

4_6

EDIFÍCIOS MODULARES PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO

PROPOSTA R2U PARA HABITAÇÃO ACESSÍVEL: CONTRIBUTOS DA PRÉ-FABRICAÇÃO EM BETÃO E DOS PRINCÍPIOS DE MODULARIDADE E DE FLEXIBILIDADE

A procura de habitação acessível tornou-se um desafio global, agravado pela urbanização, crescimento populacional e disparidades económicas. O aumento dos preços intensificou as desigualdades, dificultando o acesso a habitações adequadas. Os métodos tradicionais de construção têm-se revelado insuficientes para responder a esta procura, exigindo uma reflexão urgente.

A combinação dos princípios da pré-fabricação, da modularidade e da flexibilidade contribui para o repensar da arquitetura da habitação, simplificando a construção, melhorando a escalabilidade e facultando habitações adaptáveis. O presente artigo apresenta a Proposta R2U, apoiada em estratégias de projeto orientadas para a criação de soluções habitacionais sustentáveis, eficientes e estimulantes. Os resultados intermédios evidenciam o potencial destas abordagens para a acessibilidade habitacional.

Baseada na análise de projetos existentes, a Proposta R2U é um protótipo projetado para maximizar a versatilidade e adaptabilidade. Ao propor um conjunto limitado de elementos, o protótipo oferece uma solução modular e flexível, facilitando a montagem, a desmontagem e a personalização para diferentes necessidades habitacionais.

A metodologia incluiu uma revisão inicial da literatura sobre pré-fabricação em betão, modularidade e flexibilidade. Paralelamente, foram analisados 30 casos de estudo, de diferentes geografias, selecionados pelo seu alinhamento com os tópicos mencionados e o seu potencial inovador. Por fim, desenvolveu-se um modelo baseado no quadro teórico estabelecido.

Mina Djukanovic, CITUA, IST
Alexandra Alegre, CITUA, IST
Francisco Teixeira Bastos, CITUA, IST

PRINCÍPIOS DE CONCEÇÃO

Pré-fabricação

O betão pré-fabricado é uma alternativa mais sustentável e eficiente à construção tradicional *in situ*, oferecendo: 1) eficiência de fabrico, envolvendo o planeamento, transporte e montagem otimizados, além dos avanços técnicos que permitem maior flexibilidade dimensional e arquitetónica; 2) qualidade e conforto, garantindo estruturas seguras, resistentes ao fogo

e com bom isolamento acústico; 3) eficiência na construção, com a montagem rápida de módulos, reduzindo custos de mão-de-obra e tempo de construção; 4) digitalização, através do BIM, que melhora o planeamento, a comunicação e a coordenação entre equipas, e reduz custos e prazos.

Estudos indicam que, apesar do custo inicial ser cerca de 16,3 % maior do que os processos tradicionais de construção, a pré-fabricação pode reduzir em mais de 50 % os custos dos

materiais por evitar o desperdício e 30 % da mão-de-obra *in situ*, além de diminuir os prazos, tornando esta opção cada vez mais viável na produção de habitação coletiva na Europa.

Modularidade

O termo “módulo” na arquitetura refere-se à criação de elementos flexíveis, que podem ser de dimensões reduzidas até estruturas de maior dimensão. A sua realização em fábricas

e montagem no local, permite a redução do tempo de obra até cerca de 50 %, minimizando atrasos e melhorando a qualidade e controle de custos. Os edifícios modulares permitem a sua desmontagem e reutilização, promovendo a economia circular e práticas sustentáveis, e facilitam a inovação, permitindo configurações personalizadas.

Flexibilidade

A flexibilidade pode ser dividida em multifuncionalidade e transformabilidade: interna, sem mudanças no interior e sem alterar a dimensão do módulo; externa, com alterações de dimensão. A conceção de habitações flexíveis consiste em eliminar as divisórias fixas e evitar espaços de utilização única. Habitações adaptáveis reduzem custos e permitem que os moradores ajustem as suas casas às suas necessidades e recursos, promovendo princípios de sustentabilidade e uso eficiente de recursos. A Proposta R2U insere-se nos princípios de transformabilidade interna.

Os benefícios da combinação destes princípios na Proposta R2U são:

- 1) eficiência e rapidez, reduzindo o tempo e os custos de construção;
- 2) sustentabilidade, em que os edifícios podem ser adaptados e reutilizados, diminuindo o desperdício e a necessidade de novas construções;
- 3) adaptabilidade, incluindo espaços que podem evoluir com as necessidades dos ocupantes, com unidades modulares facilmente personalizáveis;
- 4) economia: embora o custo inicial seja maior, a redução de tempo, custos de mão-de-obra e possibilidade de adaptação sem grandes reformas, gera economias a longo prazo.

