de unidades ou módulos padronizados, capazes de serem repetidos, combinados ou adaptados conforme a necessidade do projeto, reduzindo custos e tempo de execução, sem comprometer a flexibilidade do espaço arquitetônico.

Segundo Flauzino Neto (2020), a modularidade na arquitetura está associada à ideia de fragmentação da edificação em partes autônomas e funcionais que podem ser fabricadas de forma repetitiva. A padronização das dimensões, das interfaces e dos sistemas de montagem permite uma construção mais precisa, rápida e com menor geração de resíduos. Essa lógica dialoga diretamente com os sistemas industriais e é herdeira do pensamento moderno de racionalização da habitação.

Além disso, a modularidade viabiliza estratégias de customização em massa, conceito estudado por Flauzino Neto (2020) como alternativa à padronização total do espaço. Inspirado nos modelos industriais da Toyota e da arquitetura japonesa pós-guerra, o autor defende a criação de sistemas abertos de projeto, nos quais um conjunto limitado de peças pré-fabricadas é capaz de gerar uma variedade de arranjos, respeitando necessidades locais, familiares e funcionais.

Nesse sentido, o autor diferencia duas abordagens fundamentais:

A padronização rígida, que impõe modelos repetitivos a diferentes contextos e tende à homogeneização do espaço habitado;

A customização em massa, que permite ao usuário ou ao projetista adaptar soluções a partir de um sistema modular pré-definido (FLAUZINO NETO, 2020, p. 82–85).

A ideia central da customização em massa é oferecer diversidade com base em repetição, o que representa uma inovação frente ao modelo tradicional da habitação de interesse social no Brasil, que historicamente se baseou na multiplicação de unidades idênticas, com baixa qualidade espacial e formal (BONDUKI, 1998).

Além da flexibilidade projetual, a modularidade favorece também o planejamento construtivo e a integração de sistemas técnicos (hidrossanitários, elétricos, estruturais). A definição prévia dos pontos de conexão, das passagens de instalações e das zonas de expansão permite ao módulo evoluir ou ser replicado sem retrabalhos, como demonstrado nas experiências com painéis estruturais tipo sanduíche, analisadas por Flauzino Neto (2020).

Complementando essa abordagem, autores destacam que os sistemas modulares oferecem vantagens como rapidez de execução, qualidade final e economia de escala, além de maior previsibilidade técnica e orçamentária. No entanto, salientam que a aplicação da modularidade em larga escala exige não apenas soluções técnicas, mas também novos arranjos organizacionais, capacitação da mão de obra e a incorporação do projeto arquitetônico ao processo fabril (CONSTRUÇÃO MODULAR PRÉ-FABRICADA, 2018).

Dessa forma, a arquitetura modular não se restringe a uma técnica construtiva, mas constitui uma mudança de paradigma no modo de pensar, projetar e executar espaços habitacionais. Propõe-se, assim, uma lógica integrada entre projeto, produção e uso, capaz de responder à demanda por eficiência sem abrir mão da adaptabilidade e da diversidade formal (CONSTRUÇÃO MODULAR PRÉ-FABRICADA, 2018).

Tal abordagem é especialmente relevante no contexto da habitação de interesse social, em que os desafios de escala, orçamento limitado e diversidade de contextos urbanos demandam soluções replicáveis, flexíveis e tecnicamente viáveis. Nesse cenário, a arquitetura modular associada à pré-fabricação aponta para um caminho promissor, capaz de conciliar agilidade construtiva, qualidade arquitetônica e personalização — aspectos ainda pouco explorados na produção habitacional popular brasileira (CONSTRUÇÃO MODULAR PRÉ-FABRICADA, 2018).

A modularidade, enquanto estratégia arquitetônica e construtiva, busca organizar o projeto e a execução da edificação com base em unidades padronizadas de medida, denominadas módulos. Essa lógica permite o desenvolvimento de

componentes construtivos intercompatíveis, facilitando sua fabricação, transporte, montagem e posterior expansão (CARDOSO, 2011).

Segundo Rodrigues, Gobbi e Araújo (2024), a coordenação modular é fundamental para garantir eficiência dimensional, redução de perdas, facilidade de encaixe e racionalização do processo produtivo. A norma ABNT NBR 15873-1:2010 define coordenação modular como o sistema de dimensões baseadas em um módulo padrão, geralmente de 100 mm (ou múltiplos de 150 mm e 300 mm), que organiza o espaço e as dimensões dos elementos construtivos.

Além disso, essa padronização contribui para a adoção de sistemas autoportantes, em que os próprios elementos de vedação (como blocos ou painéis) também desempenham função estrutural, otimizando o uso de materiais e reduzindo os custos com formas, aço e concreto (RODRIGUES; GOBBI; ARAÚJO, 2024).

## **2.4 Sustentabilidade, Durabilidade e Ciclo de Vida**

A adoção de sistemas construtivos industrializados em concreto pré-moldado, especialmente no contexto da habitação de interesse social (HIS), exige uma análise cuidadosa sobre a sustentabilidade, a durabilidade dos materiais e o ciclo de vida das edificações. Tais aspectos estão diretamente ligados à performance estrutural, à redução de impactos ambientais e à viabilidade econômica da construção ao longo do tempo.

## **2.5 Durabilidade: conceito e relevância nas HIS**

Durabilidade, segundo Medeiros Júnior e Helene (2014), é definida como a capacidade de um material ou sistema manter suas funções previstas ao longo do tempo, sob condições específicas de exposição. No caso do concreto, a durabilidade está associada à sua resistência à ação de agentes agressivos, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), cloretos, umidade, variações térmicas e reações internas (ex. reação álcali-agregada).

Essa propriedade é especialmente crítica em estruturas expostas a ambientes agressivos — como áreas urbanas densas ou litorâneas —, nas quais a presença de umidade e poluentes atmosféricos acelera processos de degradação. Para HIS, muitas vezes localizadas em áreas periféricas com baixa manutenção posterior,

garantir a durabilidade das estruturas significa preservar a qualidade e segurança da habitação por décadas, reduzindo custos com reformas e reabilitações futuras.

A norma ABNT NBR 15575:2013, que trata do desempenho de edificações habitacionais, estabelece critérios mínimos de durabilidade para diferentes componentes e sistemas, relacionando-os à vida útil de projeto (VUP). O concreto pré-moldado, quando bem especificado, possui potencial de atingir ou superar os requisitos normativos, especialmente devido ao controle de produção em fábrica e à possibilidade de inclusão de aditivos, baixa relação a/c e cobrimentos adequados (MEDEIROS JÚNIOR; HELENE, 2014).

### Mecanismos de degradação e estratégias preventivas

Entre os principais mecanismos de degradação do concreto, destacam-se:

Carbonatação: processo de penetração de CO<sub>2</sub> atmosférico nos poros do concreto, reduzindo o pH e despassivando as armaduras;

Ataque por cloretos: comum em regiões costeiras ou por uso de agregados contaminados, provoca corrosão acelerada das armaduras;

Penetração de umidade e ciclos de secagem/umidificação: que favorecem fissuração e esfoliação superficial;

Reações deletérias internas: como a reação álcali-agregado (RAA), que provoca expansão e fissuração irreversível (MEDEIROS JÚNIOR; HELENE, 2014).

Para mitigar esses efeitos, o uso de pré-moldados se destaca por permitir:

Maior controle do traço do concreto;

Ambiente de cura ideal;

Precisão na aplicação do cobrimento das armaduras;

Inspeção rigorosa de fissuras e falhas antes da montagem em campo.

No contexto das HIS, aplicar estratégias preventivas de durabilidade é especialmente relevante, pois reduz a necessidade de manutenção corretiva, eleva a vida útil das edificações e aumenta a dignidade do espaço habitado, protegendo o investimento público e o bem-estar dos usuários.

## Sustentabilidade e ciclo de vida do concreto pré-moldado

A sustentabilidade no setor da construção não se restringe à escolha de materiais “verdes”, mas inclui a análise de todo o ciclo de vida (ACV) das soluções construtivas. Segundo Medeiros Júnior e Helene (2014), isso envolve avaliar os impactos desde a extração das matérias-primas, passando pela produção, transporte, montagem, uso, manutenção e até a demolição e reciclagem dos resíduos.

No caso do concreto pré-moldado, destacam-se as seguintes vantagens sustentáveis:

Redução de perdas de material: produção industrial com fôrmas reutilizáveis e controle preciso;

Eficiência energética: possibilidade de otimização térmica passiva com massas térmicas elevadas e acoplamento com isolamento;

Menor geração de resíduos de obra: o canteiro torna-se um local de montagem, não de produção;

Reutilização e desmontabilidade: sistemas modulares e desmontáveis ampliam o reaproveitamento de componentes.

