



DUARTE RODRIGUES PIRES BARREIRA ANTUNES

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

CONSTRUÇÃO MODULAR EM PORTUGAL

Caracterização e exemplos de aplicação.

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

Universidade NOVA de Lisboa
abril, 2024

Construção modular em Portugal.

Caracterização e exemplos de aplicação.

DUARTE RODRIGUES PIRES BARREIRA ANTUNES

Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Válder José da Guia Lúcio,
Professora Associado, Universidade NOVA de Lisboa

Coorientador: Fernando Farinha da Silva Pinho,
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente:

Arguente:

Orientador:

Construção modular em Portugal. Caracterização e exemplos de aplicação

Copyright © Duarte Barreira Antunes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao meu orientador, Professor Doutor Válder Lúcio, pela sua orientação perspicaz, paciência e dedicação ao longo deste trabalho. Agradeço também ao meu coorientador, Professor Doutor Fernando Pinho, pela sua valiosa contribuição e apoio ao longo deste percurso.

Ao corpo docente da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, especialmente a todos os Professores do DEC (Departamento de Engenharia Civil) que acompanharam ao longo destes anos.

Às empresas Grupo Casais, Verdasca Group e DDN pelo seu apoio inestimável, generosidade e colaboração ao longo deste trabalho. A disponibilidade para partilhar conhecimento e permitir visitas às suas fábricas e obras foi fundamental para o desenvolvimento desta dissertação.

De forma especial, expresso o meu sincero agradecimento ao Engenheiro Pedro Naia da Bluefab Casais, ao Engenheiro João Oliveira do Verdasca Group e ao Engenheiro Carlos Oliveira da DDN. A orientação, apoio e valiosas contribuições fornecidas foram essenciais para o sucesso deste trabalho. Sem a sua dedicação e orientação, este projeto não teria sido concretizado.

Aos meus companheiros de curso, Afonso, André, Duarte, Tiago e Tomás, que estiveram ao meu lado durante esta jornada académica, agradeço pela colaboração, pelo apoio mútuo e pela camaradagem. Juntos, superamos desafios e partilhamos conquistas, tornado esta experiência universitária verdadeiramente enriquecedora.

Por último, expresso o meu profundo agradecimento à minha família. Aos meus pais e avós, em particular, a quem dedico este trabalho. O seu apoio incondicional, os sacrifícios e a constante motivação foram fundamentais para alcançar este objetivo académico.

RESUMO

Neste estudo, procura-se abordar as características fundamentais da construção modular, abrangendo as nuances do projeto e do processo construtivo, desde a produção até à montagem. Realizaram-se visitas a fábricas e obras de construção modular para observar diretamente a produção e montagem desses sistemas. Este estudo tem como objetivo analisar soluções construtivas alternativas para combater a escassez de mão-de-obra, a carência de habitação e os elevados preços, que é um dos grandes problemas atuais no país. Algumas empresas estão a propor a solução de construção modular como forma de reduzir os custos e o prazo de execução, e melhorar a qualidade da construção da habitação em Portugal. Este estudo visa compreender as reais vantagens e desvantagens do sistema de construção modular, como alternativa promissora e sustentável à construção tradicional.

Palavas chave: Prefabricação, construção modular, BIM, redução de custos, construção sustentável.

ABSTRACT

The aim of this study is to address the fundamental characteristics of modular construction, covering the details of the design and construction process, from production to assembly. Visits were made to factories and modular construction sites to directly observe the production and assembly of these systems. This study aims to analyse alternative construction solutions to fight the shortage of labor, the lack of housing and its high prices, which is one of the biggest current problems in the country. Some companies are proposing the modular construction solution as a way to reduce costs and execution time and improve the quality of housing construction in Portugal. This study aims to understand the real advantages and disadvantages of the modular construction system, as a promising and sustainable alternative to traditional construction.

Keywords: Precast construction, modular construction, BIM, cost reduction, sustainable construction.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações iniciais	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Contribuições	1
1.4	Organização do documento	2
2	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	Considerações iniciais.....	3
2.2	Construção pré-fabricada.....	4
2.3	Contexto histórico	5
2.4	Conceito	9
2.5	Sistemas estruturais para edifícios modulares	12
2.6	Características do sistema modular.....	16
2.7	Construção Tradicional VS Construção Modular.....	23
2.8	Modulação em betão armado.....	26
2.9	Avanços na tecnologia	27
3	ANÁLISE SWOT.....	29
3.1	Considerações iniciais.....	29
3.2	Método.....	29
3.3	Pontos Fortes	30
3.4	Pontos Fracos.....	31

3.5	Oportunidades.....	32
3.6	Ameaças.....	33
3.7	Síntese.....	35
4	GESTÃO DO PROCESSO DE FABRICO	37
4.1	Considerações iniciais.....	37
4.2	Produção.....	37
4.3	Gestão da qualidade	39
4.3.1	Análise do processo.....	40
4.4	Otimização da produção	42
4.4.1	Softwares de sistemas de gestão de fábrica	42
4.4.2	Utilização do LEAN & BIM na construção modular.....	44
5	CASOS DE ESTUDO.....	51
5.1	Considerações iniciais.....	51
5.2	Sistema de construção CREE.....	53
5.2.1	Descrição da solução CREE.....	53
5.2.2	Planeamento do hotel "Tres Cantos" - Madrid.....	56
5.2.3	Processo produtivo do hotel "Tres Cantos" - Madrid	83
5.2.4	Montagem dos painéis do hotel "Tres Cantos" - Madrid	86
5.3	Sistema de construção SIMBA.....	88
5.3.1	Planeamento de uma residência de estudantes - Benfica.....	89
5.3.2	Montagem dos módulos da residência de estudantes - Benfica.....	92
6	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	97
6.1	Considerações iniciais.....	97
6.2	Conclusões	97
6.3	Desenvolvimentos futuros	98
	BIBLIOGRAFIA.....	101
A	ANEXO 1.....	105

A	ANEXO 2.....	111
A	ANEXO 3.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 — Pilar de betão armado produzido em fábrica.....	4
Figura 2.2 — Evolução da construção	5
Figura 2.3 — Construções pré-fabricadas no período pós-guerra.....	6
Figura 2.4 — Edifícios de habitação com estrutura e painéis pré-fabricados, em Lisboa, construídos nos anos 70 do século XX.....	7
Figura 2.5 — Edifício "Ronan Point", após colapso progressivo	8
Figura 2.6 — Esquema de uma construção modular em blocos 3D desde o fabrico à instalação em obra	9
Figura 2.7 — Exemplo de painéis modulares com janelas	10
Figura 2.8 — Módulo 2D, Laje	12
Figura 2.9 — Módulo 2D, fachada com janelas	13
Figura 2.10 — Transporte de um Módulo 3D em betão	13
Figura 2.11 — Módulo 3D fechado, em betão.....	14
Figura 2.12 — Elevação de um Módulo 3D aberto, em betão.....	14
Figura 2.13 — Encaixe do Módulo 3D em betão	15
Figura 2.14 — Módulos metálicos 3D	15
Figura 2.15 — Exemplo de cronograma da construção de um projeto de apartamentos, tradicional vs. modular.....	17
Figura 2.16 — Betonagem de um painel modular.....	18
Figura 2.17 — Módulo de um edifício destinado a uma residência de estudantes T3	19
Figura 2.18 — Módulo de um edifício destinado a uma residência de estudantes T2.....	20
Figura 2.19 — Ciclo de vida de uma construção tradicional	23
Figura 2.20 — Ciclo de vida de uma construção modular.....	23

Figura 2.21 — Comparação dos aspetos positivos e negativos da Construção Modular VS Construção Tradicional.....	25
Figura 2.22 — Chave dos aspetos positivos e negativos da Construção Modular VS Construção Tradicional.....	25
Figura 2.23 — Residência de estudantes em Sneglehusene, perto de Aarhus, na Dinamarca.	28
Figura 3.1 — Síntese dos fatores internos da Construção Modular	32
Figura 3.2 — Síntese dos fatores externos da Construção Modular.....	35
Figura 4.1 — Processo de gestão da qualidade na produção dos módulos.....	41
Figura 4.2 — Principais etapas na fabricação	44
Figura 4.3 —Benefícios gerais da gestão LEAN	46
Figura 4.4 — Planeamento corrente sem a utilização do BIM	47
Figura 4.5 — Planeamento com a utilização do BIM.....	47
Figura 4.6 — Esquema da Melhoria Integrada de Processos	49
Figura 5.1 — Ilustração da solução CREE.....	53
Figura 5.2 — Flexibilidade do design interior de uma solução CREE	55
Figura 5.3 — Hotel B&B "Tres Cantos" - Madrid.....	56
Figura 5.4 —Planta do piso rés do chão.....	57
Figura 5.5 — Caracterização do Hotel: 1- Planta pisos elevados; 2- Alçado principal; 3- Corte longitudinal; 4- Corte transversal; 5- Planta de quarto duplo simples e adaptado	58
Figura 5.6 — Núcleo de BA centrado	60
Figura 5.7 — Núcleo de BA descentrado	61
Figura 5.8 — Núcleo de BA descentrado + painel resistente.....	61
Figura 5.9 — Plantas dos núcleos do hotel B&B "Tres Cantos" (sem escala).....	62
Figura 5.10 — Núcleos na obra do hotel B&B "Tres Cantos".....	63
Figura 5.11 — Exemplo da evolução de um edifício CREE em torno de um núcleo central	63
Figura 5.12 — Laje e detalhes dos parafusos	64
Figura 5.13 — Pormenorização do encaixe na madeira (sem escala)	65
Figura 5.14 — Vista 3D da laje mista corrente	66
Figura 5.15 — Planta da laje mista corrente (sem escala).....	66
Figura 5.16 — Cortes A e B da laje mista com 4 vigas de madeira (sem escala)	67
Figura 5.17 —Corte C-C da laje mista corrente, fecho de bordo exterior (sem escala)	67
Figura 5.18 — Corte C da laje mista simples, fecho de bordo interior (sem escala)	68
Figura 5.19 — Ligação entre lajes adjacentes.....	68
Figura 5.20 — Laje mista corrente	69

Figura 5.21 — Ligação frontal com o núcleo.....	70
Figura 5.22 — Ligação lateral com o núcleo.....	70
Figura 5.23 — Etapas da ligação/ selagem Slim Box.....	71
Figura 5.24 — Painel de laje misto com viga de empena em betão	72
Figura 5.25 — Pormenorização Corte B (sem escala).....	73
Figura 5.26 — Laje mista com viga de empena em betão	73
Figura 5.27 — Fachada principal, alçado da face exterior (sem escala).....	74
Figura 5.28 — Fachada principal, planta de um módulo	75
Figura 5.29 — Ligação entre os elementos da fachada e os painéis de laje	75
Figura 5.30 — Fachada principal, Corte A-A da figura 5.27 (sem escala)	76
Figura 5.31 — Fachada de empena, alçado da face exterior (sem escala)	77
Figura 5.32 — Fachada de empena, planta (sem escala)	77
Figura 5.33 — Pormenor de junta horizontal entre painéis de fachada (sem escala).....	77
Figura 5.34 — Pormenor de junta vertical entre painéis de fachada (sem escala).....	78
Figura 5.35 — Painéis de fachada principal em conclusão de montagem.....	78
Figura 5.36 — Corte transversal da viga metálica (sem escala).....	79
Figura 5.37 — Viga metálica e conectores metálicos	79
Figura 5.38 — Execução dos tetos	80
Figura 5.39 — Transporte de painéis modulares.....	81
Figura 5.40 — Objetivos de desenvolvimento sustentável do sistema CREE.....	82
Figura 5.41 — Produção do painel de laje - Vigas de madeira e fechos de bordo instalados.....	83
Figura 5.42 — Produção do painel de laje - Colocação da armadura	84
Figura 5.43 — Produção do painel de laje - Instalação de tubagens de eletricidade.....	84
Figura 5.44 — Produção da laje após a betonagem.....	85
Figura 5.45 — Sequência da montagem dos painéis de laje (sem escala).....	86
Figura 5.46 — Sequência da montagem dos painéis de fachada (sem escala)	87
Figura 5.47 — Fachada do hotel "Tres Cantos", em Madrid finalizada.....	87
Figura 5.48 — Imagem virtual da residência de estudantes - Benfica	89
Figura 5.49 — Residência de estudantes - Benfica.....	90
Figura 5.50 — Residência de estudantes - Corte transversal	91
Figura 5.51 — Residência de estudantes - Diferentes tipos de módulos para o piso 1.....	91
Figura 5.52 — Residência de estudantes - Fundações.....	92
Figura 5.53 — Residência de estudantes - Montagem da fachada principal e plataforma de elevatória	93

Figura 5.54 — Residência de estudantes - Ligação indentadas	93
Figura 5.55 — Residência de estudantes - Ligação por conectores metálicos.....	94
Figura 5.56 — Residência de estudantes - Grua de elevação de módulos de betão.....	94
Figura 5.57 — Residência de estudantes - Negativos para instalação de redes de águas.....	95
Figura A.1 — Planta de um quarto simples e adaptado - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)	105
Figura A.2 — Planta do rés do chão - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala).....	106
Figura A.3 — Planta dos pisos elevados - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala).....	107
Figura A.4 — Alçado da fachada principal - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)....	108
Figura A.5 — Corte longitudinal - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)	109
Figura A.6 — Corte transversal - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala).....	110
Figura A.7 — Planta do rés do chão - Residência em Benfica (sem escala).....	111
Figura A.8 — Planta dos pisos superiores - Residência em Benfica (sem escala).....	112
Figura A.9 — Corte longitudinal - Residência em Benfica (sem escala)	113
Figura A.10 — Corte transversal - Residência em Benfica (sem escala)	114

GLOSSÁRIO

On-Site	Atividades realizadas no local da obra.
Off-Site	Atividades realizadas fora do local da obra.
Software	Programas de computador para realizar tarefas específicas.
Estandarização	Estabelecimento de normas ou padrões para garantir consistência e qualidade.
Inputs	Dados ou recursos fornecidos a um sistema.
Outputs	Resultados gerados por um sistema.
Glulam	Madeira laminada colada utilizada em elementos estruturais.
Grout	Argamassa. Material composto por cimento, areia e água, utilizado para preencher espaços vazios ou cavidade em estruturas de betão.

Insights

Percepções ou descobertas significativas sobre um tema, resultantes de análises ou reflexões.

SIGLAS

BIM	Building Information Modeling.
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
JIT	Just-in-Time
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
BA	Betão armado

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Na presente dissertação, abordar-se o tema da Construção Modular em Portugal, contextualizando a sua importância e relevância no cenário atual do país. Esta abordagem surge da necessidade de analisar soluções inovadoras e eficazes para os desafios enfrentados pelo setor da construção, como a escassez de habitação, a falta de mão-de-obra qualificada e o elevado custo das habitações, especialmente em áreas urbanas como Lisboa.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é analisar as potencialidades da construção modular como resposta viável e sustentável para os problemas habitacionais em Portugal. Num contexto em que a construção modular enfrenta desafios, tais como preocupações estéticas e percepções de monotonia arquitetónica, é fundamental explorar as suas vantagens, como a rapidez de construção, a qualidade superior, os custos mais baixos e a segurança no trabalho.

1.3 Contribuições

No que diz respeito às contribuições deste estudo, serão exploradas estratégias para melhorar a gestão e a produção nas fábricas de construção modular, bem como serão

analisados exemplos de construção modular existentes em Portugal. Serão apresentados os diferentes métodos de construção modular disponíveis, destacando as suas características e viabilidade como soluções para enfrentar a crise habitacional no país, comprovando tratar-se de uma solução construtiva viável e mais económica e uma possível solução para combater a crise na habitação em Portugal.

1.4 Organização do documento

A dissertação está dividida em 6 capítulos, que tratam os seguintes temas:

- No Capítulo 1 - Introdução, é feita uma introdução ao tema da construção modular em Portugal, delineando os objetivos da pesquisa e apresentando uma visão geral da estrutura do documento;

- O Capítulo 2 - Pesquisa bibliográfica, explora o conceito de construção modular, faz uma revisão da literatura existente sobre o assunto e compara a construção modular com métodos tradicionais de construção;

- No Capítulo 3 - Análise SWOT, é realizada uma análise dos pontos fortes, fracos, oportunidade e ameaças associadas à adoção da construção modular;

- O Capítulo 4 - Processo de fabrico, examina a produção nas fábricas de construção modular, discutindo estratégias para otimizar este processo e melhorar a eficiência da construção modular;

- No Capítulo 5 - Casos de estudo, são apresentados estudos de caso de empresas em Portugal que implementaram a construção modular, fornecendo insights sobre os sistemas adotados e as suas características

- O Capítulo 6 - Conclusão, resume as principais conclusões do trabalho, reflete sobre as suas contribuições para o campo da Engenharia Civil e oferece recomendações para futuros estudos no domínio da construção modular.

- Nos Anexos, encontram-se desenhos arquitetónicos para o hotel "Tres Cantos" em Madrid e para a residência de estudante em Benfica e o resumo de um artigo que será apresentado na conferência internacional SUBLime, no Funchal em novembro de 2024.

As figuras não referenciadas bibliograficamente são da responsabilidade do autor.

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Nos últimos anos, tem-se verificado um avanço significativo na indústria da construção civil. A procura por soluções que otimizem a eficiência, reduzam custos e acelerem o processo de construção, tem levado à adoção da pré-fabricação de componentes e à intensificação da construção modular.

A pré-fabricação consiste na fabricação de componentes fora do local do estaleiro de construção. Esses componentes são, posteriormente, integrados na obra. Esse método, tem-se mostrado uma alternativa eficaz para enfrentar os desafios da indústria da construção, como a redução de custos e de prazos (Silva, 2012).

Dentro das diversas vertentes da industrialização da construção, a construção modular merece destaque especial, pois visa não apenas reduzir os prazos de execução, mas também promover soluções com maior produtividade e eficiência no uso de recursos humanos e materiais. Por outras palavras, a construção modular tem o potencial de reduzir o tempo e os custos de construção em determinados contextos (Aires & Quintas, 2023).

Este trabalho tem como objetivo explorar as potencialidades e desafios da construção modular. Através de uma análise, pretende-se avaliar como a industrialização da construção, em particular a construção modular, pode contribuir para a melhoria da qualidade, eficiência e sustentabilidade no setor.

Ao longo desta dissertação, abordar-se a evolução e o estado atual da construção modular, os benefícios que ela pode proporcionar, bem como as barreiras e desafios que enfrenta.

2.2 Construção pré-fabricada

A construção pré-fabricada, consiste no fabrico de componentes fora da sua localização definitiva. Este tipo de construção inclui a estrutura, paredes divisórias, instalações técnicas e acabamentos, executadas fora do local da sua utilização definitiva.

Do ponto de vista industrial, a pré-fabricação está associada ao conceito de standardização, que envolve a uniformização dos processos de construção em vez dos componentes em si. Isto significa que, embora os componentes possam ser diferentes, são produzidos utilizando os mesmos processos construtivos, resultando numa variedade de produtos finais (construções) que beneficiam da eficiência proporcionada pela utilização de processos de fabricação semelhantes (Silva, 2012).

A produção de estruturas com elementos pré-fabricados, é feita em ambientes que permitem um controlo de qualidade eficiente, garantindo a qualidade e durabilidade dos produtos pré-fabricados. Este princípio não se aplica apenas à produção de estruturas, mas abrange todos os componentes da construção (Figura 2.1). Esta é uma das vantagens da pré-fabricação em relação à construção tradicional.



1 - Armadura de um pilar produzido em fábrica; 2 - Pilar já betonado em fábrica

Figura 2.1 — Pilar de betão armado produzido

Os técnicos de engenharia têm hoje ao seu dispor materiais e conhecimentos que permitem conceber e executar ligações eficientes e seguras, que não põem em causa a qualidade e a segurança das estruturas pré-fabricadas (Chastre & Lúcio, 2012).

A pré-fabricação reflete num novo princípio, caracterizado pela otimização dos recursos materiais e humanos, bem como pela implementação de metodologias de trabalho altamente especializadas (Figura 2.2). Neste contexto, a ênfase recai sobre a importância do planeamento, da organização e da logística, em detrimento do conhecimento empírico tradicional (Silva, 2012).

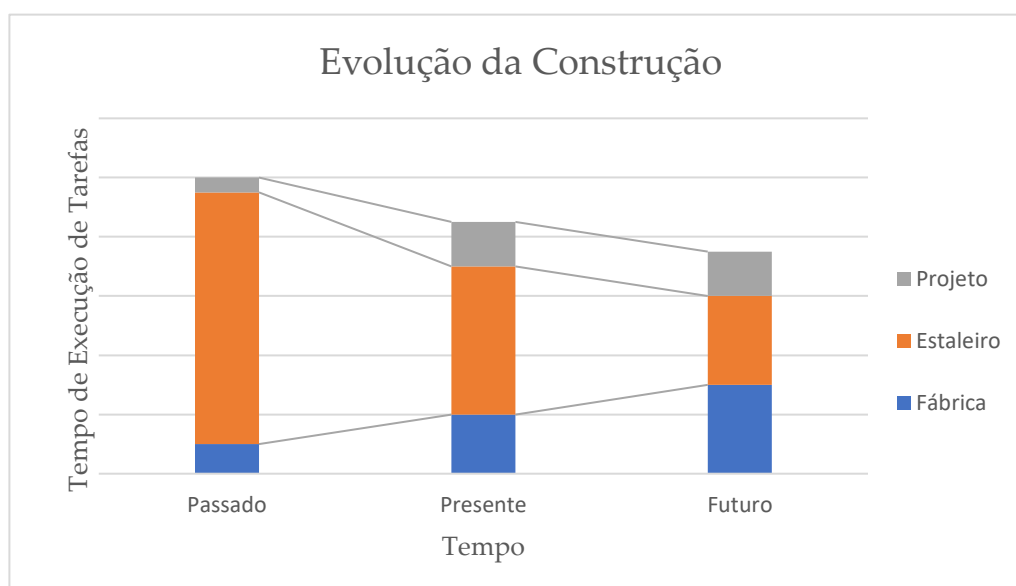


Figura 2.2 — Evolução da construção

Fonte: Adaptado de Couto, 2007 - Vantagens produtivas e ambientais da pré-fabricação

2.3 Contexto histórico

Desde os primórdios da utilização do betão armado (BA), que a pré-fabricação de diversos elementos desempenhou um papel fundamental. Os primeiros elementos de BA foram sobretudo componentes pré-fabricados, e os primeiros exemplos de construções onde se empregou este método foram provavelmente no final do século XIX. Entre o final do século XIX e o início do século XX testemunhou-se um notável aumento na adoção do BA na indústria da

construção, o que, por consequência, impulsionou o desenvolvimento das técnicas de pré-fabricação (Tomás, 2010).

No entanto, até ao final da Segunda Guerra Mundial, a utilização de estruturas pré-fabricadas não era uma necessidade. Somente após este período foi urgente providenciar em pouco tempo alojamento, para as populações das cidades mais afetadas pelos bombardeamentos. Isso resultou num notável impulso na aplicação de elementos pré-fabricados de betão na Europa.

Este desenvolvimento concentrou-se inicialmente na Europa Ocidental, estendendo-se posteriormente para a Europa Oriental (Figura 2.3). No entanto, os seus utilizadores constataram vários aspetos negativos, fundamentalmente relacionados com a falta de identidade dos espaços, acabando por tais estruturas serem postas em causa. Contudo, durante o mesmo período histórico, países do Leste da Europa, utilizaram estes processos de pré-fabricação.



1 - Rússia no pós-guerra; 2 - Polónia no pós-guerra

Figura 2.3 — Construções pré-fabricadas no período pós-guerra

Fonte: 10 dos edifícios pré-fabricado mais incomuns da Rússia- Russia Beyond -

Consultada em novembro 2023

A maioria destas estruturas, foi aplicada de modo uniforme e pouco flexível, apresentando dois problemas fundamentais. Em primeiro lugar, eram frequentemente inadequadas em termos de dimensão e flexibilidade, carecendo muitas vezes de elementos que tornassem a sua utilização mais humanizada. Além disso, na grande maioria dos casos, estas estruturas apresentavam modelos pouco diversificados em termos de oferta.

O mesmo ocorreu em Portugal após a Revolução do 25 de abril, com a necessidade de construir habitações, primeiros para os "retornados" das ex-colónias e depois para a população pobre que vivia em "bairro de lata" nas periferias das grandes cidades (Figura 2.4).



1 - Edifício pré-fabricado primeira perspetiva; 2 - Edifício pré-fabricado segunda perspetiva

Figura 2.4 — Edifícios de habitação com estrutura e painéis pré-fabricados, em Lisboa, construídos nos anos 70 do século XX.

Em 1968 o edifício "Ronan Point", que fazia parte de um conjunto de blocos de apartamentos destinados a fornecer habitação pré-fabricada acessível aos habitantes de Londres, teve um acidente desencadeado por uma explosão de gás que danificou as paredes de suporte. Este acidente local resultou no colapso progressivo de parte do edifício (Figura 2.5). Esta falha, que mais tarde foi atribuída a deficiências no projeto e na construção, abalou a confiança do público em edifícios de habitação pré-fabricada. Como consequência foram implementadas alterações substanciais nos regulamentos de construção.

Na década de 1970, surgiram abordagens experimentais inovadoras para a industrialização da construção de habitações, com a pré-fabricação de betão. Estas novas abordagens também envolveram frequentemente elementos pré-fabricados tridimensionais que constituíam células individuais, cada uma com diferentes formas e funções. Através da agregação dessas células de acordo com diversos esquemas, foram exploradas novas configurações para edifícios destinados a criar cidades do futuro e ambientes urbanos inovadores.



1 - Vista 1; 2 - Vista 2

Figura 2.5 — Edifício "Ronan Point", após colapso progressivo

Fonte: Ronan Point- Tower Blocks UK - Consultada em novembro 2023

A introdução dos sistemas modulares trouxe consigo a possibilidade da divisão do produto final em diversos módulos constituintes ainda na fase de projeto. Isso simplificou a elaboração do projeto, dos cadernos de encargos e a encomenda dos vários elementos a serem montados. Além disso, tornava mais fáceis e expeditos os processos de controle da obra, do projeto e dos custos associados (Castelo, 2008).

A utilização de estruturas pré-fabricadas de BA tem progredido na Europa, Estados Unidos, Austrália e Japão. No entanto, esse avanço não é tão entusiástico quanto o observado no período pós-guerra (Castelo, 2008). Ainda assim, devido aos desafios sociais e habitacionais que se vivem atualmente, no mundo e especialmente em Portugal, poderá haver a necessidade da evolução destes sistemas construtivos, uma vez que oferecem uma resposta eficaz à procura de qualidade, conforto e segurança (Aires & Quintas, 2023).

2.4 Conceito

Edifícios modulares e casas modulares são estruturas pré-fabricadas compostas por múltiplas secções, denominados módulos, que podem variar de apenas algumas unidades até centenas. Estes módulos, são fabricados "off-site" (fora do local da obra), em ambientes controlados, podendo ser em alvenaria, em madeira, em aço, em betão-armado ou mistos.

