UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

Centro Universitário do Porto
Faculdade de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias da Informação
Mestrado Integrado em Arquitetura

A CONSTRUÇÃO MODULAR E A REABILITAÇÃO ARQUITETÓNICA

Tiago Almeida Pedro

VERSÃO FINAL

Dissertação defendida por Tiago Almeida Pedro em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro Universitário do Porto no dia 15/07/2026, perante o júri, nomeado pelo Despacho de nomeação nº320/2026, de 12 de junho de 2026, com a seguinte composição:

Presidente: Professor Doutor João Pedro Alves De Guimarães Serôdio (centro universitário Lusófona-Porto)
Arguente: Professor Doutor António Sérgio Koch De Araújo E Silva (centro universitário Lusófona-Porto)
Orientadores: Professora Doutora Ligia Paula Simões Esteves Nunes Pereira Da Silva | Professor João Carlos Santos (centro universitário Lusófona-Porto)

RESUMO

Esta dissertação analisa a relação entre construção modular e reabilitação arquitetónica e como estes dois se interligam e articulam, beneficiando o método de intervenção em reabilitação, destacando o potencial da modularidade como estratégia sustentável e flexível para intervir no patrimônio construído. A pesquisa parte da observação de que a construção tradicional apresenta limitações em tempo, recursos e adaptação, enquanto a utilização de sistemas modelares, baseados em industrialização e flexibilidade, oferece soluções inovadoras para os desafios atuais.

A metodologia englobou uma revisão bibliográfica crítica, focada em autores relevantes, análise de estudos de caso nacionais e internacionais, além de uma aplicação prática dos conceitos numa proposta de um projeto de reabilitação. Depois da análise de vários estudos e artigos, concluímos que a construção modular pode diminuir o tempo de construção em 30 a 50%, facilitar manutenção e reconversão, contribuir na redução da pegada de carbono no setor da construção e na extensão do ciclo de vida dos edifícios e na promoção da economia circular.

Conclui-se que a reabilitação arquitetónica ganha uma nova dimensão com a introdução de sistemas modulares, pois é possível que os edifícios se tornem sistemas híbridos capazes de equilibrar permanência e transformação, o existente e a inovação. Este estudo procura contribuir para o debate acadêmico e profissional sobre práticas arquitetónicas e construtivas mais sustentáveis, resilientes e voltadas para o futuro.

Palavras Chave: eficiência construtiva; construção; reabilitação; estandardização; construção modular.

ABSTRACT

This dissertation analyzes the relationship between modular construction and architectural rehabilitation, and how these two concepts interconnect and complement each other, enhancing the intervention methods used in rehabilitation. It highlights the potential of modularity as a sustainable and flexible strategy for intervening in the built heritage. The research stems from the observation that traditional construction presents limitations in time, resources, and adaptability, whereas the use of modular systems based on industrialization and flexibility offers innovative solutions to current challenges.

The methodology encompassed a critical literature review focused on relevant authors, the analysis of national and international case studies, and the practical application of the concepts through a rehabilitation project proposal. After analyzing various studies and articles, it was concluded that modular construction can reduce construction time by 30 to 50%, facilitate maintenance and reconversion, contribute to lowering the carbon footprint of the construction sector, extend the life cycle of buildings, and promote the circular economy.

It is concluded that architectural rehabilitation acquires a new dimension with the introduction of modular systems, as buildings can become hybrid systems capable of balancing permanence and transformation, the existing and the innovative. This study aims to contribute to the academic and professional debate on more sustainable, resilient, and future-oriented architectural and construction practices.

Keywords: construction efficiency; construction; rehabilitation; standardization; modular construction.

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação marca o fim de uma das etapas mais marcantes da minha vida.

Primeiramente queria agradecer à minha família pelo apoio constante e disponibilidade para ajudar a qualquer altura.

Em particular, agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional e pela confiança nas minhas capacidades, que me permitiram seguir este caminho com segurança.

À minha irmã Gabriela, devo um profundo agradecimento, o seu empenho e ambição são uma inspiração para mim, e é por ela que cultivo a vontade de me superar a cada dia.

Também agradeço à minha namorada Sofia, por me motivar e por constantemente me lembrar da importância de vencer a preguiça.

Aos meus amigos, que me acompanharam nos últimos 5 anos, a companhia e o apoio foram essenciais nesta jornada académica e pessoal.

Um agradecimento especial à minha Tia Carla e ao meu padrinho José Paulo, a quem devo muito mais do que palavras podem expressar. Especialmente à minha Tia Carla, agradeço de forma profunda pela maneira incansável como me ajudou em todas as fases da minha formação, pelo incentivo contínuo e por tudo o que fez para me proporcionar as condições necessárias para viver plenamente a vida de estudante.

Por fim, agradeço a todos os professores que contribuíram para minha formação académica, em especialmente ao meu orientador, professor João Carlos dos Santos, pelo excelente acompanhamento durante todo o processo.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 7
1.1 Contextualização do tema 8
1.2 Objetivos e Metodologia 9
1.3 Estado da Arte 11
1.4. Estrutura da dissertação 12
2. CONSTRUÇÃO MODULAR 13
2.1. Enquadramento histórico 14
2.2 O ser humano e o espaço 27
2.3 Definição e princípios 31
2.3.1 Vantagens e desvantagens 34
2.3.2 Pré-fabricação, Industrialização e estandardização 37
2.4 Construção modular vs construção tradicional 42
2.5 Tipos de construção modular 46
2.6 Materiais aplicados no sistema modular 52
2.7 A construção modular aplicada às intervenções de reabilitação 55
3. CASOS DE ESTUDO 62
3.1 Loios, ODDA 63
3.1.1 Análise Espacial 65
3.1.2 O modulo 70
3.2. A Nacional Aliados, Menos é Mais 75
3.2.1 Análise espacial 77
3.2.2 O modulo 84
3.3. Loft Buiksloterham, SOME architects 89
3.3.1 Análise espacial 91
3.3.2 O módulo 95
3.4. Análise Comparativa 98
3.5. Sistematização e Contribuições para o Projeto 100
4. PROJETO V ANO 101
4.1 Caracterização do projeto 103
4.2 Organização espacial 105
4.3 As unidades de habitação 110
4.4 O módulo 113
5.CONCLUSÃO 120

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema

A arquitetura e a construção enfrentam atualmente vários desafios: atender às crescentes demandas de sustentabilidade ambiental, a escassez de habitação e a falta de mão de obra são alguns deles, e também a reabilitação do patrimônio edificado que está a passar por obsolescência funcional e construtiva. As cidades abrigam não só a maior parte da população mundial, mas também grande parte do consumo de recursos e da emissão de poluentes.

Assim, tornou-se urgente desenvolver novas soluções construtivas e metodologias de reabilitação mais eficientes. Nesse cenário, a construção modular surge como uma alternativa promissora. Baseada em princípios de industrialização, padronização e estandardização, ela possibilita reduzir prazos de execução, otimizar recursos, promover a economia circular e adaptar-se a diferentes ambientes urbanos. Quando empregada na reabilitação arquitetónica, a modularidade agrega valor ao oferecer sistemas flexíveis e reversíveis que podem prolongar a vida útil dos edifícios e diminuir o impacto ambiental.

1.2 Objetivos e Metodologia

Esta dissertação tem como objetivo geral investigar a importância da construção modular como ferramenta para reabilitação arquitetónica, avaliando como seus princípios técnicos e conceituais podem contribuir para a sustentabilidade, flexibilidade e adaptabilidade dos edifícios no contexto urbano atual.

Objetivos específicos:

- Analisar e compreender o contexto histórico da construção modular, desde as primeiras experiências até as abordagens atuais;

- Analisar criticamente o sistema modular, considerando não apenas o sistema construtivo, mas também seu impacto cultural, social e ambiental;

- Investigar a aplicação do sistema modular na reabilitação, avaliando as vantagens e limitações em relação aos métodos tradicionais;

- Estudar casos que ilustram diferentes estratégias de uso da construção modular em processos de reabilitação;

- Criar uma proposta de projeto que implemente os princípios teóricos e práticos estudados, como uma experiência experimental.

Metodologia:

A investigação aplicou uma abordagem qualitativa e exploratória, estruturada em três etapas:

- Revisão de literatura – análise crítica de fontes relevantes, incluindo autores como Habraken, Leupen, Pomponi & Moncaster, Pacheco-Torgal, além de relatórios internacionais sobre sustentabilidade (UNEP, ONU).

- Casos de estudo – seleção de obras representativas nacionais e internacionais, como os projetos do escritório OODA (Lóios), Menos é Mais (A Nacional) e SOME Architects (Loft Buiksloterham), com foco na identificação sistemas modulares e adaptabilidade.

- Implementação prática em projeto – elaboração de uma proposta que integra os princípios teóricos e as observações práticas, possibilitando a validação dos conceitos por meio de uma abordagem operacional.

1.3 Estado da Arte

A construção modular e a reabilitação arquitetónica são, separadamente, dois temas que têm sido abordados por vários investigadores. Contudo, é escassa a investigação sobre o tema em conjunto, numa perspetiva de se perceber como é que a construção modular pode contribuir para o processo de reabilitação de edifícios.

Habraken (1998) e Leupen (2006) introduziram o conceito de "estrutura aberta" (open building), onde a infraestrutura fixa do edifício convive com elementos adaptáveis e substituíveis, promovendo uma nova abordagem para habitação e durabilidade dos edifícios.

Pomponi e Moncaster (2017) apresentaram uma abordagem de economia circular na construção , destacando a importância da reutilização de materiais e de ampliar o ciclo de vida dos edifícios.

Crowther (2005) enfatizou o design for disassembly, defendendo que os edifícios devem ser projetados para desmontagem eficiente e recuperação de componentes.

Além disso, relatórios internacionais como o Global Status Report for Buildings and Construction (UNEP, 2022) mostram a urgência de reduzir a pegada de carbono e a necessidade de novas metodologias na construção.

Em Portugal, arquitetos como OODA e Menos é Mais têm explorado soluções de reabilitação que incorporam flexibilidade e sistemas modulares, dialogando com a memória do que já existe e com as exigências atuais de sustentabilidade.

Portanto, o estado da arte indica que a construção modular deve ser vista não apenas como uma solução técnica, mas como um paradigma de projeto que integra aspetos culturais, sociais e ambientais.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em cinco capítulos:

• Capítulo 1 – Introdução: apresenta o contexto do estudo, define objetivos e metodologia, o estado da arte e descreve a estrutura da pesquisa.

• Capítulo 2 – A construção modular e a reabilitação arquitetónica: desenvolve a revisão teórica e histórica, abordando conceitos essenciais, evolução e debates atuais sobre o sistema modular e sustentabilidade.

• Capítulo 3 – Casos de estudo: analisa casos de estudo (Lóios, A Nacional, Loft Buiksloterham) que ilustram diferentes formas de integrar a modularidade em processos de reabilitação.

• Capítulo 4 – Aplicação prática: apresenta o exercício de projeto realizado, demonstrando a aplicação dos conceitos explorados.

• Capítulo 5 – Conclusões: resume os resultados da pesquisa, avalia as contribuições da construção modular na reabilitação arquitetónica, aponta limitações e sugere direções para estudos futuros.

2. CONSTRUÇÃO MODULAR

2.1. Enquadramento histórico

A construção modular pré-fabricada não é uma ideia nova, pois trata-se de um sistema que remonta aos inícios do século XIX. Foi em 1830 em Londres que o carpinteiro John Mannig criou a primeira casa comercializada com um kit completo, foi chamada "the portable cottage." O projeto consistia num sistema pré-fabricado de madeira e de painéis de preenchimento, desenvolvido especialmente para os imigrantes ingleses. A primeira foi exportada para a Austrália e foi erguida num espaço de uma semana.

As "portable cottages" foram amplamente utilizadas nas colónias britânicas em rápida expansão na Nova Zelândia, África do Sul e Austrália, pois possibilitavam uma construção rápida, sem a necessidade de mão de obra especializada. Desta forma, os colonizadores ingleses garantiam a identidade arquitetónica do país, enviando por via marítima diversos elementos de construção, como janelas, portas e todos os outros componentes modulares pré-fabricados.

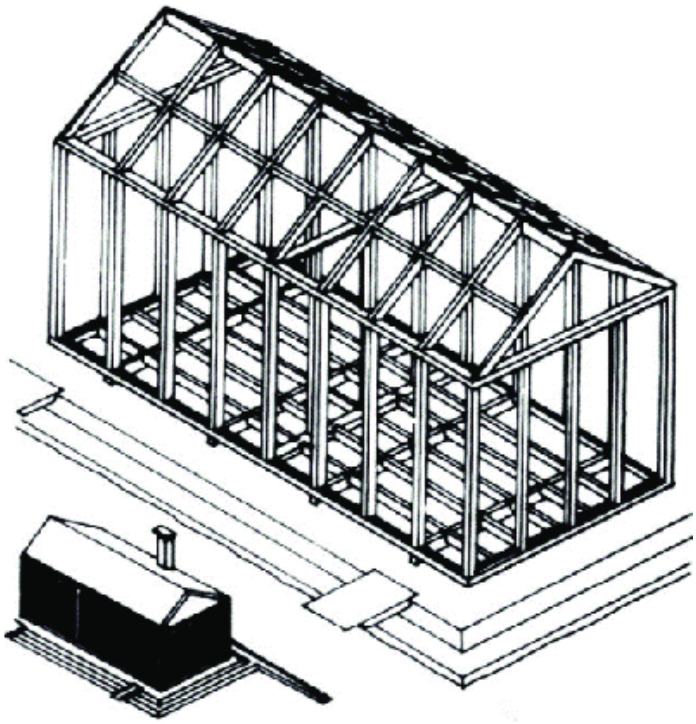


Fig. 1 – Portable cottages

Em 1833, surgiu o "ballon framming" pelo carpinteiro George Snow nos Estados Unidos que é uma técnica estrutural revolucionária, pois tornou o processo de construção mais rápido e acessível. O objetivo era produzir elementos estruturais fora do local de obra e depois, transportá-los e montá-los de forma mais eficiente no local final.

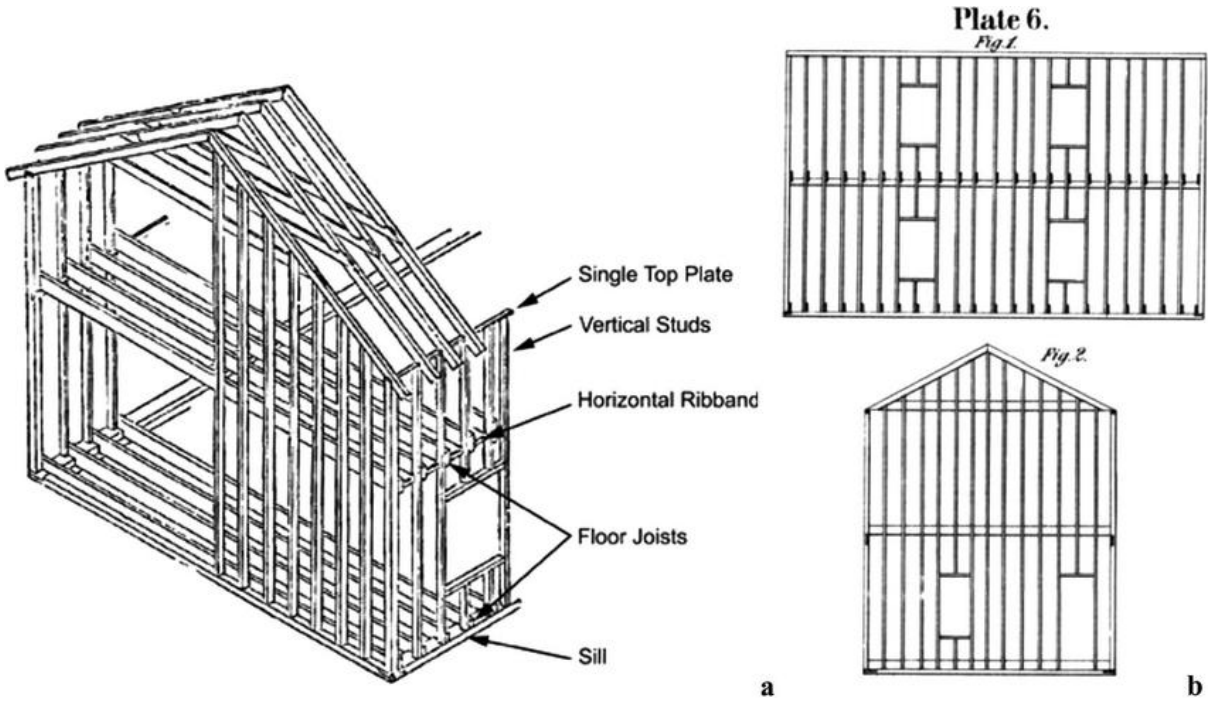


Fig. 2 – Baloon Framing

Com a revolução industrial introduziu-se um material novo no mundo da construção, o aço. Um exemplo famoso desta época é o Crystal Palace. Projetado pelo arquiteto Joseph Paxton para a grande exposição[1] em 1851, localizado em Londres e este foi construído para a Grande Exposição de Londres do mesmo ano. Com a utilização de elementos pré-fabricados, a construção do Crystal Palace foi concluída em apenas alguns meses. O projeto utilizou materiais leves, económicos e fáceis de encontrar, como ferro e vidro. Todas as peças eram feitas antes de serem montadas. Nesta altura, este método de construção foi uma grande novidade e teve um impacto importante na arquitetura moderna.

1.A Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations de 1851 foi a primeira de uma série de exposições mundiais de cultura e indústria que se tornaram populares no século XIX em Hyde Park, Londres.



Fig. 3 – Crystal Palace

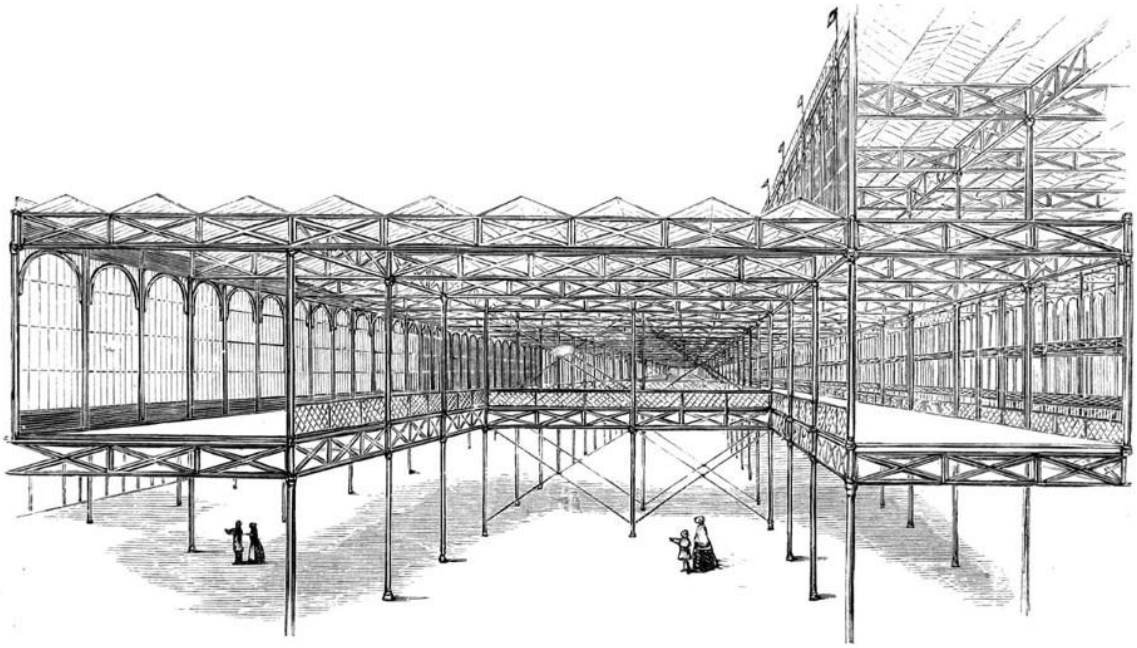


Fig. 4 – Estrutura Crystal Palace

Outro marco histórico no tema da arquitetura modular foi a vivenda experimental projetada por Walter Gropius que foi construída em 1927 para a exposição Werkbund[2], em Estugarda.

Com o intuito de demonstrar alternativas económicas, funcionais e inovadoras para a habitação unifamiliar, Gropius projetou uma casa pré-fabricada. Era projetada com uma grelha modular de 80 centímetros, o que padronizava os painéis de construção e todas as aberturas. A casa era construída através de uma estrutura em aço, revestida com painéis de madeira e cortiça

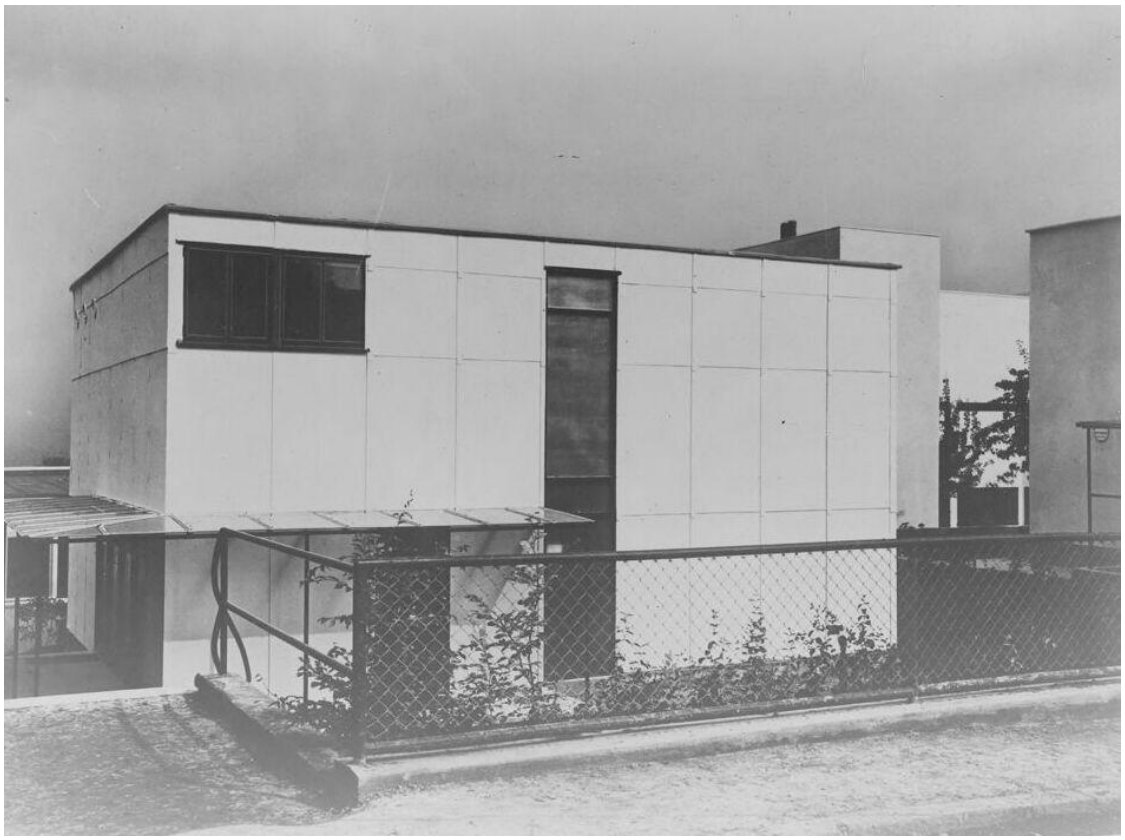


Fig. 5 – Casa experimental Walter Gropius

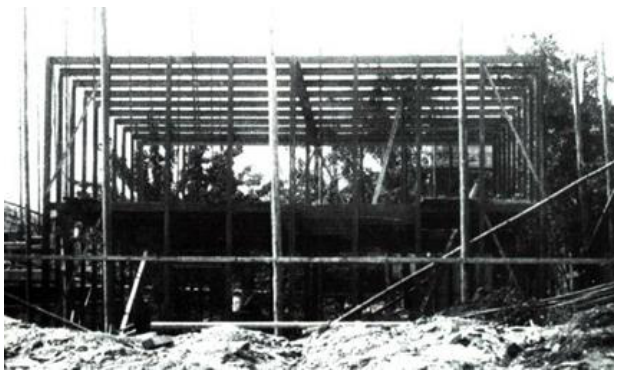


Fig. 6 – Construção da casa



Fig. 7 – Planta

A construção modular foi a solução perfeita para abrigos militares durante a Segunda Guerra Mundial. Utilizando este sistema construtivo, era possível construir casas num curto período de tempo e com capacidade para cobrir todas as necessidades.

As Quonset Huts, foram alguns dos resultados arquitetónicos mais emblemáticos desse período. As quonset huts são construções tubulares de aço revestidas com chapa ondulada. Estas casas mostram que a construção modular é flexível e eficiente em períodos de crise.



Fig. 7 – Quonset Huts

No final da segunda guerra mundial, os soldados regressaram a casa e as suas famílias precisavam de um novo sítio para viver. Como resposta a esta nova situação, várias fábricas que antes fabricavam aviões de combate foram transformadas para produzir casas pré-fabricadas. Para isso, adaptaram a tecnologia e os materiais usados na guerra ao setor da construção civil.

Carl Strandlund projetou as casas Lustron como uma solução para a falta de casas que se verificou depois da guerra. A ideia era simples: casas feitas de aço que se montavam como um "Meccano"[3]. Eram construídas sobre uma laje de betão, que apoiava toda a estrutura metálica. A casa estava coberta de painéis metálicos, tanto por dentro como por fora.



Fig. 8 – Lustron Houses

2. Evento organizado pelo Deutscher Werkbund, em 1927, em Estugarda, com a construção do conjunto habitacional "Weissenhof Estate" por 17 arquitetos europeus como demonstração da nova arquitetura moderna.

3. Meccano: sistema de construção criado em 1901, em Liverpool, pelo inventor Frank Hornby. Composto por peças metálicas perfuradas, parafusos e engrenagens, o brinquedo educativo permitia montar estruturas e máquinas, sendo muito popular na Europa no início do século XX.