Contudo, os autores alertam que o transporte de elementos pesados e o uso de materiais de alto impacto ambiental, como o cimento Portland, ainda representam desafios relevantes para a sustentabilidade dos sistemas pré-fabricados. Apesar dos ganhos na etapa de execução, o impacto ambiental total só será reduzido com gestão eficiente do projeto, boas práticas executivas e escolha criteriosa de insumos, considerando seu desempenho ao longo do tempo (MEDEIROS JÚNIOR; HELENE, 2014).

### Considerações sobre vida útil e manutenção

A vida útil de projeto (VUP) é definida como o período durante o qual a edificação deve manter seu desempenho previsto, sem a necessidade de intervenções corretivas relevantes, desde que sejam cumpridos os planos de manutenção previstos (MEDEIROS JÚNIOR; HELENE, 2014). A norma ABNT NBR 15575:2013, que trata do desempenho de edificações habitacionais, estabelece que

a estrutura principal de habitações de interesse social deve possuir VUP mínima de 50 anos.

No caso das estruturas pré-moldadas de concreto, a durabilidade tende a ser superior, desde que sejam adotadas práticas adequadas durante o projeto e a execução, como:

Proteção eficiente das juntas de montagem, evitando entrada de umidade e corrosivos;

Sistema de vedação contínuo e bem detalhado, minimizando infiltrações;

Utilização de aditivos específicos no concreto, como hidrofugantes ou inibidores de corrosão, que ampliam a resistência a agentes agressivos;

Programas de inspeção e manutenção preventiva, que monitoram o estado das peças e antecipam falhas (MEDEIROS JÚNIOR; HELENE, 2014).

### **3 ESTUDO TÉCNICO E VIABILIDADE**

#### **3.1 Características do Sistema Construtivo em Concreto Pré-Moldado**

O sistema construtivo em concreto pré-moldado é caracterizado pela fabricação de elementos estruturais ou de vedação fora do local definitivo da obra, geralmente em ambiente fabril, sendo posteriormente transportados e montados no canteiro. Essa abordagem propicia maior controle de qualidade, precisão dimensional e redução de desperdícios, além de contribuir para a industrialização do processo construtivo (EL DEBS, 2007).

Os componentes mais comuns do sistema incluem pilares, vigas, lajes, painéis de vedação, escadas, fundações, entre outros. Tais elementos podem ser produzidos como seções completas ou parciais, exigindo, no segundo caso, complementação com concreto moldado in loco. Essa combinação entre pré-fabricação e execução no canteiro favorece soluções estruturais eficientes, especialmente em obras que exigem rapidez e controle técnico rigoroso (EL DEBS, 2007).

A produção dos elementos pode ocorrer tanto em fábricas especializadas quanto no próprio canteiro de obras, sendo essa última uma opção viável em projetos de grande porte ou com elevada repetitividade. Essa flexibilidade permite adaptar o sistema a diferentes condições logísticas e regionais, favorecendo sua aplicação em diversas escalas e tipologias construtivas (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

Do ponto de vista estrutural, os sistemas pré-moldados podem ser classificados em diferentes categorias, conforme a tipologia adotada: esqueleto estruturado (composto por pilares e vigas), sistemas de paredes portantes (onde os painéis têm função estrutural e de vedação), ou sistemas mistos, que combinam os dois anteriores. A escolha entre esses modelos depende das exigências do programa arquitetônico, do desempenho estrutural e do grau de industrialização desejado (EL DEBS, 2007).

A etapa de montagem das estruturas demanda planejamento logístico rigoroso e mão de obra capacitada, especialmente para a execução das ligações entre os elementos. Tais ligações podem ser feitas por meio de grauteamento, solda ou conexões metálicas, sendo fundamentais para garantir a continuidade estrutural, a estabilidade global do sistema e o desempenho frente às ações solicitantes (EL DEBS, 2007).

Além disso, a aplicação do sistema em projetos de habitação de interesse social (HIS) tem se mostrado promissora, considerando a possibilidade de replicação de módulos padronizados, a redução de tempo de execução e a economia de escala. A flexibilidade do sistema também permite sua adaptação a diferentes layouts arquitetônicos, desde que o projeto seja previamente compatibilizado com a malha modular e com os elementos padronizados disponíveis (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

Outra característica marcante do sistema é a racionalização dos processos produtivos. A possibilidade de planejamento prévio dos insumos, a precisão nas medidas e a montagem sequencial permitem melhor controle do cronograma e dos custos. Estudos apontam que, em empreendimentos com elevado grau de repetição, o uso do concreto pré-moldado pode gerar economia significativa, sobretudo na etapa de montagem, nas formas reutilizáveis e na redução de retrabalho (EL DEBS, 2007).

Entretanto, para que tais vantagens sejam plenamente aproveitadas, é fundamental a compatibilização entre os projetos estrutural, arquitetônico e de instalações. A integração entre as disciplinas, aliada ao uso de ferramentas como BIM (Building Information Modeling), contribui para minimizar interferências na montagem e otimizar o desempenho global da edificação.

Por fim, é importante destacar que, apesar das vantagens técnicas e operacionais, o sistema ainda enfrenta desafios para sua plena consolidação no Brasil. Entre os principais entraves estão a tributação desfavorável sobre

componentes industrializados, a escassez de profissionais especializados no processo de montagem e a resistência cultural ao uso de soluções não convencionais (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

### **3.2 Comparações Técnicas e de Custo entre o Sistema Tradicional e o Sistema Pré-Moldado**

#### **Produtividade e Tempo de Execução**

O sistema construtivo em concreto pré-moldado destaca-se por sua elevada produtividade, especialmente quando comparado aos sistemas tradicionais. Isso se deve à fabricação dos componentes em ambiente fabril controlado, permitindo simultaneidade entre a execução das fundações e a produção das peças, resultando na otimização do cronograma da obra (ACKER, 2002). Além disso, a montagem dos elementos pode ser realizada de forma rápida, sem as interrupções típicas causadas por intempéries ou falhas de execução no canteiro.

De acordo com Marcomini et al. (2023), em estudo realizado na cidade de Teresina (PI), uma residência construída com painéis pré-moldados apresentou uma redução de 40% no tempo de execução em relação a uma residência equivalente executada com alvenaria cerâmica. Essa diferença evidencia a agilidade do sistema pré-moldado, especialmente em projetos repetitivos ou de larga escala, como os voltados à habitação de interesse social.

A necessidade de etapas sucessivas no sistema tradicional, como a elevação de alvenarias, cura do concreto in loco e serviços de acabamento artesanal, tende a prolongar significativamente o cronograma da obra, comprometendo sua eficiência (FLAUZINO NETO, 2020).

#### **Custo Direto e Global da Construção**

Os custos diretos de materiais do sistema pré-moldado são, em muitos casos, ligeiramente superiores aos do sistema tradicional, especialmente devido à utilização de formas metálicas e à necessidade de equipamentos de transporte e içamento. No entanto, ao considerar os custos indiretos – como retrabalhos, desperdícios e tempo de obra – o sistema pré-moldado pode ser economicamente mais vantajoso.

Marcomini et al. (2023) verificaram, em estudo de caso real, que a construção com painéis pré-moldados resultou em uma economia de 12% no custo global da obra, em comparação com o sistema convencional em alvenaria. Essa economia foi atribuída à redução no uso de mão de obra, maior previsibilidade orçamentária e racionalização dos materiais.

Ainda segundo Acker (2002), o sistema pré-moldado reduz significativamente os custos com formas, escoramentos e perda de materiais, além de permitir maior precisão na estimativa de insumos e tempo de execução, favorecendo o planejamento físico-financeiro.

### Qualidade da Execução e Risco de Patologias

O ambiente fabril proporciona controle rigoroso de qualidade dos elementos pré-moldados, o que resulta em maior precisão dimensional, melhor acabamento superficial e menor propensão a falhas de execução (EL DEBS, 2007). Essa qualidade superior se reflete na durabilidade e na menor incidência de patologias típicas do sistema tradicional, como fissuras por retração, infiltrações por falhas na vedação e assentamentos irregulares.

De acordo com Flauzino Neto (2020), o sistema pré-fabricado permite maior homogeneidade entre os elementos construtivos e reduz o retrabalho, além de contribuir para a racionalização do canteiro e maior confiabilidade da estrutura.

Já a alvenaria convencional, por depender fortemente da qualificação da mão de obra e das condições ambientais, apresenta variabilidade na execução que pode comprometer o desempenho estrutural e funcional da edificação.