Posteriormente, estes módulos, são transportados para o local onde a estrutura será montada e fixados nos respetivos lugares (Figura 2.6). Vale a pena ressaltar que em alguns sistemas os módulos saem da fábrica com cerca de 80% da sua construção concluída, incluindo redes de água, esgotos, eletricidade, comunicações, janelas, pavimentos, revestimentos de parede e pintura final.

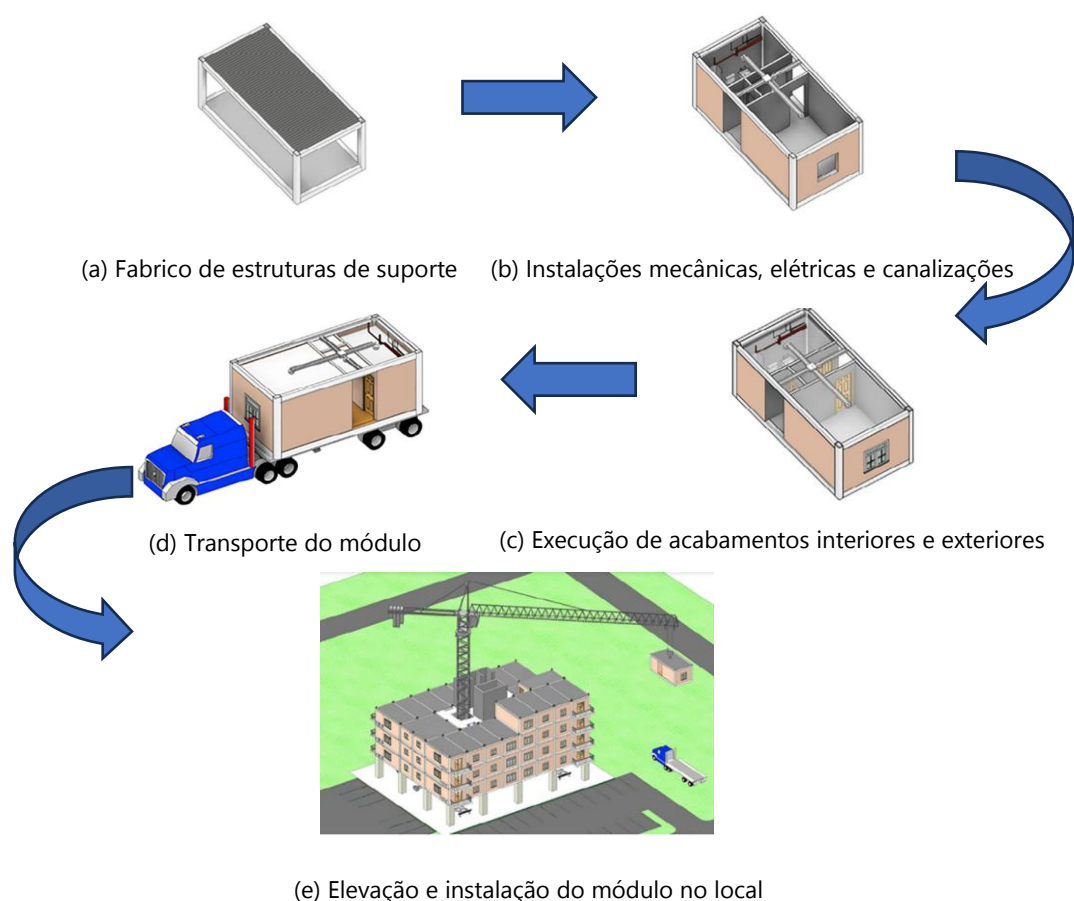


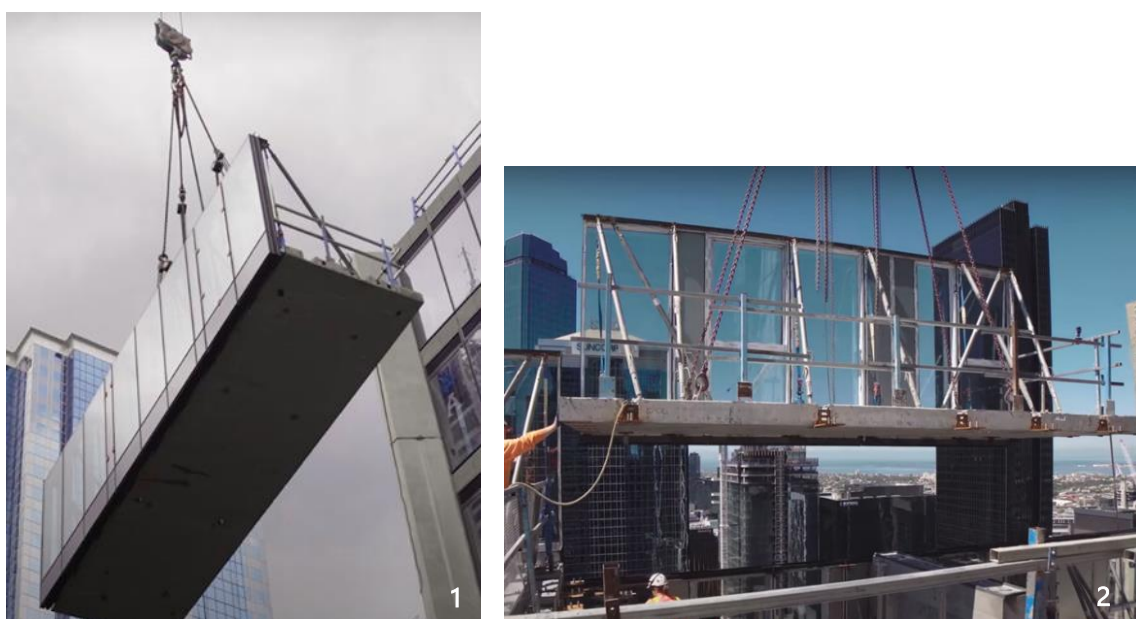
Figura 2.6 — Esquema de uma construção modular em blocos 3D desde o fabrico à instalação em obra

Fonte: Adaptado de Liew J.Y.R; Chua Y.S; Dai Z. - Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings.

Com este processo pretende-se, através da estandardização das dimensões dos componentes, racionalizar a construção desde a fase de fabrico à fase de montagem. Na fase de projeto é definida a otimização e organização de procedimentos, baseando-se em elementos predefinidos e pré-calculados.

O processo de construção ocorre em duas fases distintas. Inicialmente, os elementos que compõem o sistema são produzidos em fábrica, e posteriormente, transportados e montados no local definitivo. A racionalização ocorre em ambas as fases. A produção em série diminui os custos e possibilita um melhor controlo de qualidade (Patinha, 2011).

Na construção modular, também pode existir a divisão em elementos modulares de pequenas dimensões, permitindo obter construções com dimensões adequadas simplificando o transporte (Figura 2.7). Esta é composta por elementos pré-fabricados que formam pórticos consecutivos, criando um esqueleto rígido capaz de suportar cargas dos pisos (Patinha, 2011).



1 - Perspetiva 1; 2 - Perspetiva 2

Figura 2.7 — Exemplo de painéis modulares com janelas

Fonte: Meriton Suites HBS Lift | Hickory - Youtube vídeo - Consultado em novembro 2023

Além da estrutura principal da construção, o sistema incluirá outros elementos secundários que irão compor os pisos, as paredes e a cobertura. A estrutura principal será constituída por vigas e pilares que se ligarão para formar pórticos, criando um esqueleto rígido que sustentará a estrutura e resistirá às forças externas.

Este esqueleto deve atender aos seguintes critérios:

- Permitir uma conexão rápida e de fácil execução, utilizando ferramentas comuns e de fácil manuseio.
- Oferecer liberdade na escolha do número de módulos a serem conectados e sua orientação, de modo a flexibilizar o espaço.
- Utilizar elementos construtivos o mais leves possível para facilitar o transporte e a montagem no local da obra.

Dessa forma, é garantida a segurança e a funcionalidade, minimizando o impacto da estrutura na distribuição dos espaços habitacionais (Patinha, 2011).

Após o transporte dos módulos para o local de construção, é feita a sua instalação ou montagem. Essa instalação pode ocorrer com a ajuda de elevadores cremalheira, plataformas fixas, guindastes ou gruas, dependendo da altura e das condições do edifício.

O processo de montagem costuma requerer um considerável volume de mão-de-obra, o que pode ser reduzido se os elementos construtivos tiverem mecanismos de montagem simplificados, eliminando a necessidade de cortes, sobreposições ou alterações significativas.

Um sistema construtivo modular eficaz deve permitir:

- A produção em série das habitações, garantindo uma maior economia e qualidade dos elementos;
- O transporte e aplicação dos elementos para qualquer local;
- O processo de montagem simples, seguro e rápido, que permita a otimização das equipas de montagem no que diz respeito à mão-de-obra;
- A adaptação do edificado às necessidades dos utilizadores, permitindo mudanças na disposição dos espaços;
- O cumprimento das normas de segurança e qualidade dos edifícios convencionais;
- A racionalização de custos, tornando-se numa opção a preços acessíveis (Patinha, 2011).

2.5 Sistemas estruturais para edifícios modulares

Atualmente existem diferentes formas estruturais desenvolvidas para edifícios modulares, que podem ser classificadas em dois tipos: sistemas de painéis 2D e sistemas volumétricos 3D. Os sistemas de painéis 2D requerem uma maior percentagem de tempo na montagem "in situ", quando comparado com os sistemas volumétricos 3D. Este sistema, é um sistema mais complexo na sua montagem uma vez que é necessário um maior volume de trabalho de acabamentos. Oferece também maior flexibilidade nos projetos, enquanto o sistema 3D é geralmente utilizado em projetos de maior repetição.

Sistemas de painéis

Os sistemas estruturais de painéis 2D baseiam-se na conceção isolada de todos os elementos, como pilares, vigas, pavimentos e painéis de fachada. Apesar da reduzida percentagem de acabamentos a executar durante o processo de produção, existem situações onde estes elementos já vêm equipados com cabos elétricos, isolamento térmico e acústico, saídas de ar ocultas nos sistemas centrais de ar condicionado ou ventilação, e alguns pormenores de acabamentos. Estes módulos são produzidos em fábrica e montados por juntas aparafusadas e soldadas (Figura 2.8 e 2.9).



Figura 2.8 — Módulo 2D, Laje

Fonte: BROAD Group via CTBUH - Mini Sky City



Figura 2.9 — Módulo 2D, fachada com janelas

Fonte: Casas modulares prefabricadas, ventajas y desventajas - tucasa.com

Sistema Volumétrico

Os sistemas estruturais 3D foram inicialmente desenvolvidos utilizando BA ou uma estrutura metálica. No entanto, os módulos metálicos são mais utilizados em edifícios de grande altura, dado que oferecem vantagens de ligações simples e uma boa relação resistência/peso, uma vez que quando comparado a um módulo de betão, têm menos 25% a 30% do seu peso, do que resulta numa poupança de custo de funcionamento gruas (Generalova, 2016).

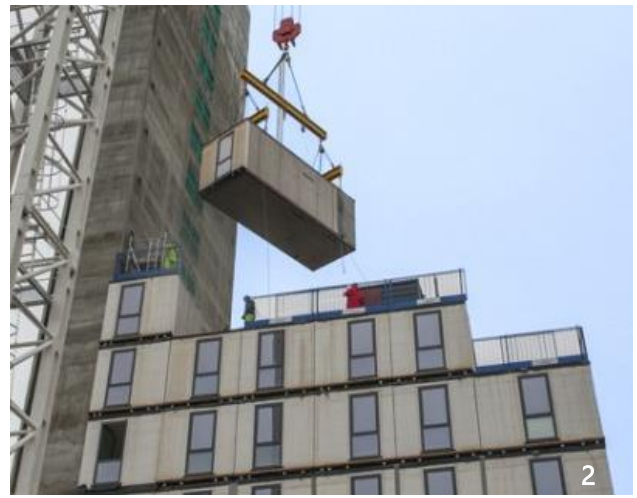
Apesar destes inconvenientes, os módulos de betão têm algumas vantagens que podem ser decisivas na escolha do construtor, visto que têm grande durabilidade, boa resistência ao fogo, impermeabilidade e um bom isolamento acústico.

O peso destas unidades modulares pode variar entre 15 e 20 toneladas para um módulo de aço e 20 a 35 toneladas para um módulo equivalente de betão.

Nas imagens que se seguem é possível observar o transporte destes módulos de betão (Figura 2.10), os equipamentos de montagem e o grau de desenvolvimento dos módulos (Figuras 2.11, 2.12 e 2.13).



Figura 2.10 — Transporte de um Módulo 3D em betão



1 - Detalhes do módulo; 2 - Elevação do módulo

Figura 2.11 — Módulo 3D fechado, em betão

Fonte: visionvolumetric.co.uk - Crydon's modular tower

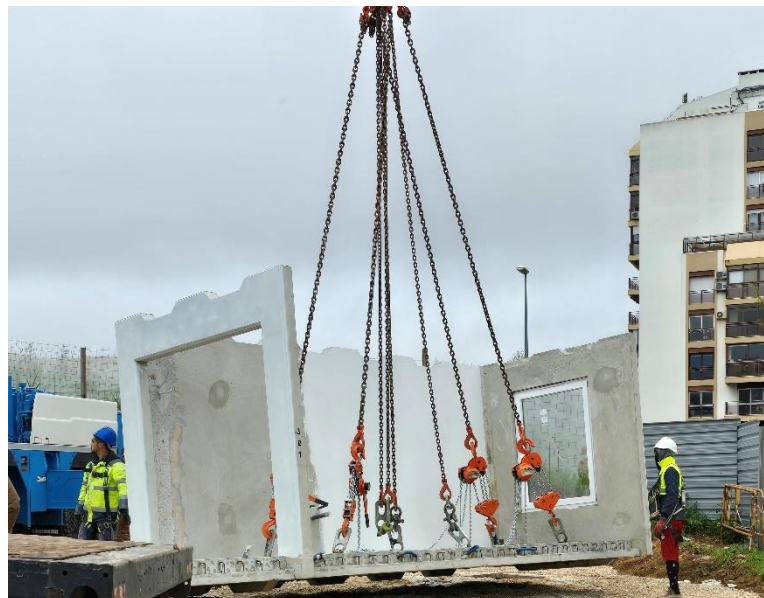


Figura 2.12 — Elevação de um Módulo 3D aberto, em betão



Figura 2.13 — Encaixe do Módulo 3D em betão

Os módulos metálicos 3D podem ser classificados como módulos de "paredes de apoio", em que as cargas verticais (gravidade) são transmitidas para a base através das paredes laterais, ou de "suporte por cantos" onde as cargas verticais são transmitidas através das vigas de bordo, aos elementos dos cantos (Lawson, 2005) (Figura 2.14).



1 - Módulo continuamente apoiado em aço leve; 2 - Módulo de suporte de canto

Figura 2.14 — Módulos metálicos 3D

Fonte: Lawson, 2005 - Developments in pre-fabricated systems in light steel

Por fim, este sistema quando comparado com o sistema de painéis 2D tem um enorme constrangimento pois a dimensão de uma unidade modular é diretamente dependente dos requisitos de transporte e de elevação.

2.6 Características do sistema modular

A construção modular, proporciona vantagens significativas para projetos de construção, podendo destacar-se:

- Redução de prazos e custos;
- Eficiência e previsibilidade;
- Qualidade controlada;
- Durabilidade;
- Flexibilidade;
- Segurança;
- Sustentabilidade;
- Especialização da mão-de-obra;
- Menos constrangimentos;

Redução de Prazos e custos

A construção modular permite iniciar a produção mais cedo em fábrica, mesmo antes do licenciamento da construção ou até o local da aplicação definitiva estar preparado. Em obra apenas se procede à execução das fundações e à montagem dos elementos modulares reduzindo-se assim o prazo de execução.

O cronograma de obra é encurtado e preciso, visto que este método de construção não é afetado pelas condições meteorológicas, obtendo-se assim maior segurança no prazo (Figura 2.15).

Para além disto, devido aos tempos de construção mais reduzidos e às condições de trabalho controladas há uma economia de custos considerável em mão-de-obra e materiais, que pode representar uma redução de 30% do custo da obra.

		DURAÇÃO																							
ETAPAS	Construção On-Site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Planeamento	6 meses																							
	Mobilização do estaleiro e Fundações							2 meses																	
	Construção do Edificado										12 meses														
	Acabamentos e desmobilização do estaleiro	As atividades de retrabalho são frequentes na construção On-Site, podendo gerar atrasos no prazo da obra																				4 meses			
ETAPAS	Construção Off-Site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Planeamento	5-7 meses							O período de planeamento vai sendo reduzido conforme os processos forem repetidos																
	Mobilização do estaleiro e Fundações								2 meses		Ocorre em paralelo à fabricação dos módulos														
	Fabricação dos Módulos em fábrica								6 meses						ECONOMIA DE TEMPO										
	Instalação dos módulos no local e desmobilização do estaleiro											3-6 meses						A instalação pode ocorrer em paralelo com a fabricação							

Figura 2.15 — Exemplo de cronograma da construção de um projeto de apartamentos, tradicional vs. modular

Fonte: Adaptado de Bertram, 2019

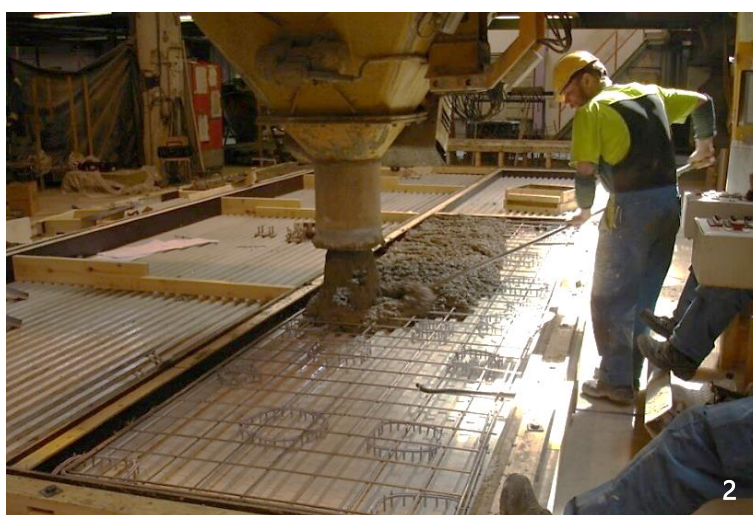
Neste exemplo a economia de tempo numa construção off-site pode chegar até aos 8 meses num total de 24 meses no prazo da obra on-site, que corresponde a uma redução de 33% no prazo da obra on-site, conforme a produtividade dos trabalhadores, que vai ser cada vez maior, quanto mais rotinadas as equipas estiverem.

Eficiência e previsibilidade

Ao construir "off-site", o processo, sempre o mesmo, é repetitivo, o que significa que de cada vez que é efetuado, o tempo da sua execução pode diminuir. A eficiência da mão-de-obra e o uso de automatização, introduzem níveis de eficiência que não são alcançáveis na construção tradicional. Pode assim prever-se por exemplo a quantidade exata de material necessário (Aires & Quintas, 2023).

É possível garantir que o trabalho é entregue a tempo e com qualidade, uma vez que as circunstâncias gravosas, como condições climáticas, não atrasam o projeto (ambiente controlado).

Nas imagens que se seguem, pode-se observar uma das etapas na produção de dois painéis modulares, em ambiente controlado, conseguindo perceber-se que existe uma automatização e repetição nos processos (Figura 2.16).



1 - Perspectiva 1 da betonagem do painel; 2 - Perspectiva 2 da betonagem do painel

Figura 2.16 — Betonagem de um painel modular

Qualidade Controlada

Os módulos são produzidos em ambientes controlados, o que garante uma qualidade consistente, podendo até, no caso em que as peças sejam em betão, que as mesmas possam ser executadas com classes de betões superiores às usadas correntemente on-site, com elevadas resistências iniciais (Lagartixo, 2011).

Durabilidade

A durabilidade de edifícios modulares é assegurada através do uso adequado dos materiais pré-fabricados. Isto é obtido por meio da utilização de equipamentos modernos e de procedimentos de fabricação cuidadosamente elaborados. Caso a construção seja em betão, a produção em fábrica irá garantir aos elementos, qualidade e durabilidade, e um controlo rigoroso da qualidade e rastreabilidade em todos os procedimentos, com benefício para todos os aspetos do projeto (Lagartixo, 2011).

A construção modular não possui uma durabilidade inferior à de outros tipos de construção. Pelo contrário, o ciclo de vida de um edifício modular pode ser até mais longo, graças à sua tecnologia, solidez e resistência, garantindo uma qualidade e durabilidade de todos os módulos aplicados na construção.

Flexibilidade

A flexibilidade permite que as estruturas sejam moldadas de acordo com as necessidades, de espaço, função, mobilidade e estética (Figura 2.17). Essa versatilidade torna a construção modular uma escolha atraente (Lagartixo, 2011).

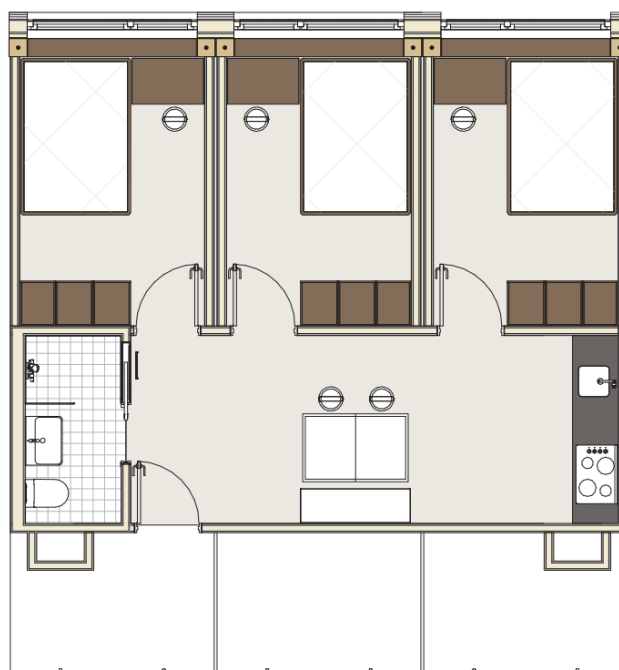


Figura 2.17 — Módulo de um edifício destinado a uma residência de estudantes T3

Na fase de construção, o principal objetivo é um período de construção curto, com sistemas de construção simples e acabamentos reduzidos. Mas posteriormente, estes edifícios podem ser convertidos em residências, escritórios ou hotéis, através das suas medidas padronizadas (Figura 2.18).

Nas figuras 2.17 e 2.18 é possível observar a flexibilidade do sistema, onde há duas áreas iguais com organizações diferentes para objetivos diferentes.



Figura 2.18 — Módulo de um edifício destinado uma residência de estudantes T2

Fonte: CREE, Planning Manual, LCT System, Catálogo

Segurança

A fábrica oferece um ambiente mais previsível em comparação com o estaleiro físico, uma vez que elimina as variações climáticas. O facto de as condições serem sempre as mesmas, torna os erros relacionados com a segurança no trabalho menos prováveis.

A maioria dos riscos da construção no local, como erros na aplicação de materiais, quedas em altura e acidentes com equipamento, não são um problema em fábrica.

Sustentabilidade

Na União Europeia, a construção de edifícios é responsável pelo consumo de 40% do total de materiais, 40% do consumo total de energia primária e gera 40% do total de resíduos, sendo um dos principais responsáveis pela deterioração do ambiente.

A construção modular pode ser uma solução para minimizar os impactos ambientais da indústria, pois o fabrico dos módulos é realizado em ambientes controlados. Durante este processo existe um maior controlo do uso dos recursos e materiais, um menor desperdício, uma produção mais rápida, e menores deslocações, podendo obter-se uma solução sustentável e eco eficiente, o que contribui para a preservação do meio ambiente e para a redução do impacto ambiental da construção. De salientar que:

- Há uma redução de 50% na quantidade de água utilizada para construir um edifício convencional;
- Pode haver uma redução entre os 50%-67% do consumo de energia, graças aos períodos de construção mais curtos;
- Há uma redução de até 90% na quantidade de resíduos associados à atividade de construção (Couto, J. & Couto, A. 2007).

Os projetos são elaborados para altos níveis de eficiência energética e bom uso dos materiais, de forma a dar resposta ao tão importante tema da descarbonização na construção (Aires & Quintas, 2023).

Especialização da mão-da-obra

Embora a formação dos técnicos que trabalham "on-site" seja um processo longo e moroso, formar trabalhadores para desempenharem um papel numa construção "off-site", é uma tarefa muito mais simples e mais rápida. A transferência deste processo de construção para um ambiente em fábrica, transforma a construção num processo de fabrico, onde cada trabalhador só precisa de conhecer o seu lugar na linha de produção, obtendo um processo mais eficiente e poupança de custos.

Menos constrangimentos

Uma construção "on-site" pode causar transtorno para aqueles que vivem na vizinhança da obra. Para além da poluição sonora e atmosférica das máquinas e dos equipamentos pesados, existe ainda o problema dos veículos afetos à construção, que se deslocam de e para o estaleiro, podendo causar atrasos no trânsito ou bloquearem vias de acesso.

Este é um problema comum em zonas urbanas que pode ser evitado com a produção de módulos em fábrica.

Devido ao facto de ocorrerem menos interrupções, pode existir uma redução de até 90% de movimento de veículos.

Após esta análise, consegue-se concluir que a construção modular representa uma mudança significativa na forma como abordamos os projetos de construção. As vantagens em termos de eficiência, qualidade, sustentabilidade e flexibilidade, tornam este sistema muito atraente para uma grande variedade de aplicações, desde estruturas simples a edifícios residenciais, de escritórios ou de hotéis.

À medida que a tecnologia e as práticas da construção continuarem a evoluir espera-se que o impacto positivo na indústria da construção aumente.

2.7 Construção Tradicional VS Construção Modular

O ciclo de vida de uma construção tradicional consiste em quatro fases principais: produção de materiais, projeto e construção, ocupação ou utilização do edificado, e o de fim de vida (Figura 2.19).

Do mesmo modo, no caso da construção modular existem cinco fases principais. No entanto, as tarefas na fase de construção incluem o projeto do edifício, o fabrico dos módulos, o transporte e a sua montagem no local da obra (Figura 2.20).