ANÁLISE DE CASOS DE ESTUDO

Foram analisados 30 edifícios habitacionais segundo os seguintes critérios: localização, método e sistema construtivo, materiais

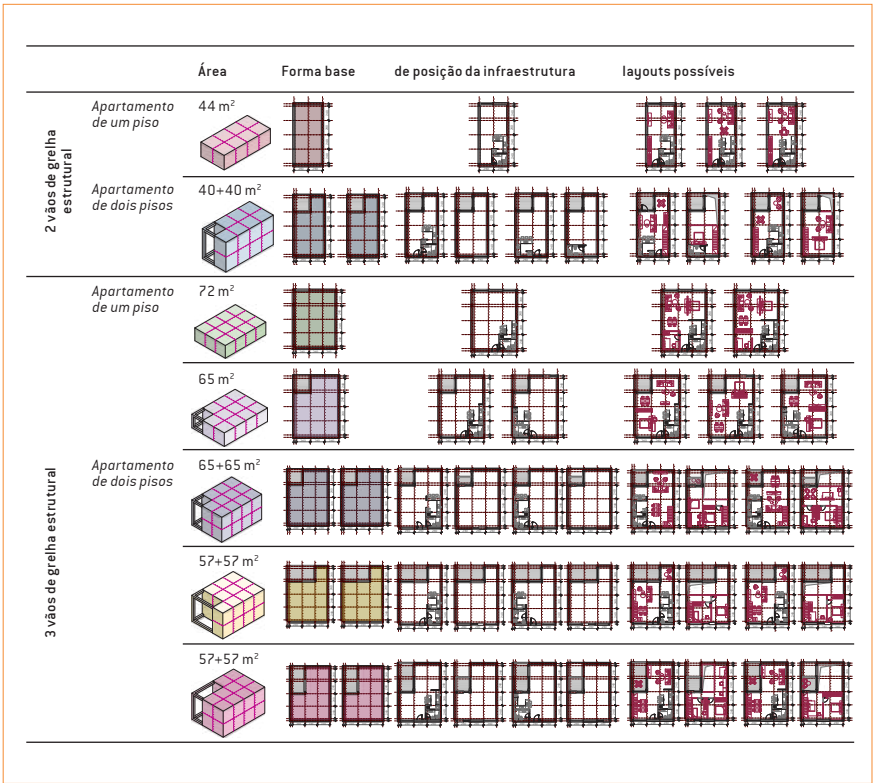
(construção, paredes internas, fachada), tipo de modulação, organização e repetição dos apartamentos, grelha estrutural e função. Critérios adicionais permitiram uma compreensão mais detalhada: tipologia (número de quartos), áreas, dimensões, número de pisos, sistema de comunicação vertical. Observou-se que estes projetos partilham princípios de flexibilidade, eficiência e integração urbana, combinando soluções inovadoras, adaptáveis e sustentáveis. Permitem a personalização da disposição interna das habitações, adaptando-se às necessidades dos ocupantes. A utilização de componentes pré-fabricados reduz custos e acelera a construção, garantindo a padronização e uma maior eficiência. Os métodos construtivos assentes no betão pré-fabricado permitem uma maior economia de tempo e dos custos associados. As soluções combinam inovação com o contexto urbano, respeitando a densidade e as condições locais. Adicionalmente oferecem

espaços flexíveis que podem ser reorganizados ou ampliados ao longo do tempo.

PROPOSTA R2U

A análise detalhada destes casos de estudo permitiu definir as premissas da Proposta R2U:

- a) sistema construtivo que combina painel/laje e pilar/viga, justificada pela maior flexibilidade e liberdade de disposições internas;
- b) criação de módulos habitacionais autónomos, com paredes portantes de divisão entre apartamentos;
- c) cozinhas/casa de banho em compartimentos adjacentes, alinhando verticalmente as infraestruturas;
- d) compartimentação interior com paredes leves;
- e) dimensão da grelha estrutural de 4,5 x 11 m;
- f) dimensionamento do painel base com 2,8 m, 5,2 m, 7,6 m e 10,0 m, criando uma



1>

> Figura 1: Tipos de apartamentos.

quantidade mínima de painéis diferentes para facilitar o processo de pré-fabricação.

A proposta consiste na criação de módulos autónomos de betão pré-fabricado, em que cada módulo é um apartamento. A disposição dos módulos é flexível, desde que o alinhamento vertical das infraestruturas seja mantido. Essa flexibilidade permite diversas combinações tipológicas, respondendo a diferentes requisitos funcionais. A adaptação às condições locais (topografia, orientação solar e contextos urbanos) é garantida pela articulação dos diferentes volumes e sistemas de circulações vertical e horizontal.