### Impactos Ambientais e Sustentabilidade

O sistema pré-moldado apresenta vantagens ambientais significativas quando comparado ao método convencional. A produção em fábrica permite melhor aproveitamento dos materiais, maior controle na geração de resíduos e menor consumo de água no processo de cura. Segundo Kroth (2012), o volume de resíduos sólidos pode ser até 45% inferior no sistema pré-moldado em comparação com a alvenaria convencional.

Além disso, o concreto pré-moldado, ao possuir maior durabilidade e exigir menos intervenções ao longo da vida útil da edificação, contribui para a redução do consumo de recursos e energia em manutenção corretiva (EL DEBS, 2007). Isso o torna um sistema compatível com diretrizes de sustentabilidade previstas em certificações como AQUA e LEED.

Flauzino Neto (2020) ressalta que, quando combinado à modularidade arquitetônica, o sistema permite a desmontagem e reutilização dos elementos, reduzindo ainda mais o impacto ambiental ao final da vida útil da construção.

### Custo de Implantação e Logística Operacional

Apesar das vantagens mencionadas, a adoção do sistema pré-moldado exige investimentos iniciais significativos. São necessários equipamentos como guindastes, caminhões especiais para transporte e formas metálicas reutilizáveis, além de mão de obra especializada para montagem e execução das ligações estruturais (ACKER, 2002).

Contudo, em empreendimentos com alto grau de repetição, como conjuntos habitacionais populares, esses custos tendem a ser diluídos rapidamente, tornando o sistema competitivo em médio e longo prazo (MARCOMINI et al., 2023).

### Aplicabilidade e Escalabilidade na Habitação de Interesse Social

O sistema pré-moldado, quando combinado com princípios de modularidade, apresenta elevado potencial para aplicação em programas habitacionais de interesse social. Sua padronização permite a repetição sistemática de unidades, mantendo qualidade e racionalidade construtiva (FLAUZINO NETO, 2020).

Além disso, o conceito de customização em massa – discutido por Flauzino Neto (2020) – permite a variação de layouts e composições a partir de um número limitado de módulos padronizados, atendendo à diversidade sociocultural das famílias sem comprometer os ganhos industriais do processo. Isso torna o sistema pré-moldado uma ferramenta estratégica na conciliação entre desempenho técnico, sustentabilidade e adaptabilidade arquitetônica.

A análise ambiental de sistemas construtivos é fundamental para avaliar seu desempenho em termos de sustentabilidade ao longo do ciclo de vida. No caso do

concreto pré-moldado, além da eficiência produtiva, é necessário considerar os impactos desde a extração de matérias-primas até o fim da vida útil da edificação.

### **3.3 Análise Ambiental e Durabilidade**

#### **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que permite mensurar os impactos ambientais de um sistema construtivo desde sua concepção até a sua demolição. De acordo com Håkkinen e Kiviniemi (2008), essa abordagem considera fatores como consumo de recursos naturais, energia incorporada, emissões atmosféricas, geração de resíduos e uso do solo, sendo um instrumento essencial para embasar decisões técnicas sustentáveis (HÅKKINEN; KIVINIEMI, 2008 apud MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

Em sistemas industrializados como o concreto pré-moldado, a aplicação da ACV permite identificar benefícios como redução de perdas e maior controle de materiais. O sistema australiano BAMS, por exemplo, avalia impactos ambientais com base em indicadores como uso de água, energia, esgotamento de recursos e emissão de poluentes, demonstrando como sistemas racionalizados podem ter vantagens ambientais consideráveis (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

#### **Impactos Ambientais do Concreto Pré-Moldado**

Segundo El Debs (2007), o sistema pré-moldado apresenta vantagens significativas em relação à sustentabilidade por conta do controle fabril, que reduz desperdícios, otimiza o uso de materiais e permite reaproveitamento de resíduos da produção (EL DEBS, 2007). O uso racional de formas metálicas reutilizáveis, controle de traço do concreto e cura adequada favorecem a redução do consumo de insumos e energia.

Contudo, autores como Medeiros Júnior e Helene (2014) alertam que o concreto, especialmente quando com alto teor de cimento Portland, possui elevado impacto ambiental associado às emissões de CO<sub>2</sub> no processo de fabricação. Portanto, o desempenho ambiental do sistema depende também da escolha de

insumos e das estratégias para compensar esse impacto, como o uso de adições minerais (MEDEIROS JÚNIOR; HELENE, 2014).

O transporte de peças de grandes dimensões e a necessidade de guindastes também devem ser considerados como fontes potenciais de impacto, embora muitas vezes compensadas pela redução no tempo de execução e pela menor geração de resíduos no canteiro (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

### Durabilidade e Vida Útil

A durabilidade do sistema pré-moldado está diretamente associada à qualidade dos materiais e à padronização dos processos produtivos. Segundo a ABNT NBR 15575-1 (2013), a Vida Útil de Projeto (VUP) para estruturas principais de edificações residenciais deve ser de, no mínimo, 50 anos (ABNT, 2013).

O sistema pré-moldado, quando adequadamente projetado, pode ultrapassar essa exigência. Conforme Medeiros Júnior e Helene (2014), a durabilidade pode ser significativamente ampliada com o uso de concretos de alta resistência, aditivos impermeabilizantes, proteção das juntas e inspeções periódicas. Esses fatores reduzem os efeitos de agentes agressivos como a carbonatação, a penetração de cloretos e a ação da água.

De acordo com El Debs (2007), o controle de qualidade em fábrica permite garantir espessuras adequadas de cobrimento, homogeneidade do concreto e redução de patologias estruturais que comumente afetam obras moldadas in loco (EL DEBS, 2007).

A longevidade das estruturas é um fator decisivo para sua sustentabilidade. Quanto maior a vida útil e menor a necessidade de intervenções, menor será o impacto ambiental cumulativo da edificação ao longo dos anos.

### Considerações Finais

A escolha de um sistema construtivo deve levar em consideração não apenas seus custos diretos ou seu tempo de execução, mas também sua durabilidade e seus impactos ao longo do ciclo de vida. O concreto pré-moldado se mostra vantajoso nesse aspecto, pois alia desempenho técnico, controle de qualidade e possibilidade de racionalização dos processos produtivos.

Ainda que apresente desafios relacionados à logística e ao impacto do cimento, o sistema é compatível com estratégias de sustentabilidade, sobretudo quando combinado com modularidade arquitetônica e planejamento integrado. A redução de resíduos, a durabilidade e a possibilidade de reutilização dos elementos o tornam uma alternativa viável e estratégica para a habitação de interesse social de longo prazo.

## **4 PROJETO MODULAR**

### **4.1 Diretrizes Arquitetônicas do Projeto**

A proposta arquitetônica desenvolvida neste trabalho parte da aplicação de princípios da arquitetura modular voltada à habitação de interesse social, articulando funcionalidade, replicabilidade, racionalidade construtiva e viabilidade técnica. A base conceitual do projeto está diretamente vinculada à lógica da produção seriada com capacidade de customização, integrando o uso de painéis e lajes de concreto pré-moldado à composição modular da planta arquitetônica.

O projeto visa atender às exigências mínimas habitacionais de famílias de baixa renda, sem renunciar à qualidade espacial, possibilidade de expansão e sustentabilidade ambiental, como preconizado pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e por autores como Flauzino Neto (2020), que defende a compatibilização entre eficiência produtiva e diversidade formal por meio da customização em massa.

A escolha do sistema pré-moldado se dá não apenas por sua viabilidade técnica e custo-benefício, mas também por possibilitar a repetição dos elementos com alto controle de qualidade, reduzindo prazos e impactos no canteiro (EL DEBS, 2007). A padronização dos componentes estruturais e das aberturas é acompanhada de uma proposta de flexibilização na composição das fachadas, por meio de elementos de sombreamento, painéis removíveis e variações na cobertura.

Outro eixo norteador do projeto é a simplicidade construtiva, que permite a montagem por mão de obra treinada com baixo grau de especialização, ao mesmo tempo em que atende aos requisitos de desempenho acústico, térmico e estrutural exigidos pela legislação (MEDEIROS JÚNIOR; HELENE, 2014). O sistema adotado utiliza painéis de fechamento estrutural com isolamento termoacústico integrado e lajes planas pré-moldadas com vigotas e elementos de enchimento leve, que agilizam a execução e reduzem a carga sobre as fundações.

Por fim, a diretriz projetual considera que a eficiência construtiva não pode ser dissociada do desempenho ambiental e da apropriação social da moradia. A proposta é, portanto, um exercício de compatibilização entre técnica, custo e arquitetura, com vistas à construção de moradias dignas, sustentáveis e replicáveis em larga escala.