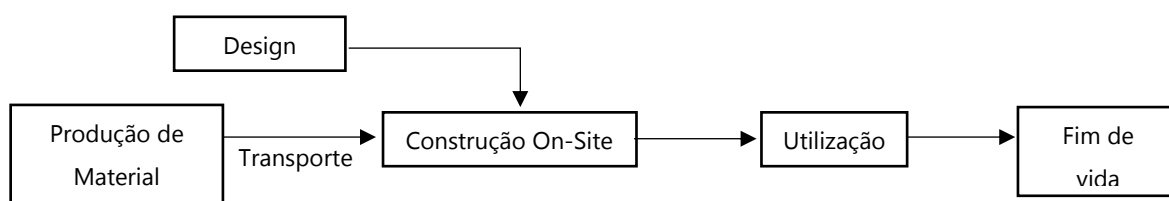


Figura 2.19 — Ciclo de vida de uma construção tradicional

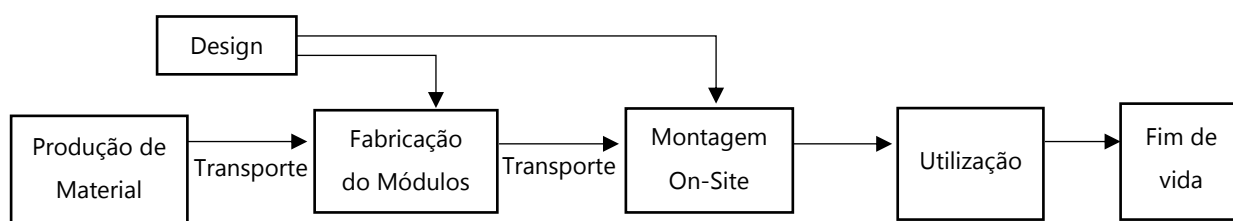


Figura 2.20 — Ciclo de vida de uma construção modular

Fonte: Adaptado de Kamali - Energy & Buildings

As construções modulares atendem a todas as legislações de construção aplicáveis e são indistinguíveis da construção tradicional. Assim, como a construção tradicional ("on-site"), a construção modular ("off-site") pode ser utilizada para diversos fins, incluindo edifícios residenciais, serviços, escolas, centros de saúde, hospitais, centros comerciais e fábricas.

Em comparação com os métodos de construção clássicos, as maiores vantagens das técnicas de construção "off-site" são principalmente, o custo mais baixo e um prazo de execução mais curto. Existe também um aumento significativo da qualidade do executado em fábrica. Estes fatores apresentam-se valiosos para os empreiteiros, bem como para os clientes.

Todas as vantagens da construção "off-site" mencionadas anteriormente têm um grande potencial e podem ser utilizadas em diferentes tipos de edifícios, que variam consoante o seu objetivo.

Apesar da construção modular ter em conta a sustentabilidade, não significa propriamente que seja construção sustentável, mas pode-se afirmar que é uma construção mais sustentável do que a construção tradicional, pois otimiza os recursos. Se existir um bom planeamento e organização de fabrico, a construção modular consegue, como já anteriormente mencionado, obter uma redução do desperdício de até 90% e de gastos de energia de até 67% quando comparada com a construção tradicional (Aires & Quintas, 2023).

Não há dúvida que os edifícios modulares eram, e de certa forma ainda são, considerados como temporários, mas cada vez há mais profissionais e clientes a reconhecerem a flexibilidade, a maior segurança e os riscos reduzidos da construção modular, como sejam no cumprimento dos prazos ou na segurança dos trabalhadores.

O setor da engenharia civil é o único setor da economia que ainda não foi totalmente industrializado. Isto deve-se ao facto de muitos dos seus produtos não terem um padrão, ou seja, há um alto grau de personalização do produto.

Uma das dificuldades da construção civil conseguir industrializar-se, em comparação com outros sectores, é o facto de ser o único sector em que o fabrico pode variar de local e o produto final ser num espaço previamente determinado. A fábrica termina a sua intervenção, e o produto final permanece. Enquanto uma fábrica está num local fixo e os produtos saem da mesma, na construção tradicional a fábrica tem de ser montada num local diferente, e no final, o edifício permanece e a fábrica dá fim à sua intervenção.

Uma indústria caracteriza-se por uma produção de elevada qualidade, baixo custo e de tempo otimizado. Porém esses produtos são feitos em larga escala, com uma série de padrões. Tomemos como exemplo a indústria automobilística, ou outras, com linhas de produção em que há um alto nível de padronização, mesmo havendo uma certa personalização do produto, existe uma produção em escala que reduz o custo e garante alta qualidade.

Finalmente apresenta-se um quadro comparativo dos aspetos positivos e negativos dos dois tipos de construção (Figura 2.21 e 2.22).

	Construção Modular	Construção Tradicional
Menor custo		
Menor prazo		
Eficiência e previsibilidade		
Durabilidade		
Flexibilidade		
Qualidade		
Segurança em trabalho		
Sustentabilidade		
Necessidade de especialização		
Redução de interrupções		

Figura 2.21 — Comparação dos aspetos positivos e negativos da Construção Modular VS Construção Tradicional

Chave:	
Tem. É uma vantagem	
Tem. É uma desvantagem	
Não tem. É uma desvantagem	

Figura 2.22 — Chave dos aspetos positivos e negativos da Construção Modular VS Construção Tradicional

2.8 Modulação em betão armado

A produção de estruturas de BA pré-fabricado é um processo que envolve uma cuidadosa seleção de materiais, moldagem precisa e condições controladas em fábrica. Tem um design otimizado para eficiência na produção e montagem, resultando em elementos robustos e duráveis.

As qualidades anteriormente referenciadas, combinadas com um custo mais baixo do que a construção tradicional, tornam o processo viável para a industrialização, podendo existir algumas variantes no BA, de forma a complementar as suas características. O BA com fibras ou betão reforçado com fibras, promovem uma melhoria significativa na resistência à tração e à ductilidade, melhorando também a resistência ao impacto, e reduzindo a propagação de fissuras.

Uma variante é o betão de alta resistência, que apresenta uma notável resistência às forças de compressão, oferece vantagens como maior durabilidade e melhor proteção da armadura contra corrosão. No entanto, esse aumento na resistência pode resultar numa maior fragilidade do material, devido à redução da ductilidade. Apesar desta contrariedade houve uma aposta no desenvolvimento deste tipo de betão, principalmente devido à possibilidade de reduzir as secções transversais dos elementos estruturais, permitindo a conceção de elementos mais esbeltos, mantendo a resistência, e tornando-o de grande interesse para a pré-fabricação (Tomás, 2010).

O projeto de estruturas modulares em betão deve abordar cuidadosamente os aspetos relacionados com as tolerâncias e folgas de montagem, que são inerentes a qualquer construção, pois asseguram a precisão na montagem dos elementos e facilitam o encaixe adequado. É necessário também um controle cuidadoso do recobrimento das armaduras de forma a garantir a durabilidade e resistência ao longo do tempo.

No contexto de estruturas de betão pré-fabricadas, as ligações desempenham um papel fundamental para a integridade estrutural e eficiência do sistema. A seleção criteriosa e a implementação adequada de diferentes tipos de ligações, é crucial para garantir um bom desempenho e a durabilidade das estruturas.

A pré-fabricação oferece a oportunidade de produzir com facilidade elementos pré-esforçados, como pavimentos, vigas e vigotas. O projeto de estruturas deve ser bem detalhado para reduzir improvisações durante o processo de construção.

2.9 Avanços na tecnologia

Atualmente é reconhecido internacionalmente um grande potencial no setor da construção devido às novas tecnologias e à constante evolução de conceitos.

Existem vários países, onde as condições climáticas são bastante adversas para a prática da construção "on-site", como por exemplo os países do norte da Europa, que são afetados por chuvas, mau tempo e temperaturas bastante baixas. Estes países têm uma maior necessidade de desenvolvimento tecnológico e da pré-fabricação, porque desta forma a construção é feita em ambientes controlados (protegidos do exterior) melhorando assim a produtividade da construção quando comparada a uma construção tradicional (Silva, 2012).

Este setor de construção modular tem tido um avanço notável, oferecendo agora uma gama variada de soluções, com opções diversas, em termos de dimensões em planta e altura dos edifícios. Uma das principais vantagens da construção "off-site" é a capacidade de adaptar os edifícios de acordo com as necessidades específicas do local em que será executado ou montado.

Inicialmente, as opções de construção eram limitadas a alguns comprimentos e larguras padronizados. Atualmente, a diversidade de configurações disponíveis aumentou significativamente, com a possibilidade de construção de edifícios com vários andares e dimensões em planta, o que representa um avanço significativo.

O conceito subjacente à construção modular visa a aplicação dos benefícios de processos industriais à construção, sem comprometer a estética e a flexibilidade exigida pelos arquitetos. Embora a modularização e a pré-fabricação fossem associadas à falta de flexibilidade e à rigidez geométrica, este conceito hoje oferece uma alternativa sólida à construção convencional, desafiando conceitos e estereótipos relacionados com a produção industrializada.

A construção modular e a pré-fabricação desempenham um papel fundamental na criação de edifícios mais sustentáveis, com soluções que economizam energia e recursos. Além disso, essas técnicas podem ser projetadas de forma inclusiva, garantindo que pessoas de todas as faixas etárias e capacidades possam desfrutar dos espaços projetados. A ênfase na funcionalidade, sustentabilidade e eficiência não compromete a expressão arquitetónica, resultando em um design mais inclusivo e esteticamente agradável (Aires & Quintas, 2023). Abaixo apresentam-se fotografias de uma residência de estudantes modular, na Dinamarca, Aarhus, onde a construção foi integrada no local de forma sustentável e sem comprometer a expressão arquitetónica (Figura 2.21).



1 - Construção Modular perspectiva 1; 2 - Construção modular perspectiva 2

Figura 2.23 — Residência de estudantes em Sneglehusene, perto de Aarhus, na Dinamarca

Fonte: Edifício Residencial Sneglehusene- ArchDaily - Consultada em novembro 2023

3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, realiza-se uma análise SWOT detalhada da construção modular. Identificam-se os pontos fortes e fracos desta abordagem construtiva, bem como as oportunidades e ameaças que enfrenta no mercado. Esta análise permite uma compreensão mais aprofundada do estado atual da construção modular, destacando áreas de melhoria e potencial de crescimento. Ao examinar os fatores internos e externos que influenciam esta metodologia construtiva, procuram-se informações valiosas para aplicar em estratégias futuras e promover uma adoção mais ampla e eficaz da construção modular.

3.2 Método

A análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) é um método de planeamento estruturado, com o objetivo de identificar fatores favoráveis e desfavoráveis, sejam eles internos ou externos, que impactam um mercado industrial específico.

Os pontos fortes e fracos referem-se a fatores internos, ou seja, às características inerentes a uma empresa, que lhe conferem vantagens competitivas ou desvantagens quando comparadas com outras indústrias. Por outro lado, as oportunidades e ameaças, são fatores externos, situados fora do controlo da indústria, que podem ter um impacto positivo ou negativo sobre uma empresa.

Os resultados da análise "SWOT" são geralmente utilizados em processos de tomada de decisão e na formulação de estratégias organizacionais eficazes.

3.3 Pontos Fortes

A economia de tempo e de custos é repetidamente apresentada como o principal ponto forte da construção pré-fabricada. A principal razão reside no facto de os módulos serem produzidos em paralelo com as operações no local. Este facto manifesta-se numa redução significativa do prazo de construção, que se estima situar entre 30 e 50 %, dependendo do projeto. Embora os custos de construção sejam provavelmente competitivos em relação a um processo de construção tradicional, a poupança de tempo resultante do trabalho em simultâneo "off-site" e "on-site" permite aos clientes obter lucros mais rapidamente e reduzir custos com a deslocação de trabalhadores e equipamentos. A garantia dos prazos e custos é uma das características da construção modular. Pode-se assim rotular a construção modular como uma construção com uma gestão transparente e de qualidade, onde a estimativa de prazos e custos é mais precisa quando comparada com uma construção tradicional.

A construção "off-site" tem diversos benefícios associados ao tipo de ambiente de trabalho, existindo alguns de maior relevância, como o aumento da qualidade do produto e das condições de trabalho, devido ao facto dos materiais e dos trabalhadores estarem protegidos de condições ambientais adversas. Com isto, vai ser possível reciclar e reutilizar os materiais, em fábrica e podem ser utilizadas cofragens metálicas. Para além disso, há uma melhoria das condições de trabalho e automatização de funções, e vai haver uma redução de atividades e deslocações desnecessárias, reduzindo esforços e aumentando os níveis de produtividade por parte dos trabalhadores. Assim, há um trabalho menos pesado para os trabalhadores, melhorando o bem-estar destes e promovendo o bom ambiente familiar. Para além disso, existe uma maior segurança no local de trabalho, devido ao facto de as condições de trabalho serem mais controladas em fábrica. O desperdício de materiais (resíduos de cofragens e betão) vai ser substancialmente reduzido quando comparado com a construção tradicional devido à organização da fábrica. Quando há material em excesso, consegue-se utilizar as sobras para diferentes módulos e projetos. (Amuy, 2022)

Nos últimos anos a popularidade da construção modular tem vindo a aumentar, não só por causa do marketing, mas também devido ao facto destes sistemas se estarem a tornar mais estruturados, organizados e produtivos, começando aos poucos a criar uma tendência.

3.4 Pontos Fracos

A construção modular representa um sistema inovador que, como todas as inovações, tende a enfrentar algum preconceito até se tornar numa prática comum e amplamente aceite, requerendo um período de adaptação. No entanto, a sua implementação é limitada pela falta de apoios e investimentos na indústria para um total desenvolvimento do produto.

Uma das limitações inerentes à falta de desenvolvimento é o design das construções, ainda pouco adaptado e com pouca diversidade de soluções, criando algumas incertezas nos projetistas, construtores e consumidores finais. Os projetistas ficam constrangidos perante limitações como os recortes dos módulos, e as dificuldades em realizar alterações durante a fabricação do produto, pelo facto de o projeto ficar fechado em fases muito iniciais, e ainda pela fraca customização da construção, existindo assim uma barreira cultural.

Estas questões, a par de alguns problemas de gestão e de coordenação nas empresas, são negativas para a imagem da construção modular.

A produção de módulos em fábrica e o envio destes para o local da obra, pode ter alguns constrangimentos, caso estes não sejam estudados previamente pela empresa de produção, porque o peso e as dimensões dos módulos são aspetos importantes a ter em conta aquando do seu transporte. A montagem dos módulos também pode ser um entrave, caso os trabalhadores não sejam conhecedores do sistema, o que pode criar algumas dificuldades acrescidas. À semelhança de todas as transições, é necessária uma formação continua dos trabalhadores sobre esta nova forma de construção. (Aires & Quintas, 2023)

Ao compararmos a construção tradicional com a construção modular, concluímos que, para além da diferença dos prazos e dos custos finais, também será necessário um maior investimento inicial, visto que a construção ocorre numa fase muito inicial de todo o processo e termina muito rapidamente, o que pode criar alguns problemas de cash-flow para a empresa.

Por fim, a ainda fraca popularidade e a pouca diversidade da construção modular impedem a expansão em grande escala deste sistema. Será necessário um grande investimento destas novas soluções construtivas e apostar em boas estratégias de marketing de forma a melhorar estes pontos fracos.

Na figura abaixo, pode observar-se um sumário dos fatores internos existentes na construção modular (Figura 3.1).

Pontos Fortes (+)	Pontos Fracos (-)
Redução do prazo da construção	Desafios no transporte
Redução dos custos	Necessidade de capital inicial
Maiores garantias no cumprimento do prazo	Pouca diversidade
Maiores garantias no cumprimento da estimativa do custo	Fraca popularidade
Produção em ambiente controlado	Resistência a alterações durante a produção
Melhor produtividade dos trabalhadores	Limitações na montagem
Bem-estar dos trabalhadores	Dependência de trabalho qualificado
Melhor qualidade e segurança do trabalho	
Mais sustentável	

Figura 3.1 — Síntese dos fatores internos da Construção Modular

3.5 Oportunidades

A construção modular tem vindo a ter oportunidades para poder crescer. Estas oportunidades para crescimento dependem de fatores externos, mas podem também ser influenciadas pelas empresas de construção modular, nomeadamente no fornecimento ao mercado de construção com qualidade e a preços reduzidos

Atualmente não é possível não abordar o tema da inteligência artificial, a qual pode dar grandes oportunidades para catapultar o desenvolvimento da construção modular, possibilitando uma maior inovação e criando novos produtos nesta área. Resultarão assim, inevitavelmente, uma melhoria nos processos de conceção, fabrico, transporte e montagem dos módulos, tal como na eficiência e na qualidade do sistema. A poupança dos custos deste sistema irá proporcionar uma oportunidade para aumentar a eficiência do projeto, porque com esta poupança, é possível investir em materiais com desempenho superior ao exigido, criando um produto de melhor qualidade.

A conciliação da construção modular com a uma construção sustentável é outra grande oportunidade. Por regra, a construção modular já é mais sustentável quando comparada com a tradicional, pelo menos no que toca à fase de projeto e de fabrico dos módulos. A implementação de estratégias sustentáveis é facilitada pelo ambiente de produção controlado as fábricas. De uma forma geral a indústria pode utilizar estes aspetos sustentáveis como publicidade e como uma oportunidade para se considerar como uma solução sustentável.

Nos últimos anos, Portugal tem enfrentado desafios significativos no setor da construção civil, tanto no que diz respeito à habitação como à crescente escassez de mão-de-obra qualificada. Verifica-se um substancial défice de habitações acessíveis nas áreas urbanas e nos centros das cidades. A construção modular surge como uma potencial solução para combater os preços da construção tradicional, uma vez que se apresenta como uma alternativa mais económica, oferecendo à população a oportunidade de adquirir habitações nos centros urbanos a preços mais acessíveis.

Não cabe aqui referir, por estar fora do âmbito deste trabalho, o custo dos terrenos, fator muito importante no custo final do produto.

No que concerne à carência de mão-de-obra qualificada, a construção modular também se posiciona como uma possível resposta para contornar este desafio. Em teoria, a dependência crescente da construção modular é inevitável para fazer face às crescentes necessidades de habitação e infraestruturas.

3.6 Ameaças

Conforme já foi analisado anteriormente, a construção modular está sujeita a fatores externos que representam potenciais ameaças ao seu crescimento.

A principal ameaça à expansão da construção modular reside na resistência da construção tradicional, que, devido à sua longa história e relativa eficiência, pode ser vista como um sistema bem estabelecido. Historicamente, o setor da construção tem demonstrado uma resistência à incorporação de novas tecnologia e soluções inovadoras, caracterizando-se por uma cultura conservadora.

Outro fator externo a ser considerado é a volatilidade do mercado. Em períodos de estabilidade económica e crescimento, a competição com as construções tradicionais pode ser desafiadora para as empresas de construção modular, uma vez que os benefícios da poupança de recursos e da adoção de novas estratégias podem parecer desnecessárias.

Além disso, a falta de regulamentação específica e consistente representa também uma ameaça. A legislação e os regulamentos podem variar significativamente entre países, o que pode criar obstáculos à globalização do setor da construção modular. Obter licenças para projetos pode ser uma tarefa complexa e demorada, frequentemente associada a custos significativos.

Por fim, é importante salientar que a implementação dos sistemas modulares de construção enfrenta uma considerável resistência à mudança. A natureza humana muitas vezes não acolhe facilmente a mudança, tornando desafiadora a introdução de métodos modulares que procuram substituir as construções tradicionais, profundamente enraizadas na indústria há largas décadas. As dúvidas acerca da durabilidade e qualidade dessas novas construções são frequentes e podem representar obstáculos significativos.

Da mesma forma, os arquitetos podem ser resistentes ao desenvolvimento desses sistemas, visto que podem sentir, que têm menos influência no design final da construção e uma redução da sua liberdade criativa, o que pode desencorajar a adoção da construção modular.

Para enfrentar essas ameaças, é imperativo adotar um planejamento estratégico robusto, implementar estratégias de marketing eficazes e investir continuamente na inovação e desenvolvimento do produto. Além disso, estabelecer relações sólidas com fornecedores, clientes e reguladores é essencial para superar esses desafios e promover com sucesso a construção modular.

Na próxima figura apresenta-se um sumário dos fatores exteriores existentes na construção modular (Figura 3.2).

Oportunidades (+)	Ameaças (-)
Inovação e tecnologia	Construção tradicional
Escassez de mão-de-obra qualificada	Falta de normas
Sustentabilidade	Cultura de construção conservadora
Problemas na habitação com construção tradicional	Resistência à mudança
Flexibilidade	

Figura 3.2 — Síntese dos fatores externos da Construção Modular

3.7 Síntese

Com base em toda a matéria exposta, torna-se evidente que a construção modular representa uma mais-valia para a indústria da construção civil, devido a fatores como a redução do prazo da construção, redução de custos e melhoria da qualidade. No entanto, é igualmente claro que, apesar das várias vantagens identificadas, é necessário ainda um crescimento considerável para superar a falta de informação e melhorar a sua aceitação.

A análise realizada nos capítulos anteriores revela que, apesar dos desafios enfrentados pela construção modular na indústria da construção, os benefícios que este sistema proporciona podem superar as suas deficiências e riscos inerentes. As fraquezas podem ser abordadas de forma eficaz, ao tirar maior partido das tecnologias disponíveis e ao promover uma mudança cultural em direção a uma mentalidade mais industrial.

Considerando os fatores externos, é evidente que as oportunidades oferecidas pela inovação e pela tecnologia superam as ameaças e riscos associados. Estas oportunidades têm o potencial de impulsionar o desenvolvimento e o crescimento da construção modular. Para alcançar esse objetivo é essencial uma gestão adequada para identificar estratégias que capitalizem as forças, atenuem as fraquezas, aproveitem as oportunidades e enfrentem as ameaças, a fim de promover o crescimento e a aceitação deste setor.

GESTÃO DO PROCESSO DE FABRICO

4.1 Considerações iniciais

Nas fábricas de elementos modulares, nos setores de gestão de qualidade, são exploradas estratégias para otimizar a produção, incluindo o uso de metodologias como LEAN e BIM. Este capítulo tem como objetivo apresentar a eficácia destas abordagens na melhoria dos processos de fabrico modular, identificando oportunidades para aumentar a eficiência e a qualidade dos produtos finais.

4.2 Produção

A produção de sistemas modulares tem emergido como uma abordagem inovadora e eficiente na construção moderna. Neste contexto, é necessário compreender o processo de fabrico desses sistemas, examinando detalhadamente as etapas da sua produção e procurando soluções que melhorem a eficácia do sistema. Os módulos de construção, geralmente, incluem estrutura resistente vertical em pilares e/ou painéis de parede (interiores e de fachada), estrutura dos pisos (vigas e lajes), paredes não estruturais (divisórias e de fachada), instalações técnicas (redes de águas, esgotos, eletricidade, telecomunicações e gás), revestimentos (isolamento térmicos e acústicos, acabamentos de pavimentos, paredes e tetos), envidraçados, e mobiliário e equipamentos fixos (nas instalações sanitárias e cozinhas).

No que se segue são exploradas as diversas fases do processo de produção dos sistemas modulares, desde a seleção de materiais até à produção final.

O processo de produção "off-site" na construção modular, compreende geralmente três fases: preparação da produção, produção propriamente dita e inspeção (Wu, et al., 2021). Este processo pode ser descrito da seguinte forma:

- O início ocorre quando o gestor de projeto assina o contrato para confirmar a encomenda, dando início à produção;
- Os inputs incluem o plano de produção e os desenhos do projeto;
- O processo conclui-se quando o gestor de projeto confirma a entrega dos materiais;
- Os outputs são os módulos já finalizados.

Na fase de preparação da produção, o empreiteiro colabora com o fabricante e com o projetista, para desenvolver um plano de produção. Após a confirmação dos elementos (desenhos) do projeto, o departamento técnico do fabricante elabora desenhos detalhados, para a execução, sujeitos à aprovação do cliente. É a chamada preparação do trabalho. Uma vez aprovados aqueles, o fabricante elabora um plano de produção e uma lista de materiais conforme o plano de execução (Wu, et al., 2021). O departamento de aprovisionamento do fabricante procede então à encomenda dos materiais, os quais são utilizados após inspeções e testes. Os materiais aprovados são enviados para a fábrica, onde o departamento de produção inicia a fabricação (Liu, et al., 2023).

Nas fases de produção e inspeção, o módulo padrão é produzido através de cinco procedimentos principais, além de testes de colocação em funcionamento: estrutura, portas/janelas, paredes, acabamentos, pinturas, instalações elétricas e mecânicas, instalações de águas e esgotos. Se necessário, são efetuados testes de inundação nas casas de banho. Deverão ser realizadas diversas inspeções e testes para garantir a qualidade em cada ponto, como a verificação da espessura do revestimento à prova de fogo, dimensões das janelas e portas.

4.3 Gestão da qualidade

Para garantir uma eficiente produção em fábrica, é crucial implementar um sistema de gestão da qualidade eficaz em todo o processo de fabrico. A gestão da qualidade abrange todas as atividades destinadas a atingir a utilização prevista de um produto e a satisfazer as necessidades dos utilizadores. O seu objetivo é prevenir erros ou defeitos através da identificação e gestão das suas causas.

Dado que essa produção ocorre "off-site", é fácil gerir e utilizar informações sobre a qualidade, pois estas são geradas sequencialmente de acordo com o processo de fabrico definido. Essa capacidade de gestão da informação destaca-se na construção modular em comparação com a tradicional (Mukherjee, et al., 2000).

À medida que os projetos de construção modular aumentam em dimensão e complexidade, torna-se essencial obter informações sobre os níveis de qualidade do produto. A acumulação de informações e a resultante redução de defeitos podem levar a uma maior eficiência nos projetos de construção, o que implica a redução de custos e prazos (Wuni, et al., 2019).

Para gerir eficazmente a informação da qualidade, é apresentada uma das várias definições possíveis para um "sistema de gestão de informação da qualidade" (Shin & Choi, 2022):

- Recolha de dados gerados durante o processo de fabrico para obter informações essenciais sobre a qualidade do processo;
- Normalização da informação da qualidade, integrando os dados num único sistema de gestão;
- Definição das funções principais do sistema;
- Desenvolvimento do sistema de acordo com os conteúdos funcionais definidos;
- Verificação da utilidade do sistema.

Além da implementação do sistema de gestão da qualidade, existem outros métodos de otimização da produção para melhorar a produtividade da construção modular, tais como, JIT (Just-in-Time), BIM (Building Information Modeling) e a utilização de robôs.

Apesar do potencial na utilização da informação da qualidade na construção modular, ainda não foram realizados estudos aprofundados sobre a gestão e utilização dessa informação para um maior desenvolvimento económico e sustentável deste sistema.

4.3.1 Análise do processo

Os módulos, à medida que são fabricados, geram informações sobre a qualidade. Esta informação é obtida a partir de todas as atividades que podem afetar a qualidade do produto, como a aprovação dos materiais, a inspeção física, a gestão do pessoal e a gestão dos documentos de conceção. A informação gerada sobre a qualidade pode influenciar diretamente a qualidade da produção dos módulos, pois também é influenciada pela informação da qualidade noutras tarefas. Portanto, para gerir eficazmente a informação sobre a qualidade é necessário identificar e classificar as características das tarefas que geram informação sobre a qualidade durante o fabrico (Shin & Choi, 2022).

O processo de gestão da qualidade pode ser dividido em três fases: fase de planeamento, fase de aquisição e fase de produção do módulo.

A fase de planeamento inicia-se com a distribuição dos desenhos (projeto) e com um plano básico de gestão, que se tornará mais pormenorizado à medida que a produção avança. Durante a fase de aquisição, são selecionados os fornecedores, são feitos os pedidos de compra e encomendados os materiais.

Na fase de produção, há inspeções dos materiais e dos trabalhos de produção, e após a conclusão, o módulo é enviado para a obra. A figura 4.1 mostra um esquema pormenorizado de um possível processo de gestão da qualidade durante a produção do módulo.