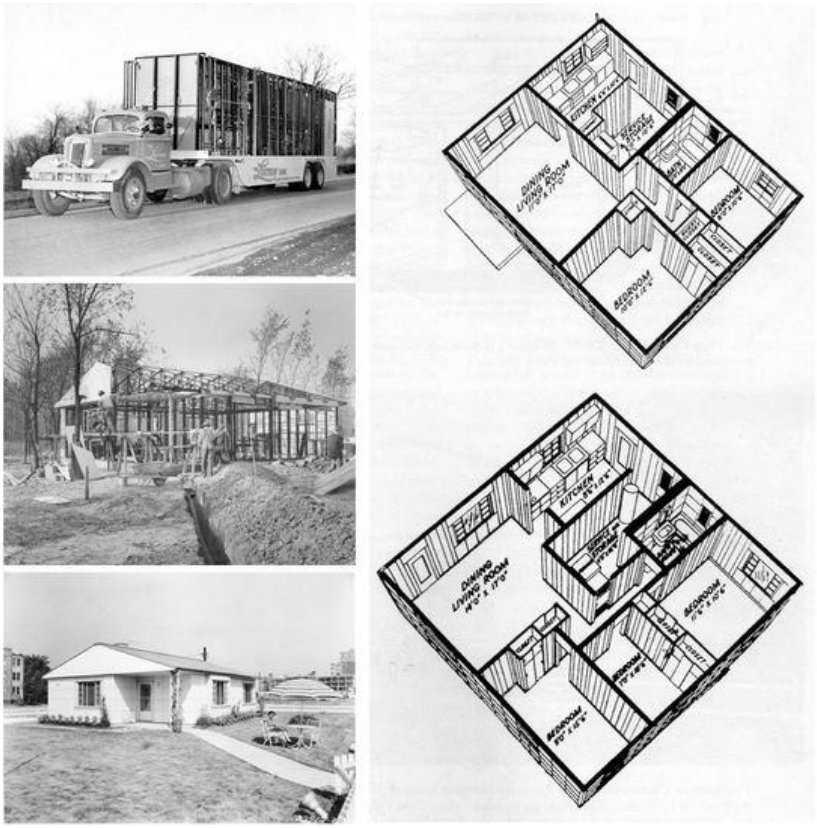


Fig. 9 – Transporte das casas e plantas

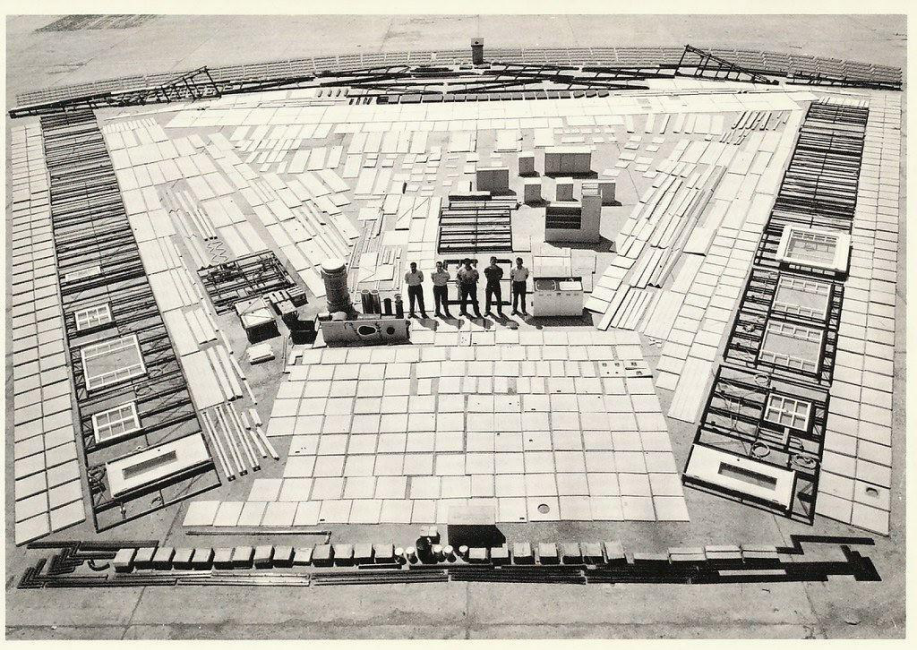


Fig. 10 – Peças da Lustro hous

Em 1945, a revista Arts and Architecture destacou uma oportunidade surpreendente para a inovação na arquitetura. O objetivo deste programa com nome de case study houses[4] era repensar o conceito de habitação no período pós-guerra, incentivando o uso de novas técnicas e materiais criados durante o conflito. Para isso, vários arquitetos famosos foram convidados a projetar casas na Califórnia. Eles tiveram de seguir orçamentos e respeitar novas regras de construção, mas sem comprometer o estilo arquitetónico.

A pré-fabricação neste programa está mais explícita na Casa Charles e Ray Eames. Nesta casa os arquitetos propõem um sistema composto por estruturas em aço e sistemas standard.



Fig. 11 – Casa Charles e Ray Eames

4. O programa Case Study House foi uma experiência arquitetónica residencial nos Estados Unidos patrocinada pela revista Arts & Architecture. Esta experiência, encomendou a alguns dos mais prestigiados arquitetos da época, tais como: Richard Neutra, Raphael Soriano, Craig Ellwood, Charles e Ray Eames, Pierre Koenig, Eero Saarinen,

Mais tarde, em 1972, o arquiteto japonês Kisho Kurokawa projetou a Nagakin Capsule Tower (demolida em 2022). Esta torre era constituída por uma estrutura central de betão que era rodeada por 140 módulos empilhados. Estes módulos pré-fabricados em betão armado vinham de fábrica com a construção completa (instalações sanitárias e mobiliário). Eram módulos independentes o que permitia a troca individual de cada um o que possibilitava uma maior vida útil ao edifício.



Fig. 12 – Nakagin

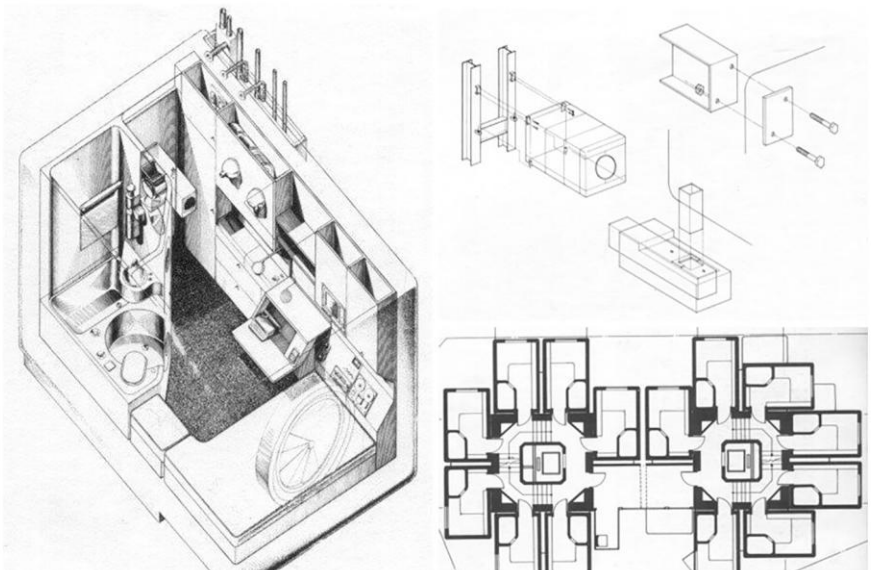


Fig. 13 – Planta do edifício e
axonometria do modulo

Contudo, apesar do sucesso inicial da construção modular, começou a haver um declínio a partir dos anos de 1950-60.

Porque se "abandonou" a construção modular pré-fabricada ?

- Estigmatização social e estética
  Antigamente, as construções modulares eram vistas como soluções temporárias, de baixa qualidade e sem personalidade, porque os acabamentos eram simples, e tinham uma estética "industrial" que não combinava com a ideia de moradia tradicional. A opinião negativa ficou ainda mais forte devido a casos mal executados e a falhas na construção.

- Crescimento económico e urbanismo tradicional
  A partir de 1960, muitos países retomaram o investimento na construção tradicional em betão armado, porque a economia estava a crescer. A arquitetura e o planeamento das cidades voltaram a dar importância às formas maiores e resistentes e desta forma, as soluções feitas com módulos passaram a ser vistas como ultrapassadas ou temporárias.

- Falta de flexibilidade técnica e tecnológica
  Nesta altura, a tecnologia modular ainda tinha algumas limitações, tais como os módulos não se adaptavam bem a terrenos diferentes nem a contextos culturais variados e as soluções térmicas, acústicas e estruturais não eram eficientes. A falta de colaboração entre o projeto arquitetónico e a produção industrial resultou em projetos pouco personalizados e mal integrados no ambiente.

- Barreiras legais e regulamentares
  Nesta altura, as leis urbanas foram feitos para processos normais e não havia regulamentação específica para sistemas modulares. Por isso, não era fácil homologá-los nem utilizá-los em larga escala.

Como podemos constatar, a construção modular esteve fora de moda durante algum tempo, mas nos últimos 20 anos tem tido um novo impulso, no entanto cada vez tem ganho uma imagem diferente e mais positiva. A seguir, enumerarei os principais fatores para o regresso da construção modular:

- Urgência ambiental e sustentabilidade

  A pressão para reduzir o impacto ambiental da construção, que é responsável por cerca de 39% das emissões globais de CO_2 (de acordo com o relatório Global Status Report 2022), faz com que os sistemas modulares sejam uma opção cada vez mais popular. Estes sistemas geram menos resíduos, utilizam materiais recicláveis, como a madeira CLT[5], e permitem a desmontagem e reutilização.

- Avanços tecnológicos e digitalização

  O progresso em áreas como BIM[6], corte CNC[7], robotização industrial e novos materiais (como CLT e aço leve galvanizado) fez com que os módulos se tornassem mais precisos, eficazes e versáteis. A arquitetura modular de hoje permite personalizar mais e ter uma qualidade estética superior.

- Novas exigências de flexibilidade e tempo

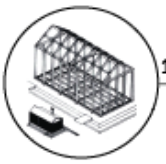
  A sociedade de hoje é mais dinâmica e variável. As famílias mudam, as formas de trabalho mudam (como o teletrabalho) e os edifícios são usados por menos tempo. A construção modular permite adaptar, expandir e desmontar edifícios, respondendo a necessidades em constante mudança.

- Crise habitacional e escassez de mão de obra

  Maior parte das grande cidades, tais como Lisboa, Paris, Londres e Tóquio têm grandes problemas na oferta/procura de casas, especialmente para a classe média e jovens que não conseguem pagar casas a preços astronómicos. A construção modular veio ajudar na parte da oferta, visto que é uma solução rápida e económica e desta forma ajuda a resolver a crise de habitação. Além disso, como há poucos profissionais qualificados no setor da construção convencional, e desta forma as cidades têm optado por soluções pré-fabricadas

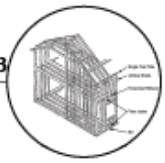
5. CLT-cross laminated timber, madeira lamelada cruzada
6. BIM-buildind information modeling
7. CNC-sistema de controlo numérico computorizada e que controla maquina-ferramenta

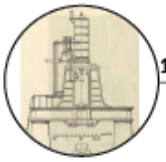
LINHA DO TEMPO



1830 PORTABLE COTTAGES

BALLON FRAMING **1833**





1839 PRÉ FABRICAÇÃO DO AÇO

CRYSTAL PALACE **1851**





1890 PRIMEIRO ARRANHA CEUS E.U.A

SISTEMA DOM-INO **1915**





1927 MORADIA EXPERIMENTAL WERKBUND EXPOSITION, WALTER GROPIUS

CASE STUDY HOUSES **1945**





1947 LUSTRON HOUSES

NAKAGIN CAPSULE TOWER **1970**



2.2 O ser humano e o espaço

Desde os tempos primordiais, os humanos adaptaram o ambiente construído de acordo com as necessidades físicas, emocionais, sociais e culturais dos membros da civilização. O desenvolvimento do sistema modular, como um sistema de produção contemporâneo, deve seguir por este mesmo princípio, de criar espaços que acolham, comuniquem e evoluam com os seus utilizadores.

A dimensão humana na arquitetura

O espaço arquitetónico não é apenas um conjunto de medidas com paredes e coberturas. É um meio de expressão e relação com o corpo humano, as suas perceções e proporções. Desde a Antiguidade Clássica, com Vitrúvio, até o Renascimento, com Leonardo da Vinci, o corpo humano serve de medida e de inspiração para a construção do espaço. E a representação perfeita desse ideal é o Homem Vitruviano, com o corpo em proporção harmoniosa.

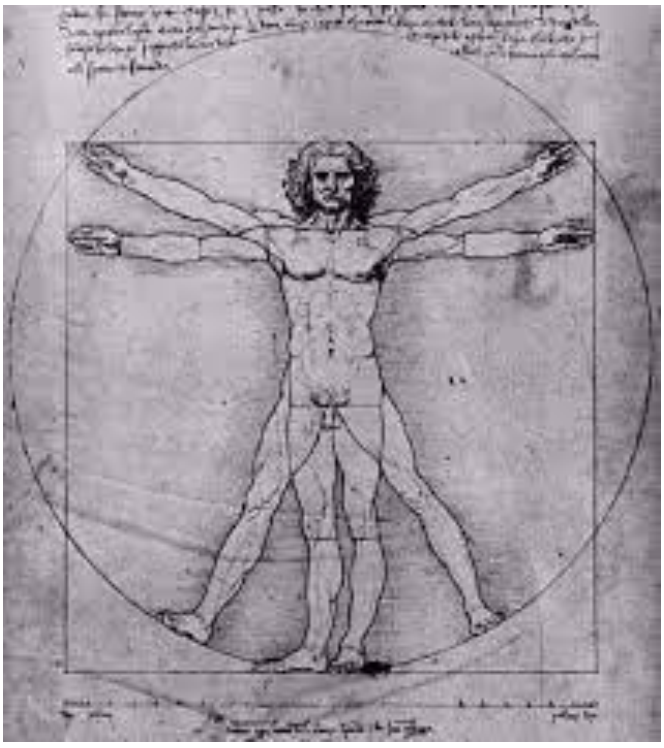


Fig. 14 – Homem vitruviano

Le Corbusier criou o Modulor em 1948 como um método de proporções universais inspirado na altura média do homem e na proporção áurea. O arquiteto procurava, por meio deste sistema, estabelecer uma conexão harmoniosa entre o corpo humano, o espaço e as estruturas arquitetónicas, desenvolvendo uma escala de medidas humanas aplicável tanto à arquitetura quanto à mecânica.

O Modulor pretendia substituir medidas arbitrárias por referências baseadas no corpo humano, unindo racionalidade e sensibilidade. Este princípio foi utilizado em obras como a Unité d'Habitation[8] de Marselha, onde cada componente foi dimensionado de acordo com essa métrica antropométrica. Assim, o Modulor representa uma ponte entre o rigor matemático e a experiência sensorial do espaço. Na atualidade, a construção modular retoma essa ideia de proporção e repetição, adaptando-se à produção industrial e à ergonomia moderna. Como o Modulor, a modularidade equilibra padronização e humanização do espaço, reforçando a importância da dimensão corporal na arquitetura.

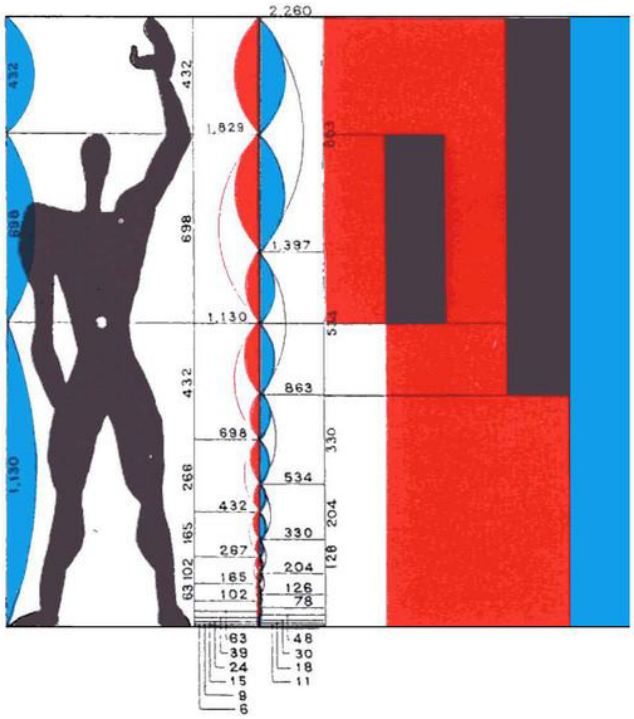


Fig. 15 – Modulor Le Corbusier

8. *Unité d'Habitation*: conjunto habitacional projetado por Le Corbusier em Marselha (1947–1952).

A espacialidade na construção modular

Se a construção modular, ao utilizar elementos pré-fabricados e padronizados, não for bem planeada, pode haver risco de tornar o ambiente menos humano. Contudo, quando existe uma reflexão crítica, a construção modular tem a vantagem de criar espaços que se adaptam, que mudam e que evoluem de acordo com as constantes mudanças na vida das pessoas, o que é uma vantagem, ou seja, fornece mais liberdade e flexibilidade.

A modularidade permite a reorganização mais fácil dos compartimentos, o crescimento ou redução da área útil ao longo do tempo, e a personalização dos ambientes segundo as necessidades dos utilizadores. Este tipo de flexibilidade é muito importante em contextos urbanos densos e em projetos de reabilitação, onde os edifícios necessitam de manter a sua identidade.

Modularidade e habitar contemporâneo

Nos dias que correm, o estilo de vida tem-se tornado de algum modo mais flexível. E isto deve-se a vários fatores, como o teletrabalho, a mobilidade, a transição urbana e os novos projetos familiares. É por isso que a construção modular surge como resposta a este novo estilo de vida entre as pessoas e o espaço em que vivem, trabalham e habitam. Como já foi referido várias vezes ao longo deste texto, a construção modular é altamente adaptável ao progresso da vida de um ser humano.

Desta forma, o ser humano torna-se um “cocriador” do seu espaço e não apenas alguém que vive nele. John Habraken desenvolveu o conceito de "estruturas abertas", que defende que o habitante é participativo e intervém na organização do seu espaço, dentro de uma estrutura modular base.

Interação sensorial e afetiva com o espaço

"Toda experiência comovente com a arquitetura é multissensorial; as características de espaço, matéria e escala são medidas igualmente por nossos olhos, ouvidos, nariz, pele, língua, esqueleto e músculos. A arquitetura reforça a experiência existencial, nossa sensação de pertencer ao mundo, e essa é essencialmente uma experiência de reforço da identidade pessoal. Em vez da mera visão, ou dos cinco sentidos clássicos, a arquitetura envolve diversas esferas da experiência sensorial que interagem e fundem entre si." (Pallasmaa, 2005, p. 41).[9]

Um edifício não tem só a função de ser prático e/ou funcional. Os seres humanos gostam de sentir, e por isso um edifício tem de transmitir sensações de bem-estar. Isso inclui o tipo de luz (natural e não natural), os materiais que se usam, as texturas, tudo isso afeta a forma como nos sentimos num espaço, e a mesma atenção a estes detalhes recai, também, na construção modular, porque deve-se sempre garantir que é um lugar confortável e que se adapta ao objetivo.

É por isso que é muito comum o uso de madeira na construção modular. Este tipo de material transmite um conforto visual, acústico e tem um toque natural.

9. Pallasmaa, J. (2005). The eyes of the skin: Architecture and the senses (2nd ed.). Chichester: Wiley.

2.3 Definição e princípios

Como já referido, a construção modular é uma técnica de construção que se baseia no fabrico de componentes ou de unidades completas (os módulos) em unidades industriais, e que depois são enviados e montados no local da obra. Se compararmos com a técnica de construção convencional em que consiste numa construção in situ (ou seja, no próprio local), em sequencia, a construção modular permite realizar vários processos em paralelo, como a preparação das fundações e a fabricação dos módulos serem realizadas ao mesmo tempo, reduzindo assim significativamente o prazo de execução.

Conceito e Estrutura

A construção modular reflete o princípio de padronização da indústria, mas na construção, ou seja, produzir de forma padronizada e eficiente elementos construtivos em série. Isto inclui, tal como uma indústria normal, controlos de qualidade com a precisão das dimensões e a eficiência de utilização de materiais.

Existem três tipos de módulos: os volumétricos, ou seja, tridimensionais; os painéis, que são bidimensionais; e os híbridos, que são a junção dos dois tipos e também pode incluir construção tradicional. Estes módulos são produzidos de acordo com o projeto e são adaptáveis funcionalmente, estruturalmente e esteticamente ao edifício. No entanto, também tem a desvantagem de requerer um planeamento logístico detalhado, com necessidades de transporte técnico e especializado adequado e, técnicas de montagem e de juncão no local apropriadas.

Princípios Fundamentais

- Padronização e flexibilidade combinadas

  Como já referido, a construção modular, é um tipo de construção que recorre a técnicas industrias já padronizadas o que promove a eficiência de tempo e custo. Além de que, os sistemas modular, são altamente flexíveis as necessidades do utilizador e estas duas vantagens são essenciais para o uso destes sistemas em contextos de reabilitação, onde, por exemplo, algo novo pode-se conectar com o que já está contruído.

  "Flexibility is not the exhaustive anticipation of all possible changes.
  Most changes are unpredictable. (...) Flexibility is the creation of a capacity with a wide margin that enables different and even opposing interpretations and uses" (Koolhaas et al., 1995, pp. 239–240). [10]

- Desmaterialização do estaleiro de obra

  Como a construção modular é maioritariamente feita em fábrica, este tipo de construção faz com que haja menos impacto físico e ambiental no local em construção, e isto é uma grande vantagem quando falamos de zonas urbanas densas ou zonas mais históricas, sendo que a construção convencional tem mais impacto no local e mais demorada.

- Eficiência energética e sustentabilidade

  Este tipo de construção oferece uma utilização mais sustentável dos recursos naturais, pois existe a possibilidade de os componentes serem reciclados. Outra grande vantagem é o facto dos sistemas modulares serem bastante eficientes a nível térmico e acústico.

10. Koolhaas, R., Mau, B., Office for Metropolitan Architecture (OMA), Sigler, J., & Werlemann, H(1995). S, M, L, XL. New York, NY: The Monacelli Press.

- Adaptação e reconfiguração ao longo do tempo

  Além de sustentavelmente atraentes, os sistemas modulares são adaptáveis e flexíveis ao longo do ciclo de vida de edifício e também, do utilizador. Sendo, relativamente fácil substituir módulos ou elementos construtivos com menos impacto e custo.

  "Here we should distinguish between'adaptability', taken to means "capable of different social uses", and "flexibility", taken to means"capability of different physical arrangement". The building's capacity for accommodatingchanged uses will depend on the extent to which it is adaptable and/or flexible" (Groák, 1992, pp. 15–17).[11]

- Compatibilidade com a reabilitação

  A construção modular é um bom método para usar em projetos de renovação de edifícios antigos, pois permite acrescentar novas partes, tais como áreas técnicas, coberturas ou volumes adicionais, sem ter de alterar a estrutura original. É como se o novo se integrasse ao que já existe, sem o eliminar. Assim, arquitetos conseguem atualizar a funcionalidade técnica do edifício, mas sem comprometer a sua autenticidade e legado.

- Modularidade enquanto estratégia de projeto

  A construção modular vai muito além da parte prática porque é necessário por em prática as funções sociais, funcionais e ambientais. Para que funcione bem, esta técnica exige uma mudança de mentalidade, visto que é necessário pensar em adaptações futuras, em economia de meios e desmontagem, sendo que para tudo isto é necessário envolver, sempre, o utilizador final.

11. Groák, S. (1992). The idea of building: Thought and action in the design and production of buildings. London: E & FN Spon.

2.3.1 Vantagens e desvantagens

A construção modular pensada numa lógia de ser industrializada e estandardizada tem um conjunto de vantagens que ajudam o crescimento deste sistema nas construções dos dias de hoje e na arquitetura contemporânea, mesmo sendo um sistema que não está isento de desafios e limitações.

Vantagens

- Rapidez de execução

  A principal vantagem da construção modular é a redução significativa dos prazos de obra.

  "the most frequently cited benefits of modular construction were reducing construction time by up to 50%, due to industrialization and the simultaneous production in factory and on-site" (Zohourian, Li, Sepasgozar, & Shirowzhan, 2020, Abstract,)[12].

  Conseguimos concluir então que a construção modular pode reduzir o tempo de execução entre 30% a 50 % devido a industrialização. Em contextos urbanos, este aspeto é ainda mais vantajoso, pois é onde o tempo de intervenção deve ser minimizado para reduzir o impacto nos espaços envolventes.

- Sustentabilidade e redução de desperdício

  Uma maior eficiência na utilização de materiais é uma grande vantagem deste sistema construtivo. É possível atingir uma maior eficiência de materiais porque existe um menor desperdício, o que promove também uma economia circular. A madeira é um material que se destaca neste ponto, porque, além de ser um material renovável, também tem ótimo desempenho térmico e acústico.

12 . Ohourian, M., Li, H. X., Sepasgozar, S. M. E., & Shirowzhan, S. (2020). Modular construction: A comprehensive review. Buildings, 10(12), 231. https://doi.org/10.3390/buildings10120231

- Flexibilidade e adaptabilidade

  É uma característica relevante na reabilitação, pois os sistemas modulares tem a particularidade de serem versáteis, o que faz com que seja possível ajustar, desmontar ou ate mesmo expandir de acordo com a necessidade.

- Qualidade e precisão

  Na construção modular é possível ter uma maior qualidade e precisão em termos construtivos, pois sendo produzida em ambiente industrializado permite um controlo mais rigoroso da qualidade e alcançar uma elevada precisão dimensional, o que resulta numa redução significativa de retrabalho em obra.

- Redução do impacto no local de obra

  O processo construtivo na construção modular ocorre em ambiente industrializado o que resulta numa diminuição de ruido, resíduos

Desvantagens

- Custos iniciais e logística

  Investimentos iniciais em transporte especializado, equipamentos de montagem (como gruas) pode ser elevado embora o custo global possa ser mais competitivo. No que toca a logística também existe alguns problemas pois o transporte dos módulos de grandes dimensões pode encontrar limitações legais e físicas.

- Restrições de projeto e normalização excessiva

  A estandardização, apesar de ser necessária para existir uma produção eficiente, pode ser um problema e limitar a liberdade de formar e a personalização do projeto. Em contextos de reabilitação este aspeto é mais acentuado onde é valorizado a preservação do edifício original.

- Integração com edifícios existentes

  A construção modular pode enfrentar um desafio técnico ao encontrar uma compatibilização com edifícios pré-existentes.

- Perceção cultural e normativa

  Nos dias de hoje, a construção modular é muitas vezes percecionada como uma solução temporária e de menor qualidade. Este aspeto afeta a aceitação por parte de alguns utilizadores ou promotores imobiliários.

2.3.2 Pré-fabricação, Industrialização e estandardização

Pré-fabricação

A construção modular tem como um dos objetivos a industrialização da construção. Para este processo ser viável, tem de existir uma pré-fabricação dos módulos em ambiente fabril, para posteriormente serem transportados e montados da forma pretendida in situ.

Este método é diferente da construção tradicional, mudando assim a forma como os edifícios são concebidos e construídos.

A pré-fabricação é um ponto fulcral na construção dos módulos, pois é onde todas as "peças" são produzidas, sejam elas paredes, coberturas, pavimentos e até mesmo modelos tridimensionais. As vantagens da construção modular tem por base a pré-fabricação, o ambiente industrializado onde se fabrica este tipo de estruturas permite com que existe o controlo de qualidade e gestão de recursos a cima do normal e uma introdução de tecnologias sustentáveis.

"Podemos afirmar, sem dúvidas, que a pré-fabricação pode favorecer uma homogeneidade de qualidade do produto aplicado. Se assim é, é evidente que a partir da consecução de uma qualidade constante, é possível gerar uma procura de melhoria dessa qualidade e obter uma resposta valorizada por parte da indústria."[13]

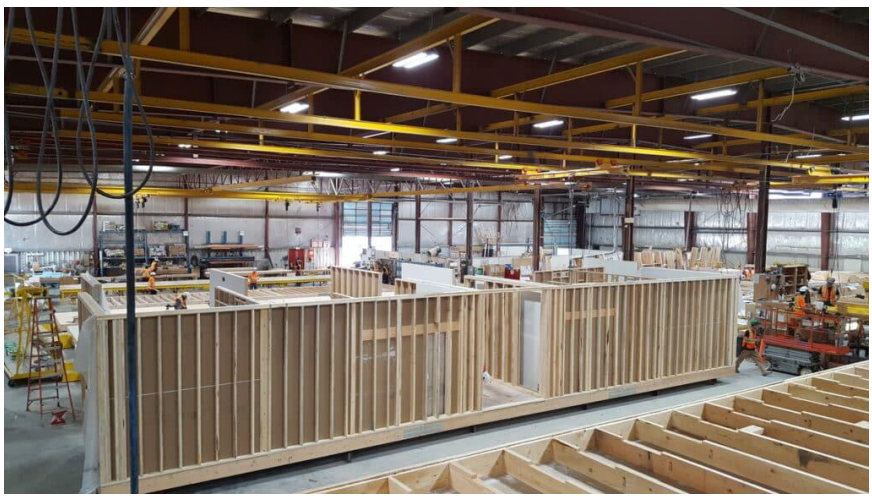


Fig. 16 – Fabricação de módulos em madeira

13. FILIPE, Ana; BRANCO, Fernando; Duarte, José – "O sistema modular ALFF" in *Arquitectura e Vida*, nº 62, p. 73.

Industrialização

No processo construtivo tradicional, todos os elementos construtivos que constituem um edifício, sejam eles paredes, coberturas e divisões interiores, são realizados in situ. Com a industrialização, este processo é transferido para um ambiente fabril.