#### **4.2 Sistema Construtivo com Pré-Moldados de Concreto**

O sistema construtivo adotado nesta proposta fundamenta-se no uso de painéis de concreto pré-moldado com núcleo em EPS (poliestireno expandido), uma tecnologia industrializada que alia leveza, isolamento térmico e rapidez de montagem.

Segundo Flauzino Neto (2017), esse tipo de painel se caracteriza pela combinação de duas camadas de concreto armado de pequena espessura, unidas por um núcleo de EPS de alta densidade, o que resulta em um elemento estrutural leve, resistente e de excelente desempenho térmico.

De acordo com o autor, a principal inovação do sistema está na integração entre as funções estruturais e de vedação, permitindo que o painel atue como componente portante, capaz de suportar esforços verticais e horizontais, dispensando a utilização de pilares e vigas em determinadas tipologias. Esse princípio está alinhado à proposta deste trabalho, que busca racionalizar o sistema construtivo e reduzir o número de etapas de obra.

“O painel de concreto com núcleo de EPS apresenta-se como um elemento construtivo híbrido, em que o concreto garante a resistência mecânica e o EPS contribui para o isolamento térmico e a leveza, resultando em um produto de alta eficiência estrutural e energética” (FLAUZINO NETO, 2017, p. 44).

Os painéis empregados neste projeto possuem espessura total de 10 a 12 cm, sendo 3 cm de concreto armado em cada face e núcleo central de 4 a 6 cm de EPS, conforme a função da parede (externa, interna ou divisória).

A armadura é constituída por telas eletrossoldadas galvanizadas, conectadas entre si por conectores metálicos passantes, garantindo o comportamento monolítico da peça e a transferência de cargas entre as camadas de concreto.

Durante a execução, os painéis são moldados em fôrmas metálicas planas e curadas em ambiente controlado, assegurando precisão dimensional e acabamento superficial uniforme. Após a cura, são transportados e montados por encaixe, fixando-se entre si por meio de conectores metálicos e grauteamento das juntas. Esse processo permite uma montagem limpa, seca e de alta produtividade, reduzindo em até 50% o tempo de execução comparado a sistemas convencionais em alvenaria (FLAUZINO NETO, 2017).

Outro aspecto relevante é o desempenho térmico e acústico proporcionado pelo núcleo em EPS. O material reduz significativamente a transmissão de calor por condução, favorecendo o conforto interno sem necessidade de isolamento adicional. Flauzino Neto (2017) ressalta que esse tipo de painel pode atingir valores de transmitância térmica inferiores a  $2,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , enquadrando-se nas exigências da NBR 15575:2021 – Edificações Habitacionais – Desempenho.

A leveza dos painéis também se reflete na redução de carga sobre as fundações, o que torna o sistema especialmente vantajoso para habitações de interesse social, em que a economia estrutural tem impacto direto na viabilidade do empreendimento.

Além disso, o núcleo em EPS contribui para a sustentabilidade, pois é 100% reciclável e pode ser reutilizado na própria indústria, reduzindo o consumo de agregados naturais (areia e brita) e o volume de resíduos sólidos gerados na obra.

Em termos de acabamento, os painéis podem receber revestimentos cerâmicos, pintura, textura acrílica ou argamassa projetada, dependendo da exposição e da estética desejada. Internamente, podem ser deixados aparentes com selante, aplicando apenas acabamento superficial para uniformização.

Dessa forma, a adoção dos painéis de concreto pré-moldado com núcleo em EPS neste projeto garante desempenho estrutural adequado, conforto térmico e rapidez de execução, integrando tecnologia e economia dentro dos princípios da arquitetura modular industrializada.

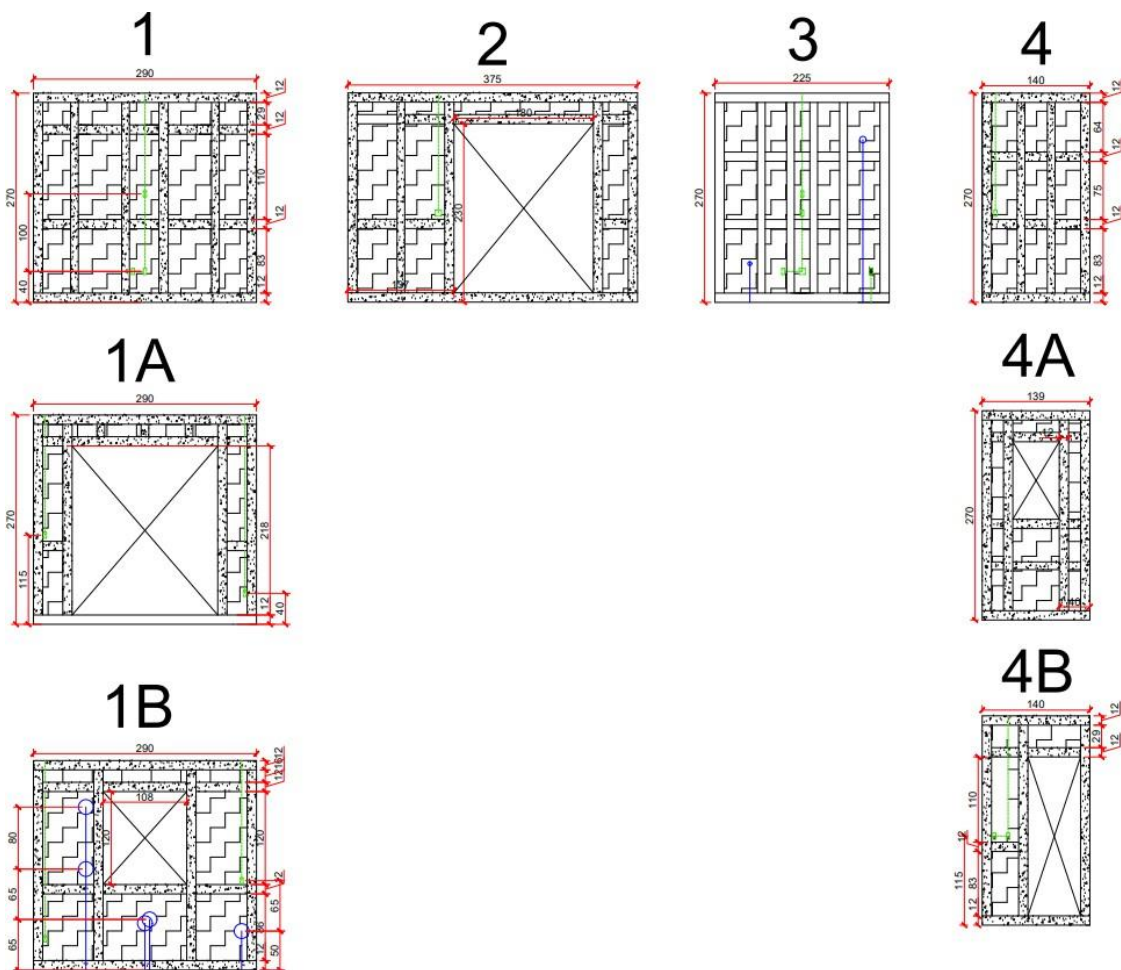
### **4.3 Descrição do projeto arquitetônico**

A lógica modular proposta neste trabalho permite a criação de diferentes configurações de planta, todas compostas por painéis pré-moldados com núcleo em EPS, previamente dimensionados para atender a funções específicas — como sala, cozinha, dormitório e banheiro. Essa abordagem permite desenvolver tipologias adaptáveis, em que a residência pode crescer ou se transformar conforme a demanda da família e as possibilidades do lote.

Conforme defendido por Aravena (2014), a habitação progressiva e incremental é uma estratégia eficaz para países com déficit habitacional e renda variável, pois permite que o morador amplie sua residência ao longo do tempo, sem perder a qualidade do projeto inicial.