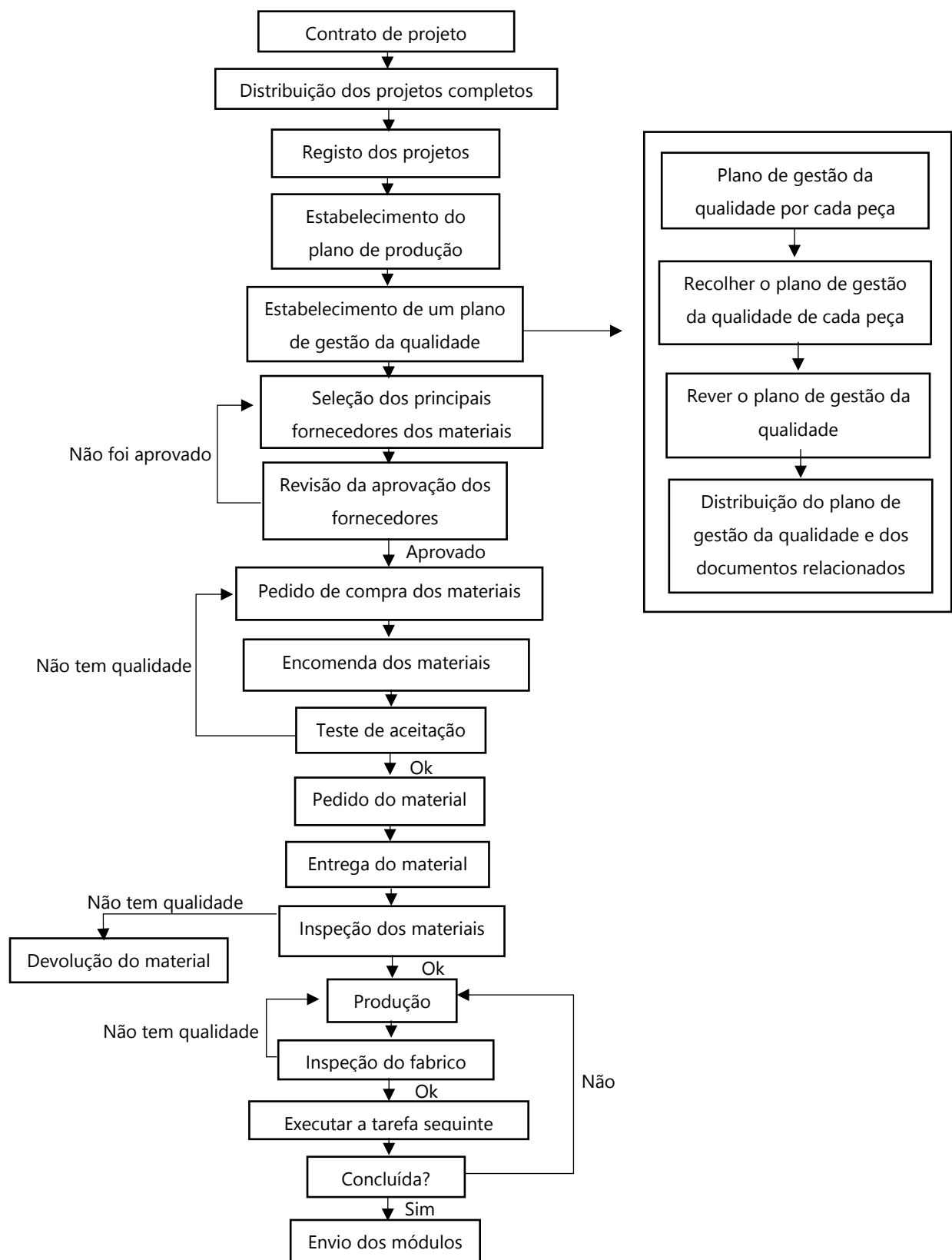


Figura 4.1 — Processo de gestão da qualidade na produção dos módulos

Fonte: Adaptado de Shin & Choi - Design and implementation of quality information management system

4.4 Otimização da produção

Atualmente, as fábricas de elementos modulares frequentemente enfrentam a falta de informação em tempo real para os diferentes processos de trabalho. Ao estabelecer uma ponte digital entre estes processos, pode obter-se grandes melhorias na eficiência e rentabilidade de uma fábrica.

A presente secção tem como propósito destacar as várias potencialidades que provêm da integração do BIM e dos princípios LEAN, aliados a softwares e sistemas de gestão. Estas ferramentas desempenham um papel fundamental no processo de produção de elementos modulares.

O intuito é, não apenas evidenciar o impacto significativo destas abordagens, mas também discutir como a sua implementação, contribuirá para a evolução e atratividade da construção modular, oferecendo uma margem substancial para o progresso contínuo desta solução.

4.4.1 Softwares de sistemas de gestão de fábrica

O aparecimento de softwares, de sistemas de gestão nos processos de fabrico, veio colmatar algumas das lacunas existentes na construção modular. Numa obra tradicional, a redução do tempo de construção costuma ser associada à disponibilidade de mais equipamento e mão-de-obra. No entanto, numa fábrica de produção modular, esse aumento pode causar efeitos adversos devido à possível sobreposição de mão-de-obra. Assim, para reduzir o tempo em fábrica, pode ser necessário aumentar a mão-de-obra, em conjunto com a integração e subdivisão do trabalho através da ajuda de softwares de sistema de gestão (Elematic, 2019).

Para obter um software otimizado para o processo de fabrico dos módulos, é necessária uma boa organização do sistema de gestão, que incorpora três funções fundamentais: configuração da fábrica, criação de projetos e análise de resultados. Na função de configuração da fábrica, são organizadas a área e a disposição dos equipamentos na fábrica (Elematic, 2019). Na função de criação de projetos, define-se o tipo de projeto, o número de unidades de elementos modulares, a data de início do fabrico e os dados associados à mão-de-obra e aos materiais. Nesta fase, define-se a linha de fabrico, podendo esta ser de produção estática ou contínua. Uma vez criada a linha de produção, inicia-se o processo de fabrico, onde são introduzidos os dados relativos à mão-de-obra e ao material. Por fim, na função análise de

resultados, são apresentados o método de fabrico, a produção do módulo e quantidade de mão-de-obra envolvida.

Ao conectar digitalmente os processos de trabalho, é possível obter grandes melhorias na eficiência da produção e na rentabilidade da fábrica. Com o software de gestão podem existir vários parâmetros independentes que ligam e apoiam diferentes linhas de produção, vendas, armazenamento, qualidade, logística e operações totais da fábrica. Este sistema pode ser capaz de fornecer dados sobre o progresso da produção em tempo real, específicos para cada estação de trabalho. Inclui também a comparação entre os tempos de trabalho reais e as estimativas, bem como os períodos de espera para a próxima fase da produção. O sistema armazena automaticamente o histórico de produção, facilitando medidas de melhoria da qualidade (Elematic, 2019).

No caso da construção de edifícios, o modelo de produção inclui um planeamento de produção automático e visual, baseado no navegador para otimizar a produção de painéis de parede, bem como a produção de vigas, pilares e lajes pretendidas. Este software tem também que possuir a capacidade de importar modelos BIM que permitam a transferência dos projetos do software de desenho para o módulo de produção. Ao automatizar as tarefas e ao utilizar em fábrica a metodologia BIM (projeto de arquitetura inicial + produção do elemento modulares), o software irá ajudar o utilizador a cumprir os prazos apertados dos projetos de construção (Figura 4.2).

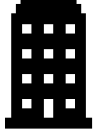
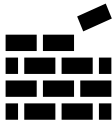
 Proposta - Cálculo de preços - Gestão de versões da proposta - Elaboração da proposta final	 Projeto - Síntese do projeto - Peças do projeto - Análise do preço e custos do projeto	 Produto - Introduzir desenhos no sistema - Recolher dados da produção	 Camião de carga - Cargas do camião - Posicionamento dos elementos - Otimizar o peso	 Materiais - Manutenção dos materiais - Consumo de materiais - Preços dos materiais
 Armazém - Planeamento do stock - Armazenamento em tempo real	 Qualidade - Folhas de controlo de qualidade digital - Listas e acompanhamento de correções - Armazenamento de dados da qualidade - Análises de qualidade	 Capacidade - Utilização da capacidade da fábrica - Linha de produção específica - Categorias de carga - Relatórios de sobrecargas	 Manutenção - Inventário de equipamento - Manutenção preventiva regular - Acompanhamento do historial de manutenção	 Relatórios - Relatórios personalizáveis - Painel de controlo específico da fábrica

Figura 4.2 — Principais etapas na fabricação

Fonte: Adaptado de Elematic- Elematic Plan control

4.4.2 Utilização do LEAN & BIM na construção modular

O BIM e o LEAN são duas metodologias distintas, cada uma exercendo um impacto fundamental no processo construtivo.

A filosofia LEAN na produção, inicialmente desenvolvida pela Toyota sob a orientação do engenheiro "Ohno", visa a redução de resíduos no sistema de produção. Fundamentada na minimização do desperdício, procura a excelência nas atividades do processo produtivo, visando criar valor para o cliente. Neste contexto, atividades que não contribuam para o valor final do produto são consideradas como desperdício (Womack, 1997).

Por sua vez, o BIM sustenta a criação de um processo que procura aprimorar a qualidade do produto, reduzir custos e encurtar a duração do projeto (Eastman, 2008). Aplicável em todas as fases do processo (projetos, gestão da produção e construção), o BIM desempenha um papel crucial na redução do desperdício na construção (Arayici, 2011). O processo de elaboração de projetos torna-se mais eficiente, uma vez que o modelo pode ser completamente gerado em ambiente BIM (Azhar, 2008).

Embora independentes, a aplicação conjunta destas abordagens pode aumentar os benefícios de uma solução construtiva modular, maximizando a eficiência e os resultados financeiros.

4.4.2.1 LEAN

O conceito LEAN pode ser definido por cinco componentes: o valor de um produto é definido pelo cliente; identificação das operações que agregam o valor ao produto, eliminando desperdícios para aprimorar o fluxo de produção; criação de um fluxo de produção ininterrupto, otimizando o processo; atendimento às necessidades e preferências do cliente; procura pela perfeição (Soares, 2022).

O processo de produção dos módulos compreende fases de projeto, fabrico, transporte e montagem, todas passíveis de otimização por meio de técnicas de gestão LEAN, visando minimizar desperdícios e maximizar o valor final do produto (Barriga, 2005).

Nas fases de projeto, o conceito LEAN preconiza a redução da complexidade, a minimização da personalização e o aumento da standardização de cada módulo. A eficácia dessas estratégias pode ser prejudicada com edifícios específicos, tais como hospitais ou habitação. Nesses casos, é essencial conceber produtos que simplifiquem as atividades de produção, e integrando as fases de projeto e fabrico. Na fase de fabrico, destaca-se a gestão eficiente do fluxo de materiais e o controlo de stocks, baseando a quantidade de material necessário na programação de produção para minimizar os stocks (Howell, 1999).

A implementação da gestão LEAN na construção modular oferece benefícios como aumento da produtividade, redução de custos e aumento do rendimento. No entanto, o destaque vai para o aumento da sustentabilidade, tanto ambiental como económica (Nahmen, 2011). A redução de resíduos, de materiais ou de atividades sem valor agregado, apresenta vantagens ambientais e económicas, contribuindo para a diminuição de custos e poluição (Figura 4.3). Além disso, a aplicação do princípio LEAN garante um local de trabalho mais seguro e melhores condições laborais, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e melhores condições sociais (Nahmens & Mullens, 2009).



Figura 4.3 —Benefícios gerais da gestão LEAN

Fonte: Adaptado de Innella, 2019 - LEAN methodologies and techniques for modular construction

4.4.2.2 BIM

A metodologia BIM e as tecnologias de construção modular estão profundamente interligados, podendo ser aplicados em conjunto para assegurar o cumprimento de prazos, melhorar a qualidade da construção e maximizar os lucros do sector (Sabet, 2019). Com o apoio do BIM, a construção modular é considerada uma das tecnologias cruciais para superar as dificuldades enfrentadas pela indústria da construção (Yin, 2019).

O BIM é uma metodologia que pode apoiar diversas tarefas, como revisões de projeto, análise da construção, simulações de processos e estimativas de custos, através da visualização digital de edifícios em modelos 3D (Sacks, 2011). Esta ferramenta possibilita a integração de projetos arquitetónico e estruturais com os conceitos de modularidade, fornecendo ao utilizador um modelo que facilita processo de tomada de decisão. Além disso, os registos na base de dados do projeto podem ser alterados simultaneamente por diversos intervenientes no projeto (Senescul. 2006).

Nas figuras 4.4 e 4.5 pode observar-se a comparação entre um planeamento corrente e um planeamento com base na metodologia BIM.

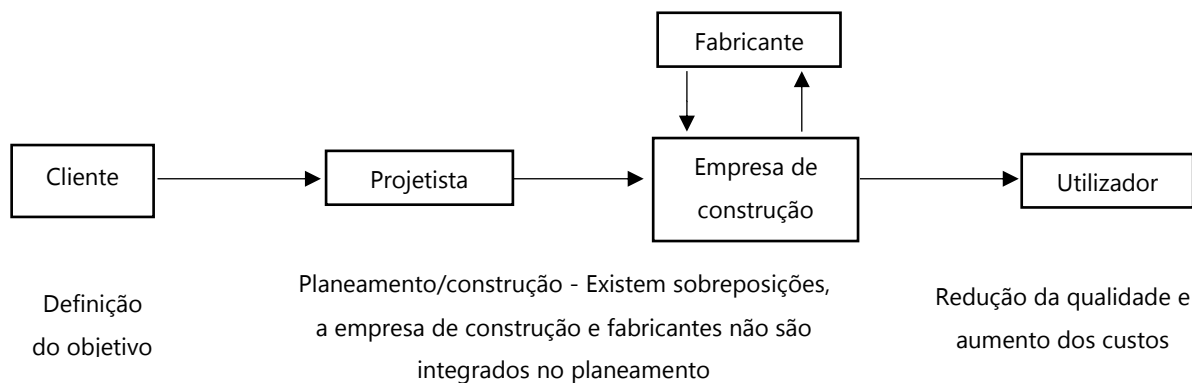


Figura 4.4 — Planeamento corrente sem a utilização do BIM

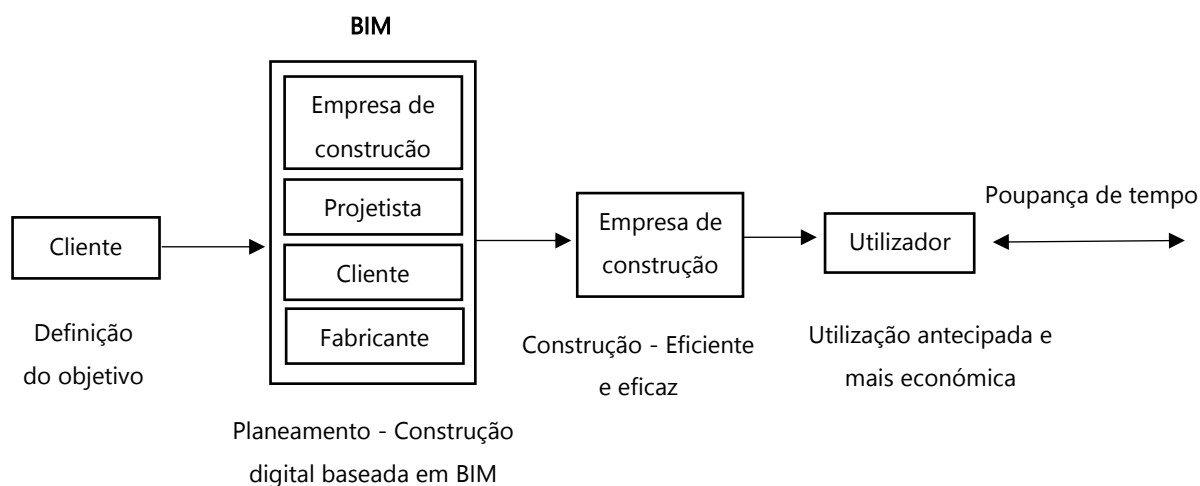


Figura 4.5 — Planeamento com a utilização do BIM

Fonte: Adaptado de Sommer - Projektmanagement im Hochbau mit BIM und LEAN Management

Para garantir que o modelo BIM seja capaz de fornecer projetos de construção adequados, é fundamental que o utilizador forneça informações essenciais ao projeto, permitindo a obtenção dados como listas de materiais, tempo de construção da obra, planeamento de etapas de construção, entre outras possibilidades (Alwisy, 2010).

Estes modelos podem desenvolver sistemas capazes de fornecer as especificações necessárias para a conceção, modelação, fabrico e até instalação de projetos de construção (Lee, 2005).

4.4.2.3 BIM/LEAN

No âmbito da otimização do processo de produção na construção modular, propõe-se a integração do BIM e do LEAN. A abordagem é implementada através da expansão da ferramenta informática destinada à elaboração do projeto e elaboração do processo de fabrico de construções modulares.

De início, a aplicação foi aprimorada para gerar um programa detalhado dos componentes do edifício. Em seguida, desenvolve-se um Mapa do Fluxo de Valor (Value Stream Map, conhecido como VSM) da fábrica, técnica utilizada para criar um guia visual de todos os componentes necessários para fornecer um produto, com o objetivo de analisar e otimizar o processo. Este procedimento é realizado por meio do método proposto chamado "Melhoria Integrada de Processos" (MIP), que incorpora os princípios LEAN, visando a redução de desperdícios nas atividades fabris (Alwisy, 2010).

O método de Melhoria Integrada de Processos (MIP) tem como objetivos fundamentais o aumento da produtividade, a redução de desperdícios, a normalização dos processos construtivos, a diminuição de atrasos, a gestão eficiente de inventários, a resolução de problemas ou defeitos e a otimização do uso do espaço. As informações provenientes do conjunto de elementos do edifício, que abrange paredes, lajes, portas, janelas, vigas, pilares e sistemas MEP (sistemas mecânicos, elétricos e tubulações), são inseridas no MIP considerando critérios como o espaço disponível na fábrica, os recursos humanos, o horário de trabalho e a programação da procura do cliente. Após a análise do programa, é criado um VSM para o processo de fabrico, permitindo a análise e melhoria das etapas necessárias da produção e diagnosticando a cadeia de valor, identificando potenciais desperdícios e suas causas. (Figura 4.6)

O sistema do processo de fabrico fornece um conjunto completo de desenhos necessários para a produção dos elementos de construções modulares, utilizando a metodologia BIM. Esta metodologia utiliza uma análise baseada em cenários para gerar automaticamente desenhos de fabrico (Alwisy, 2010).

O conceito modular é crucial para estabelecer regras na divisão da planta do edifício em unidades e especificar as dimensões permitidas dos módulos, considerando regulamentos rodoviários e elementos de divisão aceitáveis.

O algoritmo do sistema do processo de fabrico é constituído por três fases: geração do modelo de informação da construção, criação do BIM de fabrico da construção modular e produção de desenhos de pormenorizações. Este modelo, baseado em conceitos de fabrico da construção gera projetos detalhados, listas de materiais e listagem dos componentes dos edifícios. Após o desenvolvimento das pormenorizações, são aplicados conceitos LEAN para otimizar o fluxo de trabalho na linha de produção, considerando a quantidade de trabalho necessário em cada etapa do processo de fabrico, identificando oportunidades de melhoria e eliminando operações que não acrescentam valor. Essa integração do BIM com os princípios LEAN no contexto da construção modular visa alcançar eficiência, qualidade e sustentabilidade ao longo de todos o processo produtivo.

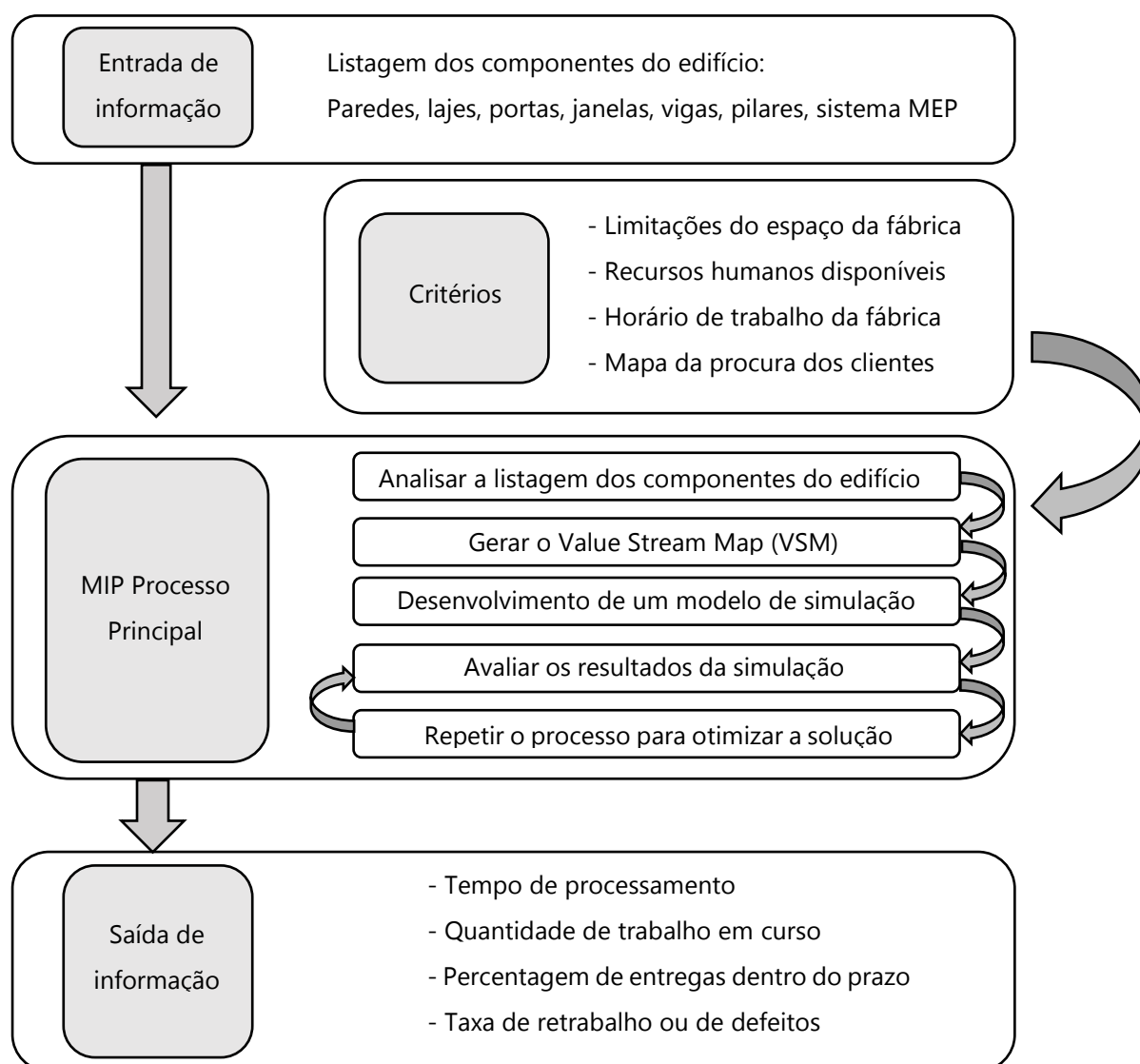


Figura 4.6 — Esquema da Melhoria Integrada de Processos

Fonte: Adaptado de Moghadam, Alwisy & Al-Hussein - Integrated BIM/LEAN Base Production

CASOS DE ESTUDO

5.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, são apresentados dois casos de estudo de edifícios construídos por empresas sediadas em Portugal que adotaram a construção modular. Estes exemplos fornecem uma visão detalhada dos sistemas adotados, destacando as suas características distintas em relação aos métodos construtivos e aos materiais, e o resultado final com a implementação da construção modular. Estes dois exemplos oferecem insights valiosos sobre as práticas de construção modular em contexto nacional, enriquecendo a compreensão sobre os desafios e oportunidades associados a estas abordagens construtivas.

O primeiro caso de estudo refere-se a uma solução desenvolvida pela CREE Buildings, em parceria com o Grupo Casais e produzida pela Verdasca Group.

A CREE Buildings é uma empresa multinacional fundada em 2010, dedicada à construção de edifícios sustentáveis utilizando componentes pré-fabricados à base de madeira. Desenvolveu o sistema CREE, que adiante é objeto de análise.

Por sua vez, o Grupo Casais é uma empresa com uma trajetória consolidada ao longo de décadas, destacando-se como uma das principais empresas de construção em Portugal. Constituída em 1958, o Grupo Casais é reconhecido pela sua experiência, inovação e compromisso com a excelência em todos os projetos que empreende.

A Verdasca Group, constituída em 1987, é uma referência na produção de componentes à base de betão pré-fabricado. Com uma abordagem centrada na qualidade, eficiência e

sustentabilidade, a Verdasca Group tem vindo a reforçar o seu lugar no mercado, oferecendo soluções inovadoras e adaptadas às necessidades específicas dos seus clientes.

Assim, analisa-se a solução modular CREE. Este sistema consiste em painéis modulares 2D, integrando uma abordagem mista de lajes de betão com pilares e vigas em madeira. Será descrito o processo produtivo dos módulos, com análise dos métodos de produção, projetos de arquitetura e de estrutura, assim como as características desta solução mista. Abordar-se-ão as várias fases de produção, desde o projeto inicial até ao planeamento, tipo de materiais e duração das etapas produtivas, incluindo elementos visuais para uma compreensão mais completa e concreta. Por fim, serão relatadas as etapas necessárias para a montagem dos painéis modulares, incluindo equipamentos utilizados, planeamento de montagem e duração do processo.

O segundo caso foca-se na solução construtiva SIMBA, desenvolvida pela Global Engineering em parceria com a DDN.

A DDN é uma empresa de prestação de serviços de Engenharia na área da construção Civil com implementação de soluções tecnológicas.

A Global Engineering está direcionada para o investimento na construção e promoção imobiliária, e que desenvolve soluções e produtos de alta tecnologia aplicados à Engenharia Civil, detentora de uma patente internacional registada, SIMBA, de sistemas modulares 3D em betão.

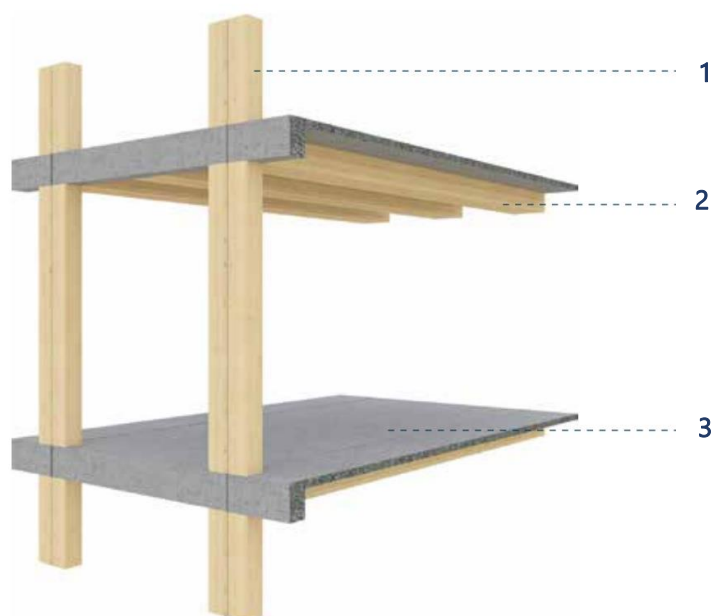
Para o seu estudo, não foi possível ter acesso à documentação da produção dos módulos, nem foi possível receber imagens ou visitar a fábrica onde são produzidos os módulos, devido à confidencialidade que expressaram. Contudo, foi possível visitar uma obra na fase montagem dos módulos.