Este método aproxima a arquitetura de uma lógica industrial, inspirada nos paradigmas da revolução industrial e do modelo fordista de linha de montagem.

A evolução das técnicas de desenho com a incorporação de tecnologias digitais como o BIM tem revolucionado a forma como os edifícios são concebidos, o que aproxima a arquitetura de uma linguagem de processos industriais.

A industrialização permite realizar intervenções mais rápidas silenciosas e limpas, o que é fundamental em edifícios com valor patrimonial ou que se mantem habitados durante a obra. Com isto podemos concluir este processo traz grandes melhorias para o setor da construção.

> *"Melhorias consideráveis, na qualidade, segurança em obra, produtividade, prazo de execução, estética, custos ou liberdade de conceção."*[14]



Fig. 17 – Betão industrializado

14. FRUCTUÓS, Mana - Alternativas a la construcción convencional de vivendas, p. 76.

Estandardização

O conceito de estandardização tem raízes profundas na Revolução Industrial, principalmente com o módulo de produção em série fordista idealizado por Henry Ford no início do século XX. Este conceito é explorado no ramo da arquitetura e do design com a fundação da Bauhaus em 1914.

No setor do mobiliário, figuras como Marcel Breuer começaram a projetar peças estandarizadas. A utilização de materiais industriais como o aço tubular foi uma das maneiras de tornar mais eficiente este sistema, mesmo tendo em conta os critérios da racionalização e ergonomia,

A Bauhaus, que tinha como diretor Walter Gropius, defendia a integração entre a arte e a indústria, criando objetos e espaços que respondiam às necessidades da vida moderna através de uma forma simples, funcional e repetível.

Walter Gropius aplica estes princípios na arquitetura, com o estudo de habitações modulares, que procurava soluções habitacionais repetíveis e eficientes, adaptando-se assim ao período e às necessidades da época. O arquiteto possuía a visão e conhecimento técnico que eram necessários para construir de forma mais eficiente através de sistemas estandardizados e industrializados, mas o mercado e o contexto económico e social da época não estavam do seu lado. Na década de 1920, Gropius já pensava no futuro, em que o modo de construir iria ser diferente, as habitações seriam produzidas com precisão e eficiência numa linha de montagem industrial. Para o arquiteto, esta forma de construir era um meio para democratizar a arquitetura, reduzir os custos e melhorar as condições de habitação em larga escala.

Foi em 1927 que Gropius teve a sua primeira experiência neste campo, na exposição de werkbund[15], em Estugarda. Era um conjunto habitacional experimental onde Gropius pôs em pratica e testou soluções construtivas através de sistemas modulares pré fabricados. No entanto, a falta de indústria desenvolvida neste ramo e a complexidade logística fizeram com que o projeto não evoluísse senão para além do papel.

Passados 20 anos, já nos Estados Unidos, o arquiteto teve a oportunidade de retomar esta ambição em colaboração com o engenheiro Konrad Wachsmann, com a realização do projeto Packaged Houses (general panel system), que era um sistema construtivo que se baseava em painéis estruturais de madeira que eram conectados com peças metálicas.

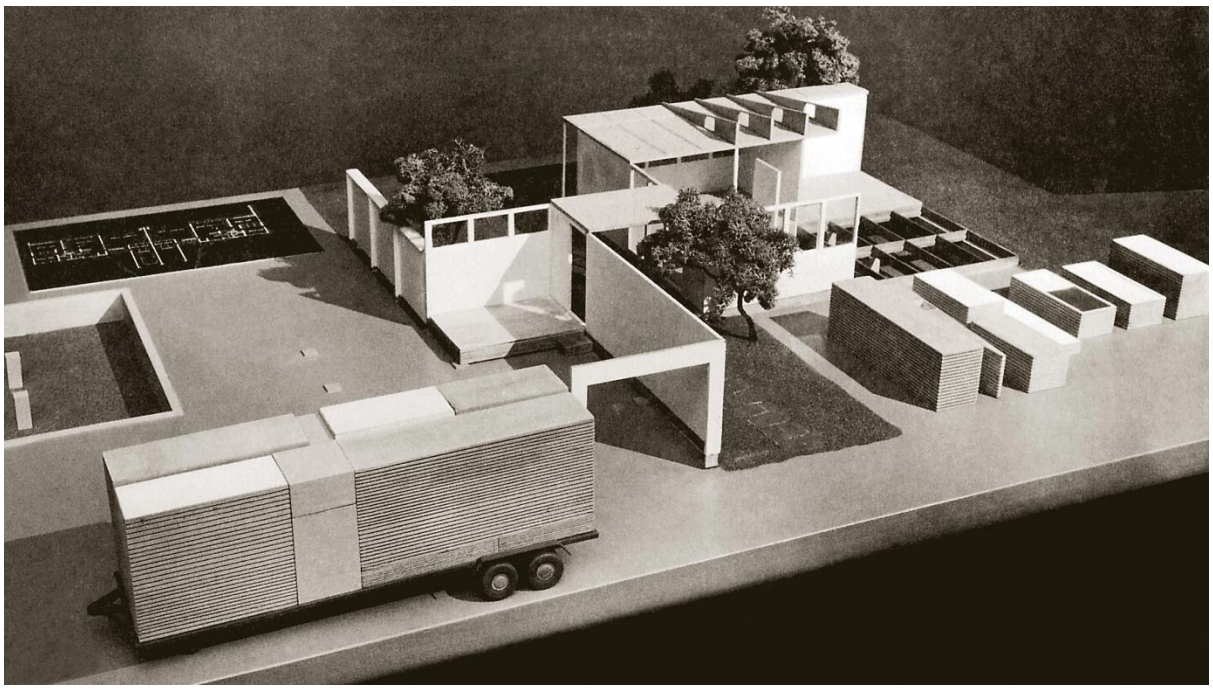


Fig. 18 – Packaged Houses

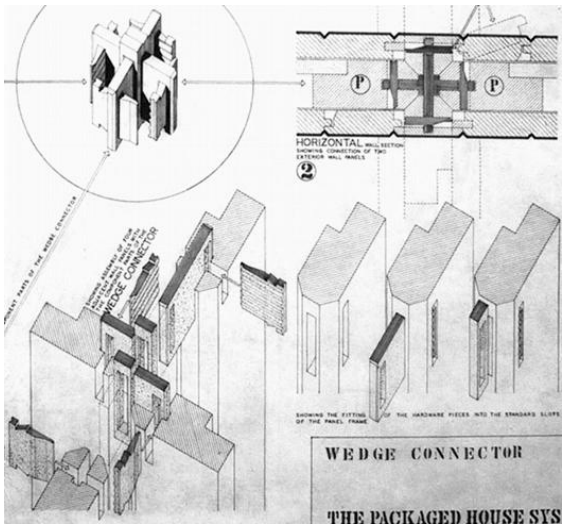


Fig. 19 – Pormenor construtivo



Fig. 20 – Walter Gropius e Konrad Wachsmann

Para Walter Gropius, a estandardização não era vista como uma limitação, mas sim como uma oportunidade para democratizar o acesso à habitação com qualidade.

Nos dias de hoje quase um seculo depois a prefabricação evolui com novos materiais e tecnologias o que permite existir mais flexibilidade em produtos estandardizados.

E estandardização não significa uniformizar, a estandardização moderna permite a personalização e a criação de estrutura, mas com a liberdade de variação formal, funcional e material.

Soluções como a criação de casas de banho, escadas, cozinhas são elementos aplicados na reabilitação com grandes vantagens, sendo a estandardização uma ferramenta de eficiência e coerência formal.

"Il faut tendre à l'établissement de standards pour affronter le problème de la perfection." (Le Corbusier, 1923, p.89)[16]



Fig. 21 – Módulos Estandardizados

15. Evento organizado pelo Deutscher Werkbund, em 1927, em Estugarda, com a construção do conjunto habitacional "Weissenhof Estate" por 17 arquitetos europeus como demonstração da nova arquitetura moderna.

16. Le Corbusier. (1923). Vers une architecture. Paris: G. Crès.

2.4 Construção modular vs construção tradicional

A construção modular surge como uma alternativa tecnológica e estratégica ao modelo construtivo tradicional. Contudo, é importante compreender e refletir sobre as limitações da construção tradicional para perceber o impacto e a pertinência da construção modular.

A construção tradicional: limitações e características

Construção in situ tem como base a execução da obra através de processos manuais e sequenciais. As principais características deste modelo de construção são principalmente a flexibilidade artesanal, a adaptação ao terreno, o uso de materiais como betão e alvenaria de tijolo.

O sistema tradicional apresenta algumas dificuldades ao responder aos desafios contemporâneos, os tempos de obra prolongados o grande consumo de recursos, uma grande geração de resíduos e uma maior dependência de mão de obra e uma menor previsibilidade em termos de custos, são algumas das dificuldades que nos dias de hoje são um problema. Para conseguir combater estes problemas, é preciso encontrar técnicas mais avançadas de construção e é aí que entra a construção utilizando sistemas modulares.

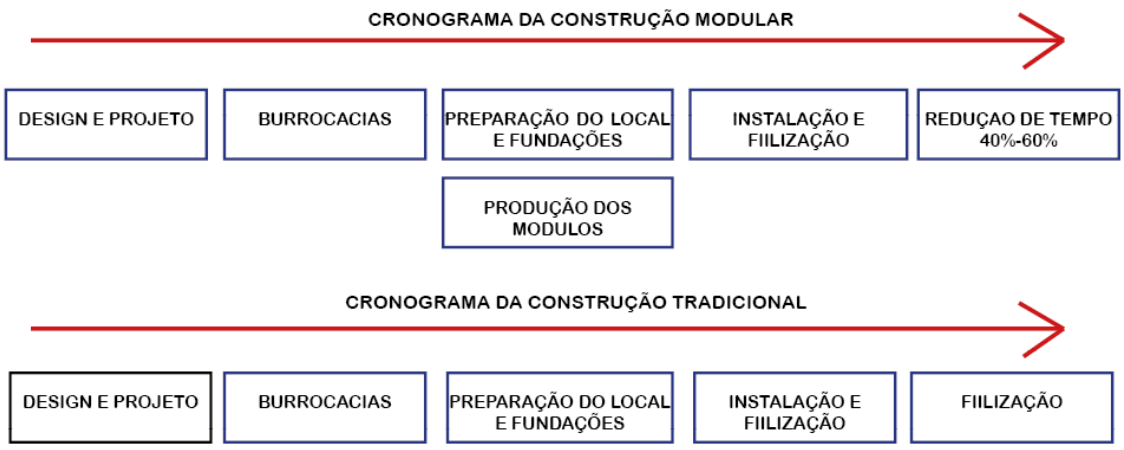


Fig. 22 – Cronograma do tempo de construção

Construção modular: alternativa tecnológica contemporânea

Os desafios referidos no ponto anterior ajudam a construção modular a começar a ganhar uma maior relevância nos dias de hoje, sendo este sistema uma boa opção para combater os desafios impostos, como as necessidades emergentes de sustentabilidade, eficiência energética e adaptabilidade funcional.

A construção modular, embora tenha as suas desvantagens, é um sistema que está em constante desenvolvimento e evolução. A urgência de respostas habitacionais acessíveis é também um dos fatores que têm impulsionado a sua ascensão e desenvolvimento, sobretudo em contextos urbanos e de reabilitação.

O desenvolvimento de sistemas digitais como o BIM e de novos materiais como o CLT tem ajudado a consolidar a modularidade como uma prática viável.

A sustentabilidade constitui uma das diferenças mais nítidas entre a construção modular e a tradicional. Nos sistemas convencionais, o uso intensivo de betão armado, argamassas e alvenarias está associado a uma maior pegada de carbono, a desafios de desmantelamento e separação para reciclagem.[17] Segundo o Global Status Report for Buildings and Construction 2022 (UNEP), o setor da construção responde por cerca de 37% das emissões globais de CO_2 relacionadas com energia e processos, o que exige novas abordagens nos processos.[18]A construção modular, ao contrário da construção tradiconal, privilegia processos de fabrico controlados, materiais recicláveis, como o aço ou a madeira CLT, permitindo reduzir desperdícios e facilitar a reutilização dos componentes. Além disso, a possibilidade de desmontar e remontar edifícios insere-se na lógica da economia circular, onde o edifício é entendido como um conjunto de peças reversíveis.

Desta forma, a utilização de sistemas modulares não é apenas uma questão técnica, mas uma estratégia sustentável que contribui para uma construção com menor impacto ambiental e maior eficiência de recursos.

17. Gonçalves, J. C. S., & Duarte, D. H. S. (2006). Arquitetura sustentável: Uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Ambiente Construído, 6(4), 51–81. https://doi.org/10.1590/S1678-86212006000400005

18. United Nations Environment Programme. (2022). 2022 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. Nairobi: UNEP/GlobalABC. https://globalabc.org/resources/publications/2022-global-status-report-buildings-and-construction

Construção tradicional

Construção modular pré fabricada

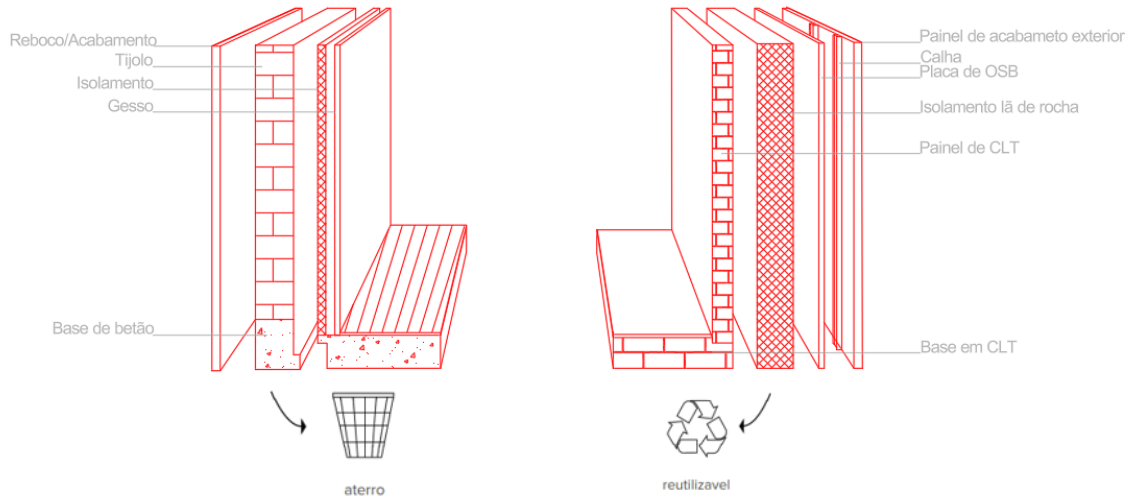


Fig. 23 – Comparação através de corte construtivo dos dois tipos

"Sustainability is to become the guiding principle of social action and economic activity. At the same time, its ways and means are far from clear. As a holistic praxis, sustainability must combine technical and material as well as social, economic, ecological and also ethical strategies, which have multiple complex interactions and all too often also conflicting goals and priorities. In no other field can these be better observed, addressed and influenced than in architecture and building." (Heisel & Hebel, 2022, p. 7).[19]

Em suma, ambos os sistemas podem coexistir e ser válidos em contextos específicos. Tendo em conta os desafios sociais, urbanos e construtivos dos dias de hoje, a construção modular pode ser uma opção viável, mas exige uma mudança de mentalidade nos agentes do setor da construção.

A construção tradicional é insubstituível mas é importante reconhecer as suas dificuldades e que o sistema modular poderá ser mais vantajoso em situações especificas ou ate mesmo ser um grande complemento da construção tradicional.

19. Heisel, F., & Hebel, D. E. (2022). Building better – less – different: Circular construction and circular economy. Basel: Birkhäuser.

Tabela Comparativa entre Construção Tradicional e Construção Modular

Critério	Construção Tradicional	Construção Modular
Local de produção	In situ (no local da obra)	Off-site (em fábrica)
Tempo de execução	Lento e sequencial	Rápido e paralelo
Controlo de qualidade	Dependente da mão de obra e condições climatéricas	Elevado, com ambiente fabril controlado
Personalização	Alta (maior liberdade formal e artesanal)	Média-alta (dentro de sistemas modulares)
Impacto ambiental	Alto (desperdício, ruído, resíduos, consumo de energia)	Reduzido (produção eficiente, menor desperdício)
Custo	Mais elevado a longo prazo (devido a imprevistos e manutenção)	Mais previsível e, geralmente, mais económico em grande escala
Flexibilidade de uso futuro	Menor (espaços fixos, alterações exigem demolição)	Alta (módulos adaptáveis, desmontáveis e expansíveis)
Integração em reabilitação	Compatível, mas com obras demoradas e disruptivas	Compatível, com menor impacto e prazos mais curtos
Mão de obra	Necessita de mão de obra qualificada local	Menor dependência no local, maior especialização em fábrica

2.5 Tipos de construção modular

A construção modular é um sistema que pode ser pensado e produzido de diferentes formas, dependendo do material, da finalidade da construção e até mesmo as dificuldades de transporte ou montagem, que poderão ser um problema mais comum em obras de reabilitação, podem interferir na maneira de pensar e produzir sistemas modulares.

Os principais tipos de construção modular são:

1. Construção Modular Volumétrica (3D)

Este tipo de construção modular consiste na produção tridimensional em fabrica, mais concretamente os módulos são constituídos por paredes, piso e teto, saindo assim da industria já montados, ou seja unidades em forma de "caixa".

Podem sair prontos com revestimentos, instalações elétricas e hidráulicas . Este tipo de construção modular tem como grande vantagem o tempo de construção no estaleiro da obra pois permite uma montagem extremamente rápida.

Um dos desafios que este tipo enfrenta é relacionado com o transporte e com a necessidade de equipamentos especiais para a sua montagem, como guindastes.

É uma solução eficaz em construções de rápida implantação, como hotéis, escolas, hospitais.

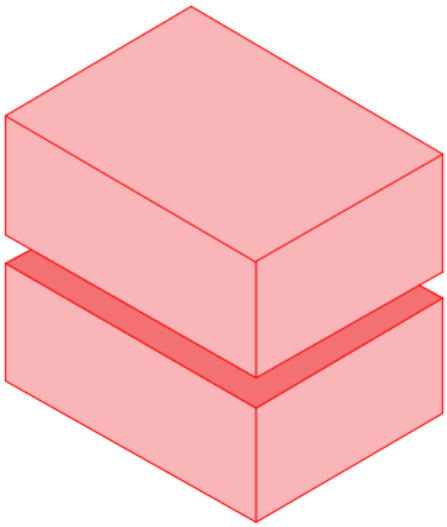


Fig. 24 – Representação de módulos 3d

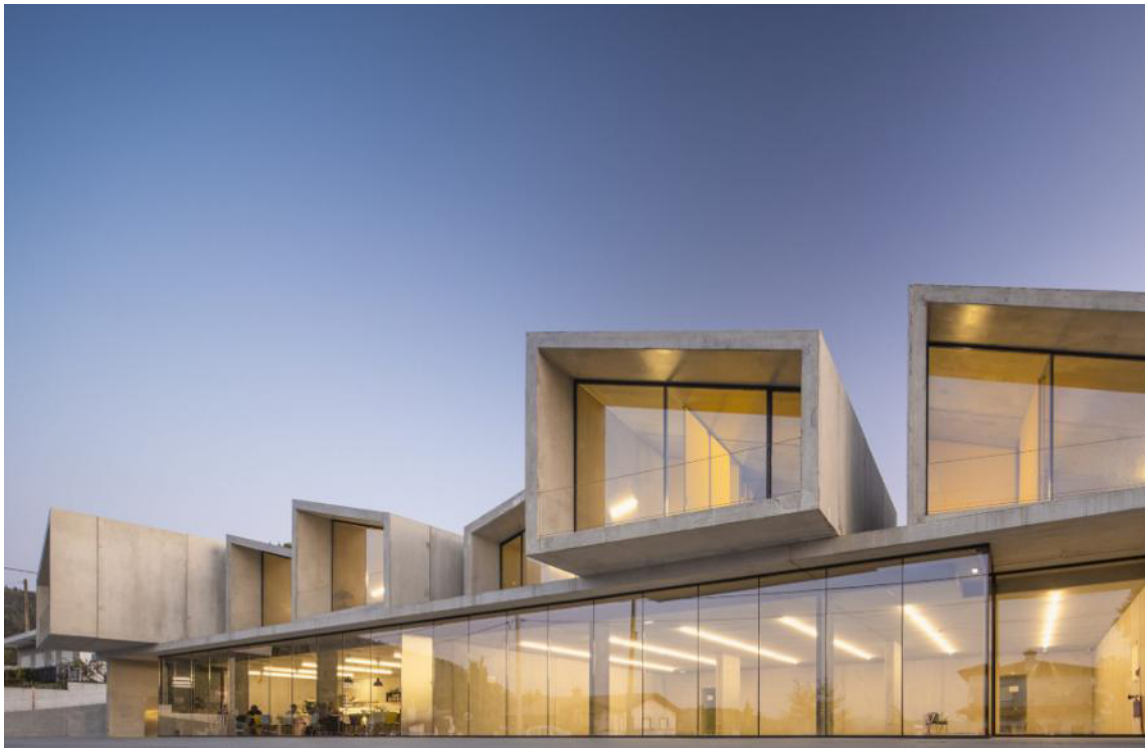


Fig. 25 – 1000 m2 pré-fabricados, em Vale



Fig. 26 – Modulo em betão

2. Construção Modular em Painéis (2D)

Este tipo baseia-se na produção por “peças”, como paredes, pisos e coberturas de forma individual. São posteriormente transportados para o local da obra e montados in situ.

É um tipo que oferece uma maior flexibilidade, tanto no transporte como na montagem, pois, dependendo do tamanho dos módulos, poderá ser possível montar apenas com força humana e sem o auxílio de guindaste e também na personalização do projeto, já que é possível uma maior variação do layout na montagem final.

Este tipo é frequentemente utilizado com materiais como painéis de madeira e estruturas de aço leve, em que podem ser utilizados os dois materiais combinados ou não. São materiais conhecidos pela sua leveza e resistência.

É uma solução que combina a precisão da pré-fabricação com a adaptabilidade do estaleiro.

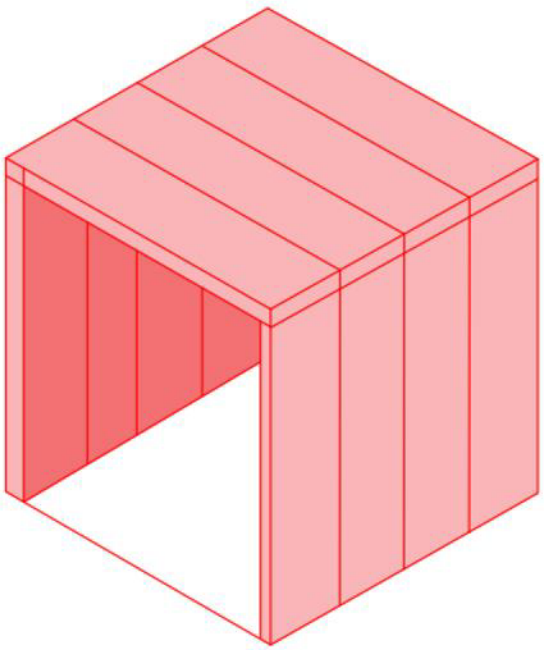


Fig. 27 – Representação dos módulos 2d



Fig. 28 – Creches modulares em Lisboa,SUMMARY

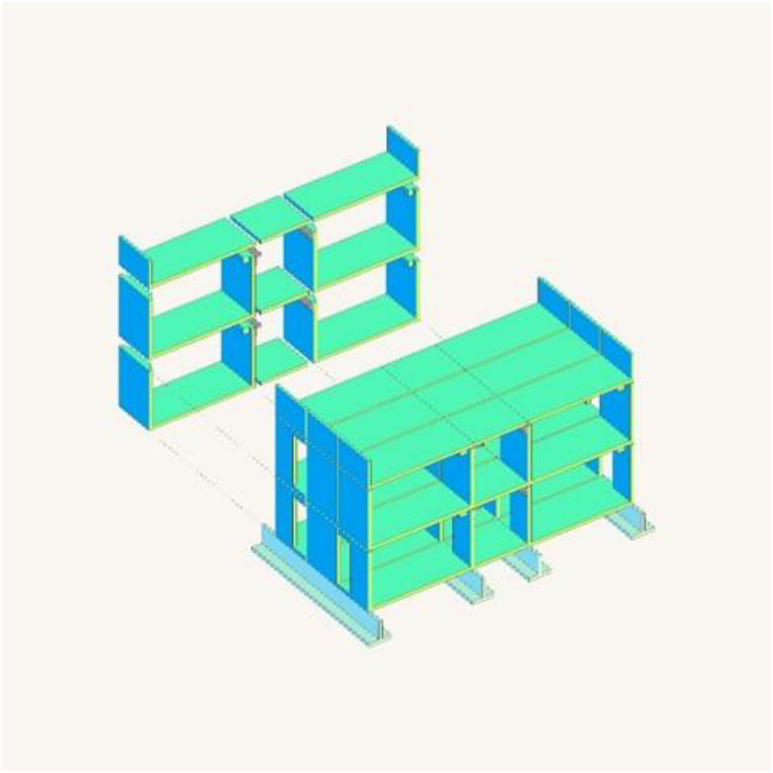


Fig. 29 – Representação dos painéis de construção da creche

3. Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos, como o nome indica, são uma junção de diferentes abordagens construtivas, mais concretamente a junção dos dois tipos apresentados nos pontos anteriores e também a junção com a construção tradicional.

É uma solução mista e que é especialmente aplicada em edifícios de maior porte. Por exemplo, a construção de núcleos centrais utilizando a construção tradicional e os demais espaços são construídos com módulos pré-fabricados, sendo este sistema utilizado, por exemplo, em torres residenciais, hotéis, onde os núcleos centrais, como escadas e elevadores, são executados em betão armado.

É uma abordagem que permite aproveitar as vantagens de cada sistema, a rapidez dos módulos 3D, a flexibilidade de layout dos painéis 2D e a robustez das estruturas convencionais.