Na Figura 1 são apresentadas as diferentes peças que combinadas resultam nas diferentes modularidade da proposta:

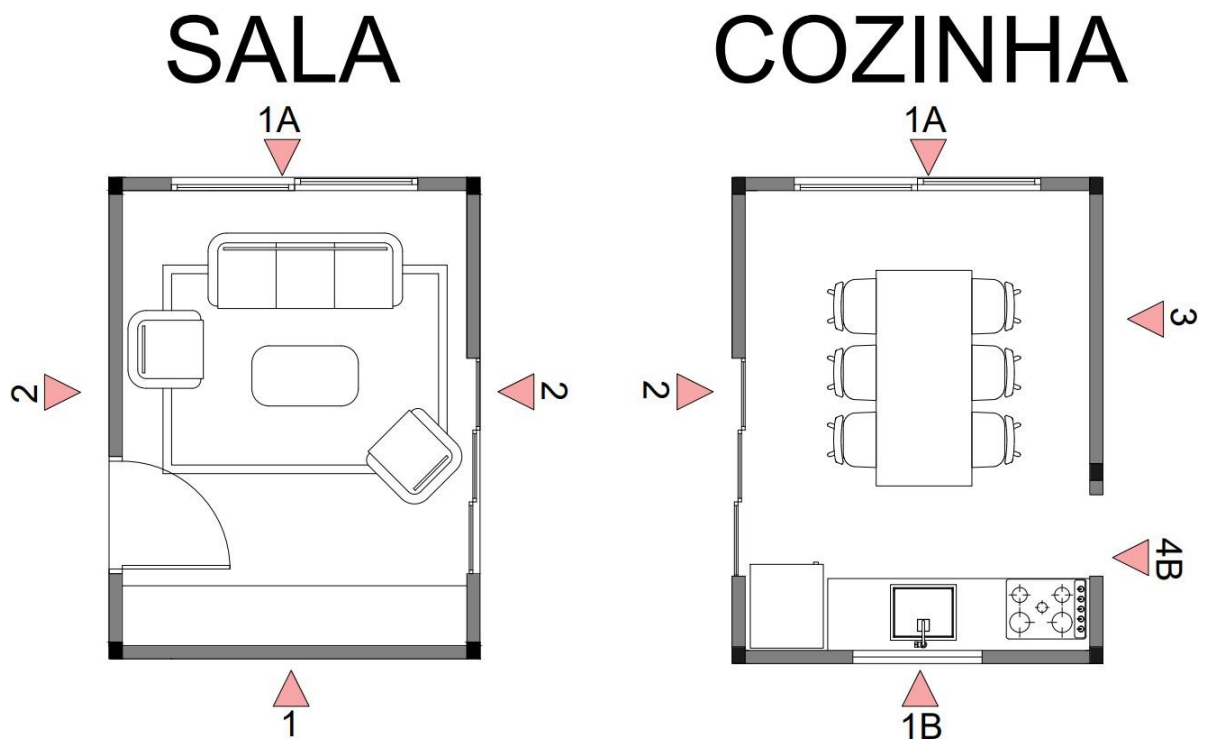
Figura 1 - Detalhamento Paredes Pré-Moldadas



Fonte: autoria própria

Cada painel é composto por duas lâminas de concreto armado (3 cm) e núcleo central de EPS (4 a 6 cm), formando placas de espessura total entre 10 e 12 cm. A ferragem é conectada por telas metálicas e a peça inclui alojamentos técnicos para passagem de dutos elétricos, hidráulicos e pontos de fixação. Esses elementos permitem resistência, leveza e desempenho térmico adequado, conforme descrito por Flauzino Neto (2017).

Figura 2 – Módulos Áreas Sociais



Fonte: autoria própria

As áreas sociais da unidade habitacional representadas na Figura 2 são formadas por módulos de 2,90 m x 3,75 m, correspondentes aos ambientes de sala e cozinha, os quais podem funcionar de maneira independente ou serem integrados em um único espaço de 5,80 m x 3,75 m, proporcionando maior amplitude e fluidez no uso cotidiano.

A configuração padrão prevê a sala e a cozinha como módulos contíguos e articuláveis, com disposição livre de mobiliário, pontos elétricos estrategicamente posicionados e ventilação cruzada garantida por aberturas opostas nos painéis de

fachada. A integração dos ambientes está prevista no sistema modular, permitindo remoção de painéis internos não estruturais para ampliação da área social.

A montagem dos módulos é feita com os seguintes painéis pré-moldados com núcleo em EPS:

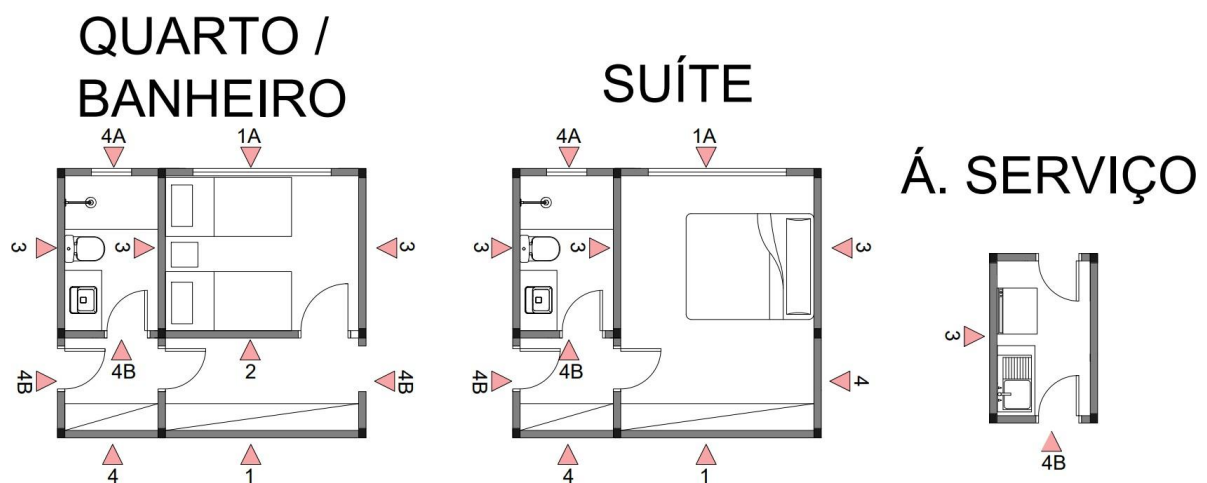
Módulo da Sala: utiliza as peças identificadas como 1, 1A e 2;

Módulo da Cozinha: utiliza as peças 1A, 1B, 3 e 5B.

Para realizar a integração entre sala e cozinha, basta remover a peça 2, que funciona como painel de separação não estrutural entre os dois ambientes. Esse painel pode ser substituído por um elemento de travamento superior (viga de amarração ou lintel leve), garantindo continuidade estrutural sem comprometer a estabilidade do conjunto.

Essa estratégia reforça a flexibilidade espacial e a possibilidade de adaptação do layout conforme as necessidades do usuário, um dos pilares do conceito de habitação modular adotado neste trabalho (ARAVENA, 2014; FLAUZINO NETO, 2017).

Figura 3 – Módulos Íntimo e Serviço



Fonte: autoria própria

Os ambientes íntimos da residência representados na Figura 3 foram projetados com foco em funcionalidade, conforto e racionalidade construtiva, utilizando o mesmo sistema modular em painéis de concreto pré-moldado com núcleo em EPS. O conjunto é formado por módulos de dormitório, banheiro social e circulação

integrada com armários embutidos, otimizando o uso do espaço e a distribuição das instalações.

A configuração padrão dos quartos com banheiro social utiliza as seguintes peças:

Peças 1, 2, 3, 4, 1A, 4A e 4B, que compõem o dormitório, o banheiro social e a área de circulação/armário entre eles.

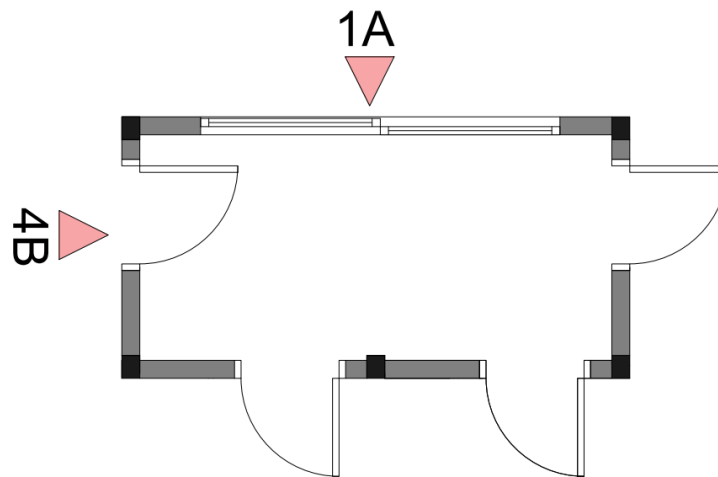
Esse corredor foi pensado não apenas como passagem entre os cômodos, mas como área funcional para armários ou roupeiros, permitindo ganho de armazenamento sem comprometer a fluidez espacial. A modulação permite ventilação natural e iluminação em todos os ambientes, com instalações pré-dimensionadas para pontos elétricos, hidráulicos e sanitários conforme as normas vigentes.

Na versão com suíte integrada ao quarto, basta remover a peça 2, que funciona como painel divisor entre o dormitório e o banheiro social. Essa simples alteração no layout permite transformar o banheiro em uso privativo, mantendo toda a infraestrutura e garantindo flexibilidade conforme o perfil do usuário.