5.2 Sistema de construção CREE

O sistema CREE surge como uma solução mista inovadora para redefinir a construção modular, oferecendo uma personalização abrangente de edifícios dentro de uma ampla variedade de requisitos. Esta abordagem revoluciona a forma como os edifícios são concebidos, eliminando a monotonia arquitetônica na construção e proporcionando uma ampla flexibilidade de soluções. As soluções estruturais são meticulosamente planejadas em projeto e produzidas em ambientes controlados, minimizando a complexidade das obras no local.

5.2.1 Descrição da solução CREE

Esta solução engloba uma combinação diversificada de elementos de construção para assegurar estabilidade e versatilidade. As fundações do edifício e o núcleo vertical são construídas em BA (pelos métodos tradicionais), enquanto as paredes, tetos, patamares e escadas do núcleo são elementos pré-fabricados de betão. Por sua vez, cada piso é composto por painéis modulares de lajes mistas de madeira e betão, os quais podem integrar elementos das instalações. Estes painéis são montados em pilares de Glulam (lamelado colado de madeira) na fachada (Figura 5.1) e em vigas intermédias de aço ou betão no centro, juntamente com pilares mistos de aço-betão.



1 - Pilar duplo de madeira (Glulam); 2- Painel de pavimento híbrido; 3- Laje de betão

Figura 5.1 — Ilustração da solução CREE

Fonte: CREE, Planning Manual, LCT System, Catálogo

Uma característica distintiva desta solução é a ausência de paredes divisórias com função resistente, conferindo-lhe uma notável flexibilidade e possibilitando uma disposição personalizada dos espaços, adaptável ao longo do tempo. Além disso, destaca-se a versatilidade da fachada configurável do sistema CREE, que pode assumir uma variedade de formas e permitir uma fácil desmontagem para reciclagem dos materiais. Essa versatilidade torna o sistema especialmente adequado para edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos.

De acordo com o Grupo Casais, este tipo de construção usa apenas um terço do betão de um edifício tradicional, o que significa uma redução da pegada de carbono superior a 50% em relação ao betão usado na obra.

Por último, esta abordagem sustentável garante uma qualidade de construção elevada e uma montagem rápida. A flexibilidade do design, tanto no interior como no exterior, proporciona diversas oportunidades de personalização e utilização eficiente do espaço. Na Figura 5.2 é possível observar a possível flexibilidade de design interior no sistema CREE.



1 - Escritório; 2 - Hotel; 3 - Habitação

Figura 5.2 — Flexibilidade do design interior de uma solução CREE

Fonte: CREE, Planning Manual, LCT System, Catálogo

5.2.2 Planeamento do hotel "Tres Cantos" - Madrid

O presente caso de estudo centra-se no Hotel B&B "Tres Cantos", localizado em Madrid, Espanha. Esta unidade representa um marco inovador na indústria hoteleira da região. Trata-se de um empreendimento modular que foi planeado para proporcionar espaços habitacionais modernos e sustentáveis, consistindo em 5 andares, com uma altura total de 23,8 metros e uma área bruta de 4505 m² (Figura 5.3).

A arquitetura do edifício foi elaborada pelo gabinete TdB Arquitectura, de Barcelona, especializado em projetos de construção sustentável.

Neste estudo, serão abordados diversos aspetos relacionados com a conceção, construção e funcionamento deste hotel modular.



1 - Fachada principal; 2 - Fachada principal e empena

Figura 5.3 — Hotel B&B "Tres Cantos" - Madrid

Fonte: ECO Sapo - Casais avança para construção de um segundo hotel híbrido em Madrid-
Consultada em janeiro 2024

Embora o sistema CREE esteja em conformidade com os Eurocódigos, muitas vezes é necessário projetar a estrutura para as ações sísmicas. No entanto, neste caso específico, devido à localização em Madrid, não é necessário fazer considerações para a ação sísmica, simplificando o projeto e o planeamento.

O planeamento abrange o ciclo de vida completo do edifício, desde a seleção de materiais, passando pela produção e construção, até à utilização, eventual conversão, desmantelamento e reutilização futura. Ao alcançar o fim da sua vida útil, a fachada do edifício pode ser parcial ou totalmente substituída sem afetar a estrutura principal. Além disso, partes individuais da estrutura, como por exemplo painéis de fachada, podem ser trocadas conforme necessário, prolongando assim a durabilidade do edifício e contribuindo para a sustentabilidade a longo prazo.

5.2.2.1 Projeto de arquitetura

Para o Hotel B&B "Tres Cantos", o processo de planeamento foi integrado em ambiente BIM, implementando uma construção mais sustentável e eficiente. Como mencionado no capítulo 4, a utilização do BIM torna o processo de planeamento mais eficaz e conduz a uma maior eficiência em todas as fases de construção, especialmente na pré-fabricação dos elementos de construção e na sua montagem no local. Ao analisar o projeto de arquitetura, é possível perceber as dimensões em planta do edifício, sendo uma de 16,70m e outra de 53,30m (considerando o comprimento dos dois núcleos de 6,70m e o comprimento total de todos os painéis lajes de 39,9m).

Para melhor contextualização, serão apresentadas imagens das plantas do rés do chão, dos pisos elevados, do alçado principal, de dois cortes, de um quarto duplo simples e de um quarto duplo adaptado (Figura 5.4 e 5.5).



Figura 5.4 —Planta do piso rés do chão

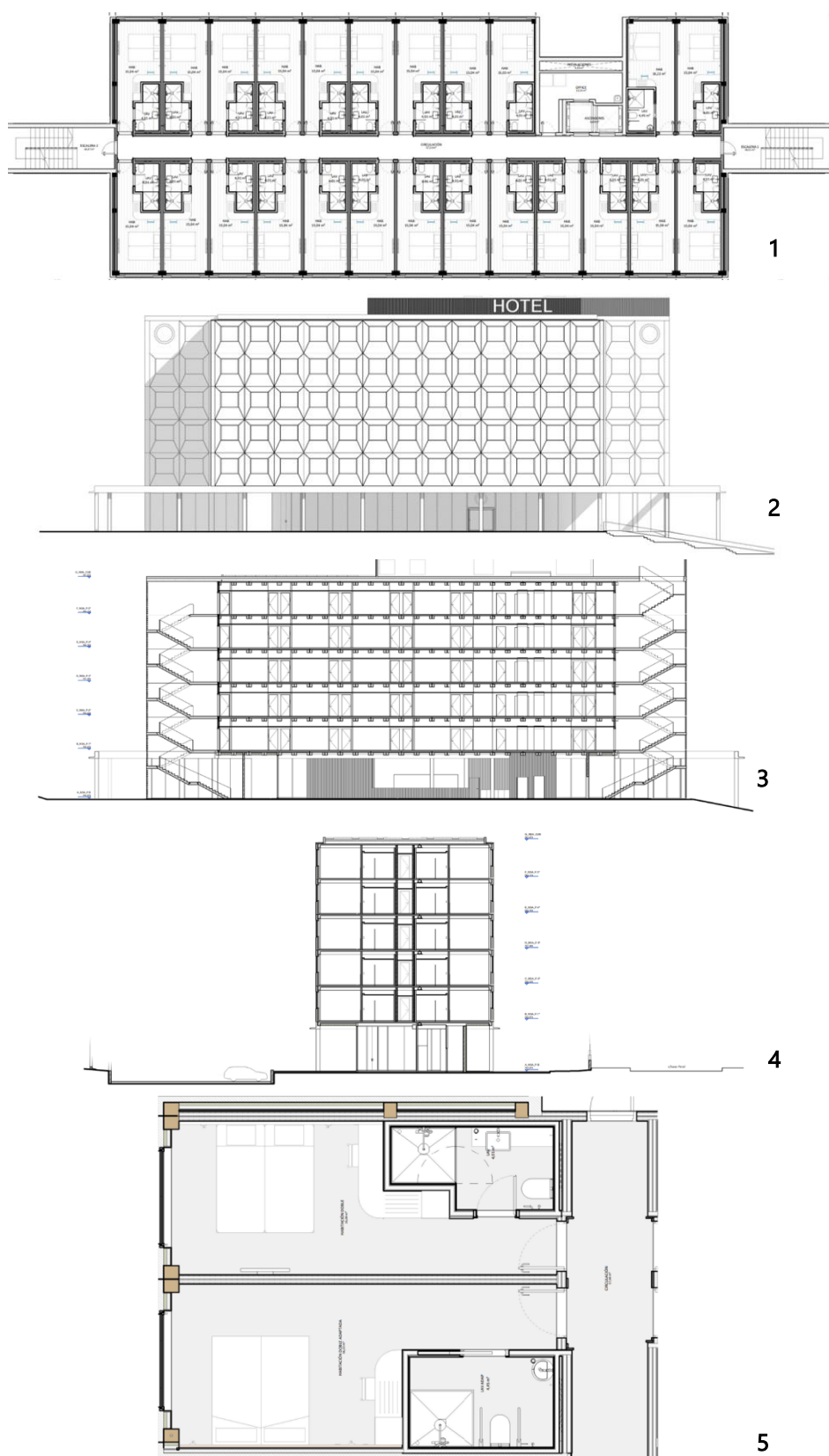


Figura 5.5 — Caracterização do Hotel: 1- Planta pisos elevados; 2- Alçado principal; 3- Corte longitudinal; 4- Corte transversal; 5- Planta de quarto duplo simples e adaptado

Estas imagens constam nos anexos, num tamanho maior de forma a facilitar a sua visualização.

5.2.2.2 Modulação

Grelhas e dimensionamentos

O sistema CREE baseia-se na geometria das lajes, oferecendo três grelhas básicas, as quais podem ser subdivididas em grelhas de 2,50/2,70/3,00 m, tanto longitudinal como transversalmente. Estas grelhas determinam a largura dos painéis de laje, sendo que o comprimento geralmente corresponde a um múltiplo da grelha base. No caso do Hotel de Madrid, adaptaram-se estes requisitos, optando por grelhas de 3,01m para facilitar o encaixe entre painéis (criando uma folga de 0,01m). A altura de cada piso é de aproximadamente 3,00m, abaixo das vigas dos elementos mistos de madeira.

Pilares Glulam

As forças verticais são transmitidas dos pavimentos para os pilares duplos de madeira. A união entre os pilares e o pavimento é articulada e assegurada por um conector metálico.

Elementos de fachada

Os elementos de fachada devem ser construídos com dimensões tais que permitam um número de juntas reduzidas, e em conformidade com as condições de transporte. No caso do hotel de Madrid, os elementos da fachada foram fornecidos o mais completos possível pela fábrica, minimizando o uso de andaimes em obra. Cada painel de fachada tem uma espessura de 0,12m, sem contar com os pilares de madeira anexados ao painel.

Painéis de laje mistos

Os painéis de laje consistem num misto de madeira e betão, podendo apresentar uma superfície inferior nervurada e superior plana. Com grandes vãos (< 9,60 m), permitem a disposição de espaços abertos e, devido à camada superior de betão, proporcionar a necessária separação, acústica, térmica e resistência ao fogo, entre os pisos.

Para a construção de um piso do hotel são necessários 24 painéis de laje, existindo no mesmo piso várias repetições de painéis de laje. Em cada piso são necessárias lajes maiores, com 9,60m de comprimento, e lajes menores, com 6,80m de comprimento, que se apoiam em

vigas metálicas intermédias. Não foi necessário utilizar teto falso, ficando as vigas de madeira à vista.

5.2.2.3 Projeto de estruturas

Conceção do núcleo

Existem núcleos de paredes de BA que são responsáveis pela resistência estrutural do edifício às ações horizontais (vento e sismo). Em cada núcleo são necessários pelo menos três painéis de parede em BA. Em certos casos, pode ser necessário mais do que um núcleo de BA. As ações horizontais são transferidas pelos núcleos para as fundações.

As lajes mistas estão ligadas às paredes dos núcleos de BA através de juntas estruturais de betão, permitindo que as forças horizontais sejam transmitidas para os núcleos.

A posição dos núcleos varia conforme as ligações e as dimensões da estrutura. As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 mostram as diferentes localizações de colocação dos núcleos de BA. Para que as ações horizontais não causem torção no edifício, o centro de rigidez dos núcleos e paredes resistentes deve coincidir com o centro geométrico do edifício. Neste tipo de estrutura os núcleos e paredes resistentes de BA são os únicos elementos resistentes às ações horizontais, uma vez que os pilares são articulados entre si.

Num primeiro exemplo mostra-se um núcleo de BA, centrado no edifício. Com o núcleo centrado no edifício, se as ações horizontais forem uniformemente distribuídas nas fachadas (vento) ou nos pisos (sismos), estas não causam deformações de torção (Figura 5.6).

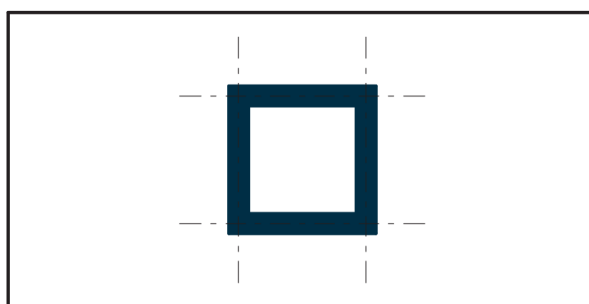


Figura 5.6 — Núcleo de BA centrado

No segundo exemplo, o núcleo é colocado fora do centro do edifício. Apesar de o núcleo ser resistente à torção, por ser constituído por pelo menos três painéis, a sua localização é inconveniente pois não está centrado. Existe uma grande distância entre o núcleo e a posição da resultante das ações horizontais, causando torção no edifício (Figura 5.7).



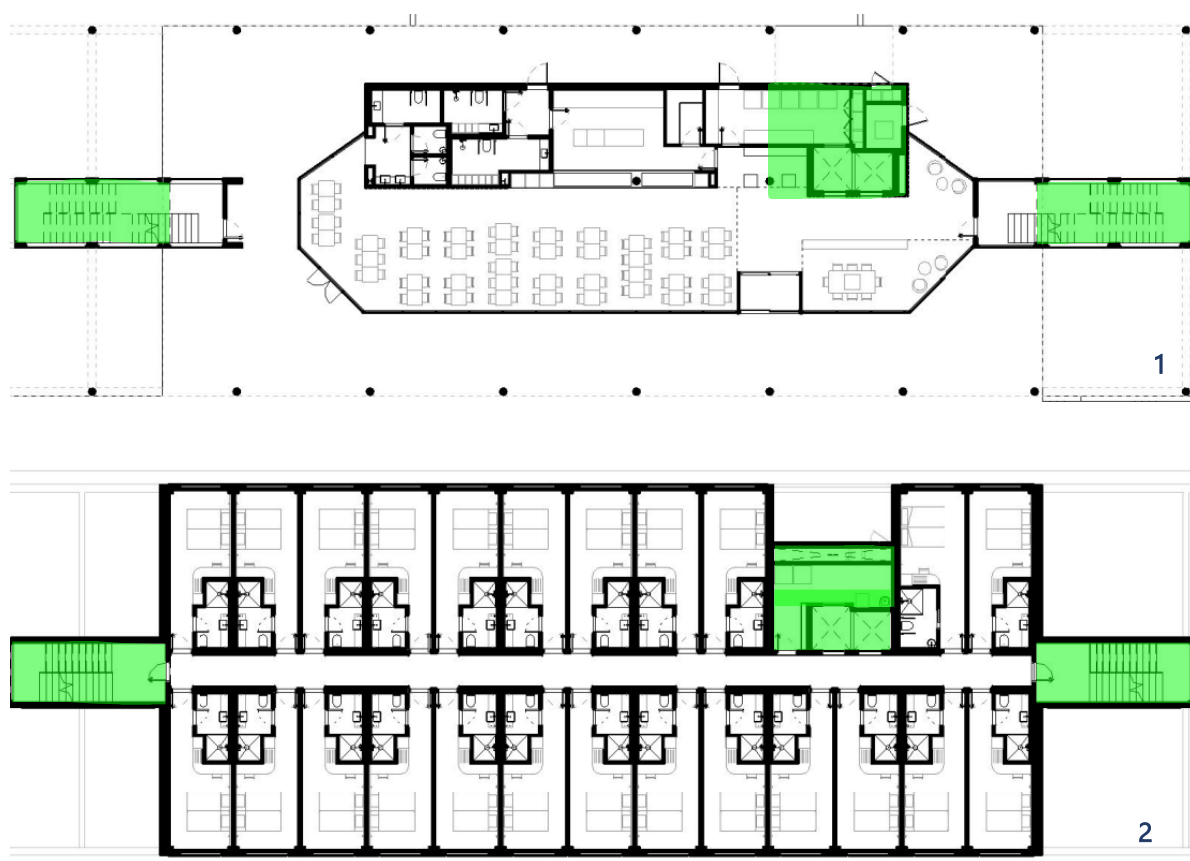
Figura 5.7 — Núcleo de BA descentrado

Para contornar o inconveniente da solução anterior, coloca-se uma parede resistente extra no extremo oposto do edifício, reduzindo a torção do edifício (Figura 5.8).



Figura 5.8 — Núcleo de BA descentrado + painel resistente

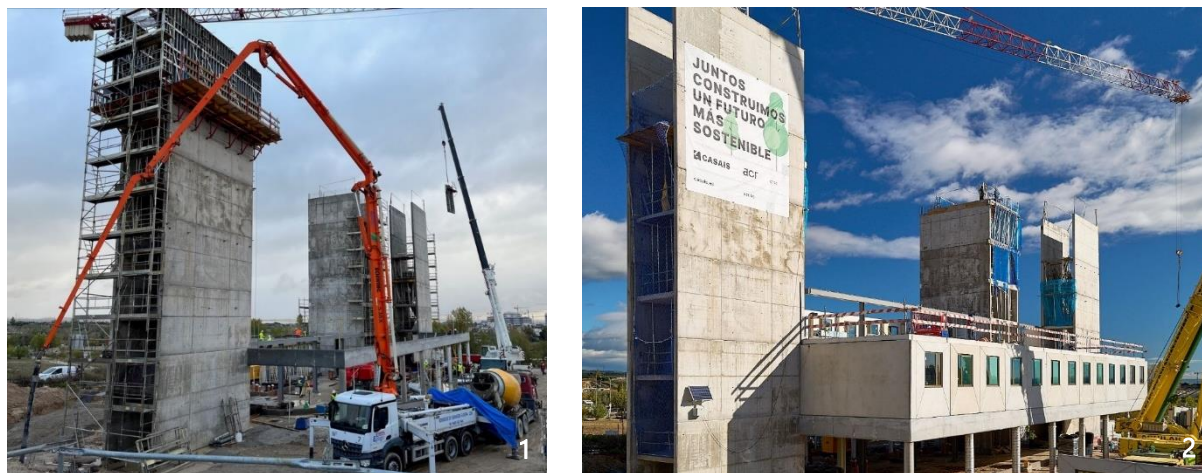
Para o caso em análise, hotel "Tres Cantos" em Madrid, foi necessário criar três núcleos (assinalados a verde nas plantas abaixo), uma em cada extremidade do edifício onde se localiza as escadas de acesso a pisos superiores e outra, mais central, onde se localizam os elevadores, criando assim uma melhor distribuição das diferentes forças na estrutura (Figura 5.9).



1 - Núcleos no piso rés do chão; 2 - Núcleos nos pisos 1 a 4

Figura 5.9 — Plantas dos núcleos do hotel B&B "Tres Cantos" (sem escala)

Nas figuras seguintes é possível observar os núcleos já construídos e a evolução da montagem dos painéis modulares em torno daqueles núcleos (Figuras 5.10).



1 - Núcleos; 2 - Núcleos com o piso 1 instalado

Figura 5.10 — Núcleos na obra do hotel B&B "Tres Cantos"

Fonte: António Carlos Rodrigues - Publicação LinkedIn - Consultada em novembro 2023

Apresentam-se em seguida três imagens virtuais da evolução de um edifício CREE em torno de um núcleo central (Figuras 5.11).



Figura 5.11 — Exemplo da evolução de um edifício CREE em torno de um núcleo central

Fonte: Adaptado de CREE, Planning Manual, LCT System, Catálogo

Pormenorização das lajes

O sistema CREE desenvolveu painéis de pavimento sob a forma de uma laje composta por madeira e betão. Como já foi referido, o hotel em Madrid cumpre os requisitos para o comprimento máximo dos vãos (< 9,60m), com apenas dois comprimentos de painéis: os maiores com 9,60m e os menores com 6,80m.

A forma mais comum de ligação entre elementos de madeira e o betão é por meio de encaixes (*shear-keys*), nos quais podem existir ferrolhos ou, no presente caso, parafusos (Figuras 5.12 e 5.13), para garantir o bom funcionamento da ligação. O comportamento do conjunto depende da rigidez destas ligações.

Para dimensionar o comportamento destes elementos mistos de madeira e betão, o sistema CREE utiliza um programa específico. Nele, as forças internas e as deformações são determinadas (Figura 5.12 e 5.13).



1 - 1ª perspectiva da ligação madeira-betão; 2 - 2ª perspectiva da ligação madeira-betão

Figura 5.12 — Laje e detalhes dos parafusos

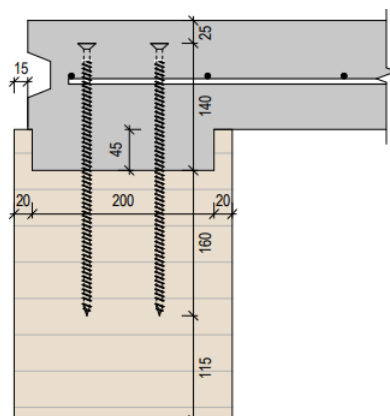


Figura 5.13 — Pormenorização do encaixe na madeira (sem escala)

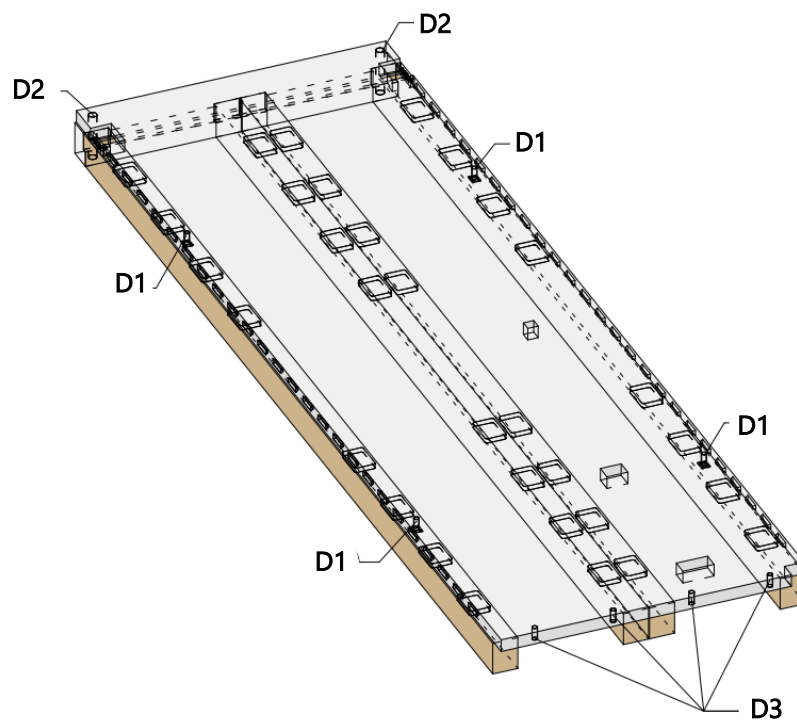
Apesar de ser inovador, este sistema apresenta alguns aspetos que devem ser considerados, como o comportamento a longo prazo das vigas mistas de madeira e betão. Podem ocorrer deformações diferentes em cada material, devido às suas características distintas, uma vez que o módulo de elasticidade da madeira é menor que o do betão, podendo até resultar em retração de ambos os materiais, gerando tensões ao longo do tempo de vida útil do edifício.

No caso hotel "Tres Cantos" para a execução do edifício foram produzidos 27 tipos de lajes diferentes, num total de 144 lajes. Embora a maioria das diferenças entre estes tipos de lajes esteja nas juntas, pode-se dividir em dois grandes grupos: painéis de laje mista corrente e painéis de laje mista com viga de empena em betão, no caso de a viga estar em contacto com o exterior. A espessura da laje de BA é de 12cm para ambos os tipos de lajes. Conforme mencionado anteriormente, todos os painéis têm uma largura de 3,00m, para uma grelha de 3,01m, onde as folgas entre os painéis são preenchidas por grout in situ.

Painel de laje misto corrente

Cada painel de laje misto corrente é composto por 4 vigas de madeira e uma laje de betão. Independentemente do comprimento da laje, as larguras e as espessuras permanecem constantes.

Nas Figuras 5.14 e 5.15, é possível observar uma planta e uma vista 3D destas lajes, destacando-se os locais dos encaixes e outros detalhes.