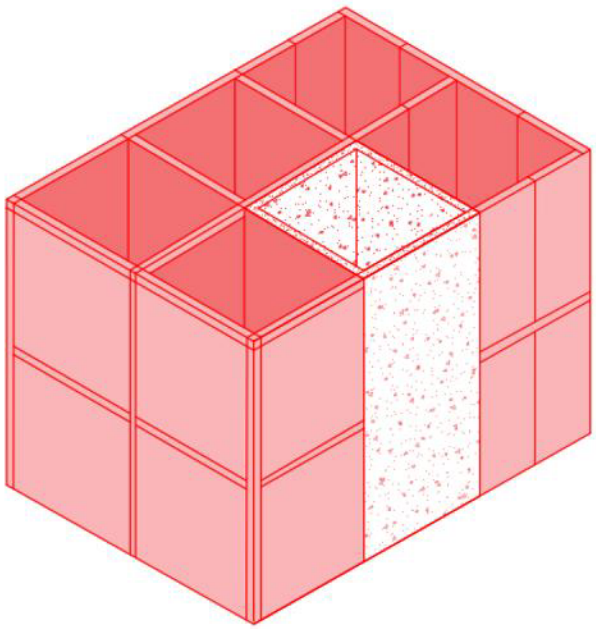


Fig. 30 – Representação do modelo hibrido



Fig. 31 – Residência de estudantes, Casais

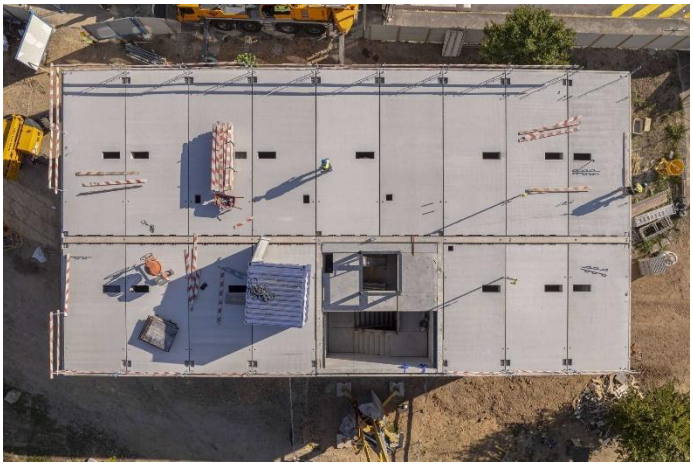


Fig.32–edifico com núcleo central de betão armado



Fig. 33 – Construção do núcleo em betão armado



Fig. 34 – Módulos da Fachada

2.6 Materiais aplicados no sistema modular

Na construção modular os materiais utilizados podem variar dependendo da finalidade, tipo de sistema, requisitos técnicos, estruturais e isolamento.

Os materiais principais que são frequentemente utilizados são:

1.Madeira

A madeira é um material muito utilizado na construção modular, especificamente quando a sustentabilidade, a leveza e a rapidez de execução são prioridades.

O CLT (cross laminated timber) é um tipo de madeira que se destaca na construção modular.

Consiste em painéis formados por lâminas de madeira cruzadas e coladas sob pressão, o que confere ao material uma elevada resistência estrutural e estabilidade dimensional.

O CLT pode ser empregado tanto em painéis 2D como em painéis 3D, sendo ideal para paredes, estruturas e coberturas.

A madeira é um material renovável, com baixo impacto ambiental e com uma elevada capacidade de captura de carbono. É também um material excelente no que toca a desempenho acústico e térmico.

Concluindo a madeira é um material que se integra perfeitamente na logica da construção pré fabricada modular.



Fig. 35 – Painéis de CLT

1.Betão

Em projetos que exigem uma maior robustez estrutural e durabilidade, o betão é um material a ter em conta. É um material que é utilizado frequentemente em construção modular, especialmente no tipo de módulos 3D.

Os módulos são moldados em ambiente fabril, é utilizado moldes, que na construção tradicional seriam chamados de cofragens, estes moldes são personalizados de acordo com a finalidade da estrutura pretendida. Na fabricação dos módulos em betão pode ser integrado isolamento térmico e acústico, e pode ser armado ou pré-esforçado.

Paineis 2D também são frequentemente utilizados, como estruturas (vigas e pilares), lajes e elementos de fachada. É um material ideal para a construção de edifícios de vários andares, onde as estruturas estão sujeitas a esforços significativos. O betão permite uma boa precisão dimensional, já que os elementos são produzidos com moldes industriais.

Mesmo sendo um material frequentemente utilizado na construção tradicional, pode ser uma boa opção para aplicar na construção modular.



Fig. 36 – Módulos de betão pré fabricado

3. Aço

O aço é um material com grande versatilidade e com uma leveza relativa o que faz com que seja um dos materiais mais usado na construção modular. É particularmente comum em sistemas de estruturas leves, estruturas dominadas de LSF (Light Steel Frame). É um material que permite a construção de edifícios com grandes vãos.

No que toca a sustentabilidade o aço é um material reciclável e com baixa perda em obra, pode ser usado em estruturas temporárias o que permite reutilizar o material.

É um material que tem uma grande capacidade de adaptação a diferentes geometrias, o que torna especialmente interessante para arquiteturas contemporâneas e modulares com um maior grau de personalização.



Fig. 37 – Casa construído com LSF

2.7 A construção modular aplicada às intervenções de reabilitação

A reabilitação de edifícios existentes é uma das principais estratégias para a sustentabilidade urbana no século XXI. Posto isto, a construção modular emerge como uma fonte inovadora e eficiente que pode ajudar na resposta aos desafios técnicos, ambientais e funcionais na reabilitação arquitetónica.

Reabilitar com modularidade: uma resposta contemporânea

A reabilitação exige um processo mais complexo e uma leitura crítica do existente. Pensar em reutilizar um edifício é preciso ter em conta as características espaciais, materiais, estruturais, bem como o seu valor patrimonial.

A construção modular permite integrar elementos como módulos sanitários, cozinhas, escadas, coberturas, divisórias de forma eficiente, o que ajuda a reduzir as interferências com a estrutura existente. A grande adaptabilidade dos módulos é um fator vantajoso para o edifício reabilitado, pois é possível compatibilizar o respeito pela pré-existência com a introdução de soluções contemporâneas de habitabilidade.

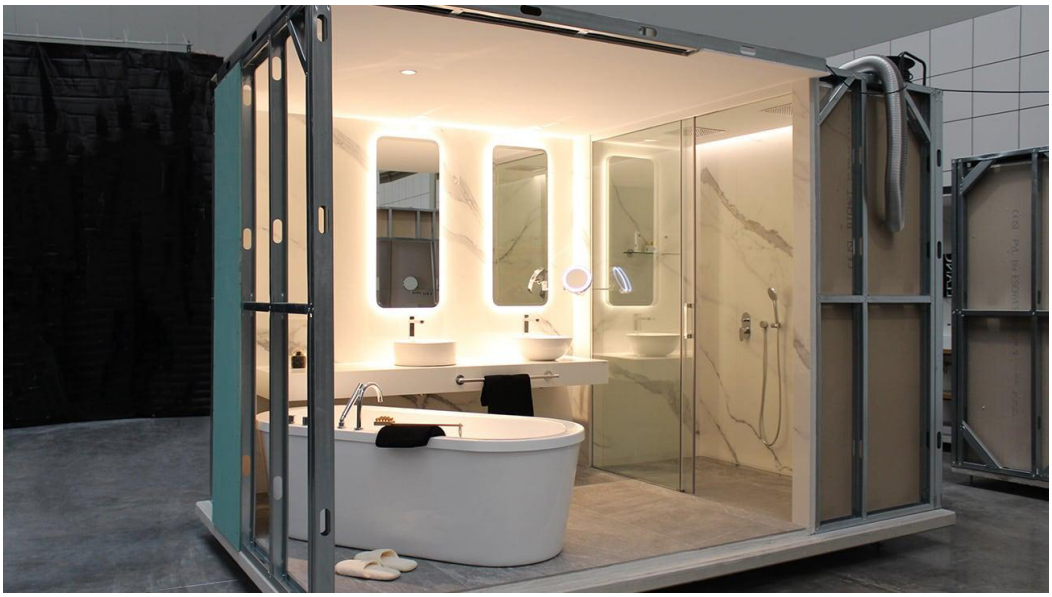


Fig. 38 – Casa de banho Pré fabricada

Sustentabilidade e circularidade na reabilitação modular

A sustentabilidade é um tema que ao longo desta dissertação é várias vezes mencionado, pois nos dias de hoje é um ponto muito importante em todas as áreas, e especialmente na construção.

No que toca ao tema da reabilitação, este tema é muito importante e a construção modular potencia ganhos significativos em termos de sustentabilidade quando aplicada em reabilitação. Todo o processo da construção modular ajuda a controlar melhor os recursos energéticos utilizados e a descarbonização durante a execução da obra.

A aplicação de estruturas modulares na reabilitação permite que o edifício seja fortemente adaptável a outras utilizações sem necessidades de demolições evasivas o que promove a circularidade dos edifícios. Os princípios de circularidade na reabilitação modular representam uma mudança de paradigma na forma de construir. O conceito de "design para desmontagem" (Crowther, 2005)[20] defende que os edifícios devem ser concebidos de modo a permitir a separação e reutilização dos seus componentes no final do ciclo de vida aumentado assim o tempo de vida de um edifício. A construção modular, ao basear-se em elementos independentes e pré-fabricados, concretiza esta ideia, transformando o edifício num sistema flexível e reciclável.

Segundo Pomponi e Moncaster (2017)[21] , a economia circular na construção procura manter o valor dos materiais e produtos pelo maior tempo possível reduzindo a necessidade de extração de novos recursos

"*with the adoption of a Circular Economy model, that aims at keeping the materials in a closed loop to retain their maximum value, therefore with a greater potential of reducing the waste generation and resources extraction for the Construction Industry" (Benachio, Freitas & Tavares, 2020).*[22]

20. Crowther, P. (2005). Design for disassembly: Themes and principles. Architectural Science Review, 48(3), 287–295. https://doi.org/10.3763/asre.2005.4830

21. Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. Journal of Cleaner Production, 143, 710–718. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055

22. Benachio, G. L. F., Freitas, M. d. C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, 260, Article 121046. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620310933

A utilização de madeira, aço e outros materiais desmontáveis reforça esta abordagem, favorecendo intervenções reversíveis e sustentáveis (Garusinghe, Perera, & Weerapperuma, 2023)[23]. Assim, a reabilitação recorrendo a sistemas modulares pré-fabricados integra-se plenamente nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, em particular o ODS 11 e o ODS 12, promovendo cidades mais resilientes e uma arquitetura orientada para a regeneração e a reutilização contínua de recursos (United Nations, 2015).[24]

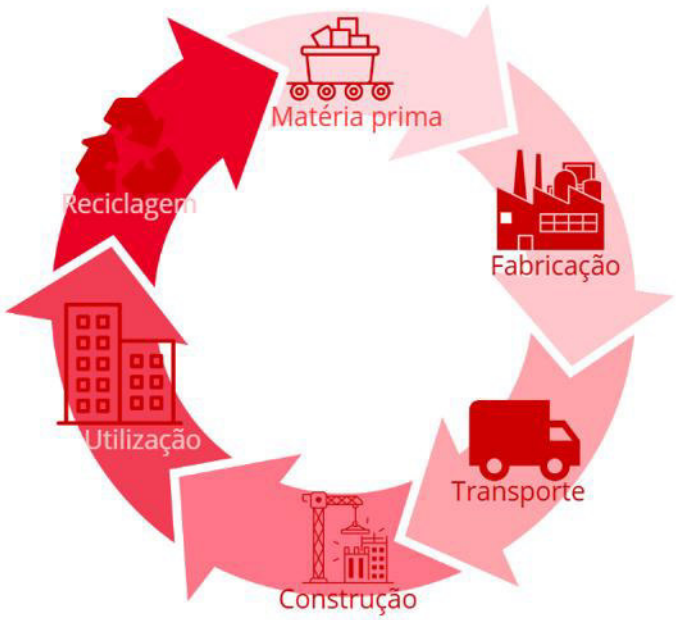


Fig. 39 – Ciclo da construção modular

23. Garusinghe, G. D. A. U., Perera, B. A. K. S., & Weerapperuma, U. S. (2023). Integrating circular economy principles in modular construction to enhance sustainability. *Sustainability, 15*(15), 11730. https://doi.org/10.3390/su151511730

24. United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda

Aplicações e tipologias de intervenção

A construção modular na reabilitação pode ser aplicada em diversas escalas e contextos:

- Adições verticais: a construção modular permite adicionar pisos em edifícios existentes, com recurso a módulos leves, como, por exemplo, o clt, que reduz as cargas sobre a estrutura existente.

- Intervenções interiores: módulos de casas de banho, módulos de divisórias, módulos autoportantes que não interferem com a estrutura antiga



Fig. 40 – Casa de banho modular

- Anexos e extensões: adição de volumes modulares, volumes como coberturas ou fachadas.

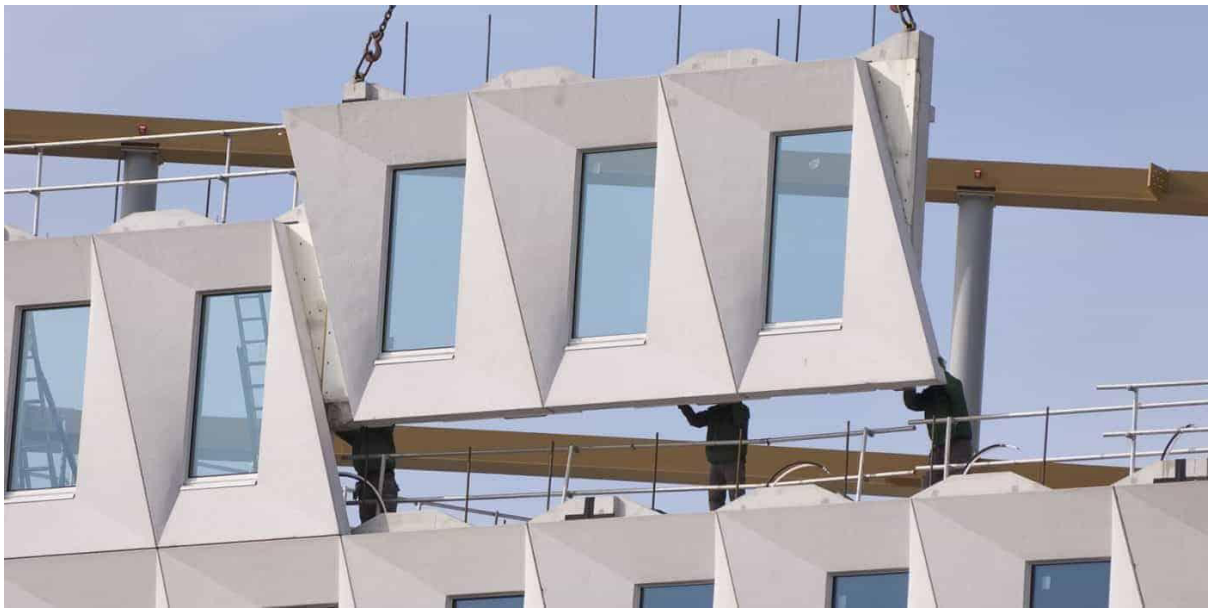


Fig. 41 – Fachada pré fabricada

Desafios e limitações da reabilitação modular

Apesar dos seus méritos, a utilização de sistemas modulares na reabilitação tem pela frente alguns desafios, como por exemplo:

- Compatibilização geométrica e estrutural

  Edifícios existentes possuem elementos construtivos que são diferentes dos padrões modernos de hoje em dia, irregularidades dimensionais e deformações que estão presentes em edifícios históricos. Estes desafios dificultam a aplicação de sistemas modulares na reabilitação de edifícios.

- Condições de transporte e montagem

  Edifícios históricos normalmente estão localizados em centros urbanos com limitações de acesso, o que pode dificultar o transporte e a montagem dos módulos, exigindo soluções adaptadas (ex: montagem de painéis 2D em vez de 3D).

- Resistência cultural e normativa

  Edifícios de elevado valor histórico a utilização da construção modular para a reabilitação dos mesmos pode ser vista como incompatível com a linguagem arquitetónica, exigindo um diálogo com as entidades reguladoras e soluções arquitetónicas sensíveis

- Custos de adaptação

  Embora a construção modular possa ser mais económica em larga escala, os custos de personalização e adaptação a contextos singulares podem ser elevados, especialmente quando se trata de projetos únicos e não repetitivos.

Em síntese a construção modular pode proporcionar uma reabilitação mais eficiente mas tem de ser pensada com sensibilidade para corresponder a uma boa reabilitação de um edifício. A sua introdução não pretende substituir o método tradicional mas sim complementar a pratica da reabilitação ajudando assim a responder à urgência climática e a escassez habitacional.

Esta dissertação defende que a construção modular na reabilitação arquitetónica é uma ponte entre a tradição e a inovação, entre o presente e o futuro da arquitetura e da construção.

3. CASOS DE ESTUDO

3.1 Loios, ODDA



Em 2013, o atelier de arquitetura ODDA realizou a reabilitação de um edifício no quarteirão das Cardosas, no centro histórico do Porto. O projeto procurou equilibrar a preservação do património existente com as novas formas de viver, em uma área marcada pelo turismo e pelo valor histórico do tecido urbano. A intervenção foi parte das ações da Sociedade de Reabilitação Urbana (SRU)

Localizada no quarteirão das Cardosas, a intervenção da SRU resultou na criação de uma nova praça dentro do quarteirão, como parte de ações estratégicas e urbanas. Os dois lotes estão no Largo dos Lóios, um local que remete à antiga Porta de Santo Elói da muralha medieval Fernandina do Porto.



Fig. 42 – Interior de uma unidade de habitação

3.1.1 Análise Espacial

O edifício dos Lóios, tem uma organização espacial cuidadosamente articulada entre a preservação da estrutura existente e a introdução de soluções contemporâneas. O conjunto totaliza cerca de 1.500 a 2.500 m² de área intervencionada e foi reconvertido em dezoito unidades habitacionais de pequena dimensão, destinadas a estudantes e turistas. A intervenção no edifício é feita verticalmente sobre um rés-do-chão comercial assim, o edifício mantém uma lógica mista característica da malha urbana do centro histórico do Porto. O comércio ocupa o nível da rua e a habitação desenvolve-se nos pisos superiores. Esta articulação funcional garante a continuidade da vitalidade urbana e respeita a vocação original do edifício.



Fig. 43 – Fachada exterior

A organização das plantas mostra uma intenção de otimizar o espaço interior. Os apartamentos-estúdio são compactos, mas altamente funcionais, configurando-se como células habitacionais flexíveis e adaptáveis. Cada unidade integra um módulo central multifuncional que reúne as principais funções domésticas, cozinha, zona de estar, cama e casa de banho num único elemento de mobiliário modular. O módulo desenhado à escala do espaço funciona como uma estrutura que organiza os espaços do apartamento, o que faz com que o apartamento seja flexível a diferentes usos ao longo do dia sem recorrer a compartimentações rígidas. O resultado é um interior contínuo, fluido e coerente, onde a espacialidade se constrói pela relação entre o corpo e o mobiliário, e não pela sucessão de divisórias fixas.

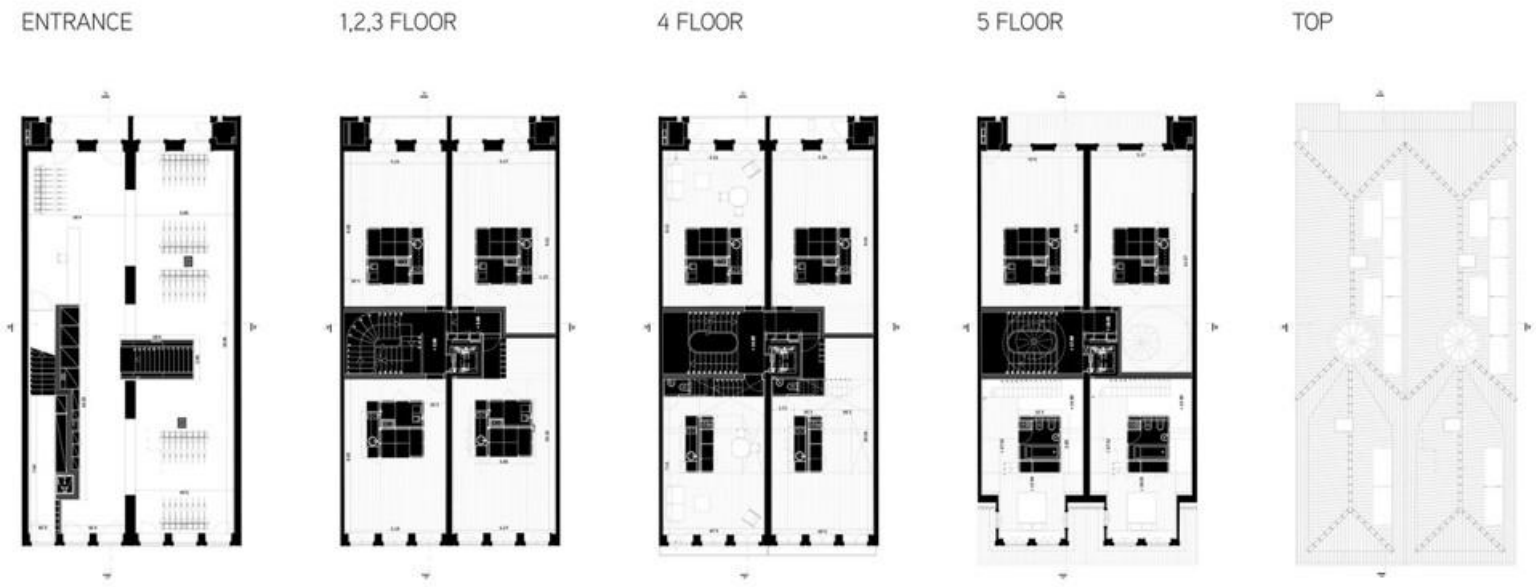


Fig. 44 – Plantas

Do ponto de vista ambiental, o edifício beneficia de fachadas opostas iluminadas e ventiladas, o que permite ventilação cruzada e iluminação natural eficiente. Essa característica, herdada da tipologia original, foi aproveitada e potenciada pelo OODA, que procurou minimizar intervenções estruturais e maximizar o desempenho passivo do edifício. A luz natural é, assim, um elemento essencial na definição da atmosfera interior, conferindo conforto e amplitude visual a espaços de reduzida área.

A relação entre o interior e o exterior foi um dos pontos mais cuidadosamente trabalhados no projeto. As fachadas foram preservadas e restauradas, mantendo assim a estética exterior original do edifício. Os vãos, as varandas e as ornamentações originais são pontos importantes que têm de ser reabilitados de forma a manterem o aspeto original, pois caracterizam o tecido urbano dos Lóios. Esta opção reforça a leitura histórica da rua e preserva a imagem coletiva do quarteirão, evitando ruturas formais. No entanto, no interior do edifício, os espaços foram completamente reorganizados, revelando assim uma dicotomia entre a aparência tradicional e o funcionamento do edifício aplicado aos dias de hoje. É uma estratégia comum nas práticas de reabilitação que procuram compatibilizar memória e inovação

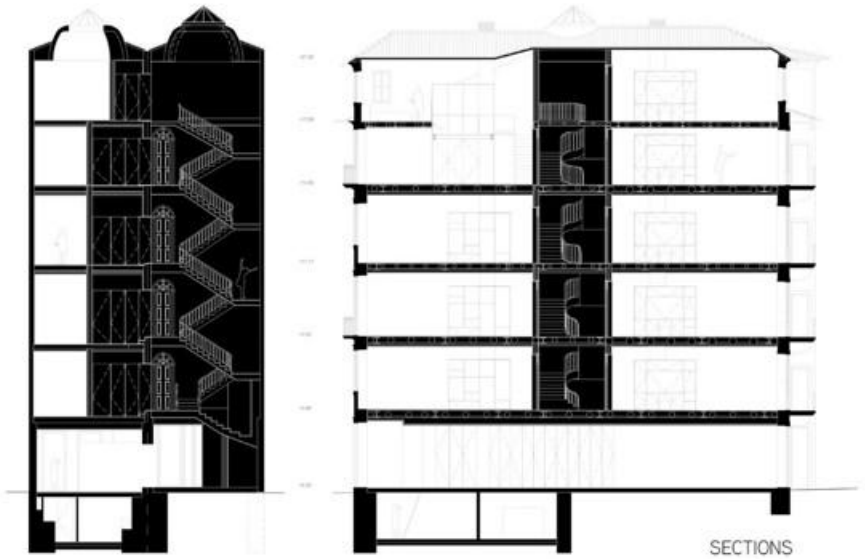


Fig. 45 – Corte transversal e longitudinal

No plano urbano, a reabilitação do edifício dos Lóios mantém a continuidade volumétrica e a escala do entorno, evitando contrastes desnecessários e preservando a coerência do conjunto edificado. O projeto contribui para a reabilitação do centro histórico do Porto ao devolver ao uso habitacional um edifício que, como muitos outros na área, se encontrava obsoleto. Ao introduzir habitação temporária e comércio, o OODA reativa o quarteirão, promovendo diversidade de usos e fluxos de pessoas ao longo do dia..

"Designed from scratch until the last detail, this project was very important, especially in the fields of construction and rehabilitation. Conceptually, a magic cube was created with new functions without 'injuring' the existing building." (OODA – Architecture, from Porto, n.d.)[25]



Fig. 46 – Exterior do edifício

25. OODA – Architecture, from Porto. (n.d.). *Lóios*. Retrieved October 21, 2025, from https://ooda.eu/projects/loios

O projeto aplica-se às reflexões teóricas de autores como Bernard Leupen (2006)[26] e Habraken (1998)[27], que defendem a ideia da "estrutura aberta", pois o edifício é capaz de se adaptar, evoluir e acolher transformações sem comprometer a integridade do edifício. O OODA aplica esse princípio de forma concreta pois a estrutura existente fornece o enquadramento físico e simbólico, enquanto os módulos interiores representam o domínio da variação e da personalização. Assim, o edifício reabilitado transforma-se num sistema híbrido, onde a permanência e a mudança coexistem de forma equilibrada.

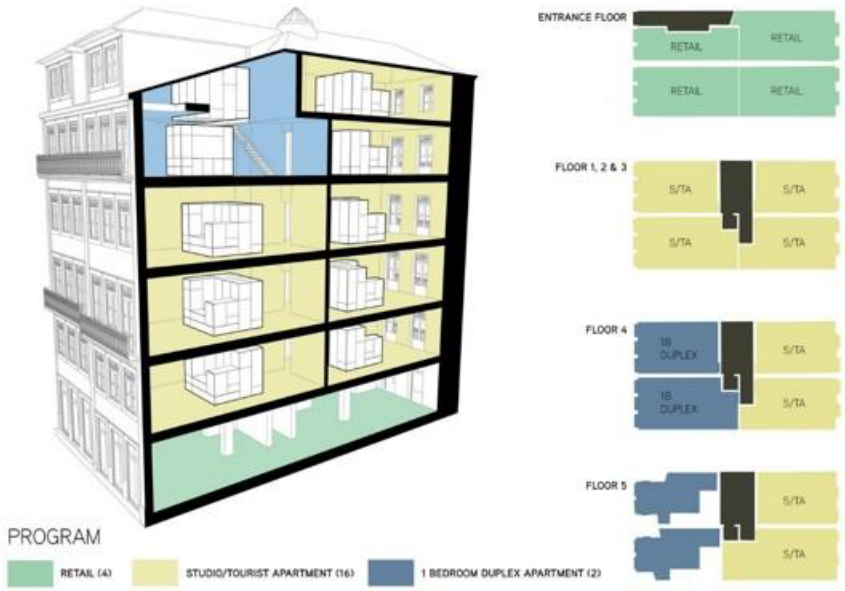


Fig. 47 – Corte construtivo com representação do interior com os módulos

26. Leupen, B. (2006). Frame and generic space. 010 Publishers.

27. Habraken, N. J. (1998). The structure of the ordinary: Form and control in the built environment. MIT Press.

3.1.2 O modulo

No projeto de reabilitação dos Lóios, o elemento central da intervenção desenvolvida pelo OODA é o módulo pré-fabricado multifuncional, concebido como o núcleo técnico e habitacional de cada unidade. Este módulo representa o verdadeiro motor do espaço interior, é um componente único, inserido no interior de cada fração, que concentra todas as funções domésticas essenciais, dormir, cozinhar, trabalhar, armazenar e higienizar num único volume compacto e integrado.