Considerou-se um edifício com 5 pisos, em que o piso térreo é organizado pelos elementos estruturais, permitindo diferentes programas: comercial, serviços, áreas comunitárias. O sistema de circulação inclui três núcleos de

circulação vertical. A distribuição dos apartamentos em galerias exteriores possibilita a iluminação natural e a ventilação transversal dos apartamentos. Os tipos de apartamentos variam em termos de largura (entre 4,8 e 7,2 m), pé-direito (simples ou duplo) e existência de varandas, permitindo a extensão da habitação para o exterior, que podem ser utilizados durante todo o ano. (Figura 1)

A imagem exterior do edifício é resultado da combinação de materiais e da profundidade das varandas, atribuindo-lhe alguma complexidade visual dada pela diversidade formal e de contraste luz/sombra, quebrando a monotonia de uma superfície plana. (Figura 2)

CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

O desenvolvimento da Proposta R2U foca-se

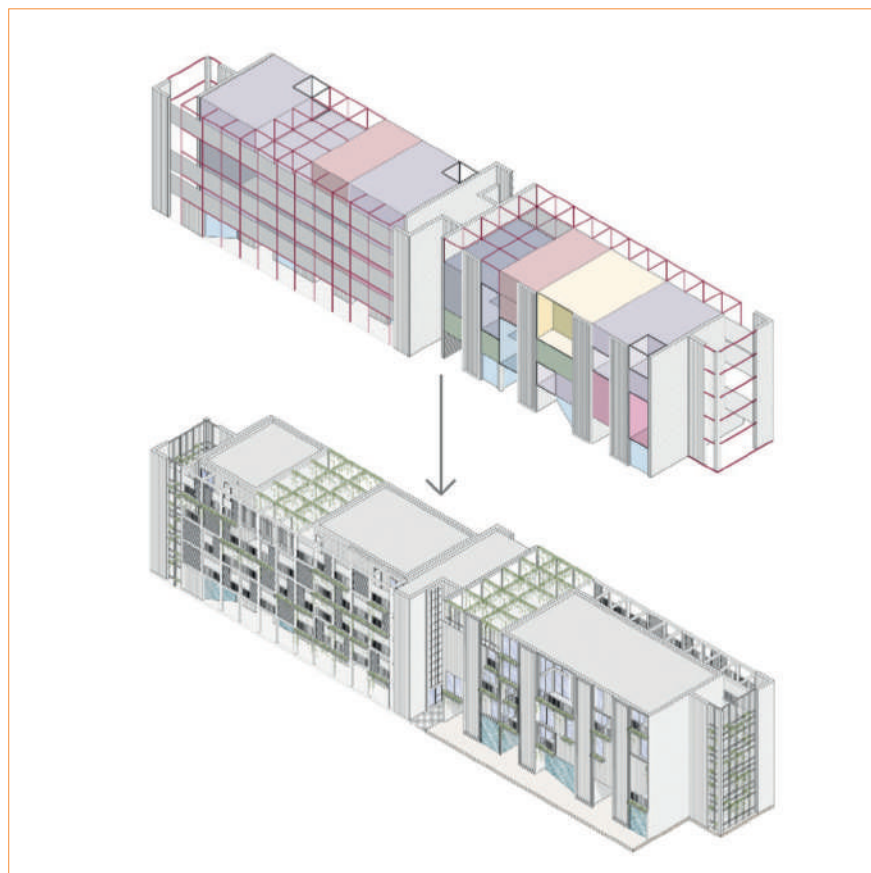
na integração dos conceitos de prefabricação, modularidade e flexibilidade no projeto de módulos habitacionais de betão pré-fabricado. Este sistema permite diversas configurações e tipologias considerando diferentes requisitos funcionais, garantindo estabilidade estrutural e oferecendo flexibilidade na sua utilização. As principais características incluem uma combinação de sistemas de painel/laje e pilares/vigas, construção modular e uso de paredes internas leves para fácil reconfiguração.

A proposta enfatiza a sustentabilidade ao minimizar a necessidade de novas construções através de espaços adaptáveis e reutilizáveis. A incorporação de varandas/terraços melhora a experiência da utilização das habitações, e contribuem para uma maior versatilidade estética e funcional. Esta proposta, ao adotar a prefabricação, modularidade e flexibilidade, permite criar habitações mais eficientes, económicas e adaptáveis às necessidades de seus habitantes, e contribuir para o debate da arquitetura residencial.

Desenvolvimentos futuros deste projeto concentrar-se-ão na otimização da solução, como o refinamento das dimensões dos painéis e das suas ligações, e na integração de isolamento térmico e acústico. Os mesmos princípios serão também adotados à conceção de habitação unifamiliar e de residências para estudantes, ampliando o seu alcance social. ■

REFERÊNCIAS

- Djukanovic, M., Alegre, A., & Teixeira Bastos, F. (2024). *Transformative solutions for affordable housing: Unleashing the potential of concrete prefabrication, modular architecture, and flexible living spaces*. 5º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono (CIHEL), Lisboa.
- Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). *Components and systems: modular construction-design, structure, new technologies*. De Gruyter.
- Smith, R. E. (2010). *Prefab architecture: A guide to modular design and construction*. John Wiley & Sons.
- Schneider, T., & Till, J. (2007). *Flexible housing*. Architectural press.



2>