Além disso, a área de serviço foi projetada utilizando as mesmas peças e dimensões de um módulo de banheiro, garantindo compatibilidade com os painéis e aproveitamento das mesmas previsões técnicas para instalação do tanque, ponto de máquina de lavar, ponto de esgoto e ventilação. Isso reforça a lógica da padronização funcional entre ambientes molhados, facilitando a produção, o transporte e a montagem dos painéis com infraestrutura pré-instalada (FLAUZINO NETO, 2017).

Figura 4 - Módulo de Circulação

# CIRCULAÇÃO



Fonte: autoria própria

O módulo de circulação, mostrado na Figura 4, foi concebido como um elemento de conexão funcional entre ambientes, especialmente útil em configurações que demandam vãos maiores entre os cômodos, como na transição entre dormitórios, entre sala e área íntima, ou entre módulos que não compartilham alinhamento direto.

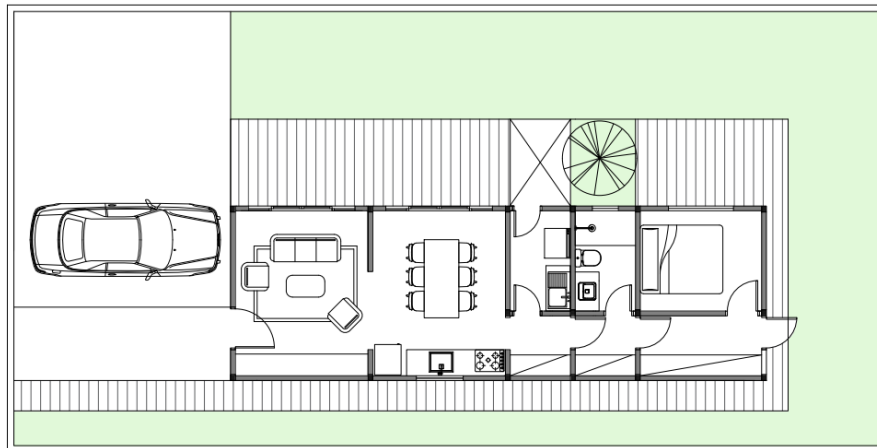
Esse módulo garante continuidade espacial, respeitando a malha modular da proposta e permitindo a organização fluida dos ambientes, sem comprometer o desempenho estrutural ou a uniformidade construtiva. Além disso, o módulo de circulação possibilita a integração de elementos como armários embutidos, estantes ou bancos baixos, aproveitando o espaço de forma funcional.

A montagem deste módulo é realizada com as peças 1A e 4B, que mantêm o mesmo padrão de encaixe, acabamento e infraestrutura dos demais painéis utilizados no sistema. Sua aplicação é opcional e estratégica, sendo adaptável de acordo com a configuração escolhida para a unidade habitacional.

Essa solução reforça a versatilidade do sistema modular proposto, que permite organizar os ambientes de maneira personalizada, mantendo a padronização construtiva e a racionalização da montagem in loco (FLAUZINO NETO, 2017).

Figura 5 – Projeto – Tipologia 1

S	C	A	QS
---	---	---	----

TIPOLOGIA 1 - 50m<sup>2</sup>

Fonte: autoria própria

A primeira tipologia, representada pela Figura 5 projetada apresenta uma composição arquitetônica compacta e funcional, desenvolvida com base na lógica modular e na repetição de painéis padronizados, permitindo sua aplicação em diferentes contextos urbanos, inclusive em lotes estreitos ou com restrições geométricas.

Nesta configuração, a unidade habitacional foi implantada em um terreno com dimensões de 10 metros de frente por 20 metros de profundidade, respeitando os afastamentos mínimos legais e garantindo ventilação e insolação adequadas para todos os ambientes.

A planta da residência foi composta por quatro módulos principais, distribuídos de forma linear e racional:

1 módulo de sala, com ventilação cruzada e integração com os demais ambientes sociais;

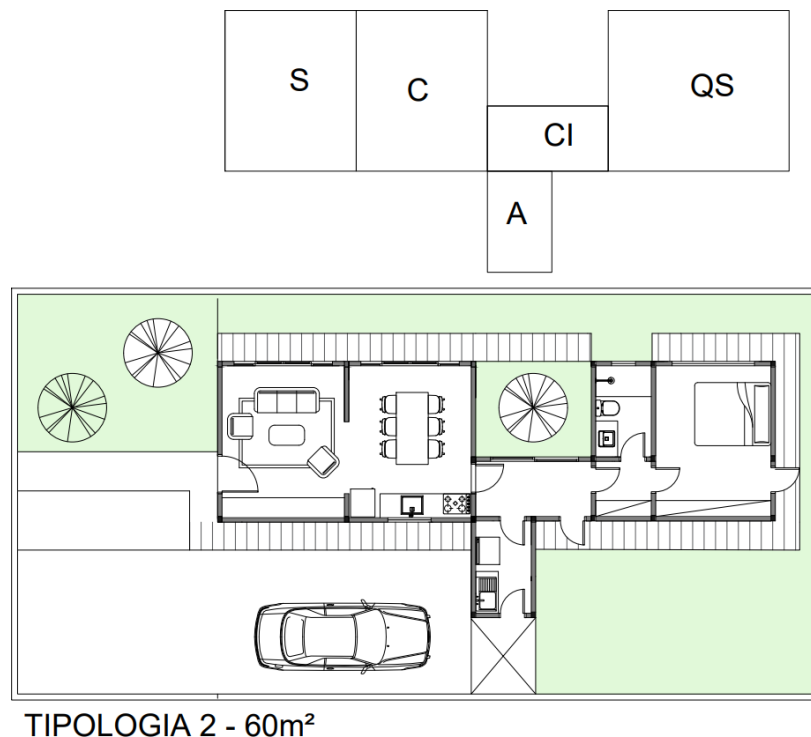
1 módulo de cozinha, com área técnica pré-dimensionada e possibilidade de integração com a sala;

1 módulo de área de serviço, utilizando a mesma lógica e peças construtivas do módulo de banheiro, otimizando a infraestrutura hidráulica;

1 módulo de quarto com banheiro social integrado, permitindo conforto mínimo para um núcleo familiar pequeno ou indivíduo.

Essa composição representa a configuração mínima habitável prevista no projeto, sendo compatível com programas de habitação de interesse social e mantendo a possibilidade de expansão futura. A disposição dos módulos respeita a modulação estrutural e funcional dos painéis, garantindo a viabilidade da execução com painéis pré-moldados com núcleo em EPS.

Figura 6 - Projeto - Tipologia 2



Fonte: autoria própria

A segunda tipologia, representada pela Figura 6, em estudo foi concebida a partir do princípio da habitação incremental, permitindo expansão futura conforme a necessidade dos moradores, sem comprometer a lógica modular e a padronização construtiva da proposta.

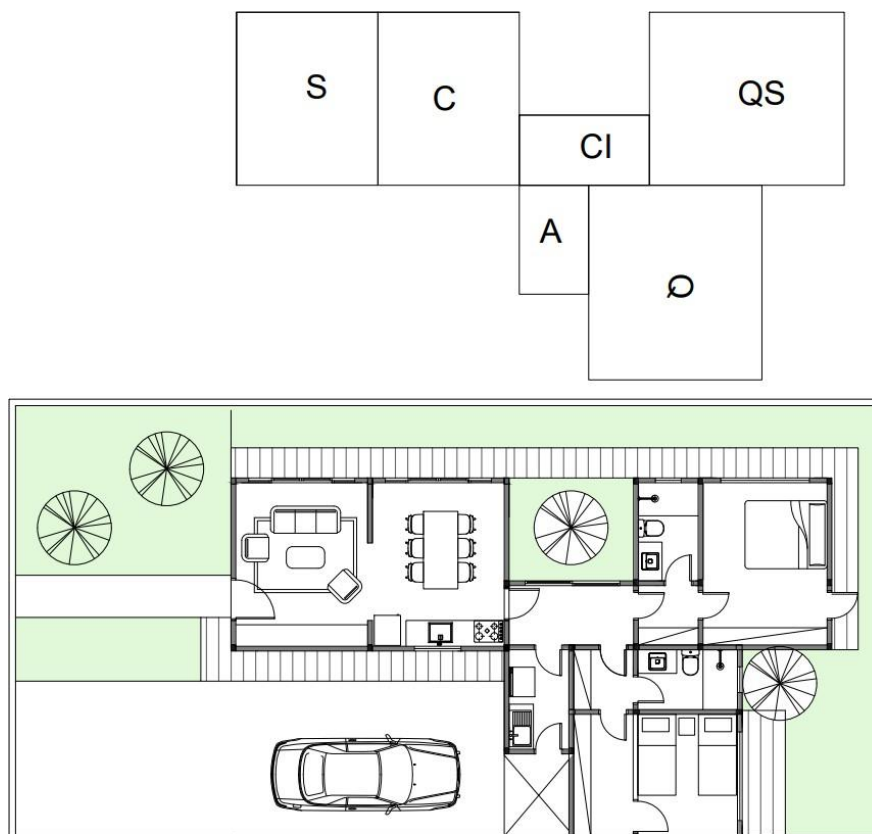
Mantendo a implantação sobre um terreno de 10 metros por 20 metros, a configuração inicial prevê os mesmos módulos da tipologia anterior:

- 1 módulo de sala;
- 1 módulo de cozinha;
- 1 módulo de área de serviço;
- 1 módulo de dormitório com banheiro social.