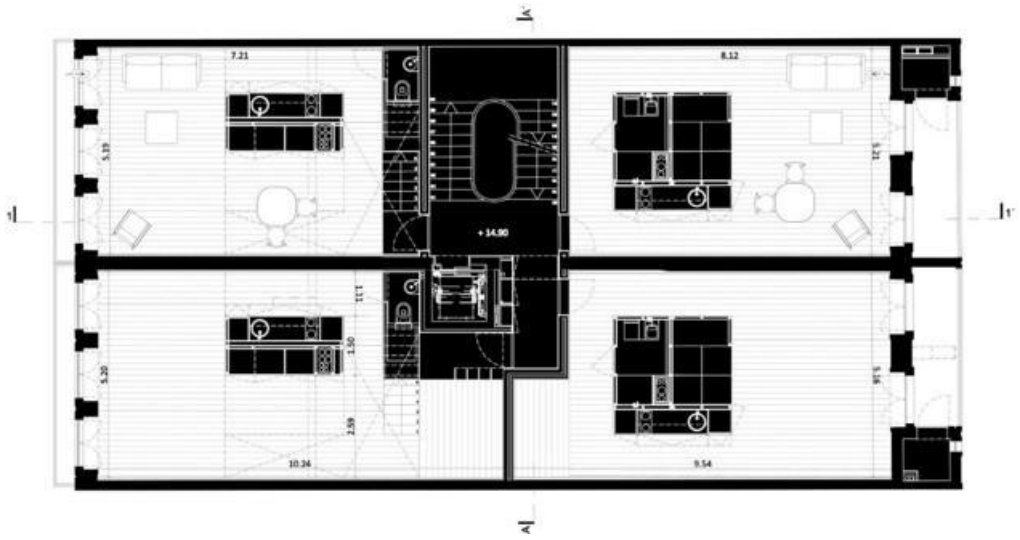


Fig. 48 – Planta do piso 4

A conceção deste elemento parte de uma lógica de industrialização, com uma produção controlada fora do local, o que permite maior precisão, rapidez e qualidade, sem interferir de forma destrutiva na estrutura histórica do edifício. O módulo é, portanto, uma peça pré-fabricada, desenhada com medidas normalizadas e pensada para ser transportada e instalada no interior das habitações após a reabilitação estrutural das paredes e pavimentos. A sua introdução não exige alterações permanentes nas alvenarias originais, funcionando como um corpo autónomo inserido na estrutura existente, como um "edifício dentro do edifício".

A estrutura base do módulo é constituída por uma armação de aço leve, que atua como um esqueleto que garante a estabilidade e resistência necessárias para suportar o módulo e todos os equipamentos integrados. Sobre a estrutura metálica aplicam-se painéis de fibrocimento, que conferem rigidez e isolamento. O módulo também é revestido com painéis de madeira natural, que reproduzem textura e tonalidade. Esta combinação assegura simultaneamente robustez, conforto térmico, contribuindo para a coerência visual do interior.

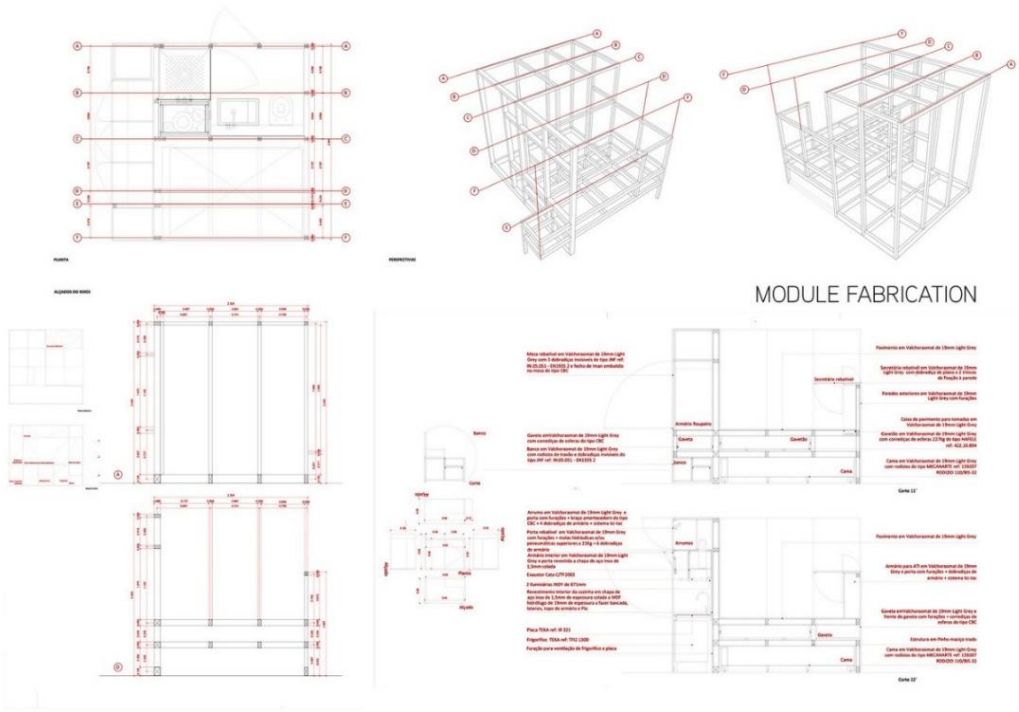


Fig. 49 – Alçados e representação da estrutura do modulo



Fig. 50 – O modulo

Cada módulo é concebido como um microambiente autónomo, uma célula habitável que responde às exigências do habitar contemporâneo em espaços reduzidos. No seu interior estão integrados o bloco técnico da casa de banho, a cozinha compacta, a área de trabalho, o espaço de arrumação e uma cama embutida que pode assumir diferentes configurações conforme o uso do espaço ao longo do dia. Esta multifuncionalidade permite que o estúdio, apesar das suas dimensões reduzidas, se mantenha versátil e confortável, adaptando-se a utilizadores temporários, como estudantes ou turistas.

A disposição do módulo no interior de cada apartamento não é aleatória, ele ocupa uma posição central ou lateral estratégica, delimitando os fluxos e libertando áreas abertas de circulação e estar. Assim, o módulo não fragmenta o espaço, organiza-o.

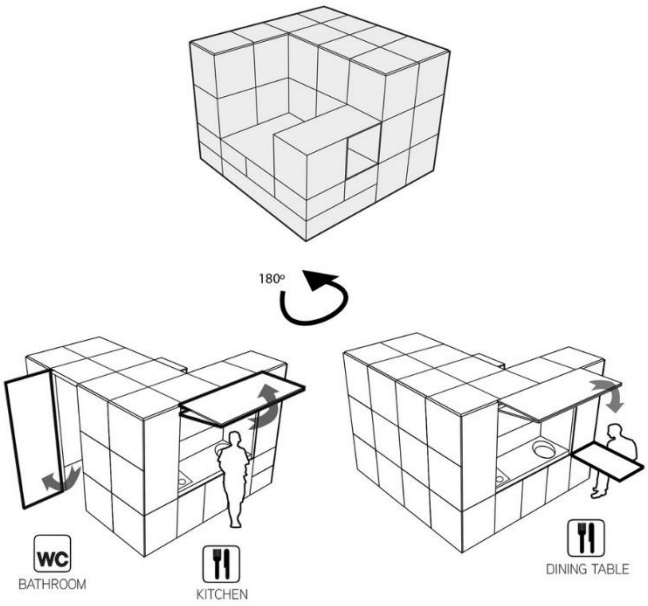


Fig. 51 – Diagrama conceptual do modulo

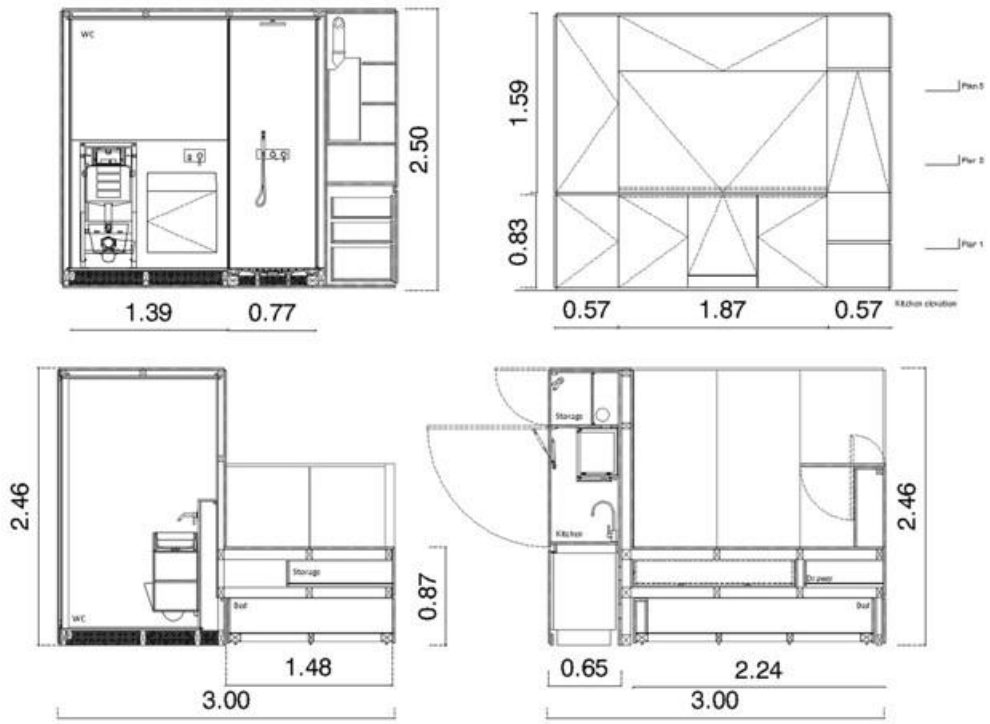


Fig. 52 – Cortes com a representação dos módulos

3.2. A Nacional Aliados, Menos é Mais



O edifício da Companhia de Seguros “A Nacional”, foi projetado pelo arquiteto Marques da Silva. Um edifício que passou por várias intervenções ao longo do tempo, o que comprometeu a integridade da proposta original de 1919. A reabilitação foi motivada pelo proprietário, que quis mudar o uso do edifício de escritórios para habitação. Externamente, a construção mantém uma composição formal e ornamentação inspiradas na estética beaux-arts. No interior, destaca-se uma racionalidade funcional, a circulação ocorre por galerias e passarelas que atravessam um grande vazio central, iluminado e ventilado por aberturas zenitais. Os pisos, com plantas repetidas, são conectados por um elevador rodeado por uma escada helicoidal.

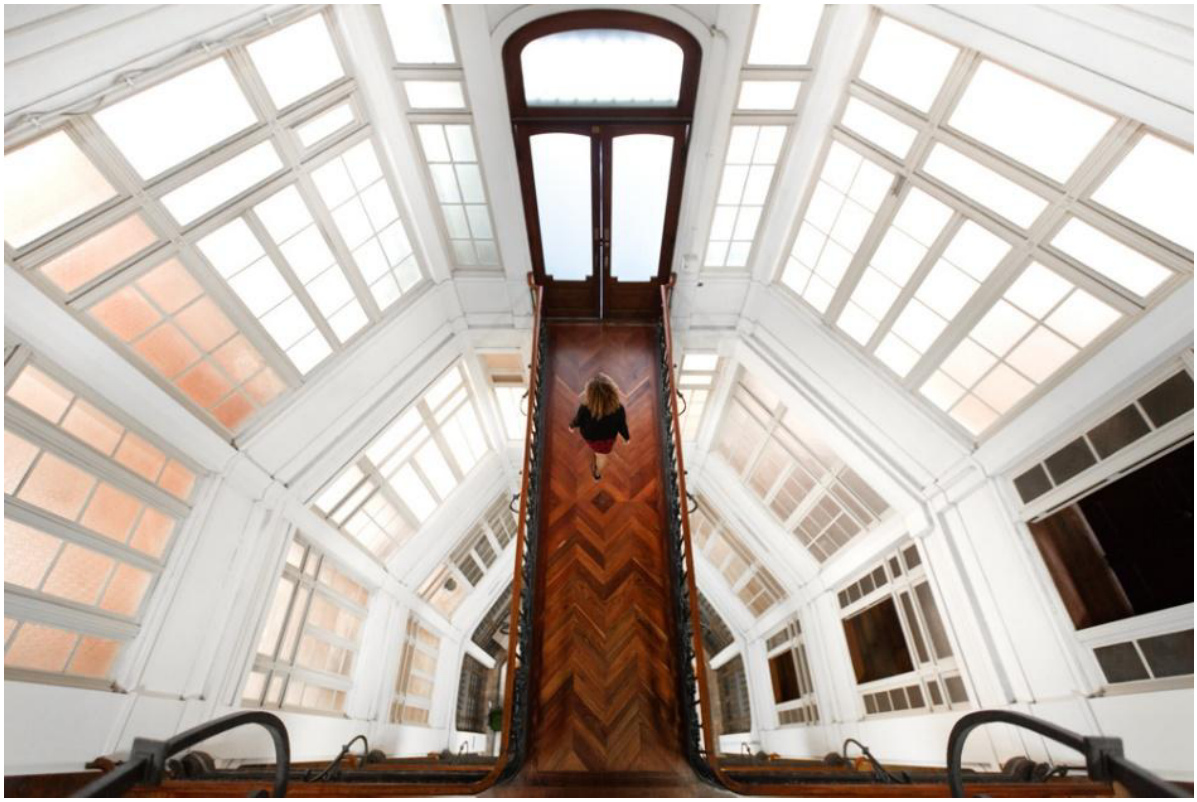


Fig. 53 – Pátio central

3.2.1 Análise espacial

O edifício "A Nacional", na Avenida dos Aliados, no Porto, é uma obra marcante do arquiteto José Marques da Silva, construído de 1919 a 1925. Inicialmente projetada para ser uma sede da Companhia de Seguros "A Nacional", foi um dos primeiros a definir a imagem monumental e simbólica da nova avenida, simbolizando modernidade e progresso da época. A sua fachada, de estilo beaux-arts, destaca-se por uma volumetria intensa de saliências, reentrâncias e efeitos de claro-escuro, além de elementos escultóricos de Sousa Caldas, como o "Génio da Independência", que coroam o frontão central, representando o espírito da instituição.



Fig. 54 – Exterior do edifício

O interior, por outro lado, contrasta com a fachada decorativa, pois Marques da Silva criou uma estrutura espacial inovadora, com um grande vazio central iluminado por claraboia, conectado por galerias e pontes nos pisos, facilitando uma circulação contínua e racional.



Fig. 55 – Galeria e pontes de acesso original

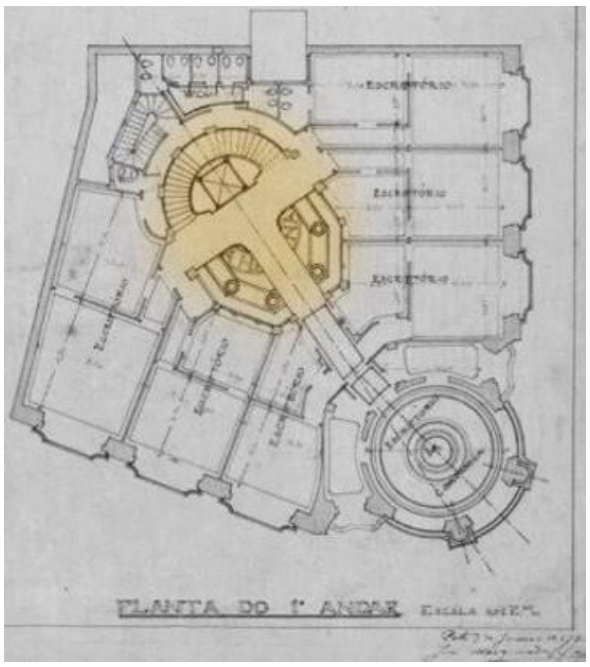


Fig. 56 – Planta Original com representação da zona central

Com o tempo, o edifício passou por alterações que descaracterizaram a sua estrutura original, especialmente a intervenção de 1966, que demoliu o lanternim e construiu uma nova laje de betão armado para ampliar o espaço de cobertura.

O atelier Menos é Mais teve como principal proposta focar na recuperação da coerência espacial, restaurando a clareza e a verticalidade do projeto original.

A estratégia envolveu esclarecer os diferentes estratos históricos do edifício, respeitando o desenho de Marques da Silva e reinterpretando-o conforme as necessidades contemporâneas. Tudo o que foi alterado nas obras de 1960 foi demolido e foi então reinstalando a claraboia central e o vazio vertical que organizam o interior. Essa intervenção trouxe de volta a luz natural ao espaço interno e a continuidade entre os pisos, transformando o antigo átrio em um pátio interno, devolvendo ao edifício sua dimensão urbana e simbólica.



Fig. 57 – Pátio Interno

Funcionalmente, o espaço existente que era originalmente de escritórios foi transformado em habitação, com diferentes unidades de habitação (T0 a T3 duplex). A circulação foi preservada por passadiços originais, ampliados e ajustados, enquanto os pisos superiores foram redesenhados para acomodar novas unidades. Cada andar conta com núcleos de serviços bem situados, blocos técnicos que concentram instalações hidráulicas e elétricas, facilitando uma organização mais fluida e reversível.



Fig. 58 – Planta do piso 0



Fig. 59 – Planta do piso 2

Uma das inovações desta reabilitação é a introdução de módulos habitacionais autônomos, feitos com uma lógica pré-fabricada. Nos pisos superiores, com cerca de quatro metros de altura, o espaço possibilitou a criação de mezaninos leves em ligação com os módulos, que incluem kitchenette, casa de banho, escada, cama e armazenamento.

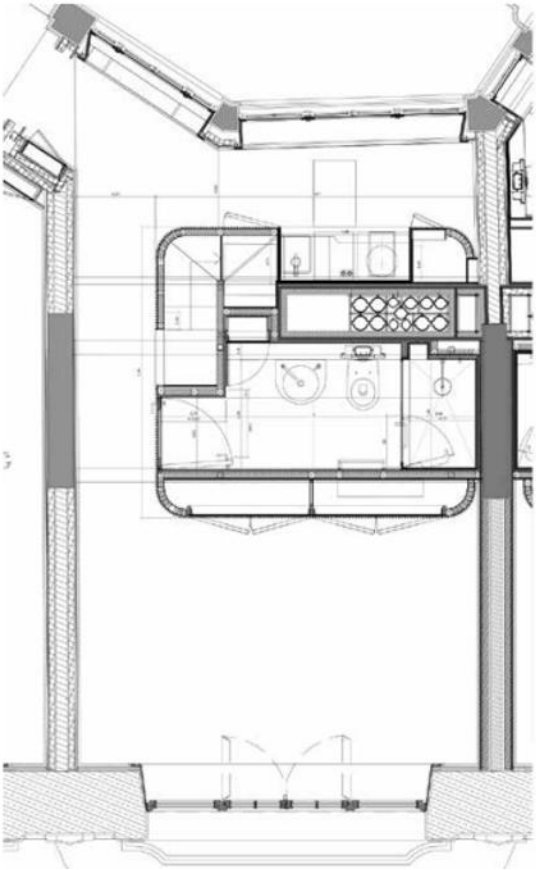


Fig. 60 – Planta de habitação

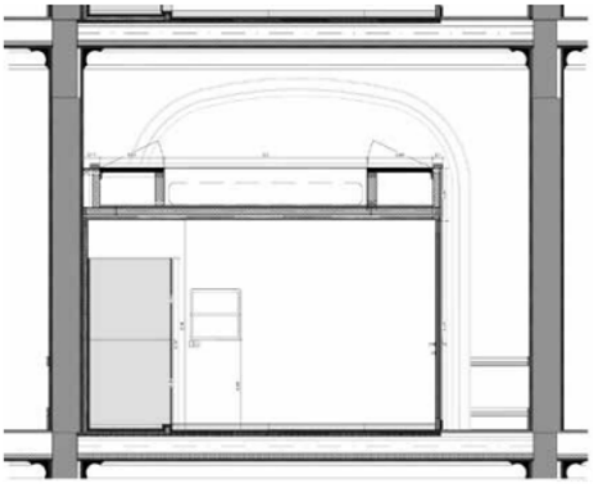


Fig. 61 – Corte com representação do modulo

A intervenção combina técnicas tradicionais e tecnologias atuais. A estrutura original foi restaurada e reforçada através de pórticos metálicos e novas vigas que suportam a nova claraboia e os mezaninos. A cobertura foi inteiramente reconstruída com perfis metálicos e painéis sanduíche revestidos de zinco, recuperando a forma original.

Fig. 62 – Construção na obra



A materialidade foi tratada com extremo cuidado. As fachadas foram restauradas, reintegrando elementos de pedra e argamassa, as caixilharias de alumínio dos anos 1960 foram substituídas por madeira e as cores originais foram recuperadas por análises laboratoriais. Internamente, as novas caixilharias com vidro duplo garantem conforto térmico e acústico, e o átrio central foi protegido com uma segunda caixilharia corta-fogo.



Fig. 63 – Restauro da fachada



Fig. 64 – corredor comum

Espacialmente, o projeto do Menos é Mais revela um equilíbrio notável entre preservação e atualização, memória e funcionalidade. O vazio central volta a ser o coração luminoso do edifício, enquanto as habitações, organizadas em torno dele, reinterpretam a racionalidade original sob a ótica contemporânea da reabilitação modular e reversível. O edifício "A Nacional" é, assim, exemplo de como uma intervenção num edifício através de sistemas modulares pode restituir a coerência arquitetónica de uma obra histórica, transformando-a num espaço habitável, atual e tecnicamente e sofisticado.

3.2.2 O modulo

A transformação para uso habitacional exigia uma estratégia que permitisse instalar programas domésticos completos sem alterar a estrutura original Nesse contexto, surgiu o módulo pré fabricado que é uma peça autônoma, totalmente feita de madeira, inserida em cada unidade habitacional, que concentra um volume compacto contendo as infraestruturas técnicas, áreas de dormir em formato de mezaninos com cama e espaço de armazenamento superior, assim, cada unidade de habitação, mesmo com pouca área, ganha amplitude e maior versatilidade, e também espaço de trabalho, armazenamento, cozinha e casa de banho.

Esses módulos vão além de simples componentes técnicos ou de mobiliário, sendo verdadeiras unidades arquitetónicas pré-fabricadas, pensadas para integrar todas as funções essenciais da habitação moderna em um espaço histórico revitalizado.



Fig. 65 – Imagem 3d do interior da habitação

Cada módulo foi pré-fabricado em oficina, utilizando sistemas de carpintaria de alta precisão, e posteriormente montado no local. A madeira foi o material escolhido para os módulos pois é um material leve, renovável e de montagem limpa, garantindo uma intervenção reversível e sustentável, adequada a um edifício com valor patrimonial. A estrutura do módulo é feita através de um esqueleto em madeira e aço e painéis de contraplacado, formando as paredes e os pisos do módulo. O acabamento mantém tons naturais, reforçando a sensação de calor, textura e continuidade material.



Fig. 66 – Maquete do modulo



Fig. 67 – Estrutura do modulo



Fig. 68 – Construção do modulo



Fig. 69 – Construção do modulo

Essencialmente, a madeira não é apenas um material de construção, mas também um mediador simbólico entre o antigo e o novo. Enquanto o edifício original se manifesta através de pedra e o estuque, o módulo traz uma presença mais íntima e orgânica, associada ao âmbito doméstico. O contraste entre a materialidade densa da pré-existência e a leveza tátil dos módulos intensifica a dualidade entre permanência e modernidade, entre a solidez do edifício e a flexibilidade do novo uso.

Espacialmente, os módulos funcionam como volumes autoportantes, estrategicamente colocados no interior de cada habitação, de modo a organizar o espaço sem fragmentá-lo. Formalmente, o módulo é composto por superfícies curvas e linhas contínuas, o que permite uma transição fluida entre zonas de uso e evita compartimentações rígidas. Nas unidades do piso 4 as unidades de habitação adotam uma tipologia T2 duplex, aproveitando o pé-direito alto do edifício.



Fig. 70 – Imagem 3d do interior da habitação

Outro ponto importante do módulo é que ele atua como um núcleo técnico centralizado, conectando redes de infraestrutura como água, eletricidade e ventilação, de forma compacta e de fácil acesso. Esta centralização técnica facilita a manutenção e, mais importante, é a possibilidade de reduzir o impacto nas paredes e pisos originais, assegurando a reversibilidade da intervenção, pois a escolha do sistema modular foi pensada para ser removido ou substituído sem afetar a estrutura do edifício, demonstrando uma clara preocupação com a sustentabilidade e o respeito à pré-existência.

"Perante este valor da pré-existência, o projeto atual aposta no desenho cirúrgico das infraestruturas - o que é fixo na mudança - introduzindo flexibilidade e reversibilidade programática. Uma atualização dos usos pela infraestruturação, um retomar contemporâneo do desenho original. A atualização programática de escritórios para habitação consegue-se num reajuste da compartimentação interior. Respeitando a lógica de planta repetitiva, propõem-se núcleos de serviços aprumados onde se concentram cirurgicamente todas as infraestruturas necessárias." (Menos é Mais Arquitetos, n.d.)[28]

O módulo através da uniformidade de cores e da continuidade das superfícies proporciona um espaço tranquilo e bem iluminado. A dualidade entre escala e função caracteriza a abordagem do projeto Menos é Mais, que utiliza a pré-fabricação como uma ferramenta para humanizar a reabilitação.

28. Menos é Mais Arquitectos. (n.d.). *A Nacional, Aliados – Porto*. Retrieved October 21, 2025, from https://www.menosemais.com/conteudo/a-nacional-aliados

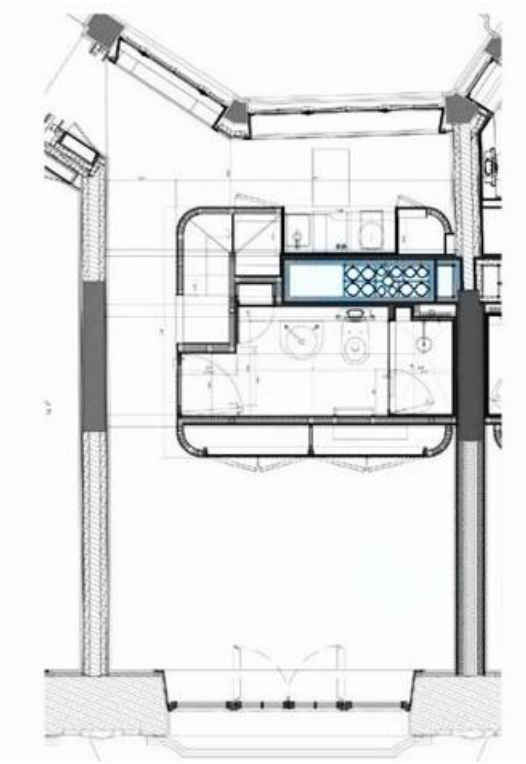


Fig. 71 – Modulo com a representação da corete



Fig. 72 – O modulo

3.3. Loft Buiksloterham, SOME architects



Localizado na zona norte de Amesterdão, em uma área que era anteriormente industrial e que está a ser transformada em um bairro residencial contemporâneo. O Loft Buiksloterham foi concluído em 2016. O apartamento faz parte de um bloco projetado pelo estúdio SOME Architects, em colaboração com o designer de mobiliário Paul Timmer. Esse projeto faz parte de um conjunto habitacional maior, criado para atender à demanda crescente por tipologias compactas e flexíveis no cenário urbano holandês.