D1 - Âncora de elevação; D2- Tubo corrugado para fixação ao elemento de fecho do bordo exterior;
D3 - Tubo corrugado para fixação ao elemento de fecho do bordo interior

Figura 5.14 — Vista 3D da laje mista corrente

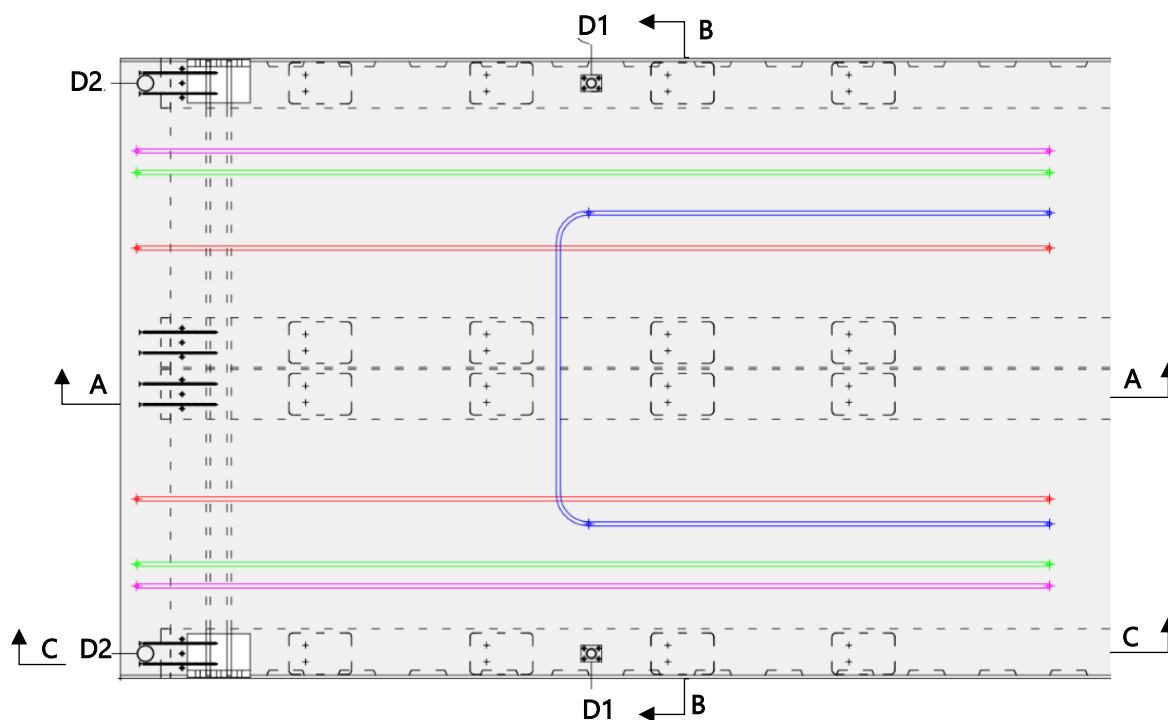


Figura 5.15 — Planta da laje mista corrente (sem escala)

No que diz respeito à componente de BA da laje, esta possui uma largura de 3,00m e uma espessura de 0,12m, enquanto as vigas de madeira têm uma largura de 0,24m, um espaçamento entre as vigas de 1,015m e uma espessura de 0,32m, resultando numa espessura final de 0,44m, incluindo a laje (Figura 5.16).

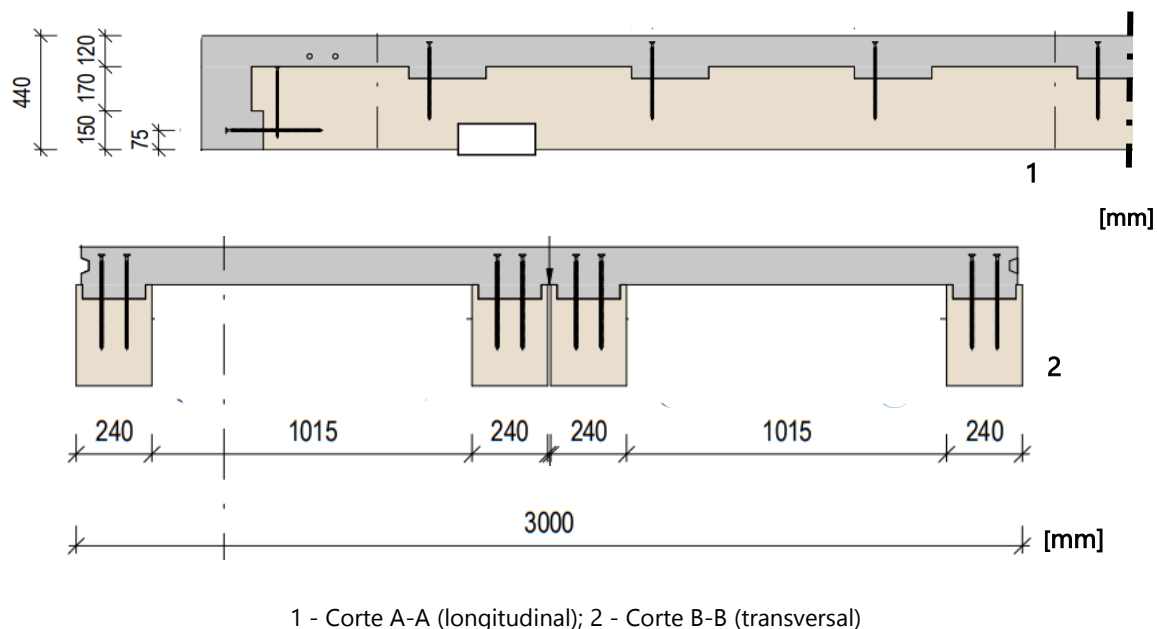


Figura 5.16 — Cortes A e B da laje mista com 4 vigas de madeira (sem escala)

Embora as vigas de madeira acompanhem o comprimento da laje de betão, têm um comprimento ligeiramente menor devido aos elementos de fecho do bordo. Por exemplo, se a laje tiver um comprimento de 9,60m, a vigas de madeira terão um comprimento de 9,25m. Todas as lajes apresentam um elemento de fecho do bordo exterior com 0,20m, onde estão instalados 2 negativos (tubos corrugados) de 80mm de diâmetro, que servirão para ligação aos pilares do painel de fachada, e um elemento de fecho do bordo interior com 0,16m, contendo 4 negativos de 50mm de diâmetro, que ligam às vigas metálicas (Figuras 5.17 e 5.18).

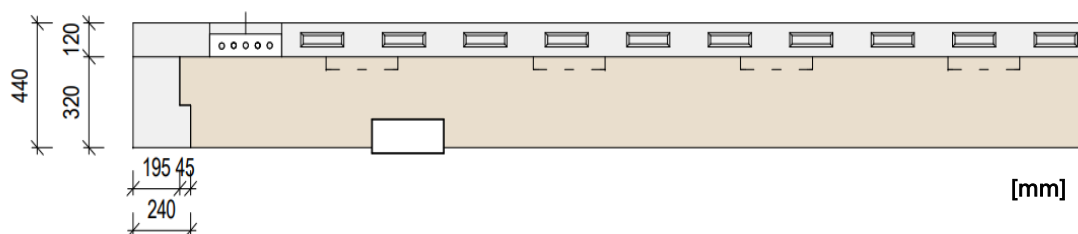


Figura 5.17 — Corte C-C da laje mista corrente, fecho de bordo exterior (sem escala)

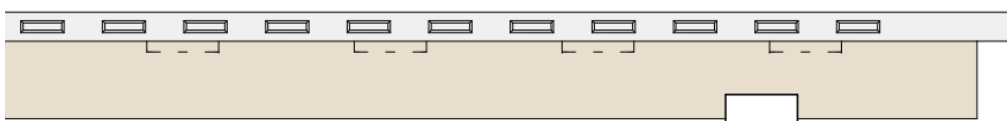


Figura 5.18 — Corte C da laje mista simples, fecho de bordo interior (sem escala)

Na Figura 5.17 é possível observar a espessura do elemento de fecho do bordo exterior e compreender o motivo pelo qual as vigas de madeira têm um comprimento menor do que a laje. Além disso, nesta figura é possível visualizar as cavidades laterais existente na laje de betão. Na Figura 5.19 é possível observar uns tirantes metálicos de ligação entre os elementos de laje, compostos por varões de aço soldados a um tubo metálico de secção quadrada, que será aparafusado ao tubo de laje adjacente, sendo o espaço existente posteriormente preenchido com grout (Figura 5.19).



1 - Tirante em varões de aço; 2 - Caixa do tirante preenchido com grout

Figura 5.19 — Ligação entre lajes adjacentes

As tubagens para a rede elétrica já estão embutidas na laje, como mostrado na Figura 5.15. As tubagens de águas e esgotos serão instaladas posteriormente em obra através dos orifícios existentes na laje (Figura 5.20).

O peso de uma laje com 9,60m de comprimento é de 10350kg e o peso de uma laje com 6,80m de comprimento é de 7510kg.

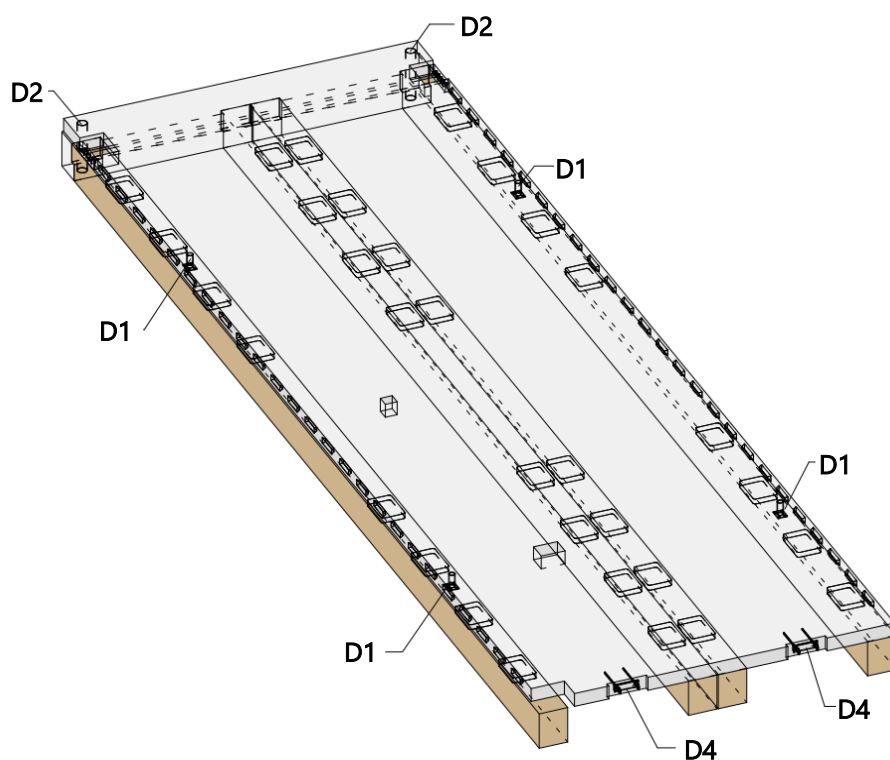


1 - Vista da laje mista corrente terminada; 2- Vista inferior da mesma laje

Figura 5.20 — Laje mista corrente

Se o painel de laje também estiver em contacto com um núcleo resistente em BA são adicionadas outras ligações à laje, do tipo VS Slim Box da Pfeifer.

Para uma compreensão mais clara das diferenças entre lajes, serão apresentadas duas vistas 3D do topo da laje mista com ligações Slim Box. Para este projeto, existem duas localizações para essas ligações, dependendo da posição do painel, onde podem ser inseridas no tabuleiro de betão (Figuras 5.21 e 5.22).



D1- Âncora de elevação; D2- Tubo corrugado para fixação ao elemento de fecho do bordo exterior;
D3- Tubo corrugado para fixação ao elemento de fecho do bordo interior; D4- Ligação VS Slim Box da Pfeifer

Figura 5.21 — Ligação frontal com o núcleo

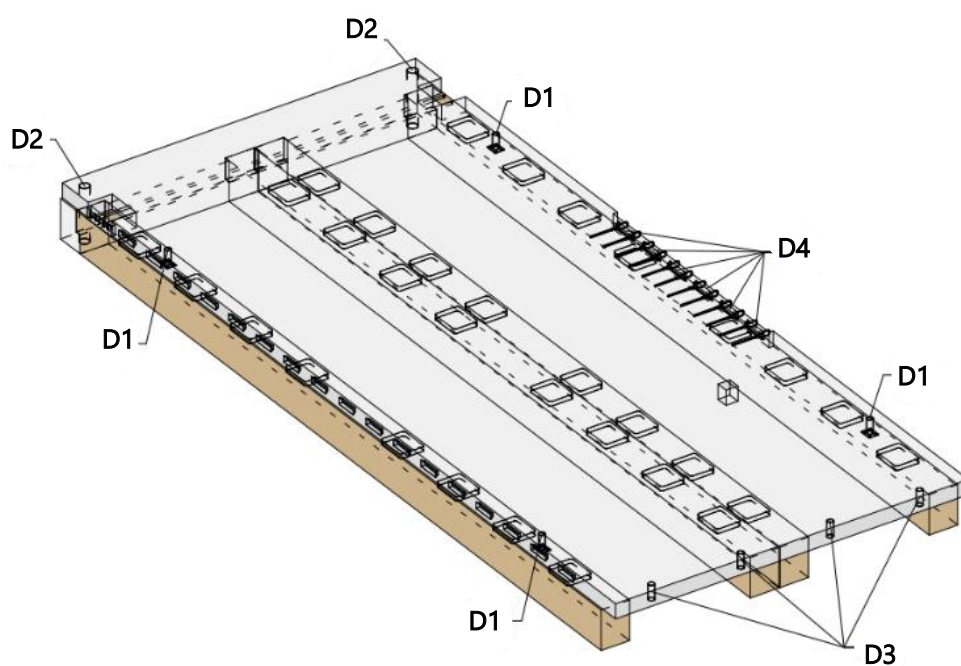
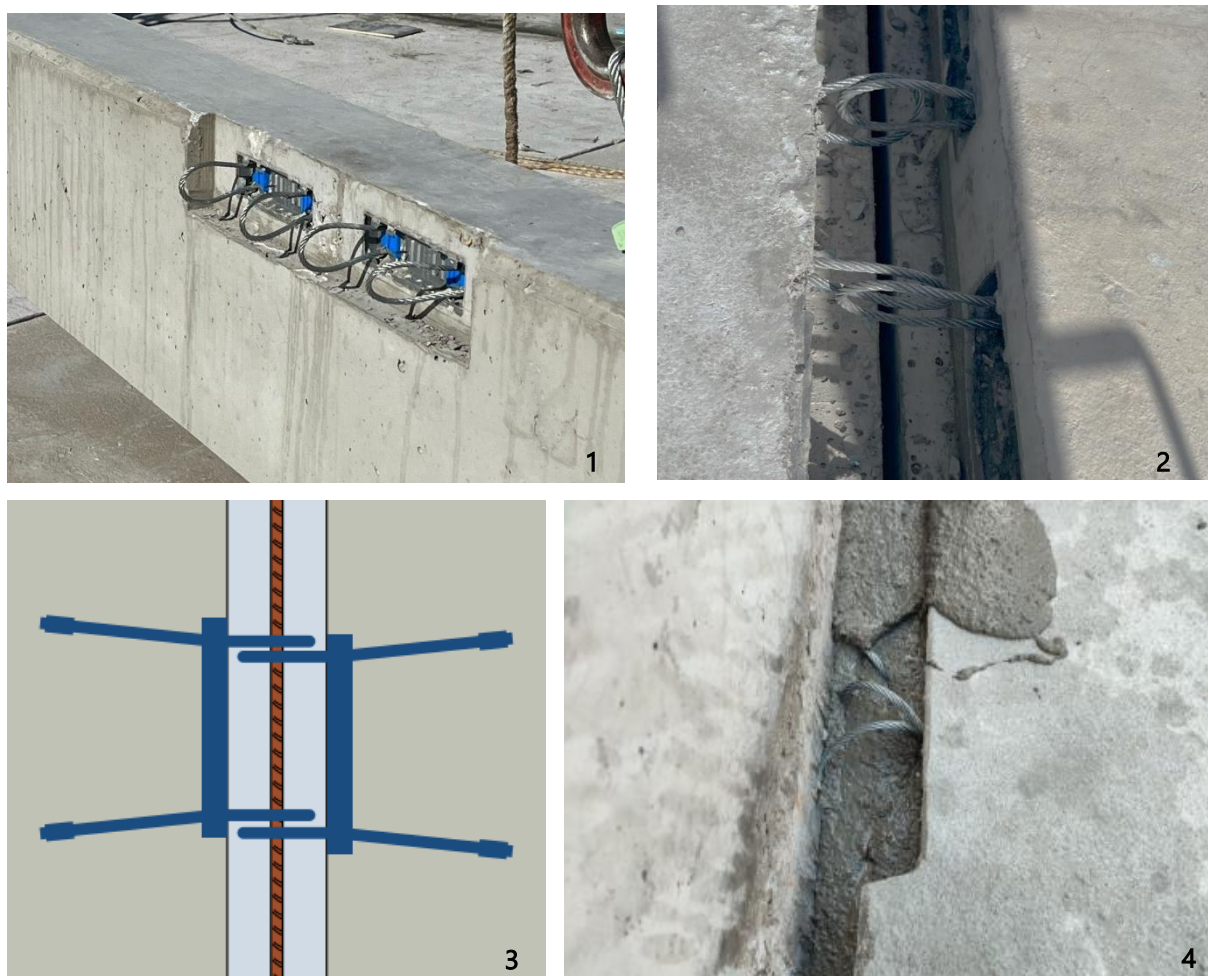


Figura 5.22 — Ligação lateral com o núcleo

Estas ligações são instaladas antes da betonagem do painel, de modo a ficarem embutidas na laje. Para que a ligação entre o núcleo e a laje ocorra, é necessário abrir os laços nas Slim Box, reforçar com varão de aço de 12mm e, finalmente, adicionar grout. As etapas para selar as lajes são ilustradas na Figura 5.23.



1 - Ligações Slim Box; 2- Abertura dos laços Slim Box;
3- Reforço com varão de aço; 4- Selagem da junta

Figura 5.23 — Etapas da ligação/ selagem Slim Box

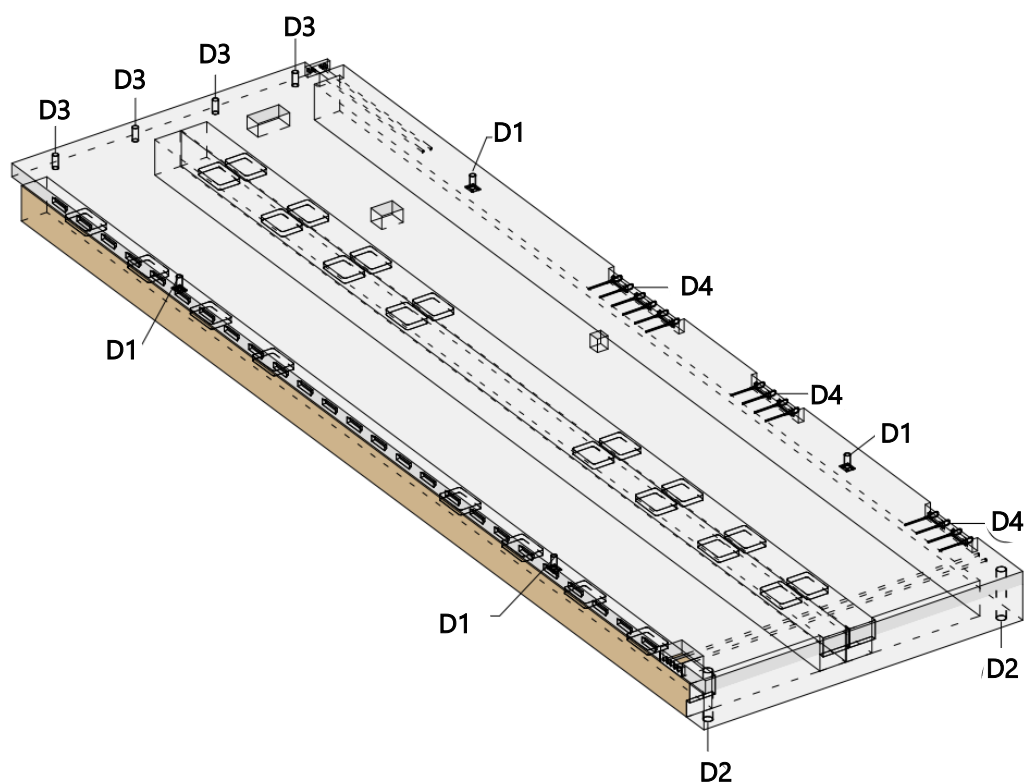
Painel de laje mista com viga de empena em betão

O painel de laje mista com viga de empena em betão, inclui 3 vigas de madeira e uma viga de betão na empena (Figura 5.24).

A laje mantém as dimensões do painel de laje mista corrente, incluindo a viga de empena em betão, que possui as mesmas dimensões que as vigas de madeira (Figura 5.25). Estas lajes apresentam uma viga lateral em betão por exigências de resistência.

Em cada piso, existem apenas 4 lajes deste tipo, uma vez que existem apenas 4 cantos no edifício, sendo as restantes 20 lajes de painéis mistos simples. Além disso, os painéis localizados nos topos do edifício devem todos possuir o acessório VS Slim Box (Figura 5.23), para ligação a uma viga adicional de betão, que por sua vez estabelecerá ligação com a fachada lateral.

O peso de uma laje com 9,60m de comprimento é de 11810kg, enquanto o de uma laje com 6,80m de comprimento é de 8530kg, sendo evidentemente mais pesadas que as anteriores devido à presença da viga de betão.



D1- Âncora de elevação; D2- Tubo corrugado para fixação ao elemento de fecho do bordo exterior;
D3- Tubo corrugado para fixação ao elemento de fecho do bordo interior; D4- Ligação VS Slim Box da Pfeifer

Figura 5.24 — Painel de laje mista com viga de empena em betão

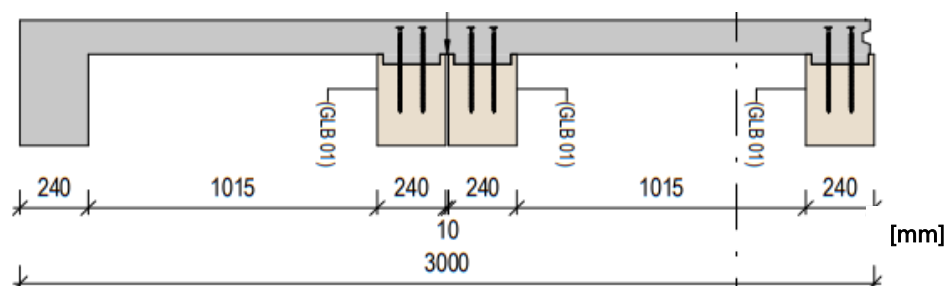


Figura 5.25 — Pormenorização Corte B (sem escala)

Na Figura 5.26 é possível observar uma imagem real de uma laje mista com viga de empena em betão.

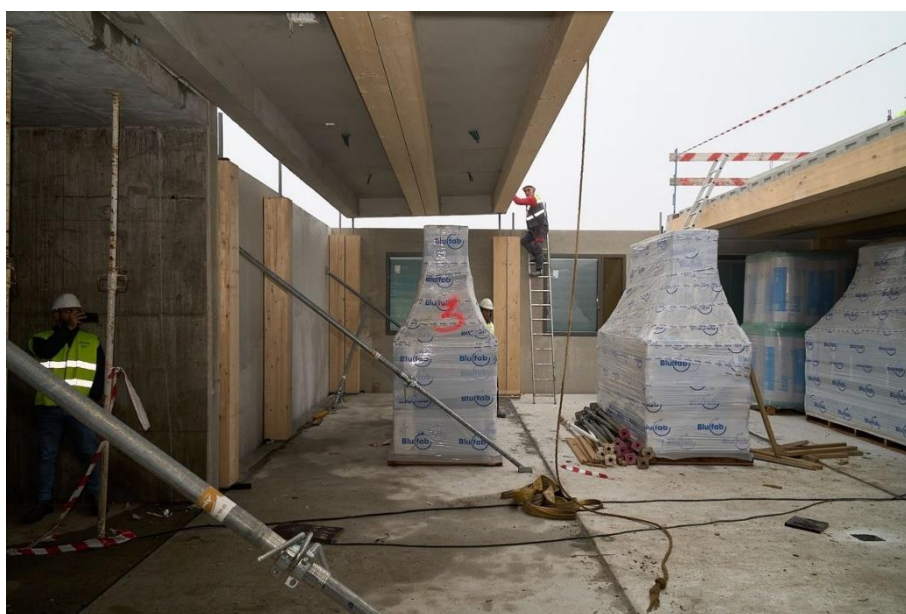


Figura 5.26 — Laje mista com viga de empena em betão

Fonte: Adaptado de António Carlos Rodrigues - Publicação LinkedIn - Consultada em novembro 2023

Pormenorização das Fachadas

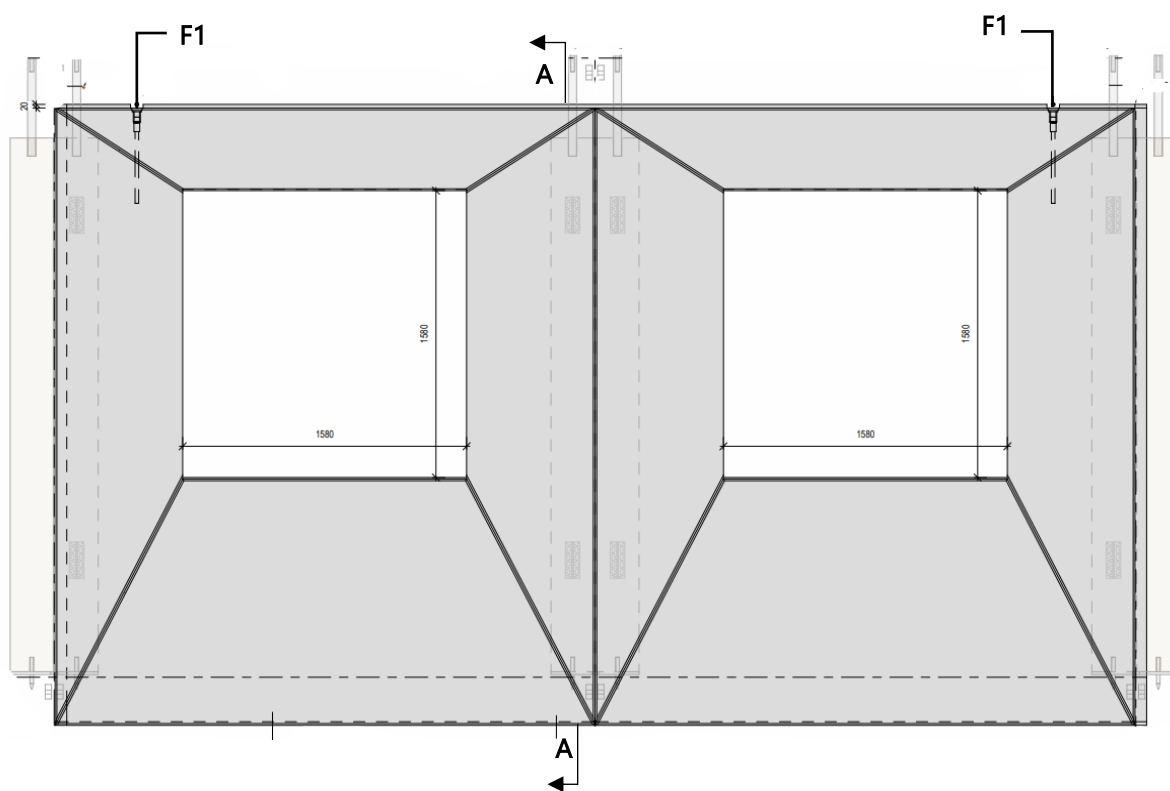
A fachada de um edifício CREE, não desempenha um papel estrutural, permitindo flexibilidade na sua conceção de acordo com a localização, requisitos físicos e preferências individuais e estéticas. Para garantir uma futura reciclagem dos materiais, é crucial que as fachadas possam ser desmontadas em componentes individuais.

A montagem da fachada (com pilares de madeira incluídos) é realizada numa única etapa, possibilitando a rápida proteção do pavimento às condições ambientais. O número de juntas entre os elementos deve ser minimizado, e as dimensões dos elementos de fachada devem atender às condições de transporte e montagem.