A novidade nesta tipologia está na previsão projetual da expansão com a inserção de um segundo módulo de dormitório, o que pode ocorrer de forma imediata ou ser executado posteriormente, conforme o crescimento da família ou disponibilidade financeira.

A Figura 7 apresenta a planta com a configuração expandida, onde o novo dormitório é acoplado longitudinalmente à malha modular original, preservando as circulações, ventilação cruzada e compatibilidade com o sistema de instalações técnicas e estruturais.

Figura 7 - Projeto - Tipologia 2 Expandida



TIPOLOGIA 2 EXPANDIDO - 75m<sup>2</sup>

Fonte: autoria própria

Planta da segunda tipologia habitacional, implantada em terreno de 10x20 m, com expansão lateral de mais um dormitório, totalizando cinco módulos. A lógica modular permite essa adição sem comprometer a integridade do conjunto, respeitando o alinhamento estrutural e a continuidade dos painéis pré-moldados.

Essa estratégia reforça a flexibilidade da proposta arquitetônica, viabilizando modelos que se ajustam à realidade das famílias brasileiras de baixa renda, de forma progressiva e planejada, conforme discutido por Aravena (2014) e Flauzino Neto (2017).

#### Infraestrutura Integrada: Instalações Elétricas e Hidrossanitárias

A adoção de painéis pré-moldados com núcleo em EPS também permite o planejamento antecipado e integrado das infraestruturas prediais, incluindo os sistemas elétrico, hidráulico, sanitário e de abastecimento de água por gravidade. A modularidade dos painéis contribui para a padronização dos pontos de passagem de dutos, tubulações e alojamentos técnicos, reduzindo drasticamente intervenções em campo e tornando a execução mais eficiente e menos sujeita a erros.

De acordo com Flauzino Neto (2017), a lógica do painel com núcleo em EPS possibilita a fabricação de componentes “multifuncionais”, ou seja, que integram função estrutural, função de vedação e função técnica (com dutos embutidos e compartimentos para instalações prediais). Isso se alinha ao conceito de racionalização construtiva defendido por Ashby (2011), onde o desempenho técnico e a simplificação da montagem andam juntos.

As instalações elétricas seguem o que estabelece a ABNT NBR 5410:2004, com previsões de:

Tomadas em alturas funcionais (0,40 m; 1,15 m e 1,30 m);

Interruptores com caixas 4x2 e 4x4 embutidas nos painéis;

Pontos de luz com dutos embutidos até a laje;

Reservas técnicas para circuitos independentes e iluminação LED.

O sistema hidrossanitário segue as diretrizes da ABNT NBR 5626:2020, com:

Pontos de alimentação de água fria pré-posicionados;

Registro de gaveta para cozinha e banheiro embutidos a 2,10 m de altura;

Caixas sifonadas, ralos e descidas verticais embutidas nas placas;

Ponto técnico para ligação externa da rede pública ou de cisterna.

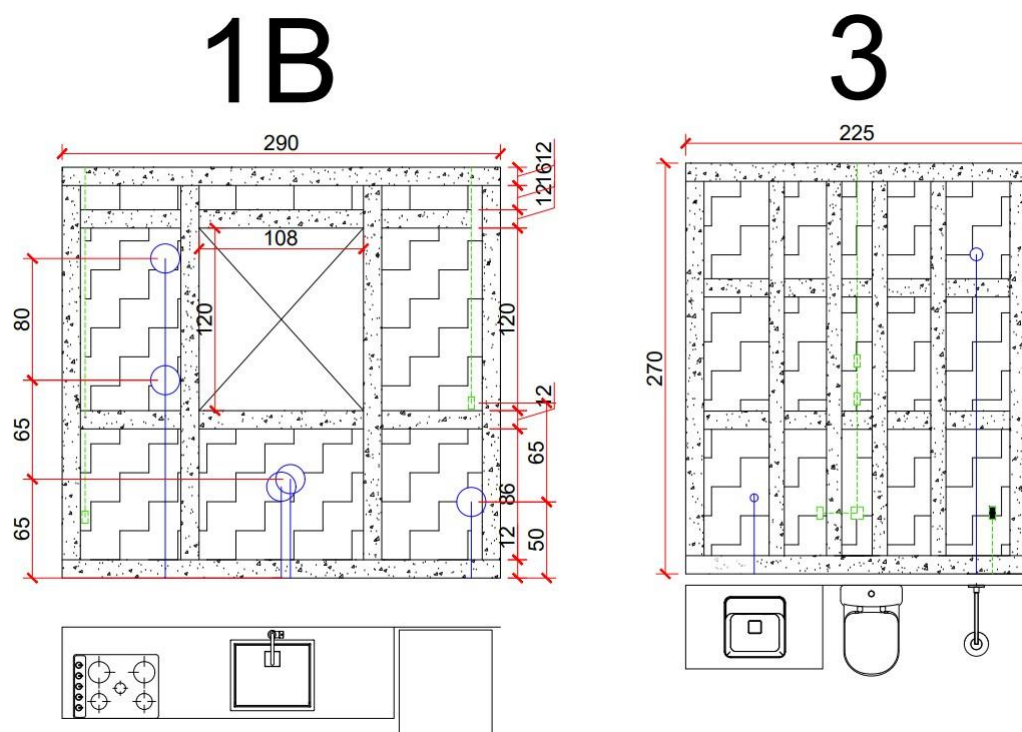
### Sistema de Abastecimento: Caixa d'Água Localizada sobre o Banheiro

Como parte da lógica vertical de infraestrutura, está prevista a instalação de uma caixa d'água de 500 litros, posicionada acima do módulo do banheiro, diretamente sobre a laje desse ambiente. Essa solução permite abastecimento por gravidade para todos os pontos hidráulicos da residência, conforme prescreve a NBR 5626, garantindo pressão mínima nos pontos de uso sem necessidade de pressurizadores.

A estrutura da cobertura do módulo de banheiro foi dimensionada para suportar o peso do reservatório cheio, considerando cerca de 500 kg distribuídos (peso da água mais estrutura). O fechamento da caixa será feito com as mesmas placas pré-moldadas do conjunto, mantendo a padronização estética e facilitando a montagem industrializada.

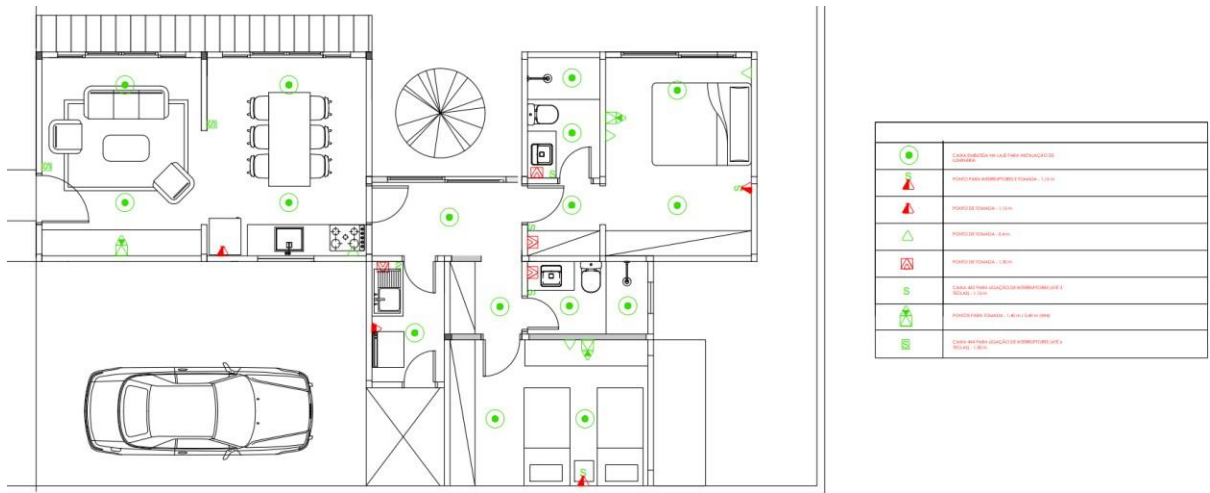
Além disso, essa posição centralizada permite facilidade de inspeção e manutenção, pois a caixa d'água estará posicionada no topo da “torre técnica” da residência — uma estratégia já consolidada em projetos de habitação racionalizada (FLAUZINO NETO, 2017).