O loft foi planeado especificamente para uma jovem residente, que faz parte de uma família que ocupa diferentes unidades no mesmo prédio. O apartamento tem 45 m² de área útil e 3,20 m de pé-direito livre, o apartamento é um exemplo de otimização espacial, onde cada metro quadrado é aproveitado com soluções inovadoras de funcionalidade. O principal desafio foi equilibrar conforto, privacidade e eficiência em um espaço



Fig. 73 – Interior do loft

3.3.1 Análise espacial

Criado como resposta ao desafio da habitação compacta contemporânea, o Loft Buiksloterham apresenta uma abordagem focada na eficiência espacial, aproveitando cada centímetro por meio de soluções funcionais e flexíveis. A Sua localização numa antiga zona industrial em reabilitação.



Fig. 74 – Zona da entrada da habitação

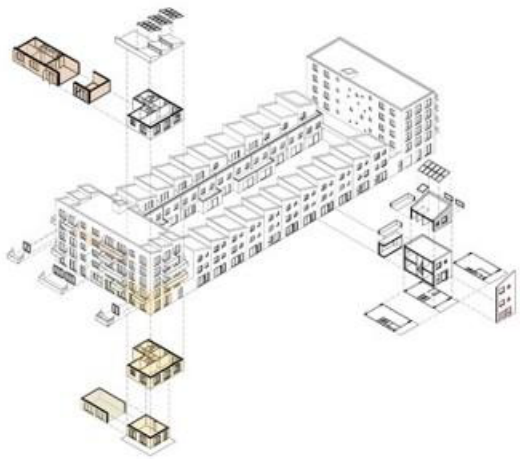


Fig. 75 – Axonometria com diferentes tipos de habitação presentes no edifico

A organização do espaço no loft segue uma lógica linear, em que a disposição dos ambientes acompanha a profundidade do apartamento. A fachada frontal, que recebe mais luz natural, abriga as funções sociais como a cozinha, área de refeições e área de estar que precisam de iluminação e ligação ao exterior. À medida que se avança para o interior, as funções da habitação tornam-se mais privadas, chegando à instalação sanitária e a zona de dormir que se encontra na parte superior do modulo. Essa gradação clara entre espaço público e privado facilita uma leitura intuitiva e funcional do apartamento.

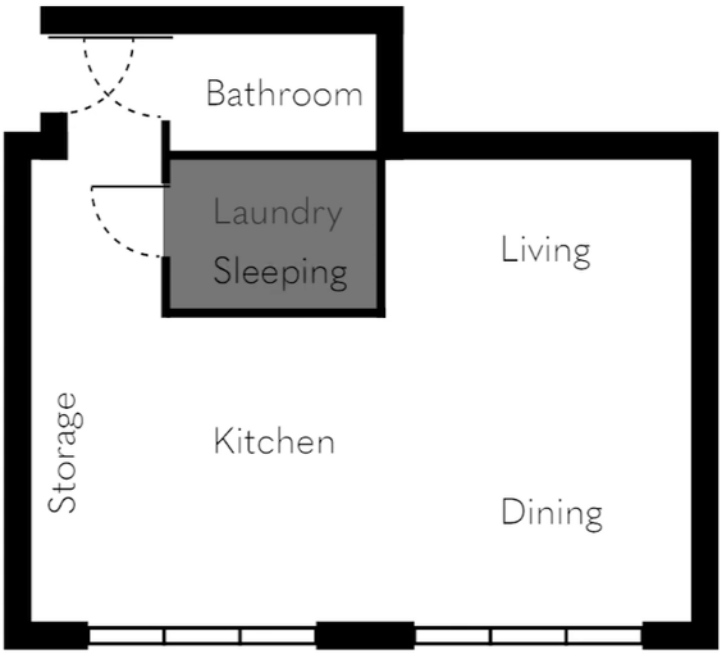


Fig. 76 – Planta esquemática com as zonas

O aproveitamento da altura foi um aspeto relevante, pois o apartamento conta com um pé-direito elevado, de 3,20 metros. Assim em vez de criar um espaço unicamente horizontal, os arquitetos exploraram a dimensão vertical, criando um mezanino de dormir acima do núcleo central. Esta é uma solução vantajosa pois não só aumenta a superfície útil, mas também liberta a planta térrea para a convivência diária, garantindo privacidade na área de descanso. O mezanino, acessível por uma escada cuidadosamente integrada, faz o apartamento funcionar em duas camadas complementares, otimizando a eficiência espacial.

A plataforma central da sala, que possui espaço de armazenamento embutido e atua como elemento de transição entre as áreas residenciais. Essa solução híbrida, que combina piso, mobiliário e armazenamento, demonstra a procura por versatilidade em um espaço pequeno. Além disso, a continuidade de materiais e cores, especialmente a madeira clara e superfícies brancas , reforça a sensação de amplitude.

A espacialidade do loft equilibra racionalidade e conforto. A organização é clara, a otimização da altura e a incorporação de um modulo que incorpora varias funções revela uma abordagem que vai além da eficiência, criando um ambiente habitável, acolhedor e compatível com as exigências da vida urbana moderna. Este projeto mostra como é possível integrar, em uma superfície reduzida, um conjunto completo de funções residenciais, transformando limitações em oportunidades de inovação na arquitetura.



Fig. 77 - Planta



Fig. 78 – O modulo e o acesso a zona de dormir



Fig. 79 – O modulo e a casa de banho

3.3.2 O módulo

A peça central do Loft Buiksloterham, o módulo em madeira, foi desenvolvido em parceria com o designer de mobiliário Paul Timmer. Este elemento é o verdadeiro coração do apartamento e representa a principal manifestação da lógica modular aplicada ao interior. Este elemento, feito de madeira contraplacada, foi projetado como uma estrutura que combina múltiplas funções, otimizando a organização do programa habitacional. Funciona como um bloco compacto que integra zona de dormir, casa de banho, armazenamento e zonas técnicas. Na sua base, encontram-se a cozinha totalmente equipada e o acesso ao WC, discretamente integrado através de portas revestidas no mesmo material, criando continuidade visual.

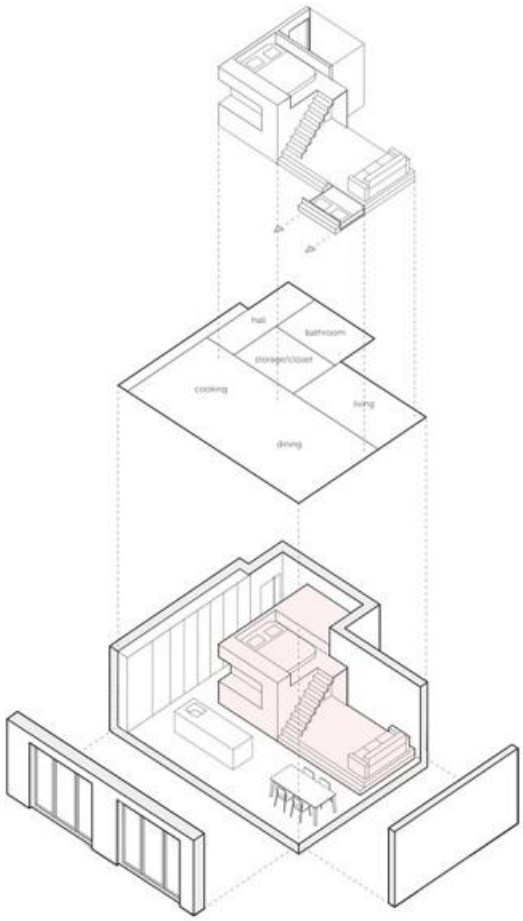


Fig. 80 – Axonometria

A escada que leva ao mezanino de dormir conecta-se à grelha modular de contraplacado, quase como uma extensão do modulo. O espaço superior, destinado à cama de casal, aproveita a altura do pé-direito para oferecer conforto sem perder privacidade, reforçando a sobreposição de funções em um espaço compacto.

A grelha de painéis em contraplacado, visível em todo o perímetro do módulo, confere unidade estética e ritmo visual ao conjunto. Em termos construtivos, o módulo foi construído com precisão, pois todas as peças foram cortadas com máquinas de tecnologia CNC para cortes limpos e montagens justas. A estrutura do modulo é em madeira criando suportes verticais e horizontais que depois é revestido com placas de madeira de forma modular. Esta malha modular representa uma abordagem construtiva racional e repetitiva, próxima da lógica industrial, mas aplicada ao contexto residencial.

O material utilizado, a madeira, tem tons claros, o que reforça o conforto e a sensação de calor, contrastando com a escala urbana do edifício e tornando o interior mais acolhedor.



Fig. 81 – Construção do módulo



Fig. 82 – Construção do módulo

Outro aspeto importante é a versatilidade funcional do módulo. Além da cozinha e da área de dormir, ele inclui armazenamento oculto em pontos estratégicos, como gavetões sob a plataforma e armários embutidos nas laterais, permitindo guardar equipamentos e objetos cotidianos sem comprometer a limpeza visual do espaço. Essa multifuncionalidade aproxima o módulo de um "mobiliário habitável", onde cada centímetro é aproveitado para atender às demandas de uma habitação de espaço reduzido.

Um pormenor que se destaca no módulo são as arestas suavizadas e os cantos chanfrados, o que reforça o seu carácter escultórico, distinguindo-o do espaço ao redor e tornando-o o elemento central do loft. Assim, o módulo não é apenas uma solução funcional, mas também uma peça de design que transforma a habitação em uma experiência arquitetónica singular.

"he single unit consists of the bedroom, bathroom, and some storage inside. But it's a piece of furniture. There's a pretty significant grid as tiles of the plywood. On the outside it goes all grey around. We choose the plywood material for its color and texture. It's nice and light, durable, and it gives a good warm feeling to the apartment." (Timmer, 2020)[29]

29. Timmer, P. (2020, November 12). Loft Buiksloterham Amsterdam – 50sqm/538sqft apartment designed by Paul Timmer [Video]. Never Too Small. https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam

3.4. Análise Comparativa

Analisando os três projetos, podemos concluir que Lóios (OODA), A Nacional (Menos é Mais) e Loft Buiksloterham (SOME architects) partilham uma reflexão comum sobre a incorporação de sistemas modulares na reabilitação arquitetónica, embora tenham abordagens variadas. Nos Lóios e no edificio A Nacional, o módulo atua como um núcleo técnico pré-fabricado, racional e fácil de replicar, que organiza pequenas habitações sem modificar a estrutura existente., sendo introduzido em edifícios histórico de grande valor simbólico. No Loft Buiksloterham, o módulo é levado à escala do espaço em si pois é um objeto multifuncional.



Fig. 83 -Interior dos 3 casos de estudo

Tabela Comparativa dos Casos de Estudo

Critério	Lóios / OODA	A Nacional / Menos é Mais	Loft Buiksloterham / SOME Architects
Localização	Porto, Portugal	Porto, Portugal	Amesterdão, Países Baixos
Ano da intervenção	2014	2018–2024	2018
Uso original	Edifício habitacional histórico	Sede de companhia de seguros (Marques da Silva)	Espaço comercial
Uso atual	Habitação temporária (estúdios)	Habitação permanente	Loft unifamiliar
Estratégia principal	Inserção de módulo técnico pré-fabricado e reabilitação integral	Reabilitação integral com módulos de madeira habitáveis	Conversão de loja em habitação com módulo central multifuncional
Material principal do módulo	Aço leve, fibrocimento e madeira	Madeira maciça e contraplacada	Madeira de bétula e Corian
Escala de aplicação	Repetição em 16 frações	Aplicação em 20 frações	Aplicação única

3.5. Sistematização e Contribuições para o Projeto

A análise dos casos de estudo foi fundamental para a realização do projeto de quinto ano e também para reforçar os princípios usados no projeto, ajudando a entender na prática como a construção modular se relaciona com a reabilitação arquitetónica.

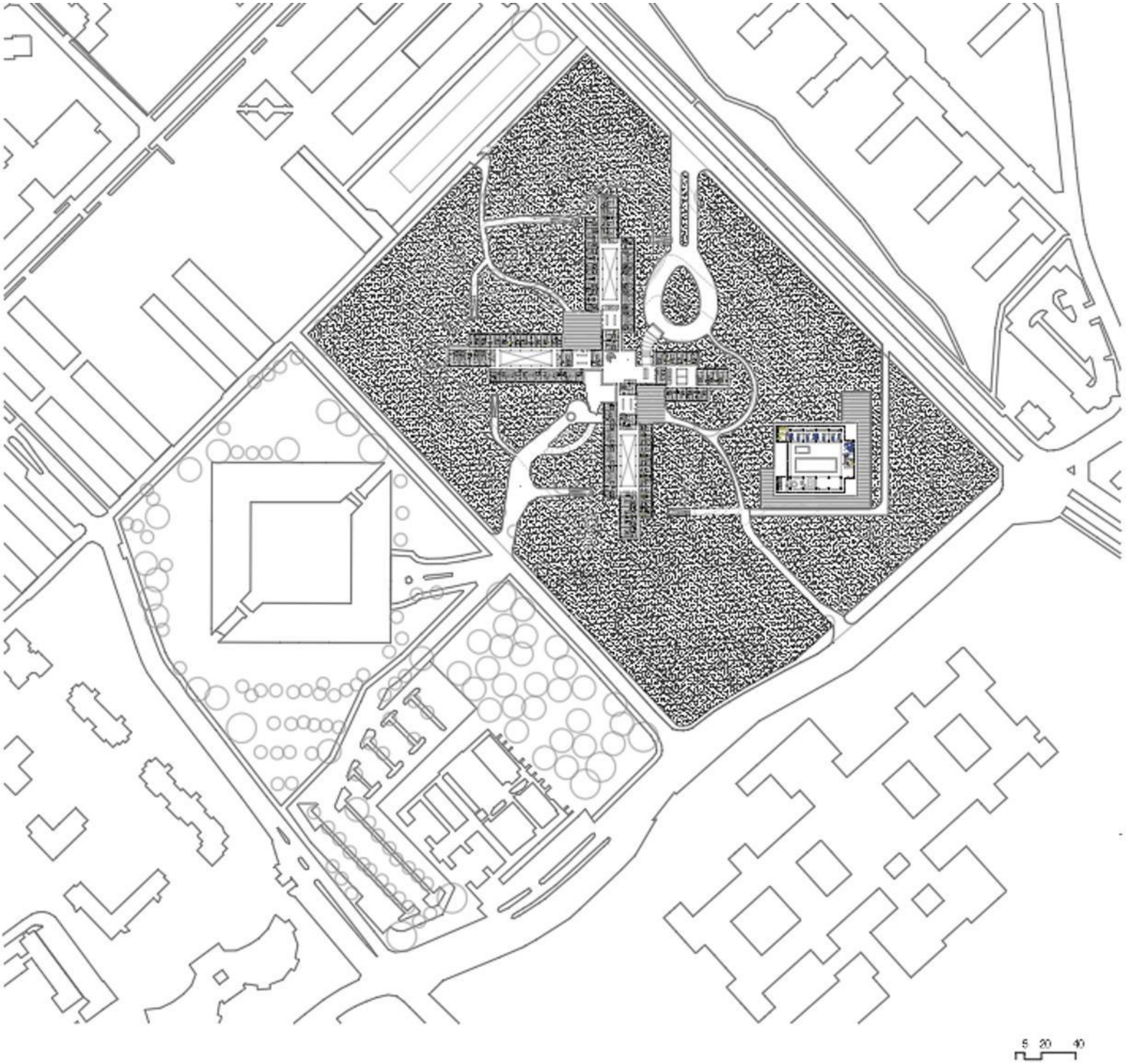
O projeto dos Lóios e a reabilitação do edifício A Nacional destacam-se pela integração de módulos pré-fabricados em edifícios históricos e isto demonstra como a modularidade e utilização de elementos pré-fabricados podem coexistir com estruturas antigas, preservando seu valor patrimonial. No projeto Loios, um módulo multifuncional central foi usado como referência para a organização espacial, onde a habitação é concebida como um conjunto de células adaptáveis às necessidades do utilizador.

O edifício A Nacional, destacou a importância da relação entre o antigo e o novo. Sua clareza construtiva e precisão material demonstraram que é possível atualizar edifícios de alto valor histórico aos usos dos dias de hoje através de soluções pré-fabricadas reversíveis, que respeitam a autenticidade do espaço original. O edifício A Nacional, tal como o edifício Terzzo Palazzo Uffici, era originalmente um edifício de escritórios o que foi também um ponto que destacou a importância de reconfigurar este tipo de edifícios em habitação.

Por fim, o Loft Buiksloterham, do estúdio SOME Architects, destacou o potencial da construção modular como sistema estrutural completo e sustentável. A utilização de madeira e a organização flexível do espaço mostram que os módulos podem gerar ambientes versáteis e eficientes.

Resumindo, esses três estudos de caso contribuíram para uma metodologia de projeto baseada na introdução de sistemas modulares, sustentabilidade e reabilitação como ato de regeneração urbana. A combinação destas referências resultou em um projeto que procura responder às exigências atuais de flexibilidade, circularidade, eficiência na construção, reafirmando a relevância da construção modular como um sistema para uma arquitetura do futuro.

4. PROJETO V ANO


5 20 40

4.1 Caracterização do projeto

O projeto proposto na cadeira de projeto do quinto ano tem como objetivo transformar esta estrutura abandonada em um edifício residencial, com foco em soluções habitacionais acessíveis e não convencionais. O edifício a ser recuperado está localizado em Milão, Itália, e é conhecido como Terzo Pallazo Uffici. O projeto foi elaborado pelo arquiteto italiano Franco Albini e construído entre 1969 e 1974.

Este edifício foi projetado para servir como sede de uma empresa, sendo de grandes dimensões e contendo todas as áreas essenciais, como escritórios, salas de reuniões e outros espaços necessários. A estrutura é composta por um sistema modular de metal com lajes colaborantes. A fachada também é modular, formada por dois elementos, peças de fibra de vidro vermelha, que envolvem o sistema de ar condicionado e a caixilharia de alumínio, formando juntos um módulo de tamanho compatível com os vãos estruturais, o que facilita sua montagem.

"Gli elementi del rivestimento di facciata, modulati secondo le dimensioni delle campate strutturali,sono costituiti da carenature in resina di poliestere rinforzato in fibra di vetro e hanno la funzione di racchiudere e proteggere le canalizzazionidell'impianto di climatizzazione, posizionato all'esterno per una piu agevole manutenzione.L'impiego della struttura metallica e it sistema costruttivo della facciata hanno permesso di portare a termine i lavori di costruzione del Terzo in soli venti mesi." (Albini, Helg, Piva, & Albini, n.d., p. 39).[30]

Percebemos que o arquiteto Franco Albini projetou este edifício usando o sistema modular. Foi graças à estrutura metálica e à fachada modular que a construção pôde ser concluída em apenas 20 meses.

30. Albini, F., Helg, F., Piva, A., & Albini, M. (s.d.). Metanopoli – Attualità di un'idea (estratto). Snam Progetti.



Fig. 84 – Terzo Palazzo Uffici



Fig. 85 – Terzo Palazzo Uffici

4.2 Organização espacial

Um dos principais desafios em transformar este edifício em habitação era a sua grande escala, o que dificultava a gestão das áreas, e também o controle de luz natural nas habitações. Para permitir a inclusão de apartamentos, será necessário realizar alterações estruturais. O projeto de reabilitação prevê a introdução de três pátios centrais nos braços mais extensos do edifício. Estes pátios asseguram uma entrada de luz natural nas zonas interiores, especialmente no núcleo central, onde, sem estes pátios, a iluminação seria inexistente.

Originalmente, a organização espacial do edifício incluía muitos compartimentos e divisões diferentes em cada piso pois era um edifício idealizado para servir de sede de uma empresa. Para adaptar esse espaço para uso residencial, todas essas paredes precisarão de ser demolidas, pois a nova distribuição deve ser mais lógica e simples.

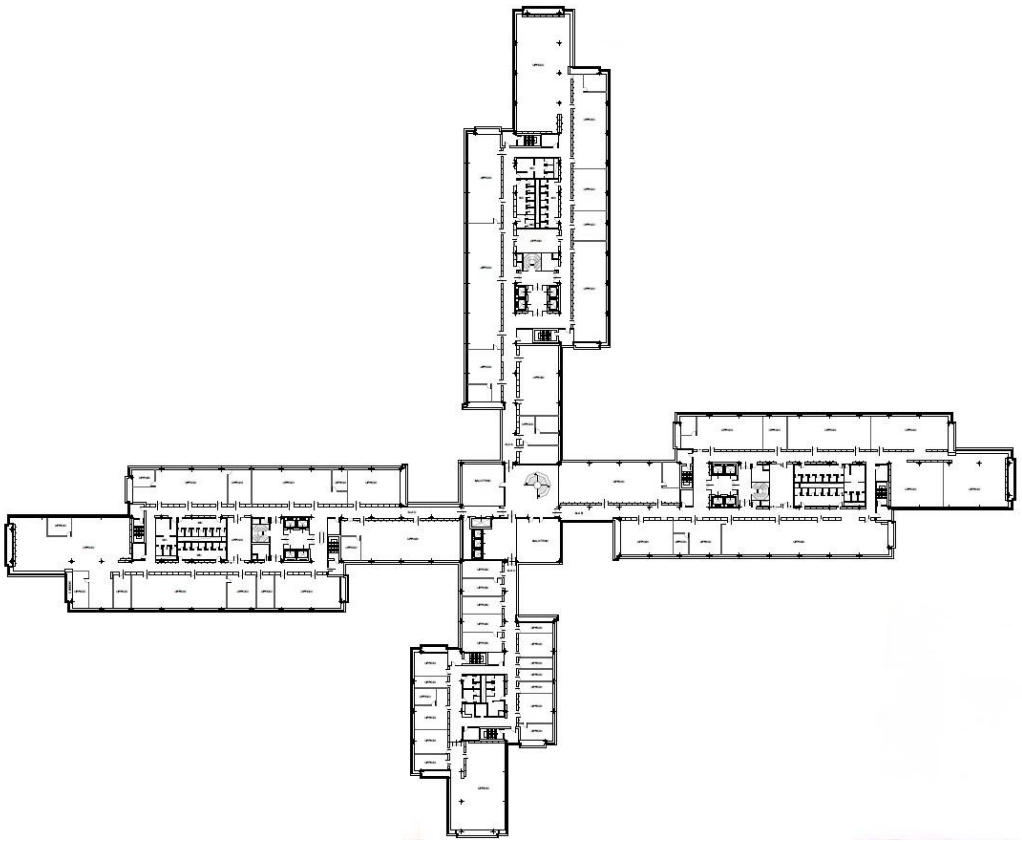


Fig. 86 – Planta do piso 1 original



Fig. 87 – Interior do edifício



Fig. 88 – Interior do edifício

A reabilitação do edifício Terzo Palazzo Uffici, em Milão, adotou uma lógica de distribuição equilibrada e de fácil compreensão, priorizando circulação clara e acesso independente a cada setor. Com quatro pisos acima do solo e um subterrâneo, o layout em cruz estabelece as principais direções de circulação e distribuição funcional, facilitando a leitura do espaço.

Cada braço tem uma entrada principal, sendo assim, quatro acessos independentes que levam a halls de entrada nas extremidades do piso térreo. A partir desses halls, os usuários direcionam-se às habitações, tendo ligação direta às unidades de habitação localizadas no piso térreo.

A circulação horizontal é organizada por dois corredores laterais em cada braço que se encontram nas extremidades de cada braço, que funcionam como galerias de acesso aos apartamentos. Os acessos verticais, caixas de escadas e elevadores que estão localizados nas extremidades de cada braço garantem uma distribuição eficiente e uniforme em todos os pisos.