Para este projeto específico, foram necessários 85 elementos mistos de fachada de diferentes tipos. Para as fachadas, principal e de tardo, são requeridas duas dimensões de painéis com vãos envidraçados, enquanto nas empenas são necessários dois tamanhos diferentes de painéis opacos.

Os caixilhos e os vidros já estão incorporados nos painéis das fachadas principais, e podem ser de dois tamanhos diferentes. Há painéis de fachada com 6 metros de largura (Figura 5.27), destinados a encaixar sobre duas lajes já instaladas (cada laje com 3 metros), e painéis de fachada de canto com apenas 3 metros de largura, correspondendo a uma laje.

Para cada 3 metros de fachada, existem dois pilares de lamelado colado de madeira. Nos casos em que os painéis têm 6 metros de largura, haverá 4 pilares de lamelado colado de madeira e 4 conectores metálicos no topo dos pilares para encaixe das lajes e do próximo nível de fachada (Figura 5.28).



F1 - Âncora de transporte

Figura 5.27 — Fachada principal, alçado da face exterior (sem escala)

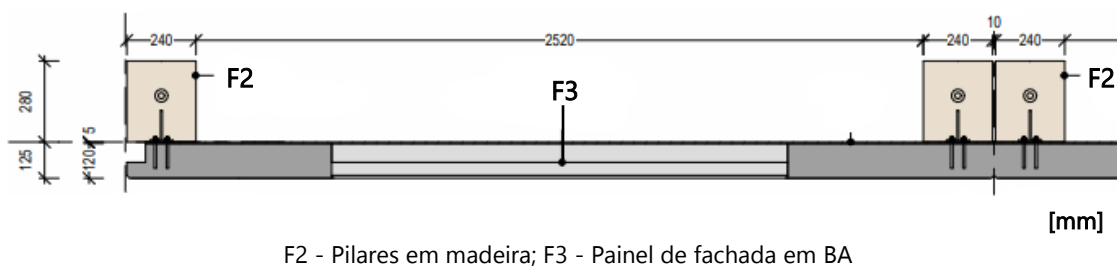
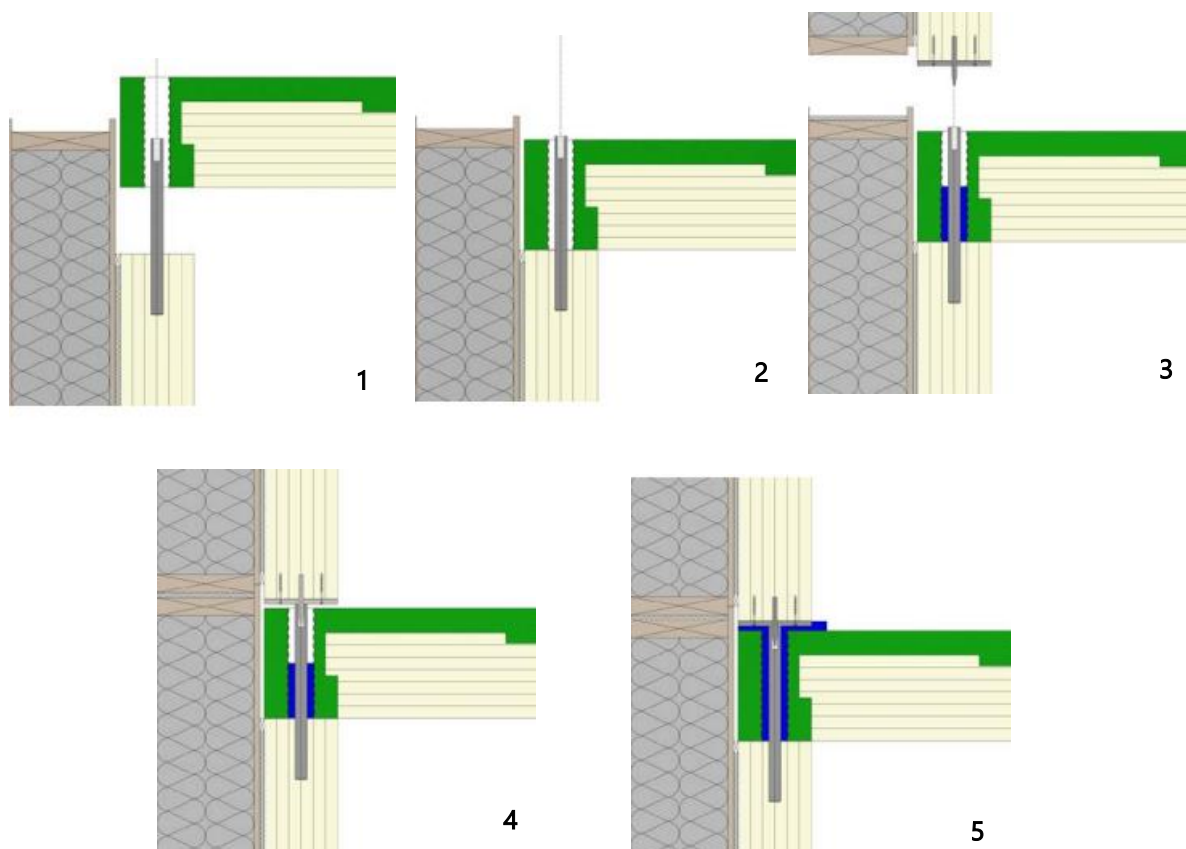


Figura 5.28 — Fachada principal, planta de um módulo

A ligação entre os painéis de laje e de fachada é feita por meio de conectores metálicos que se encaixam nos negativos nas zonas laterais da laje, onde posteriormente é aplicado grout e seguidamente o conector de base da fachada superior (Figura 5.29).

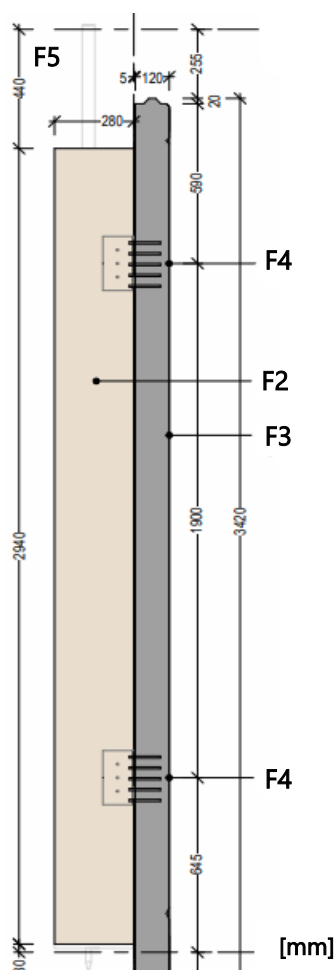


- 1 -Conector da fachada; 2-Encaixe da fachada na laje; 3- Adição de grout à ligação fachada laje;
4- Encaixe da fachada superior no mesmo conector; 5- Mais grout adicionada à ligação

Figura 5.29 — Ligação entre os elementos da fachada e os painéis de laje

Fonte: Adaptado de CREE, Planning Manual, LCT System,Catálogo

O painel de fachada é em betão e tem 0,12 metros de espessura, e os pilares de madeira têm uma altura de 2,94 metros. Na figura seguinte, é possível observar como é efetuada a ligação dos pilares de madeira à fachada de betão, assim como os conectores das ligações entre a laje e a fachada (Figura 5.30). Para essa ligação, é utilizado um ligador oculto sem furos, conhecido como Alumidi, em alumínio de elevada resistência.



F2- Pilares em madeira; F3- Pannel de fachada em BA; F4- Alumidi, ligador oculto sem furos;
F5- Conector metálico

Figura 5.30 — Fachada principal, Corte A-A da figura 5.27 (sem escala)

Nas empenas sem vãos, as dimensões dos pilares e da lâmina de betão do painel de fachada são as mesmas que nas fachadas principais. As ligações dos pilares de madeira à fachada são feitas pelo mesmo sistema de ligação. A única diferença significativa, além dos diferentes tamanhos entre os painéis de fachadas principais e empenas, é o facto de as empenas serem opacas e não possuírem vãos envidraçados (Figuras 5.31 e 5.32).

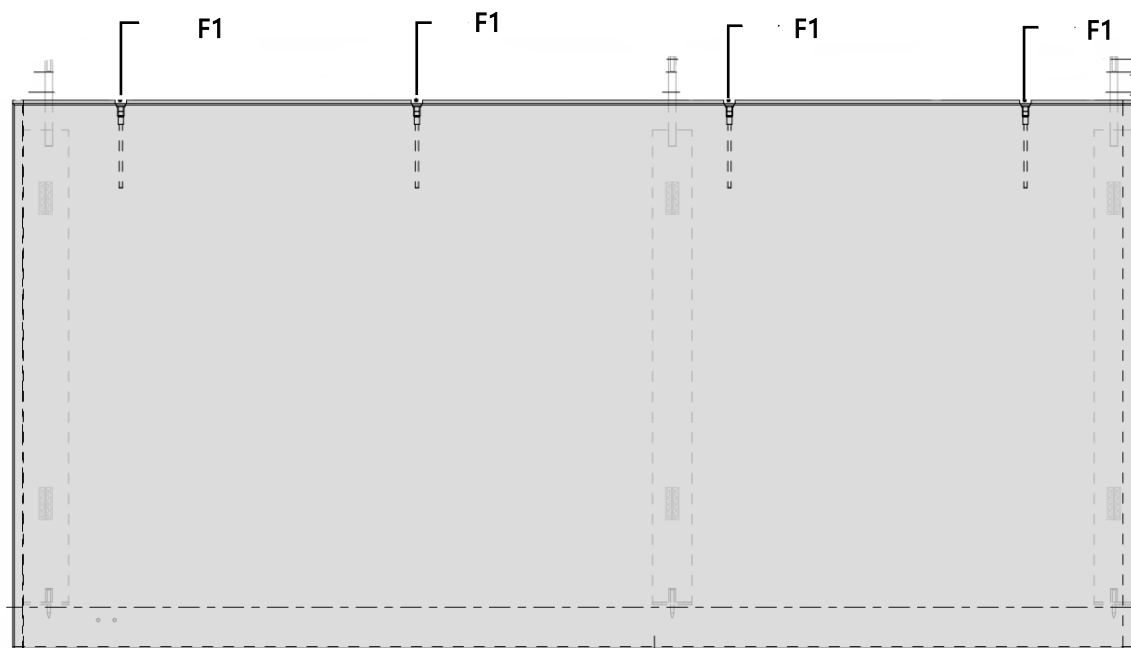
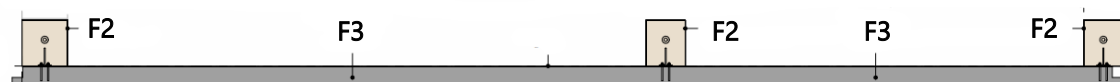


Figura 5.31 — Fachada de empena, alçado da face exterior (sem escala)



F1- Âncora de transporte; F2- Pilares em madeira; F3- Painel de fachada em betão armado;

Figura 5.32 — Fachada de empena, planta (sem escala)

A ligação entre elementos de fachada é realizada por juntas verticais e horizontais, e os recortes nas laterais dos painéis de fachada têm um pormenor que garante um encaixe perfeito (Figuras 5.33 e 5.34).

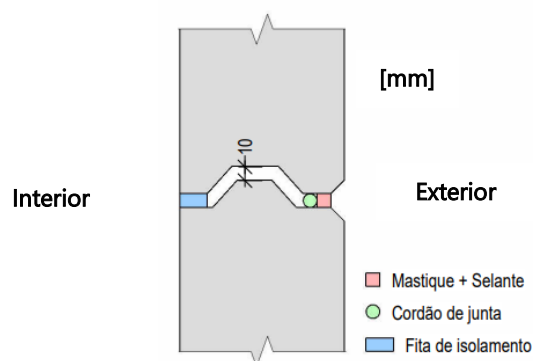
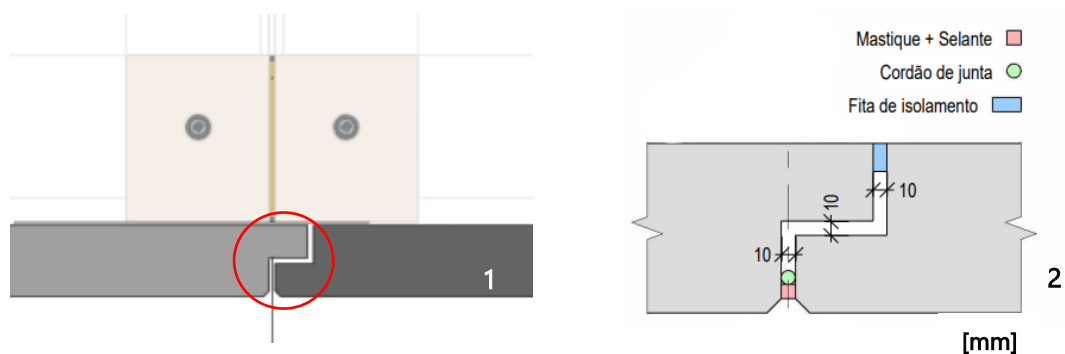


Figura 5.33 — Pormenor de junta horizontal entre painéis de fachada (sem escala)



Finalmente, apresenta-se uma imagem da montagem da fachada para no hotel de Madrid. É ainda possível observar alguns dos detalhes já descritos anteriormente, como as âncoras de transporte, os conectores de ligação nos pilares e os vãos envidraçados já instalados (Figura 5.35).



Figura 5.35 — Painéis de fachada principal em conclusão de montagem

Fonte: Adaptado de António Carlos Rodrigues - Publicação LinkedIn - Consultada em novembro 2023

Vigas e pilares de aço

Para construir edifícios com uma largura maior, como no caso do hotel "Tres Cantos" de Madrid, é necessário introduzir vigas de apoio central, geralmente em aço, o que permite distâncias maiores entre os pilares de suporte. Os negativos do fecho do bordo interior dos painéis de laje, como mencionado na Figura 5.17, serão ligados aos conectores das vigas metálicas, com aplicação posterior de grout (Figura 5.36).

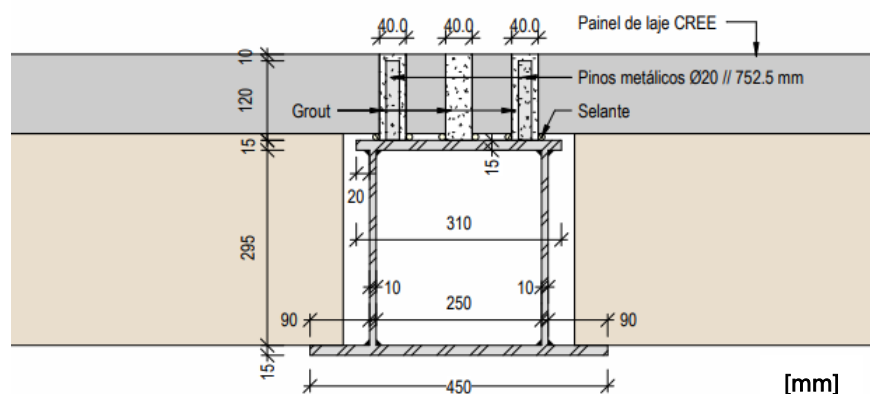


Figura 5.36 — Corte transversal da viga metálica (sem escala)

Nas imagens seguintes, é possível observar fotografias reais dos conectores presentes nas vigas metálicas e execução do encaixe das lajes (Figura 5.37).



1 - Detalhe dos conectores metálicos; 2 - Encaixe da laje com viga metálica

Figura 5.37 — Viga metálica e conectores metálicos

Fonte: Adaptado de António Carlos Rodrigues - Publicação LinkedIn - Consultada em novembro 2023

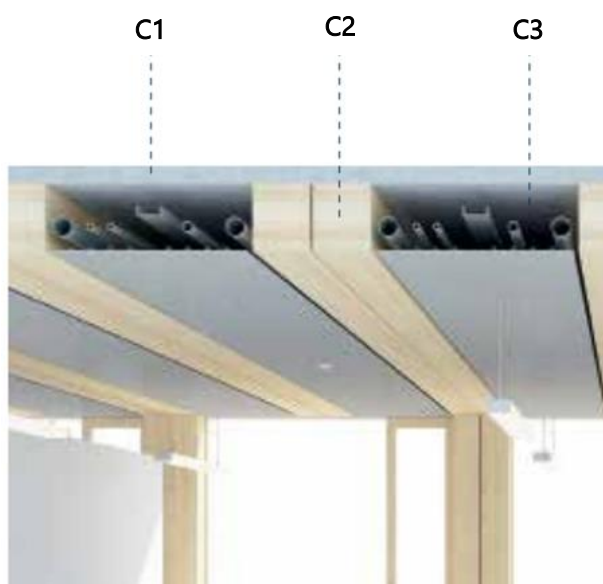
5.2.2.4 Características

Após a análise estrutural da solução CREE, é necessário abordar outros aspetos como o isolamento acústico, instalações de serviços, isolamento térmico e sustentabilidade.

Os painéis de laje CREE são nervurados devido às vigas de madeira. Esta estrutura nervurada terá reflexos positivos no comportamento acústico dos edifícios, contribuindo para uma redução significativa do ruído de fundo. Isso ocorre devido às propriedades adicionais da madeira, que dispersa e absorve o som.

Para esta obra (Hotel "Tres Cantos", em Madrid), não são executados tetos falsos nos quartos, pois a intenção é manter a superfície de madeira à vista, tal como acontece com os montantes da fachada. Isso permitirá manter a altura de cada piso e reduzir os custos, na construção e na posterior manutenção. Além disso, a presença de muitos elementos em madeira reduz o peso próprio da estrutura e possibilita economias nas fundações do edifício. Contudo, nos corredores houve necessidade da utilização de tetos falsos para a instalação de condutas de águas e AVAC.

Nos edifícios CREE, foi desenvolvido um conceito de serviços inteligentes, altamente eficiente e economizador de energia. Os espaços vazios entre vigas (nervuras) são aproveitados para a instalação de serviços, como rede elétrica, ventilação e ar condicionado (Figura 5.38).



C1 - Pavimento de betão; C2- Lamelado colado de madeira; C3 - Instalações de serviço

Figura 5.38 — Execução dos tetos

Quanto ao isolamento térmico, o sistema CREE permite que este seja feito pelo exterior ou pelo interior, conforme o projeto. No caso deste hotel, as fachadas em betão já estão finalizadas e o isolamento térmico é realizado pelo interior. No entanto, seria possível, se necessário, executar uma fachada ventilada com isolamento pelo exterior.

Uma das características mais importantes é a sustentabilidade ambiental. Este sistema foi concebido, visando evitar diversos problemas associados à construção tradicional, responsável pelo consumo de energia e recursos, geração de resíduos e emissões de CO₂, bem como uma diminuição do volume de transporte global. Com o sistema CREE, procuram-se reverter essas tendências construtivas, promovendo uma construção ecológica. Por exemplo, devido às medidas e ao peso dos painéis, é possível transportar três painéis de laje ou quatro painéis de fachada numa única viagem, reduzindo ao mínimo o número de deslocações necessárias para o seu transporte (Figura 5.39). Além disso, o sistema visa recuperar os resíduos de materiais de construção, tratá-los e reutilizá-los, reduzindo a poluição ambiental (e consequentemente a emissão de CO₂) e a dependência de matérias-primas cujos preços estão em constante aumento.



Figura 5.39 — Transporte de painéis modulares

Assim, este sistema inovador baseia-se na utilização de matéria-prima natural e renovável, como a madeira, criando um sistema de construção misto que pode ser adaptado a situações individuais e montado num curto período. Isso garante a minimização do uso de recursos e energia ao longo do ciclo de vida do edifício.

Por fim, o sistema CREE apoia os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, concentrando-se atualmente na realização dos seguintes objetivos:

- Proporcionar bem-estar e saúde aos ocupantes dos edifícios, utilizando materiais de qualidade;
- Promover a indústria, inovação e infraestruturas, com inovação, pesquisa e desenvolvimento para aumentar as capacidades tecnológicas e a utilização de madeira estrutural na indústria da construção;
- Garantir uma gestão eficiente e económica, utilizando recursos renováveis e reduzindo a produção de resíduos na pré-fabricação;
- Estabelecer parcerias para os diferentes objetivos, criando parcerias globais para a construção de edifícios mais sustentáveis e partilhando informações e processos com todos os parceiros (Figura 5.40).



Figura 5.40 — Objetivos de desenvolvimento sustentável do sistema CREE

5.2.3 Processo produtivo do hotel "Tres Cantos" - Madrid

A produção dos painéis modulares para este caso de estudo, realizada pelo Verdasca Group, apenas pôde começar após a conclusão do processo de seleção de materiais.

A produção média diária de painéis de fachada foi de cerca de 115m², enquanto a produção de painéis de laje foi aproximadamente de 82m². No entanto, estes valores podem variar dependendo da obra específica, das disponibilidades da fábrica e das necessidades do cliente.

Para esta obra, foi necessário fabricar 144 lajes e 85 fachadas. Como mencionado, existem diferentes dimensões de laje (9,60 metros e 6,80 metros de comprimento, com uma largura constante de 3 metros). Foram produzidas 78 lajes da maior dimensão e 66 menor, o que significa que foram necessários 44 dias para a produção de todas as lajes. Quanto aos painéis de fachada, foram fabricados 65 painéis para as fachadas principais e 20 para as laterais (cada painel com uma altura de 3,40 metros), exigindo 15 dias para a sua produção.

No que diz respeito à produção dos painéis de laje, apresentam-se algumas imagens da produção de um dos painéis mistos (Figuras 5.41, 5.42, 5.43 e 5.44).

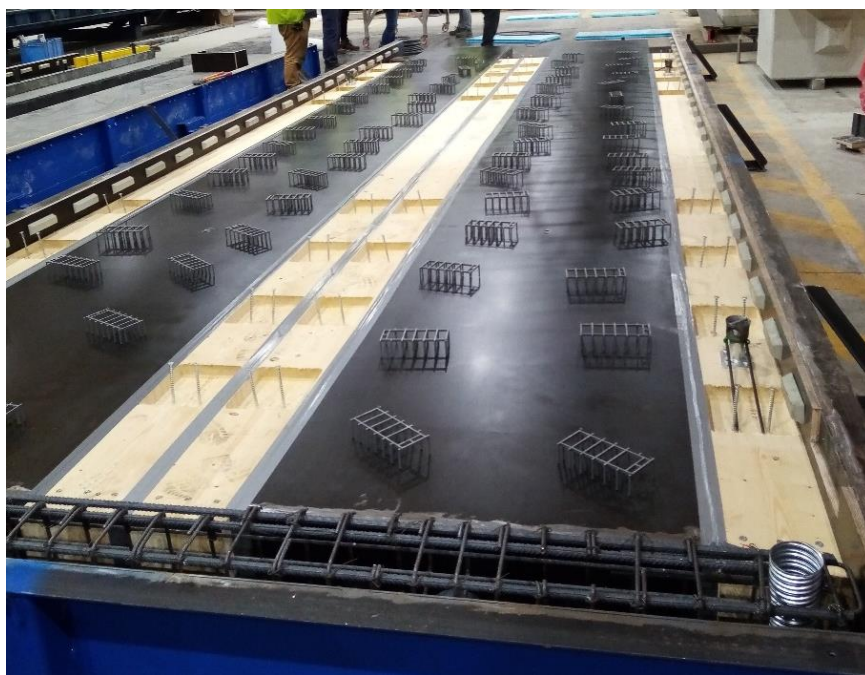


Figura 5.41 — Produção do painel de laje - Vigas de madeira e fechos de bordo instalados

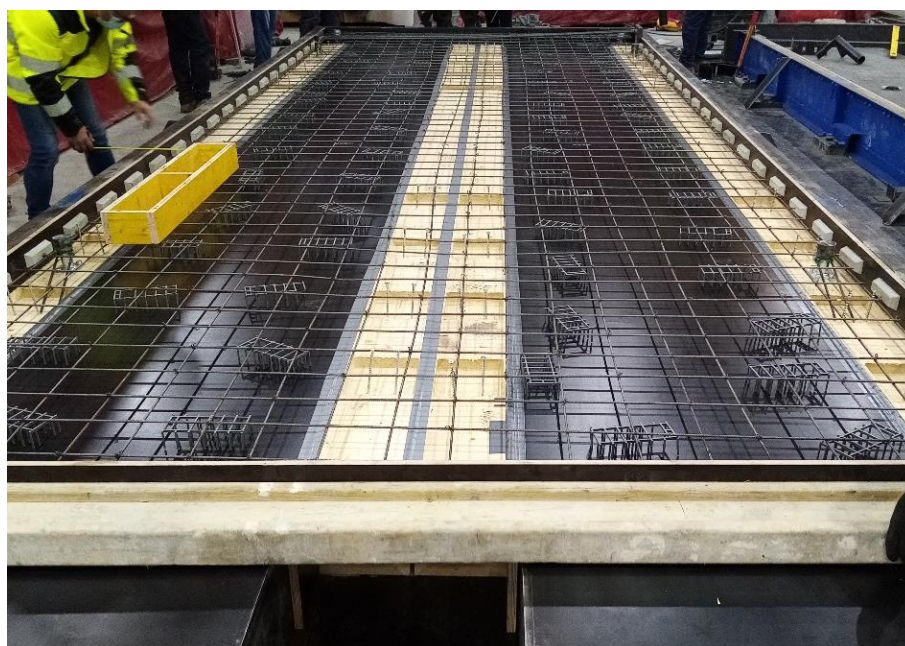


Figura 5.42 — Produção do painel de laje - Colocação da armadura

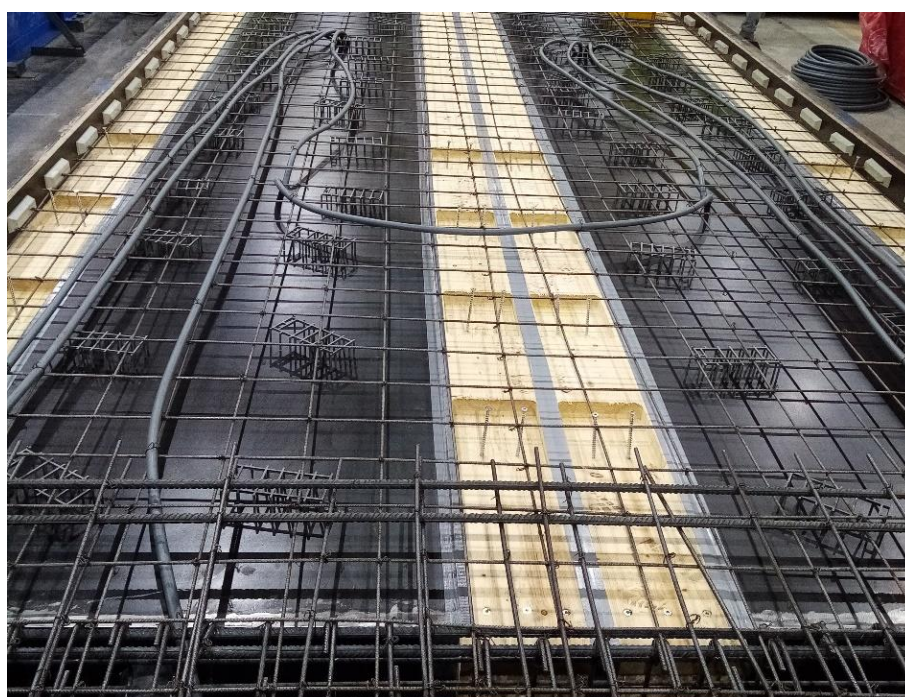


Figura 5.43 — Produção do painel de laje - Instalação de tubagens de eletricidade



Figura 5.44 — Produção da laje após a betonagem

A maior parte dos custos da construção é dos materiais e da produção dos painéis. Graças ao Grupo Casais, foi possível ter acesso a alguns dos custos para o presente caso de estudo.