Figura 8 - Detalhamento Instalações Previstas nos Painéis



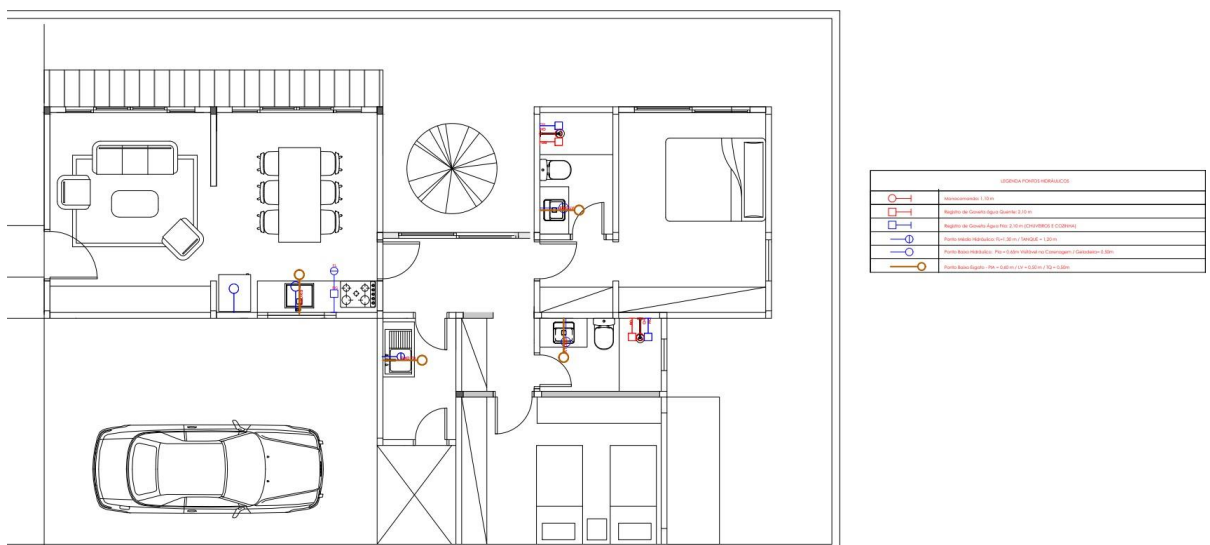
A Figura 8 apresenta como os painéis pré-moldados já preveem aberturas para tomadas, interruptores, caixas 4x2 e 4x4, pontos de iluminação embutida e passagem para condutores, conforme norma NBR 5410 (ABNT, 2004). Do ponto de vista hidráulico, estão pré-posicionados os registros, caixas sifonadas, saída para pias, tanque, lavatório e chuveiro, de acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020).

Figura 9 - Planta de Pontos Elétricos



Fonte: autoria própria

Figura 10 - Planta de Pontos Hidrossanitários



Fonte: autoria própria

As plantas das Figuras 9 e 10 evidenciam a compatibilização entre módulos arquitetônicos e os sistemas de infraestrutura, mantendo os pontos técnicos concentrados em paredes específicas para facilitar manutenção e reduzir interferência cruzada. A instalação de painéis com EPS permite leve escavação ou reserva para ampliação de dutos, caso necessário.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo principal desenvolver uma proposta arquitetônica para habitação de interesse social (HIS) com base em princípios de modularidade, industrialização, racionalização construtiva e viabilidade técnico-econômica, utilizando painéis de concreto pré-moldado com núcleo em EPS.

A pesquisa partiu da constatação do grave déficit habitacional brasileiro e das limitações recorrentes nas soluções habitacionais convencionais, frequentemente marcadas pela baixa qualidade construtiva, pouca flexibilidade e alto custo de manutenção. Nesse contexto, buscou-se investigar alternativas mais sustentáveis e eficientes, capazes de oferecer não apenas abrigo, mas dignidade, adaptabilidade e desempenho ao longo do ciclo de vida da edificação.

Com base nos estudos de Flauzino Neto (2017), foi adotado o sistema de painéis de concreto com núcleo em poliestireno expandido (EPS), que combina resistência estrutural, isolamento térmico e leveza, sendo particularmente adequado para sistemas modulares habitacionais. Esse tipo de painel possibilita a integração de infraestrutura predial (elétrica e hidráulica) e permite montagem rápida e limpa, reduzindo significativamente o tempo de execução e os custos indiretos.

A modularidade permitiu a variação de plantas conforme a necessidade do usuário e a metragem do terreno, mantendo a compatibilidade entre os elementos construtivos. Além disso, os módulos de banheiro e área de serviço compartilham as mesmas peças e instalações, facilitando a produção em série e a logística de montagem.

O sistema de infraestrutura foi totalmente integrado aos painéis, com instalações elétricas e hidráulicas embutidas, conforme as normas da ABNT NBR 5410:2004 e NBR 5626:2020. Foi prevista ainda a instalação de uma caixa d'água de 500 litros sobre o módulo de banheiro, respeitando a lógica vertical de abastecimento

por gravidade, com fechamento utilizando os mesmos painéis pré-moldados da estrutura.

A proposta responde às diretrizes de desempenho estabelecidas na ABNT NBR 15575:2021, especialmente em relação à segurança estrutural, estanqueidade, conforto térmico e adaptabilidade. Além disso, permite futuras expansões com mínima intervenção estrutural, mantendo a coerência visual e construtiva da edificação.

Conclui-se que o modelo habitacional proposto é viável e replicável, apresentando soluções técnicas coerentes, linguagem arquitetônica clara e estratégia construtiva adequada à produção em larga escala. A utilização de pré-fabricação com EPS possibilita um novo paradigma para a HIS: mais eficiente, mais sustentável e com potencial de transformação urbana.

## REFERÊNCIAS

BONDUKI, Nabil. **Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

CBIC; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Avanços e desafios da habitação: diagnóstico e propostas para uma política habitacional de longo prazo**. Brasília: Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2022.

ABESC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Estruturas de concreto pré-moldadas in loco**. São Paulo: ABESC, 2005.

ELLIOT, R. S. **Precast Frame Concepts, Economics and Architectural Requirements**. Workshop on Design & Construction of Precast Concrete Structures. Singapore, 2002.

SALAS, S. J. **Construção industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos pré-fabricados de concreto. In: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos: UFSCar, 2005.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2011.

CONSTRUÇÃO MODULAR PRÉ-FABRICADA: o futuro da arquitetura no Brasil. Revista do Laboratório de Habitação e Sustentabilidade, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 5–12, 2018.

FLAUZINO NETO, Haroldo Dias. O conceito de customização em massa entre fôrmas e formas: o sistema modular como meio projetual em habitação de interesse social. 2020. Dissertação (Mestrado em Projeto e Cidade) – Faculdade de Artes Visuais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

CARDOSO, Daniel. Arquitetura modular: racionalização construtiva. In: D'ALMEIDA, Patrícia F. (Org.). Habitação social e inovação na arquitetura. São Paulo: FAUUSP, 2011. p. 101–122.

RODRIGUES, Júlia Oliveira; GOBBI, Andressa; ARAÚJO, Emanuel Cunha de. Potencial de aplicação de blocos vazados de baixa densidade para habitação de interesse social conforme princípios da modularidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais [...]. Maceió: ANTAC, 2024.

EL DEBS, Ana M. B. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Paulo: IBRACON, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

HÄKKINEN, T.; KIVINIEMI, M. Sustainable building and BIM. Espoo: VTT, 2008. Apud: MINISTÉRIO DAS CIDADES. Avaliação do ciclo de vida: diretrizes e estratégias para a sustentabilidade na construção civil. Brasília: Ministério das Cidades, 2012.

MEDEIROS JÚNIOR, Ruy Alberto; HELENE, Paulo Roberto Lopes. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. Revista ALCONPAT, v. 4, n. 3, p. 311–327, 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Avaliação do ciclo de vida: diretrizes e estratégias para a sustentabilidade na construção civil. Brasília: Ministério das Cidades, 2012.