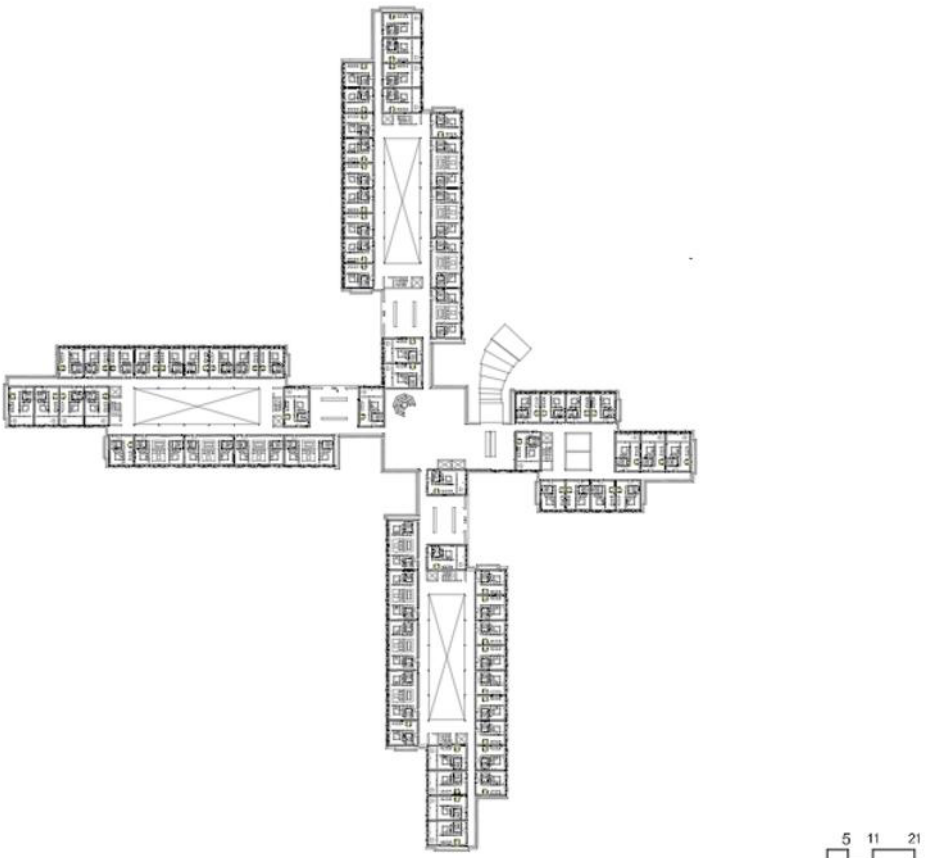


Fig. 89 – Planta piso 0

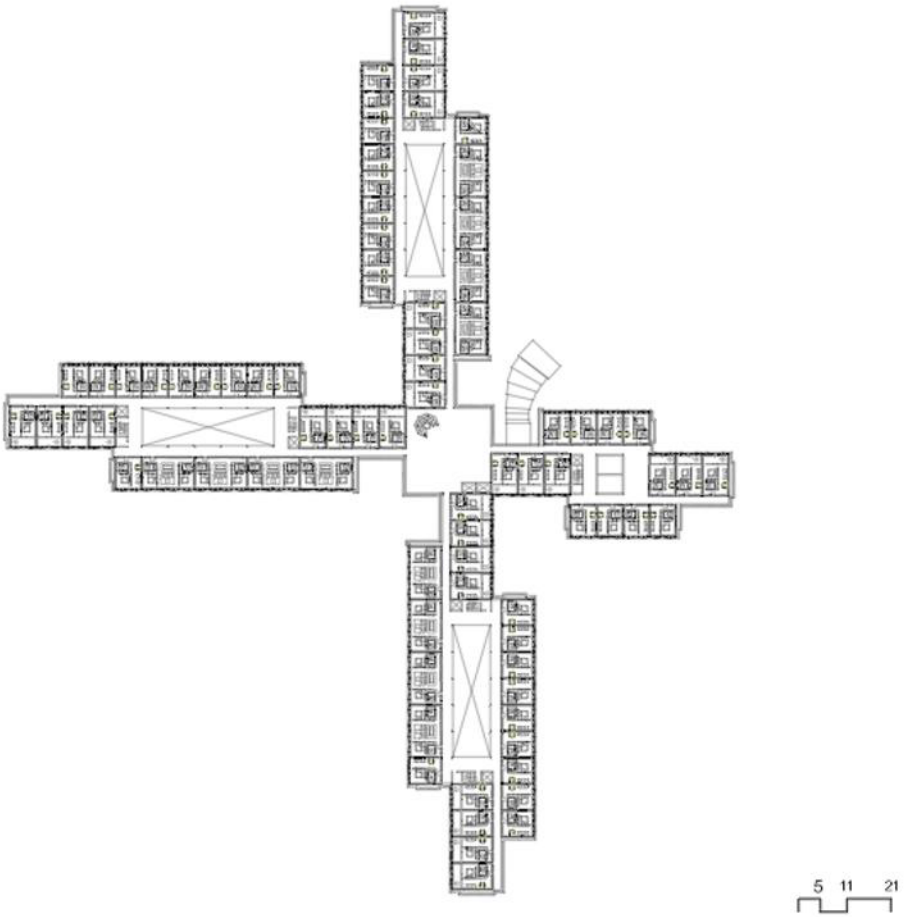


Fig. 90 – Planta do piso tipo

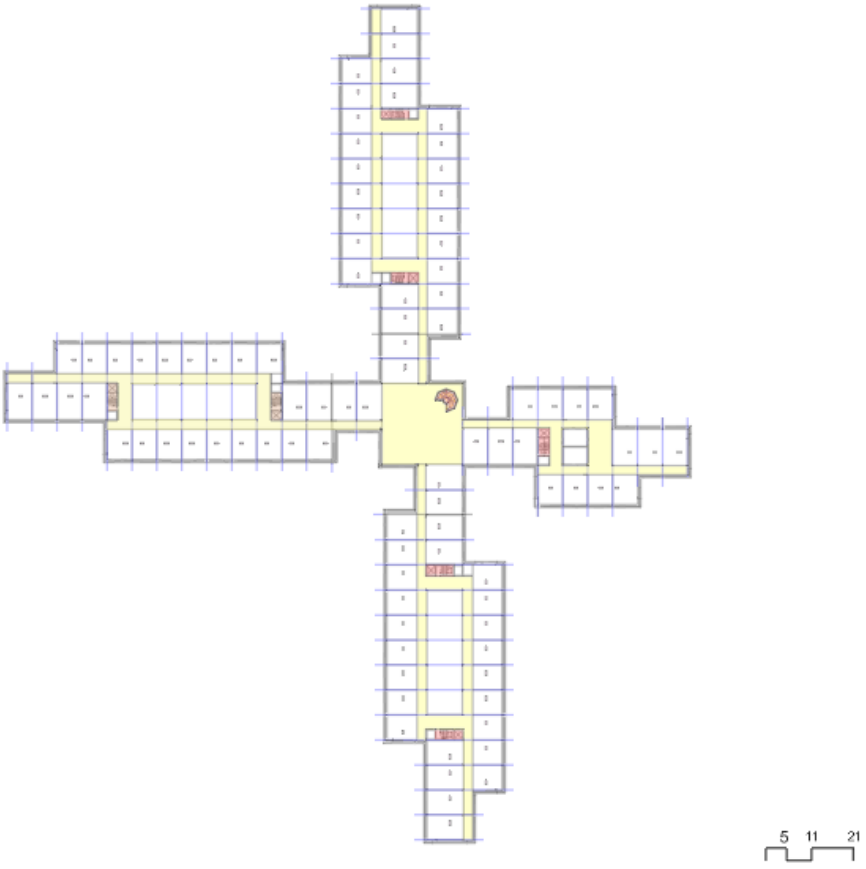


Fig. 91 – Planta esquemática,

No piso -1, está localizado o estacionamento, que funciona como uma extensão prática da estrutura principal. Cada braço possui sua própria entrada independente, operando como um parque autônomo, mas integrado ao sistema geral do edifício. Tendo o edifício esta configuração facilita os fluxos de entrada e saída, reduzindo a sobreposição de percursos e assegurando maior eficiência no uso do espaço subterrâneo.

O núcleo central funciona como um espaço comum acessível por uma das entradas principais. Este espaço atua tanto como zona de passagem quanto como área de convivência, servindo como ponto de encontro entre os quatro braços e como elemento que fortalece a convivência coletiva dentro do edifício.

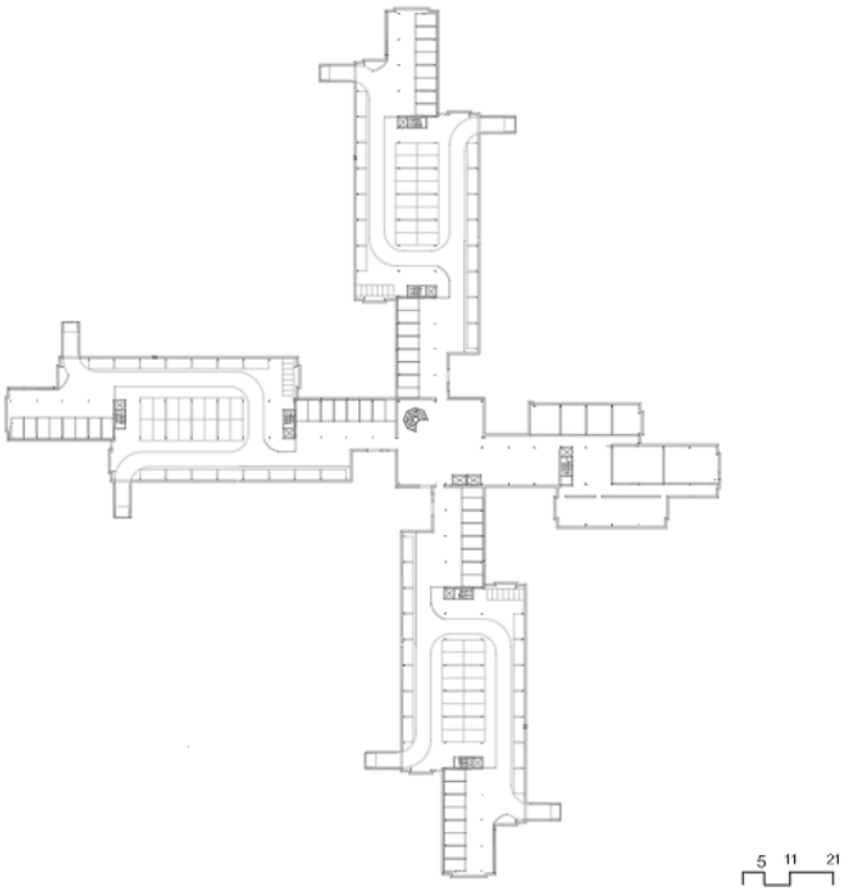


Fig. 92 – Planta piso -1

4.3 As unidades de habitação

As tipologias habitacionais consistem em apartamentos de um e dois quartos, todos seguindo um conceito modular. O edifício possui um módulo estrutural de seis metros, com a divisão dos apartamentos adaptada a esse módulo. Cada braço do edifício é dividido em duas zonas, de um lado, as habitações T1, e do outro, as habitações T2, com as extremidades contendo unidades T1. Cada unidade de habitação integra um módulo pré-fabricado que contém a casa de banho e a cozinha. A tipologia T1 possui um módulo, com 6 metros de frente, enquanto a T2 possui dois módulos, chegando a 12 metros de frente. Os acessos aos apartamentos são realizados pelo corredor da galeria central.

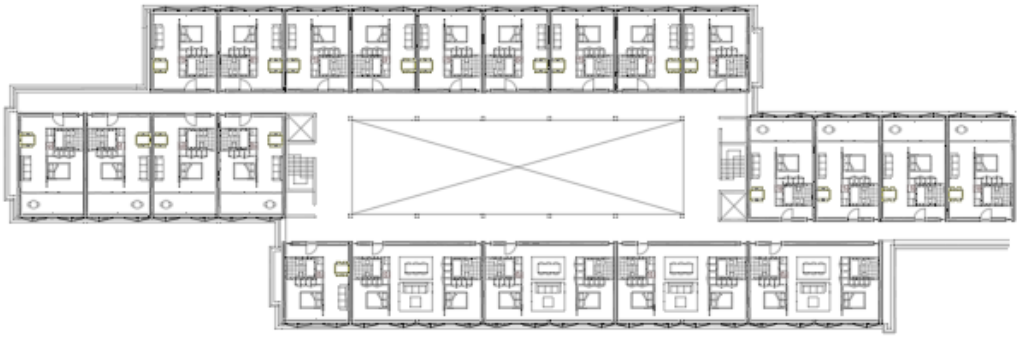


Fig. 93 – Planta de um braço

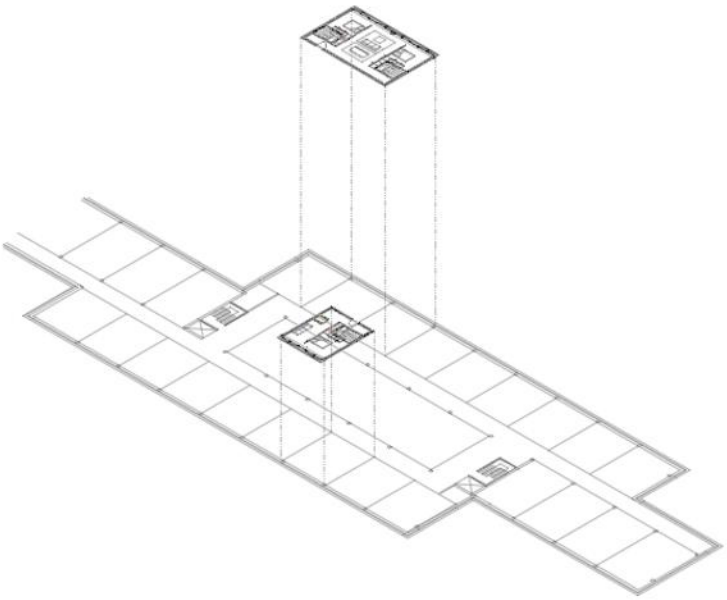


Fig. 94 – Axonometria com os dois tipos de habitação

A tipologia T1 possui dimensões de 7.35m x 6m, sendo alinhada pelo vão estrutural do edifício que é de 6 em 6 metros. Composta por três divisões distintas- sala, quarto e casa de banho- esta última com acesso tanto ao quarto quanto à área comum. As habitações T1 são divididas internamente ao "meio", formando duas áreas de convivência: a área comum, que inclui sala e cozinha, e as áreas privadas, compostas pelo quarto e pela casa de banho.



Fig. 95 – Planta T1

O T2 segue a mesma lógica, mas adiciona mais um módulo do vão estrutural, resultando numa fachada de 12 metros. A unidade de habitação T2 tem as dimensões de 7.37m x 12m. Os dois módulos são derivados de um T1, mais um espelhado, formando dois espaços privados, dois quartos e duas casas de banho, com uma zona comum no centro, que inclui sala de estar, sala de jantar e cozinha, adotando uma conceção de open space.



Fig. 96 – Planta T2

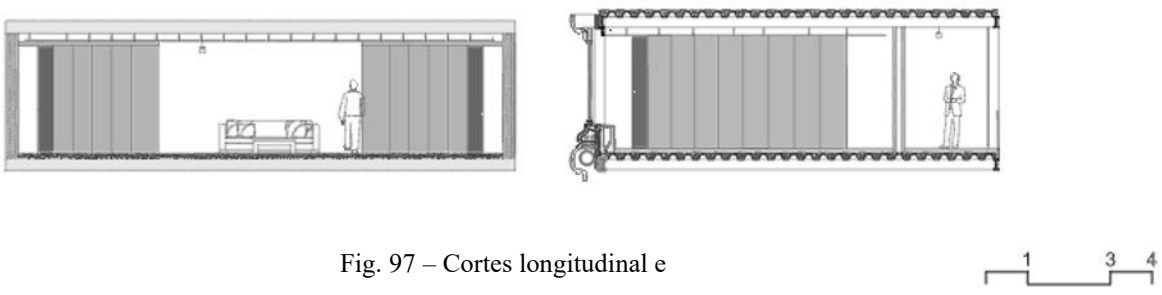


Fig. 97 – Cortes longitudinal e transversal pelo T2

4.4 O módulo

O interior das habitações é organizado com módulos que, quando conectados, formam as diversas áreas do apartamento. Esses módulos incluem a casa de banho, armários de arrumação, módulo da cozinha e módulo de paredes divisórias com portas deslizantes integradas.

O módulo principal, que é o maior, corresponde à casa de banho, com dimensões de 1,95 m x 2,71 m. Seu interior inclui uma sanita, um lavatório e uma base de duche, todos pré-instalados de fábrica. Possui dois acessos, duas faces com portas deslizantes integradas no módulo. Essa configuração permite uma entrada flexível, sendo possível ter acesso a casa de banho tanto pelo quarto (zona privada) quanto pelo corredor (zona comum). Além disso, o módulo foi projetado com uma área livre de 30 cm entre suas paredes, que, ao ser colocado corretamente na habitação, forma as conexões necessárias para a ligação das infraestruturas entre os pisos.

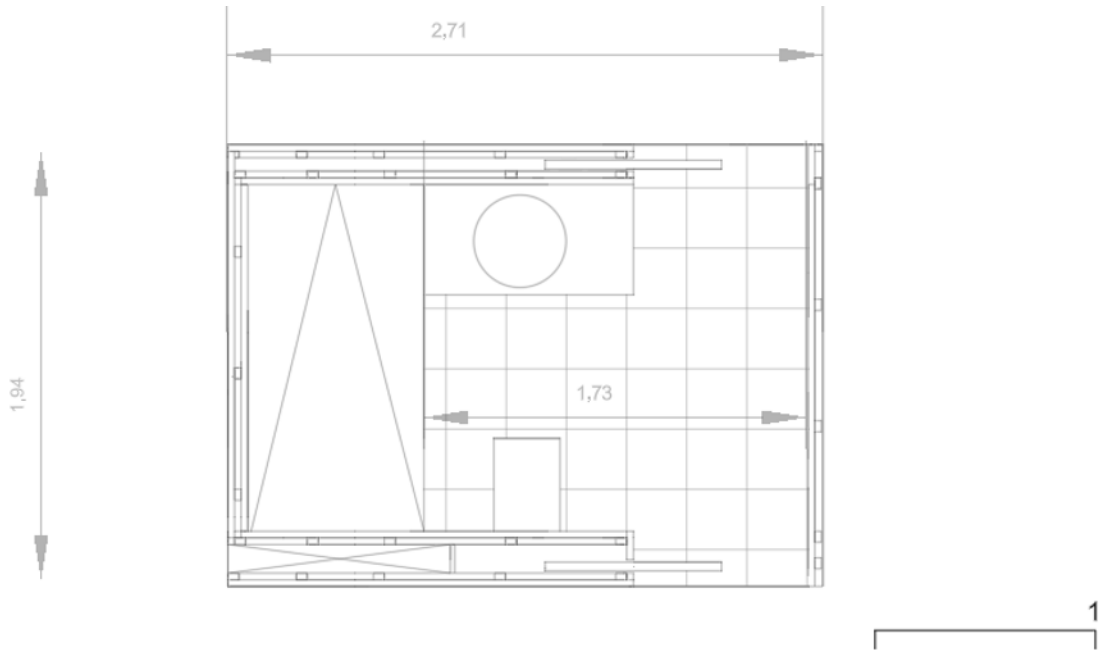


Fig. 98 – Planta do módulo da casa de banho

Os restantes módulos são instalados no interior do apartamento, já completamente montados e fixados ao módulo principal da casa de banho. Esses módulos podem ser desmontados em peças, se necessário, especialmente se houver alguma restrição durante a montagem.

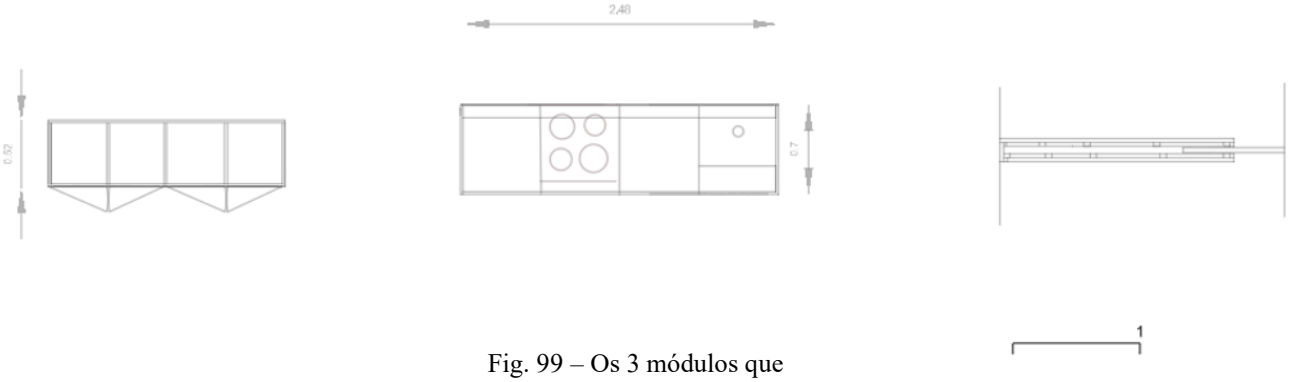


Fig. 99 – Os 3 módulos que complementam o modulo principal (armário de arrumação, cozinha, porta)

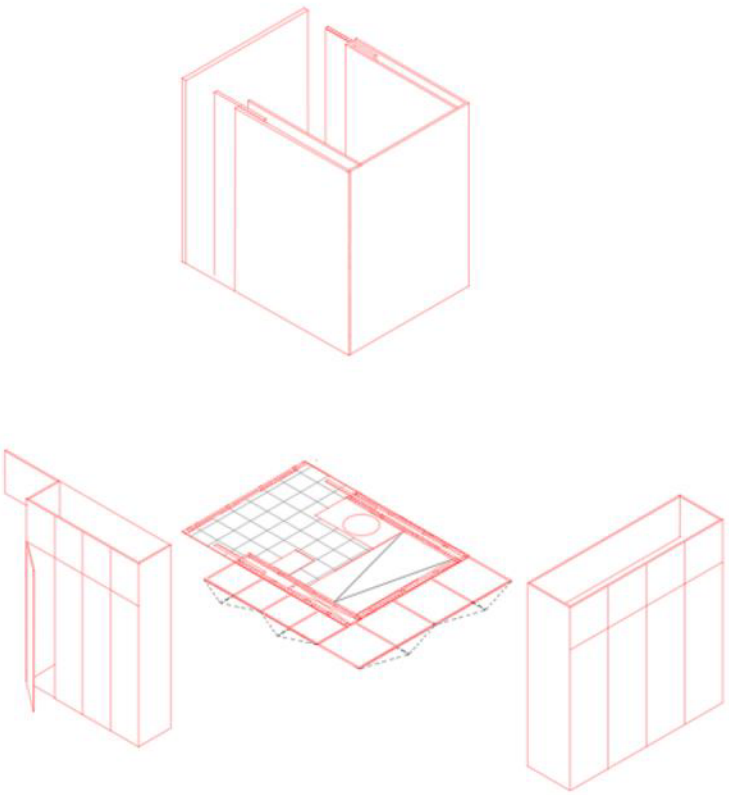


Fig. 100 – Perspetiva explodida do modulo

A estrutura é construída com um esqueleto em aço, que garante a rigidez estrutural do módulo, pois é um elemento autoportante. O módulo é revestido com painéis de madeira na parte exterior do módulo, e no interior da casa de banho é revestido com painéis de cerâmica. Integrado no módulo, já estão instaladas todas as infraestruturas essenciais, como tubos de água, esgoto e parte elétrica. Quando montado, basta conectar o sistema à rede do edifício. As junções entre as paredes e as bases (inferior e superior) são feitas com encaixes metálicos, fixados com parafusos entre a estrutura e os painéis.

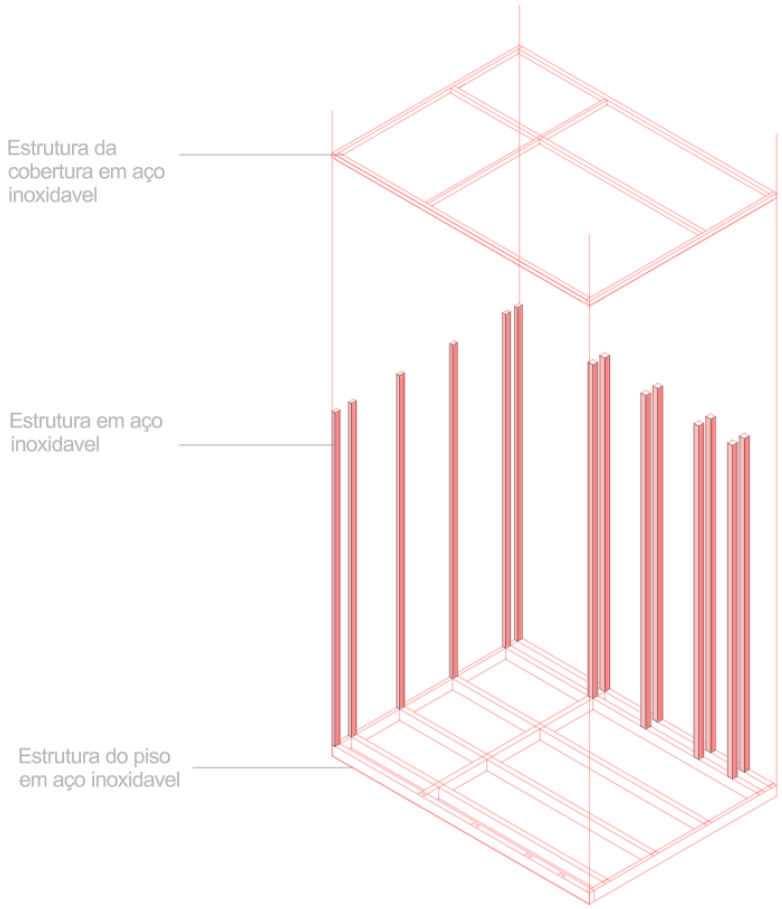


Fig. 101 – Perspetiva da estrutura do modulo

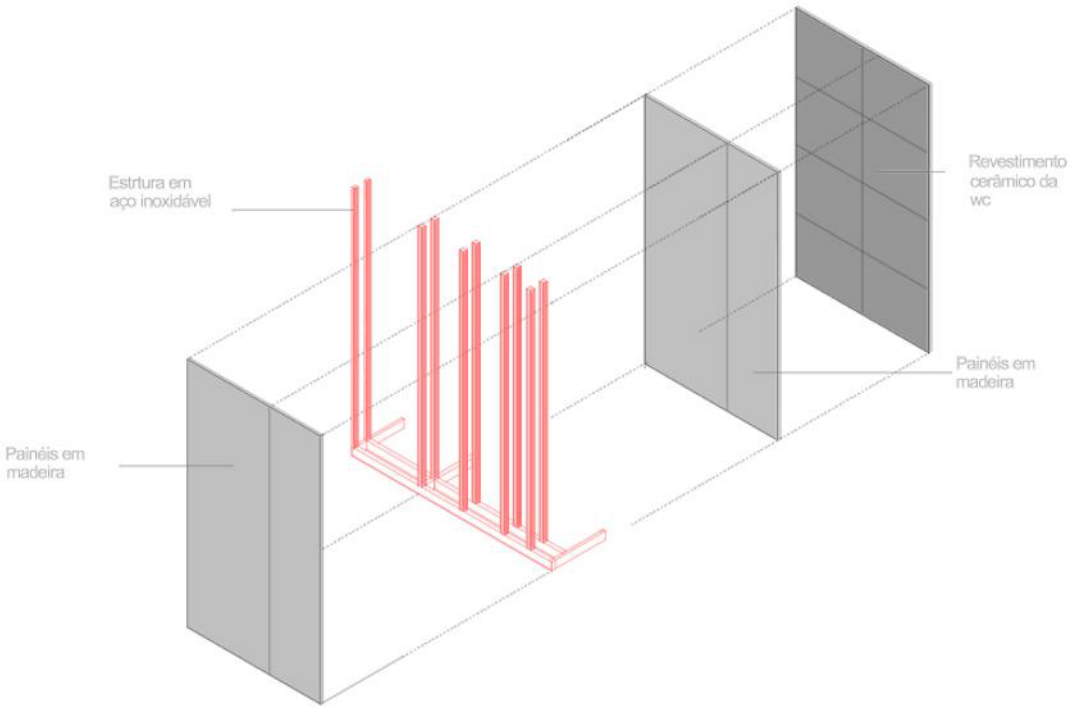


Fig. 102 – Perspetiva da
montagem do modulo

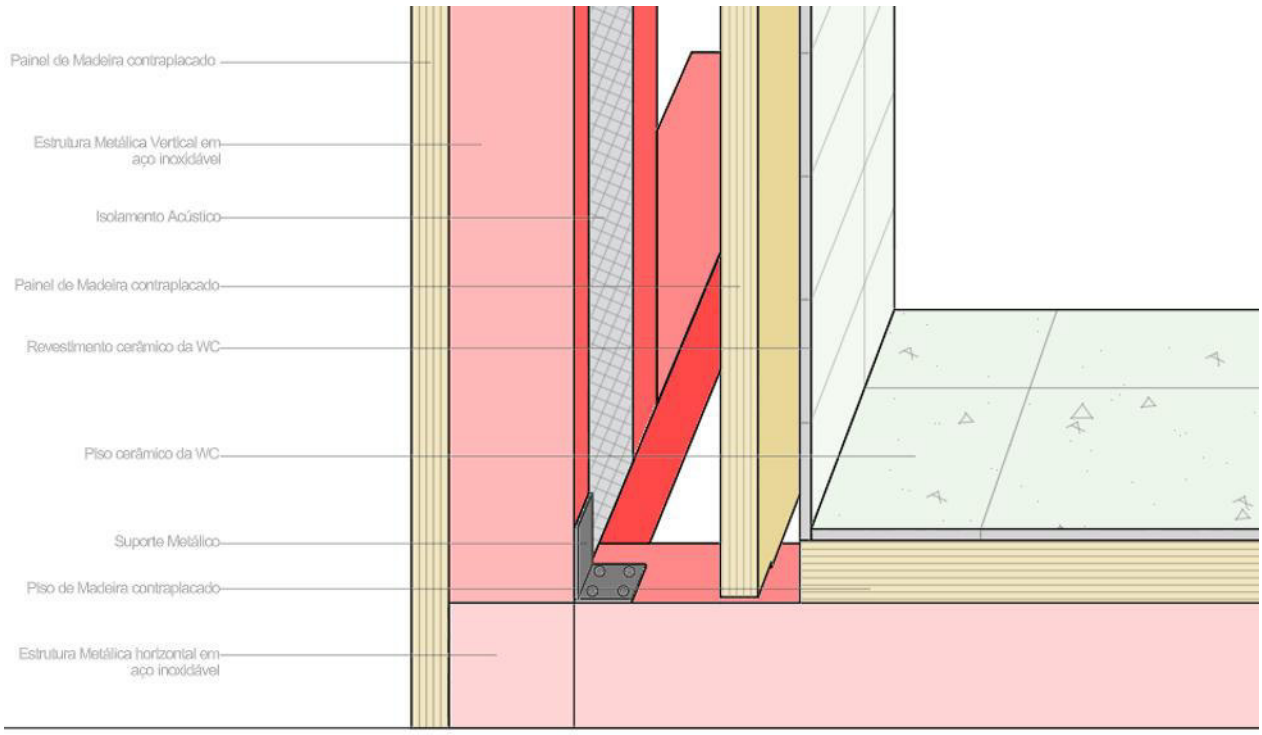


Fig. 103– Corte Construtivo

A separação entre sala e quarto é realizada por painéis pré-fabricados que se interligam. Um deles possui uma porta deslizante integrada que, quando instalada no local correto, conecta a sala aos quartos.

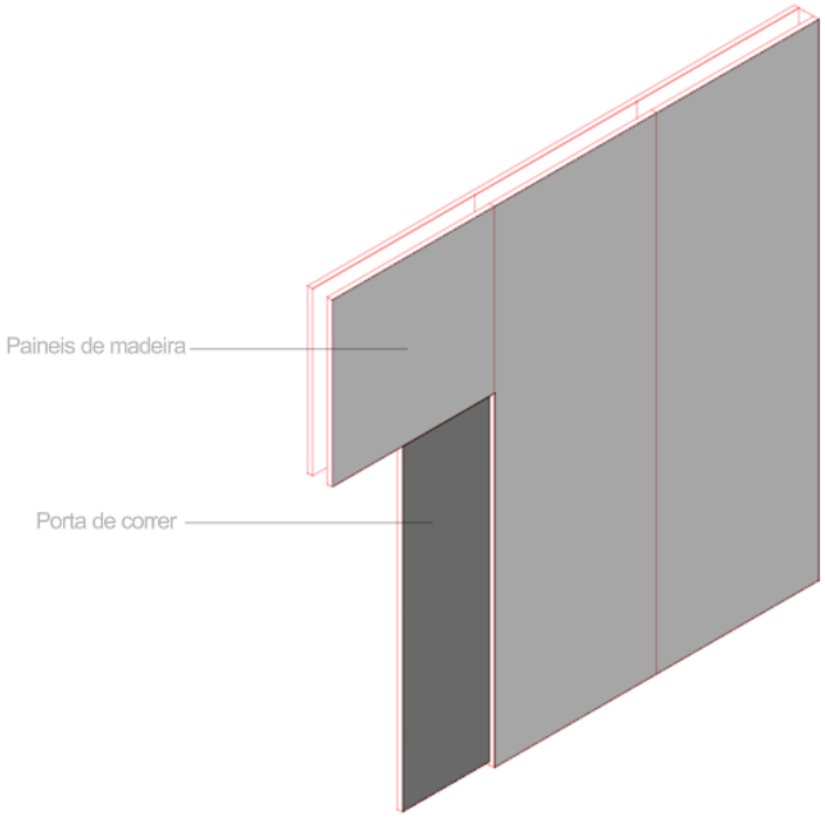


Fig. 104 – Perspetiva do modulo divisório e modulo da porta

Após a fabricação, os módulos são transportados até o local do edifício, onde são colocados com o auxílio de um guindaste que, a partir do pátio central, posiciona os módulos dentro do edifício e no piso correspondente. Dentro do edifício, os módulos são movidos manualmente até o interior das unidades de habitação. A entrada nas unidades de habitação, seja o t1 ou o t2, é planeada previamente, deixando uma abertura maior antes de fechar o perímetro de cada apartamento, que será posteriormente fechada com a porta de entrada após a instalação dos módulos.

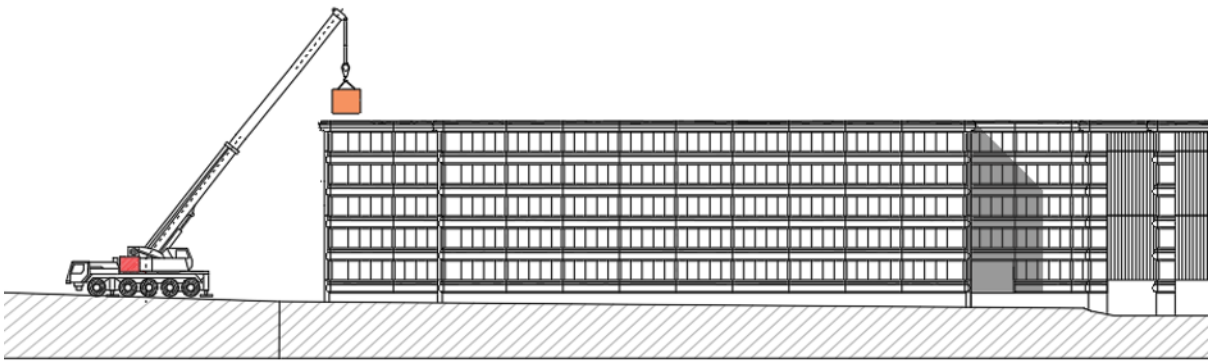


Fig. 105 – Representação da
colocação dos módulos no edifício

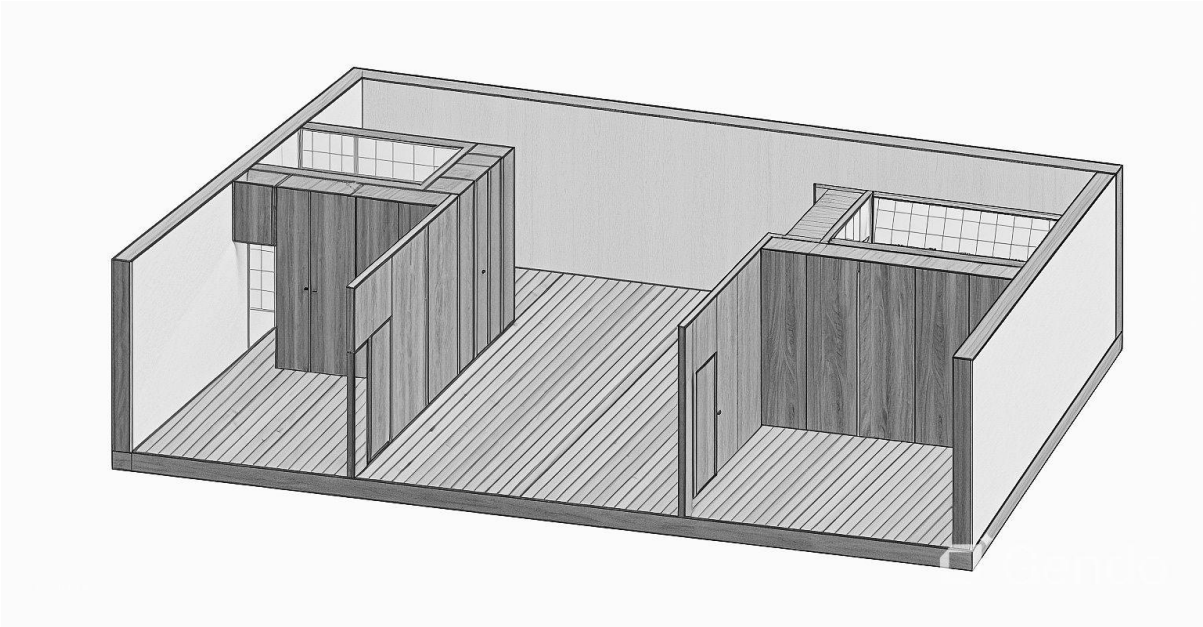


Fig. 106 – Perspetiva 3D do T2



Fig. 107 – Imagem 3D do interior do T2

5.CONCLUSÃO

Esta dissertação investigou como a construção modular pode ajudar a reabilitação arquitetónica contemporânea, explorando assim o seu papel como um sistema construtivo sustentável, eficiente e compatível com os novos paradigmas do habitar. Os resultados indicam que, além de uma simples técnica construtiva, a modularidade funciona como uma estratégia de arquitetura e construção que une tradição e inovação.

A análise teórica mostrou que, quando aplicados com rigor e devidamente pensados, os princípios da industrialização, pré-fabricação e estandardização podem otimizar processos construtivos, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade e a previsibilidade das obras. A construção modular pode ser particularmente vantajosa em reabilitações, pois permite intervenções menos invasivas e reversíveis, respeitando as estruturas existentes e ampliando o ciclo de vida do edifício.

Os casos de estudo analisados mostraram a versatilidade da introdução de módulos pré-fabricados em diferentes escalas e contextos. Também foi possível verificar que é possível integrar sistemas modulares em edifícios históricos, equilibrando desempenho técnico, conforto e valor patrimonial. Esses exemplos demonstram que a construção modular não deve ser vista como uma substituição da construção tradicional, mas sim como um complemento que amplia as possibilidades na arquitetura.

Na componente prática, o projeto desenvolvido no âmbito do quinto ano reforçou estas conclusões, ao propor a reabilitação de um edifício através da introdução de módulos pré-fabricados. O projeto demonstrou a relevância da compatibilização entre a geometria estrutural existente e a lógica modular, bem como a importância da flexibilidade espacial e da sustentabilidade material. O uso da madeira e de elementos reversíveis reafirmou o compromisso entre inovação técnica e respeito pela pré-existência.

Conclui-se, assim, que a construção modular aplicada à reabilitação arquitetónica representa um caminho promissor para uma arquitetura mais sustentável, racional e humana, ajudando também a combater os principais problemas habitacionais que existem na atualidade. A sua capacidade de adaptação às mudanças sociais e ambientais, aliada à eficiência dos processos industriais, torna-a uma resposta pertinente aos desafios contemporâneos da

habitação e da reabilitação urbana. Futuramente, a integração entre tecnologia digital, economia circular e sistemas modulares poderá potenciar ainda mais esta abordagem, promovendo uma nova cultura construtiva baseada na flexibilidade, durabilidade e responsabilidade ambiental.

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Portable cottages houses
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Primera-vivienda-prefabricada-ensamblable-de-Herbert-Manning_fig1_339241159
Fig. 2 – Baloon Framing
Fonte: https://pt.slideshare.net/slideshow/construccion-en-madera-inacap-sede-maipu-cded/282840643
Fig. 3 – Crystal Palace
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Philip_Henry_Delamotte
Fig. 4 – Estrutura Crystal Palace
Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Crystal_Palace_page_55.jpg
Fig. 5 – Casa experimental Walter Gropius
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Experimental-house-by-Walter-Gropius-for-the-Werkbund-Exhibition-in-Stuttgart-house-17_fig2_343468751
Fig. 6 – Construção da casa
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Experimental-house-by-Walter-Gropius-for-the-Werkbund-Exhibition-in-Stuttgart-house-17_fig2_343468751
Fig. 7 – Planta
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Experimental-house-by-Walter-Gropius-for-the-Werkbund-Exhibition-in-Stuttgart-house-17_fig2_343468751
Fig. 7 – Quonset Huts
Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Barrac%C3%A3o_Quonset
Fig. 8 – Lustron Houses
Fonte: https://www.tomorrow.city/lustron-homes/
Fig. 9 – Transporte das casas e plantas
Fonte: https://www.tomorrow.city/lustron-homes/
Fig. 10 – Peças da Lustro house
Fonte: http://vaumm.com/tag/transporte/
Fig. 11 – Casa Charles e Ray Eames
Fonte: https://www.sfomuseum.org/exhibitions/julius-shulman-case-study/gallery
Fig. 12 – Nakagin Capsule Tower
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/989724/demolido-e-reconstruido-a-identidade-das-replicas-na-arquitetura
Fig. 13 – Planta do edificio e axonometria do modulo
Fonte: https://www.designboom.com/architecture/kisho-kurokawa-nakagin-capsule-tower-building/

Fig. 14 – Homem vitruviano

Fonte: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-6300-893-8_10

Fig. 15 – Modulor Le Corbusier

Fonte: https://teoriarquitectura2.blogspot.com/2013/01/aula-14-os-tracados-reguladores.html

Fig. 16 – Fabricação de módulos em madeira

Fonte: https://www.naturallywood.com/wood-performance/resilience/

Fig. 17 – Betão inndustrializado

Fonte: https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2020/10/09/a-industrializacao-da-construcao-civil-no-brasil/

Fig. 18 – Packaged Houses

Fonte: https://arquitecturaviva.com/obras/packaged-house

Fig. 19 – Pormenor construtivo

Fonte: COBBERS, Arnt. 2010. Prefab Houses: Casas feitas em fábricas. K ln, Alemanha. Taschen. P.80

Fig. 20 – Walter Gropius e Konrad Wachsmann

Fonte: COBBERS, Arnt. 2010. Prefab Houses: Casas feitas em fábricas. K ln, Alemanha. Taschen. P.81

Fig. 21 – Módulos Estandarizados

Fonte: https://www.tecverde.com.br/2022/08/22/tecnologia-tecverde-aplicada-a-projetos-especiais-hospitais/

Fig. 22 – Cronograma do tempo de construção

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 23 – Comparação através de corte construtivo dos dois tipos

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 24 – Representação de módulos 3d

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 25 – 1000 m2 pré-fabricados, em Vale de Cambra

Fonte: https://summary.pt/projects/

Fig. 26 – Modulo em betão

Fonte: https://summary.pt/projects/

Fig. 27 – Representação dos módulos 2d

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 28 – Creches modulares em Lisboa,SUMMARY

Fonte: https://summary.pt/projects/

Fig. 29 – Representação dos painéis de construção da creche

Fonte: https://summary.pt/projects/

Fig. 30 – Representação do modelo hibrido

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 31 – Residência de estudantes, Casais
Fonte: https://casais.pt/montagem-da-estrutura-da-residencia-universitaria-de-valenca-chegou-ao-fim/
Fig. 32 –edifico com núcleo central de betão

Fonte: https://casais.pt/montagem-da-estrutura-da-residencia-universitaria-de-valenca-chegou-ao-fim/
Fig. 33 – Construção do núcleo
Fonte: https://casais.pt/montagem-da-estrutura-da-residencia-universitaria-de-valenca-chegou-ao-fim/
Fig. 34 – Fachada pré fabricada
Fonte: https://casais.pt/montagem-da-estrutura-da-residencia-universitaria-de-valenca-chegou-ao-fim/
Fig. 35 – Painéis de CLT

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/967275/is-mass-timber-a-good-choice-for-seismic-zones/6123e3af85144401656182b2-is-mass-timber-a-good-choice-for-seismic-zones-photo
Fig. 36 – Módulos de betão pré fabricado

Fonte: https://www.classcentral.com/course/coursera-design-of-precast-system-302603
Fig. 37 – Casa construído com LSF

Fonte: https://casapaiva.pt/lojaonline/solucoes/sistema_lsf_paineis.php
Fig. 38 – Casa de banho Pré fabricada

Fonte: https://www.elperiodicomediterraneo.com/ceramica/2023/11/21/galeria-porcelanosa-debate-futuro-arquitectura-94900411.html
Fig. 39 – Ciclo da construção modular

Fonte: imagem de autoria própria
Fig. 40 – Casa de banho modular

Fonte: https://rebuilditalia.it/it/articoli/dettaglio/categoria-5-off-site-elementi-e-moduli-integrati-non-strutturali
Fig. 41 – Fachada pré fabricada

Fonte:https://www.researchgate.net/publication/376203715_A_REVIEW_OF_THE_APPLICATION_OF_PREFABRICATED_STRUCTURES_USING_BUILDING_INFORMATION_MODELING
Fig. 42 – Interior de uma unidade de habitação

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 43 – Fachada exterior

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 44 – Plantas

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 45 – Corte transversal e longitudinal

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda

Fig. 46 – exterior do edifício

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 47 – Corte construtivo com representação do interior com os módulos

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 48 – Planta do piso 4

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 49 – Alçados e representação da estrutura do módulo

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 50 – O modulo

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 51 – Diagrama conceptual do módulo

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 52 – Cortes com a representação dos módulos

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 53 – Pátio central

Fonte: https://www.menosemais.com/conteudo/a-nacional-aliados
Fig. 54 – Exterior do edifício

Fonte: https://www.menosemais.com/conteudo/a-nacional-aliados
Fig. 55 – Galeria e pontes de acesso original

Fonte: https://observador.pt/2024/12/29/nacional-um-exemplo-contracorrente/
Fig. 56 – Planta Original com representação da zona central

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.
Fig. 57 – Pátio interno

Fonte: https://expresso.pt/economia/economia_imobiliario/2023-09-03-Edificio-historico-no-Porto-transformado-em-habitacao-de-luxo-3122d701
Fig. 58 – Planta do piso 0

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.

Fig. 59 – Planta do piso 2

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.
Fig. 60 – Planta de habitação

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.
Fig. 61 – Corte com representação do modulo

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.

Fig. 62 – Construção na obraFonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.

Fig. 63 – Restauro da fachada

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.

Fig. 64 – corredor comum

Fonte: https://www.menosemais.com/conteudo/a-nacional-aliados

Fig. 65 – Imagem 3d do interior da habitação

Fonte: https://reportugal.vidaimobiliaria.com/atualidade/reabilitacao-urbana/edificio-historico-porto-vai-dar-lugar-18-apartamentos/

Fig. 66 – Maquete do modulo

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.

Fig. 67 – Estrutura do modulo

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC.

Fig. 68 – Construção do modulo

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC

Fig. 69 – Construção do modulo

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC

Fig. 70 – Imagem 3d do interior da habitação

Fonte: https://reportugal.vidaimobiliaria.com/atualidade/reabilitacao-urbana/edificio-historico-porto-vai-dar-lugar-18-apartamentos/

Fig. 71 – Modulo com a representação da corete

Fonte: Guedes, C., & Vieira de Campos, F. (2024, abril). *Intervenção no Edifício da Nacional*. In *Cadernos d'Obra* (n.º 35, Ano XIII). Porto: FEUP/DEC

Fig. 72 – O modulo

Fonte: https://www.menosemais.com/conteudo/a-nacional-aliados

Fig. 73 – Interior do loft

Fonte: https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam

Fig. 74 – Zona da entrada da habitação

Fonte: https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam

Fig. 75 – Axonometria com diferentes tipos de habitação presentes no edifico

Fonte: https://www.archdaily.com/906864/loft-buiksloterham-heren-5-architects

Fig. 76 – Planta esquemática com as zonas

Fonte: https://www.archdaily.com/906864/loft-buiksloterham-heren-5-architects
Fig. 77 - Planta

Fonte: https://www.archdaily.com/906864/loft-buiksloterham-heren-5-architects
Fig. 78 – O modulo e o acesso a zona de dormir

Fonte: https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam
Fig. 79 – O modulo e a casa de banho

Fonte: https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam
Fig. 80 – Axonometria

Fonte: https://www.archdaily.com/906864/loft-buiksloterham-heren-5-architects
Fig. 81 – Construção do modulo

Fonte: https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam
Fig. 82 – Construção do modulo

Fonte: https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam
Fig. 83 -Interior dos 3 casos de estudo

Fonte: https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buikslotherham-amsterdam
https://reportugal.vidaimobiliaria.com/atualidade/reabilitacao-urbana/edificio-historico-porto-vai-dar-lugar-18-apartamentos/ https://www.archdaily.com.br/br/757571/loios-odda
Fig. 84 – Terzo Palazzo Ufici

Fonte: imagem de autoria própria
Fig. 85 – Terzo Palazzo Ufici

Fonte: imagem de autoria própria
Fig. 86 – Planta do piso 1 original

Fonte: Figura disponibilizada pela Fondaione Albini no enunciado do exercício de projeto 5
Fig. 87 – Interior do edifício

Fonte: Figura disponibilizada pela Fondaione Albini no enunciado do exercício de projeto 5
Fig. 88 – Interior do edifício

Fonte: Figura disponibilizada pela Fondaione Albini no enunciado do exercício de projeto 5
Fig. 89 – Planta piso 0

Fonte: imagem de autoria própria
Fig. 90 – Planta piso tipo

Fonte: imagem de autoria própria
Fig. 91 –Planta esquemática, com circulação, acessos e estrutura

Fonte: imagem de autoria própria
Fig. 92 – Planta piso 0
Fonte: imagem de autoria própria
Fig. 93 – Planta de um braço

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 94 – Axonometria com os dois tipos de habitação

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 95 – Planta T1

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 96 – Planta T2

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 97 – Cortes longitudinal e transversal pelo T2

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 98 – Planta do modulo da casa de banho

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 99 – Os 3 módulos que complementam o modulo principal (armário de arrumação, cozinha, porta)

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 100 – Perspetiva explodida do modulo

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 101 – Perspetiva da estrutura do modulo

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 102 – Perspetiva da montagem do modulo

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 103– Corte Construtivo

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 104 – Perspetiva do modulo divisório e modulo da porta

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 105 – Perspetiva do modulo divisório e modulo da porta

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 106 – Perspetiva 3D do T2

Fonte: imagem de autoria própria

Fig. 107 – Imagem 3D do interior do T2

Fonte: imagem de autoria própria

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albini, F., Helg, F., Piva, A., & Albini, M. (n.d.). Metanopoli – Attualità di un'idea (estratto). Milano: Snam Progetti.

Arqcoop. (2013). Da arquitetura vernacular à contemporânea: O iglu. Coimbra: Arqcoop.

Azevedo, N. M. C. (2016). A habitação industrial do século XX: O módulo enquanto ferramenta racional arquitetónica (Dissertação de Mestrado Integrado). Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto.

Barbosa, A. C. M. (2023). A pré-fabricação como método construtivo para uma arquitetura circular (Dissertação de Mestrado Integrado). Universidade do Minho.

Benachio, G. L. F., Freitas, M. d. C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, 260, 121046. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046

Benevolo, L. (2010). Historia de la arquitectura moderna. Barcelona: Gustavo Gili.

Brophy, V., & Lewis, J. O. (2011). A green Vitruvius: Principles and practice of sustainable architectural design. London: Earthscan.

Cao, X., Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. Journal of Cleaner Production, 109, 131–143. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120

Costa, B. S. (2022). Economia circular no setor da construção (Projeto de Mestrado). Universidade do Minho, Escola de Economia e Gestão.

Dias, A. S., & Anjos, M. F. (s.d.). Projetar sentidos: A arquitetura e a manifestação sensorial. Revista Científica FAG.

Duan, Z., Huang, Q., & Zhang, Q. (2022). Life cycle assessment of mass timber construction: A review. Building and Environment, 221, 109320. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109320

Gershenfeld, N. (2023). The future of modular architecture.

Gonçalves, J. C. S., & Duarte, D. H. S. (2006). Arquitetura sustentável: Uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. Ambiente Construído, 6(4), 51–81. https://doi.org/10.1590/S1678-86212006000400005

Groak, S. (1992). The idea of building: Thought and action in the design and production of buildings. London: E & FN Spon.

Herbert, G. (1972). The portable colonial cottage. Journal of the Society of Architectural Historians, 31(3), 261–275. http://www.jstor.org/stable/988810

Kamali, M., Hewage, K., & Sadiq, R. (2019). Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. Energy and Buildings, 204, 109479. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109479

Kolarevic, B., & Malkawi, A. M. (Eds.). (2005). Performative architecture: Beyond instrumentality. New York: Spon Press.

Koolhaas, R., & Mau, B. (1995). S, M, L, XL. New York: Monacelli Press.

Nissen, H. (1976). Construcción industrializada y diseño modular. Barcelona: Blume.

Pantoja, M. F. F., Póvoas, R. H. F., Pantoja, J. C., & Sales, A. C. M. N. (2022). Design and sustainable construction in the contemporary work of Norman Foster. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1123(1), 012040. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1123/1/012040

Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. Journal of Cleaner Production, 143, 710–718. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055

Rodrigues, M. P. (2021). Proposta de um sistema industrializado sustentável para habitação modular (Dissertação de Mestrado em Arquitetura). Universidade da Beira Interior.

Silva, C. S. M. (2021). O sistema modular como paradigma de reabilitação: Aplicação à Casa Burguesa do Porto (Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Fernando Pessoa.

Smith, R. E. (2010). Prefab architecture: A guide to modular design and construction. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Soares, L. F. O. (2022). Roadmap de implantação de um sistema de produção para a indústria da construção modular (Dissertação de Mestrado Integrado). Universidade do Minho, Escola de Engenharia.

Zohourian, M., Pamidimukkala, A., Kermanshachi, S., & Almaskati, D. (2025). Modular construction: A comprehensive review. Buildings, 15(12), 2020. https://doi.org/10.3390/buildings15122020

WEBGRAFIA

Clancy, S. (n.d.). SOW triangle: Cost, speed and quality are a delicate. Staffing Industry Analysts. https://www.staffingindustry.com/editorial/cws-30-contingent-workforce-strategies/sow-triangle-cost-speed-and-quality-are-delicate

Direção-Geral das Artes. (2024, January 10). Edifício A Nacional ganha prémio internacional de reabilitação. https://www.dgartes.gov.pt/pt/noticia/7951

Elsevier. (n.d.). Life-cycle cost. https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-cost

Experimental Werkbund Estates. (n.d.). Werkbund. https://www.baba1932.com/en/werkbund-en/

Heren 5 Architects. (2019, June 25). Loft Buiksloterham · Heren 5 Architects. https://www.archdaily.com/906864/loft-buiksloterham-heren-5-architects

Menos é Mais Arquitectos. (n.d.). A Nacional, Aliados – Porto. https://www.menosemais.com/conteudo/a-nacional-aliados

Never Too Small. (2020, November 12). Loft Buiksloterham Amsterdam – 50sqm/538sqft apartment designed by Paul Timmer. https://www.nevertoosmall.com/post/loft-buiksloterham-amsterdam

OODA – Architecture, from Porto. (n.d.). Lóios. https://ooda.eu/projects/loios

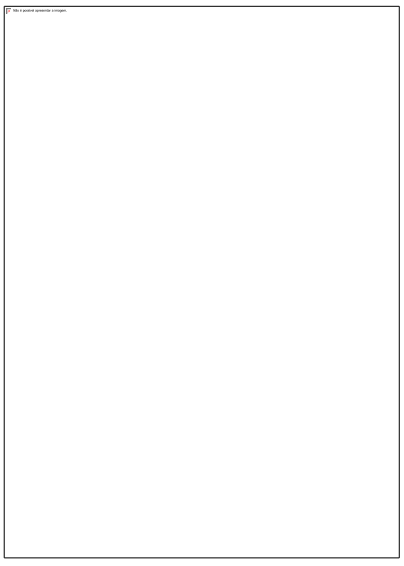
Regenerative Design. (n.d.). Loft Buiksloterham. https://regenerativedesign.world/loft-buiksloterham/

SOME European Architecture. (n.d.). Some Architects: HOME. https://some.eu/

United Nations Environment Programme. (2025). Global status report for buildings and construction 2024–2025. https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025

United Nations Regional Information Centre. (n.d.). Objetivo 11 – Cidades e comunidades sustentáveis. https://unric.org/pt/objetivo-11-cidades-e-comunidades-sustentaveis-2/

Valenbrasil Blog. (2023, August 15). Arquitetura modular. https://blog.valenbrasil.com/arquitetura-modular/


Nie si pozitel spawerter s mnogim