Primeiramente, foi necessário elaborar o projeto de execução para a pré-fabricação, o que representou um custo de 26 mil euros. Em seguida, procedeu-se à encomenda do lamelado colado de madeira, dos elementos da estrutura metálica (vigas e pilares) e dos respetivos acessórios. Os valores da encomenda dos pilares e vigas de lamelados colado de madeira rondaram os 220 mil euros, incluindo o transporte destes elementos até à fábrica. A estrutura metálica e os seus acessórios tiveram um custo cerca de 200 mil euros.

No que diz respeito à produção, realizada pela Verdasca Group, o valor final foi de aproximadamente 500 mil euros. Esta correspondeu ao fabrico de lajes, painéis de fachadas, moldes e a alguns acessórios necessários para o fabrico. O custo total da produção é de 946 mil euros, incluindo o valor da mão-de-obra e materiais.

5.2.4 Montagem dos painéis do hotel "Tres Cantos" - Madrid

A primeira fase da construção do edifício modular é a execução das fundações pelo método tradicional. Posteriormente é desenvolvido o piso térreo e os núcleos em betão do edifício. Com o intuito de prevenir efeitos de humidade ascendente e para minorar ou evitar, o efeito de um eventual fogo sobre a estrutura de madeira do sistema CREE. O piso térreo é construído através dos métodos convencionais. Estas fases ocorrem simultaneamente com a produção dos painéis modulares.

Após a conclusão destas fases, é possível dar início à montagem dos pisos do sistema CREE. Os elementos das fachadas e do pavimento misto são instalados sequencialmente e podem ser fornecidos e instalados peça a peça ou em série.

Esta montagem é planeada meticulosamente para ser o mais eficiente possível em termos de tempo e de estabilidade estrutural. Inicialmente, são montados os painéis de laje, e apenas depois de todos os painéis de piso colocados é que se inicia a montagem das fachadas e dos elementos da estrutura metálica. Durante a montagem das lajes, há uma sequência lógica na colocação dos painéis para garantir um equilíbrio adequado na estrutura durante a construção (Figura 5.45).

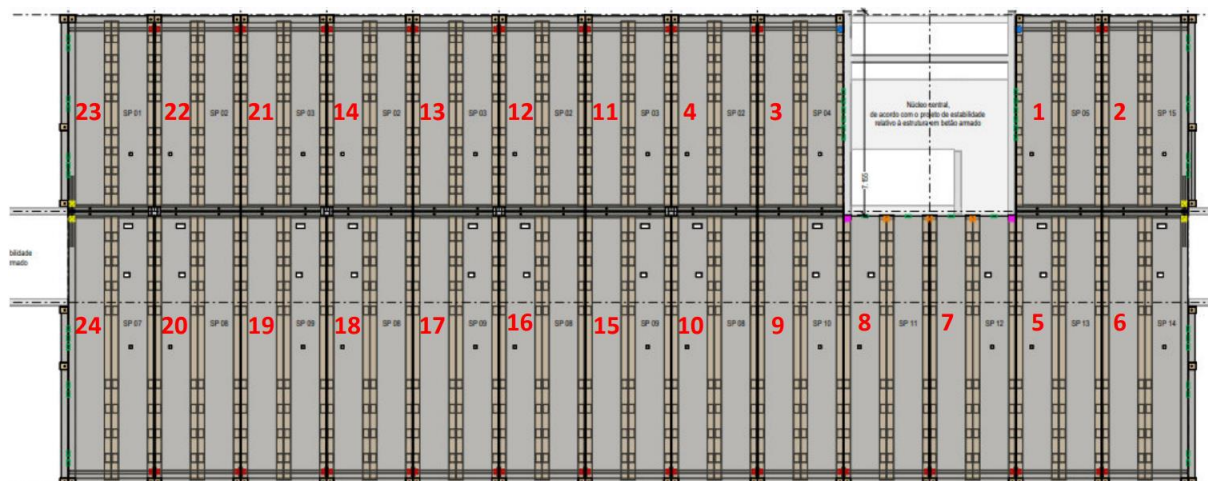


Figura 5.45 — Sequência da montagem dos painéis de laje (sem escala)

Por outro lado, na montagem dos painéis das fachadas, esse condicionamento não se aplica da mesma forma. A lógica na sua instalação é sobretudo para redução do tempo de montagem, começando numa extremidade e terminando na outra (Figura 5.46).

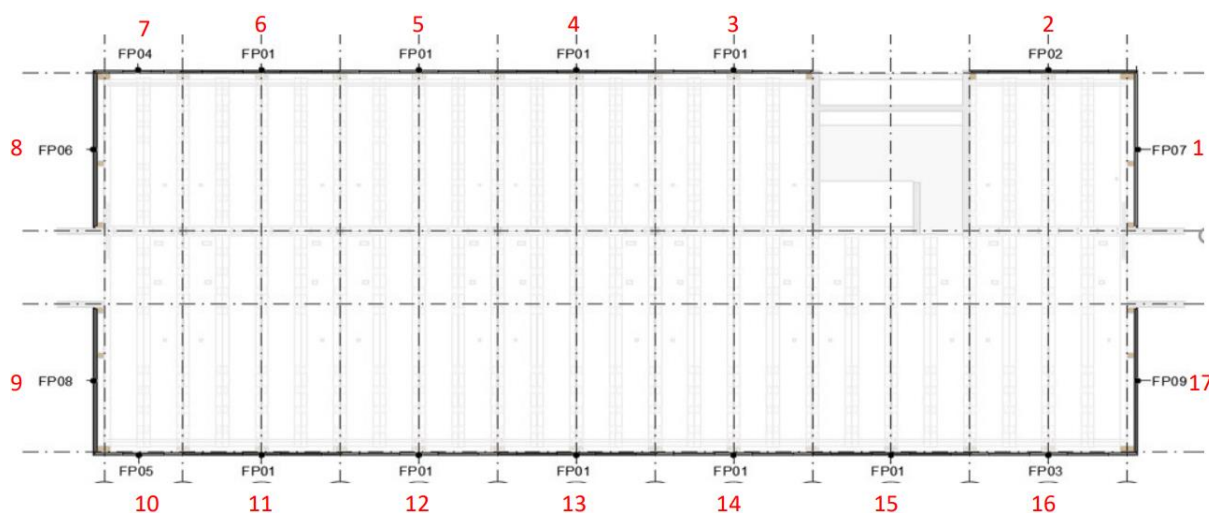


Figura 5.46 — Sequência da montagem dos painéis de fachada (sem escala)

Uma vez que a fachada é resistente às intempéries desde o início, é possível iniciar os trabalhos de acabamentos interiores sem atrasos. Isto significa uma poupança de tempo, não só durante a construção da fachada, mas também na fase de acabamentos.

Para a montagem do sistema CREE neste caso de estudo, foram necessários 5 trabalhadores, um operador de grua e a supervisão de um engenheiro, tendo sido necessários 14 dias para a montagem. Para cumprir o objetivo de montagem em 14 dias, foram necessários turnos de trabalho de 14 horas por dia (7h às 22h), garantindo assim a rapidez desejada.

Apresenta-se abaixo a fachada principal finalizada (Figura 5.47).



Figura 5.47 — Fachada do hotel "Tres Cantos", em Madrid finalizada

Para obter o valor real do custo total da construção, é crucial conhecer o custo da montagem. O valor montagem dos painéis de fachada e lajes foi aproximadamente 150 mil euros, englobando todos os custos, desde a montagem dos painéis até aos acessórios necessários, à mão-de-obra e ao equipamento de montagem. Quanto ao custo das fundações, piso térreo e núcleos, não será considerado porque corresponde ao custo normal em construção tradicional.

Neste caso específico, o custo total da construção modular foi de 1 milhão e 96 mil euros, excluindo os custos das fundações e do piso térreo.

5.3 Sistema de construção SIMBA

Este segundo estudo aborda a solução construtiva SIMBA, desenvolvida pela Global Engineering em parceria com a DDN. Esta solução consiste em módulos 3D autoportantes de BA, compostos por lajes e paredes, produzidos em fábrica. As infraestruturas das instalações, eletricidade, comunicações, águas, esgotos, ventilação e ar-condicionado são integradas nestes módulos. As soluções estruturais são meticulosamente planeadas em projeto e produzidas em ambientes controlados, reduzindo a complexidade dos trabalhos no local da construção.

Antes da montagem dos módulos autoportantes, há uma fase da obra de preparação e arranque, seguindo os métodos tradicionais de construção. Segundo a DDN, este tipo de construção pode ser até 70% mais rápido, oferecendo uma maior segurança nos prazos e podendo gerar até 90% menos de resíduos em comparação com uma construção tradicional. Por fim, este sistema é aplicável a vários tipos de edifícios, incluindo habitação, hoteleira, escritórios, indústria e residências.

5.3.1 Planeamento de uma residência de estudantes - Benfica

Este complexo residencial de estudantes está localizado em Benfica, Lisboa. O empreendimento modular, concebido para oferecer acomodações modernas, consiste num piso térreo e três pisos elevados, atingindo uma altura total de 12,15 metros, com uma área bruta de aproximadamente 2100 m². O edifício terá a capacidade de alojar 120 estudantes (Figura 5.48).



Figura 5.48 — Imagem virtual da residência de estudantes - Benfica

Fonte: Jornal público - Benfica abre em 2024 primeira residência universitária construída por uma junta -
Consultado em janeiro de 2024

Não foi possível ter acesso à documentação da produção destes módulos, nem receber imagens ou visitar a fábrica onde são produzidos, por razões de confidencialidade. No entanto, foi possível visitar uma obra durante a fase de montagem e foram recebidas as plantas de arquitetura. Tal, permitiu realizar uma breve comparação com dois tipos distintos de construção modular e as respetivas técnicas de montagem.

No caso da residência de Benfica, tal como para o hotel de Madrid, o processo de planeamento, também foi integrado em ambiente BIM, de que resultou uma construção mais sustentável e eficiente.

Para melhor contextualização, são apresentadas imagens com cotas nas plantas do rés do chão, dos pisos elevados e de dois cortes. Estas imagens encontram-se nos anexos, em escala maior para facilitar uma melhor visualização (Figuras 5.49 e 5.50).



1 - Planta do rés-do-chão; 2 - Planta do piso 1; 3 - Corte longitudinal

Figura 5.49 — Residência de estudantes - Benfica

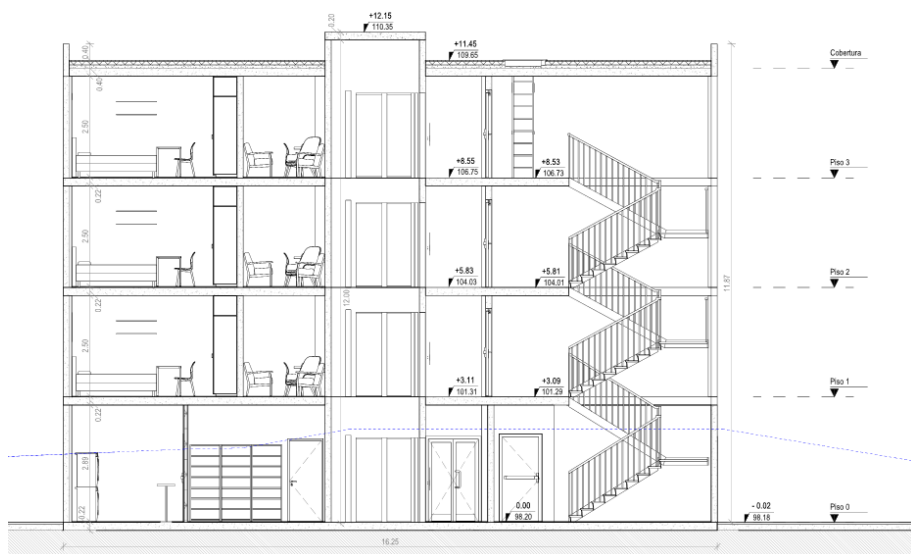


Figura 5.50 — Residência de estudantes - Corte transversal

No que diz respeito a esta obra, foram necessários 81 módulos, abrangendo 11 tipos diferentes e para cada piso foram necessários 27 módulos (Figura 5.51).



Figura 5.51 — Residência de estudantes - Diferentes tipos de módulos para o piso 1

5.3.2 Montagem dos módulos da residência de estudantes - Benfica

Para esta obra, embora haja diferenças na montagem entre o método CREE e o método SIMBA, a primeira etapa da construção do edifício modular foi semelhante: a construção das fundações pelo método tradicional, como ilustrado na próxima imagem (Figura 5.52).



Figura 5.52 — Residência de estudantes - Fundações

Após a conclusão das fundações, iniciou-se a montagem da estrutura modular através do método SIMBA (Figura 5.53). Embora não se tenha tido acesso a elementos das ligações, a observação da montagem dos blocos de betão permitiu identificar algumas ligações e os métodos de montagem. Durante a visita à obra, foi possível constatar que os módulos são interligados por meio de ligações indentadas e conectores metálicos (Figuras 5.54 e 5.55). Estas ligações são envolvidas em grout para sua consolidação.



Figura 5.53 — Residência de estudantes - Montagem da fachada principal e plataforma de elevatória



1 - Ligação entre módulos; 2 - Vista frontal do módulo dentado; 3 - Vista lateral do módulo indentado

Figura 5.54 — Residência de estudantes - Ligação indentadas



Figura 5.55 — Residência de estudantes - Ligação por conectores metálicos

No processo de montagem do sistema SIMBA, nesta obra em particular contexto, participaram 4 montadores, um operador de grua e um encarregado. Idealmente, o processo de montagem da estrutura demoraria 22 dias consecutivos (considerando 8 horas de trabalho por dia) para a totalidade dos módulos, caso estes já estivessem produzidos. No entanto, devido à incapacidade da fábrica em armazenar os módulos, o prazo total de montagem foi estendido para 120 dias. Isto permitiu à empresa (DDN) ajustar a produção em fábrica, intercalando produções urgentes.

Além disso, durante a visita efetuada, foram identificados alguns equipamentos de montagem, como gruas para a elevação dos módulos (Figura 5.52) e plataformas de elevação (Figura 5.56) para apoiar e facilitar a montagem dos elementos. Também foi observada a presença de canalizações embutidas no betão para as redes águas (Figura 5.57).



Figura 5.56 — Residência de estudantes - Grua de elevação de módulos de betão



Figura 5.57 — Residência de estudantes - Negativos para instalação de redes de águas

Por último, apesar dos esforços despendidos, não foi possível conhecer o custo final da obra, nem aos custos de produção e montagem. Contudo, foi disponibilizado o preço de venda por metro quadrado de 1220€/m². O custo sem as fundações e o piso térreo, que foram executados segundo métodos tradicionais de construção, é de 1133 €/m². Com a área bruta conhecida (2100 m²), é possível calcular o preço de venda total, estimando-se aproximadamente 2 milhões e 388 mil euros.

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1 Considerações iniciais

Ao longo desta dissertação, explorou-se o campo da construção modular em Portugal e alguns exemplos no estrangeiro, um tema de crescente relevância na indústria da construção civil. Começamos por contextualizar a importância deste tipo de construção num contexto nacional, considerando as necessidades habitacionais crescentes, a escassez de mão-de-obra qualificada e os desafios económicos que o país enfrenta. Ao delinear os objetivos deste trabalho, identificaram-se os problemas atuais enfrentados pela construção modular, desde a perceção estética até à necessidade de superar desafios logísticos e de aceitação pública. No entanto, é de salientar que a construção modular apresenta inúmeras vantagens, como a redução de custos e a redução dos prazos da construção e a qualidade controlada, que a tornam uma solução viável e atrativa para o mercado.

6.2 Conclusões

Explorou-se as potencialidades da construção modular, analisando casos de estudo, debatendo estratégias de gestão e produção, e examinando as implicações práticas da sua implementação. Deu-se o exemplo da aplicação de tecnologias como o BIM e métodos de gestão como o LEAN para otimizar os processos de produção e garantir a qualidade dos projetos modulares. Através da análise SWOT, é possível identificar os pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças associadas à construção modular.

No decorrer da pesquisa bibliográfica, examinaram-se os fundamentos teóricos e práticos desta construção, destacando as diferenças em relação à construção tradicional e evidenciando as suas vantagens competitivas. Os casos de estudo permitiram compreender melhor a aplicação prática destes conceitos, ao examinarmos empresas portuguesas que estão na vanguarda desta forma inovadora de construir.

Com base nestas análises, conclui-se que a construção modular tem potencial não apenas para suprir a procura habitacional em Portugal, mas também para revolucionar a indústria da construção de edifícios como um todo. Por outro lado, é crucial ultrapassar os obstáculos atuais, como a perceção estética negativa e a resistência à mudança, através da educação, sensibilização e demonstração das vantagens tangíveis desta abordagem construtiva.

Em última análise, esta dissertação procura destacar a importância da construção modular como uma solução eficaz e sustentável para os desafios enfrentados pela indústria da construção em Portugal. Ao fornecer uma visão das suas potencialidades e limitações, bem como das estratégias para superar os obstáculos existentes, espera-se que este trabalho contribua para promover o desenvolvimento desta tecnologia construtiva inovadora.

6.3 Desenvolvimentos futuros

Este trabalho marca, para o autor, o início de uma jornada de pesquisa contínua e evolução no campo da construção modular. Existe ainda um vasto território a explorar e novos estudos a desenvolver. É essencial continuar a investigar para desvendar todo o potencial desta abordagem construtiva inovadora, nomeadamente:

- Na robustez das estruturas modelares, principalmente das ligações entre elementos, do comportamento global da estrutura para as ações horizontais (vento e sismos), do comportamento relativamente ao risco de colapso progressivo da estrutura e da resistência às ações acidentais (comportamento após colapsos localizados devido a explosões de gás ou embates de veículos contra os elementos estruturais do piso térreo, por exemplo);
- Na estética dos edifícios, interior e exterior;
- Na qualidade e durabilidade dos acabamentos das fachadas e interiores, nos acabamentos produzidos em fábrica deverão ser evitados danos durante o transporte e a montagem dos elementos;
- No comportamento térmico, acústico e resistência ao fogo dos pavimentos, e paredes interiores e de fachada;

- Na especificação do tempo de vida útil de projeto de 50 anos para os elementos estruturais;
- No planeamento e coordenação eficiente entre o trabalho em fábrica e o trabalho em obra.

BIBLIOGRAFIA

Aires, Bento & Quintas, Ana (2023) – A força transformadora da construção. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto. Publicação Semestral.

Alwisy A. (2010) - Automation of Design and Drafting for Manufacturing of Panels for Wood Frames of Buildings. Alberta: University of Alberta. Dissertação de Mestrado.

Amuy, P.V.C. (2022) – Proposta de conjunto edificado à base de módulos tridimensionais- Estudo de caso. Porto: Faculdade de engenharia universidade do Porto.

Arayici, P., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., O'Reilly, K. (2011) – Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice, University of Salford, Greater Manchester, UK.

Barriga, E.M., Jeong, J.G., Hastak, M., Syal, M. (2005) – Material control system for the manufactured housing industry. Journal of management in engineering.

Bertram, Nick & Funchs, Steffen (2019) - Modular Constructions: From projects to products.

Castelo, João L.C. (2008) – Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de mestrado.

Chastre, C., Lúcio, V. (2012) - Estruturas pré-moldadas no mundo, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.

Couto, J.P., Couto, A.B., (2007) – Vantagens Produtivas e Ambientais da pré-fabricação. Guimarães. Universidade do Minho.

CREE, Planning Manual, LCT System., Catálogo. <https://www.creebuildings.com>.

CREE, Building the Natural change, Catálogo.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2008) – BIM Handbook, A guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers and contractors, John Wiley & Sons, New Jersey.

Elematic, (2019) - Control plant., <https://www.elematic.com/products/software/product-type/plant-control/>

Elematic, Modules, Advanced 3D module production., Catálogo. <https://www.elematic.com/product/machine-control/>

Elematic, Wallas, Advanced wall production., Catálogo. <https://www.elematic.com/products/>

Fenner, A., Razkenari, M., Shojaei, A., Hakim, H., Kibert, C. (2018) – Outcomes of the state-of-the-art symposium: status, challenges and future directions of offsite construction. MOC Summit, USA.

Finmodslab - Modular and prefabricated construction. Disponível em <https://finmodslab.com/pt/products/modular-and-prefabricated-construction-swot-analysis>

GE-global engineering, <https://www.ge-globalengineering.co.uk/en/modular>.

Generalova, E.M., Generalov, V.P., Kuznetsova, A.A. (2016) – Modular buildings in modern construction, Russia, Samara State University of Architecture and Civil Engineering.

Goh, Matthew & Goh, Y.M. (2019) – Lean production theory-based simulation of modular construction processes, National University of Singapore, Singapore.

Howell, G.A. (1999) – What is lean construction, University of California, Berkeley, CA, USA.

Innella, F., Arashpour, M., Bai, Y. (2019) - Lean Methodologies and Techniques for Modular Construction: Chronological and Critical Review, Journal of Construction Engineering and Management.

Kamali, Mohammad & Hewage, Kasun (2019) – Energy & Buildings – Conventional versus modular construction methods. Kelowna, Canada: School of Engineering, University of British Columbia.

Lagartixo, P.M.R. (2011). "Sistemas Estruturais de Edifícios Industriais PréFabricados em Betão". Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil –Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Lawson, R.M., Ogden, R.G., Pedreschi, R., Grubb, P.J., Popo Ola, S.O. (2005) – Developments in prefabricated systems in light steel and modular construction, London.

Lee, M., Lee, D., Kim, T., Lee U. (2020) – Practical analysis of BIM tasks for modular construction projects in south korea, sustainability 2020, MDPI, article.

Liew, J.Y.R., Chua, Y.S., Dai, Z. (2019) – Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings, National University of Singapore, Singapore.

Liu, Z., Xiao, L., Wu, C., Ma, J., Yang, Z., Guo. Y (2023) – Automatic work package sizing for cost-effective modular construction, Automation in construction.

Martins, Hélder (2023) - Construção modular em betão já tem uma dúzia de projetos. Jornal Expresso, Lisboa. Disponível em https://expresso.pt/economia/economia_imobiliario/2023-04-16-Construcao-modular-em-betao-ja-tem-uma-duzia-de-projetos-d401cf9f?utm_source=headtopics&utm_medium=news&utm_campaign=2023-04-17.

Moghadam, M., Alwisy, A., Al-Hussein, M. (2012) – Integrated BIM/Lean base production line schedule model for modular construction manufacturing, construction research congress, ASCE.

Mukherjee, A., Mitchell, W., Talbot, F.B. (2000) – The impact of new manufacturing requirements on production line productivity and quality at a focused factory. Journal of operations management.

Nahmens, I., Ikuma, L.H. (2011) – Effects of lean construction on sustainability of modular homebuilding. Journal of architectural engineering. Nahmens, I., Mullens, M. (2009) – The impact of product choice on lean homebuilding. Construction Innovation.

Nam, S., Lee, D., Cho, B., Kim, K. (2019) – Integrated management software for factory production of modular buildings, Ajou University, Korea.

Ohno, T. (1988) – Toyota Production System, Beyond Large Scale Production. Bookman.

Patinha, Sérgio M. P. A (2011) – Construção Modular – Desenvolvimento da ideia: Casa numa caixa. Aveiro: Universidade de Aveiro. Dissertação de Mestrado.

PFEIFER - VS - Slim-Box Easyfill, catálogo.

Proyecto de un edificio destinado a hotel de tres estrellas situado en sector "AR Nuevo Tres Cantos", Tres Cantos - Madrid, proyecto básico, TdB Arquitetura, Setembro de 2022.

Rodrigues, M.P. (2021) – Proposta de um sistema industrializado sustentável para habitação modular. Beira interior: Universidade da beira interior. Dissertação de Mestrado.

Sabet, P.G.P., Chong, H.Y. (2019) – Interactions between building information modelling and off-site manufacturing for productivity improvement. International Journal of managing projects in business.

Sacks, R., Dave, B.A., Koskela, L., Owen, R. (2009) – Analysis framework for the interaction between lean construction and building information modelling, 17th annual conference for the international group for lean construction, Taipei, Taiwan.

Saldo Positivo - Casas modulares e pré-fabricada: vantagens e desvantagens. Disponível em <https://www.cgd.pt/Site/Saldo-Positivo/Sustentabilidade/Pages/casas-modulares-prefabricadas.aspx>.

Senescu, R., Mole, A., Fresquez, A. (2006) – A casa study in structural drafting analysis and design using an integrated intelligent model. Joint international conference on computing and decision making in civil and building engineering.

Shin, J., Choi, B. (2022) – Design and implementation of quality information management system for modular construction factory, Ajou University, Suwon, Korea.

Silva, Pedro D.M (2012) - Aplicação de Técnicas BIM à Construção Modular com Painéis Sandwich.Minho:Universidade do Minho. Dissertação de Mestrado.

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

Sommer, H. (2016) – Projektmanagement im Hochbau, Springer Vieweg Berlin, Heidelberg.

Thai, Huu-Tai, Ngo Tuan & Uy, Brian (2020) – A review on modular construction for high-rise buildings, university of Melbourne, Parkville, Australia.

Tomás, Quirino J.J (2010) - Concepção e Projecto de um Edifício de Habitação com Estrutura em Betão Pré-Fabricado. Caparica: Faculdade de Ciências e Tecnologias Universidade Nova de Lisboa. Dissertação de mestrado.

Visia - Construção modular: o que é e quais são os seus benefícios. Disponível em <https://www.visia.eng.br/construcao-modular-o-que-e-e-quais-sao-os-seus-beneficios/>.

Womack, J.P., Jones, D.T. (1997) – Lean Thinking – Banish waste and create wealth in your corporation. Journal of the operational research society.

Wu, L., Lu, W., Xue, F., Li, X., Zhao, R., Tang, M. (2021) – Linking permissioned blockchain to Internet of things (IoT) – BIM platform for off-site production management in modular construction, University of Hong Kong, Hong Kong.

Wuni, I.Y., Shen, G.Q.P., Mahmud, A.T. (2019) – Critical risk factors in the application of modular integrated construction: a systematic review. International Journal of construction management.

Yin, X., Liu, H., Chen, y., Al-Hussein, M. (2019) – Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. Automation in construction.

ANEXO 1

Desenhos da arquitetura

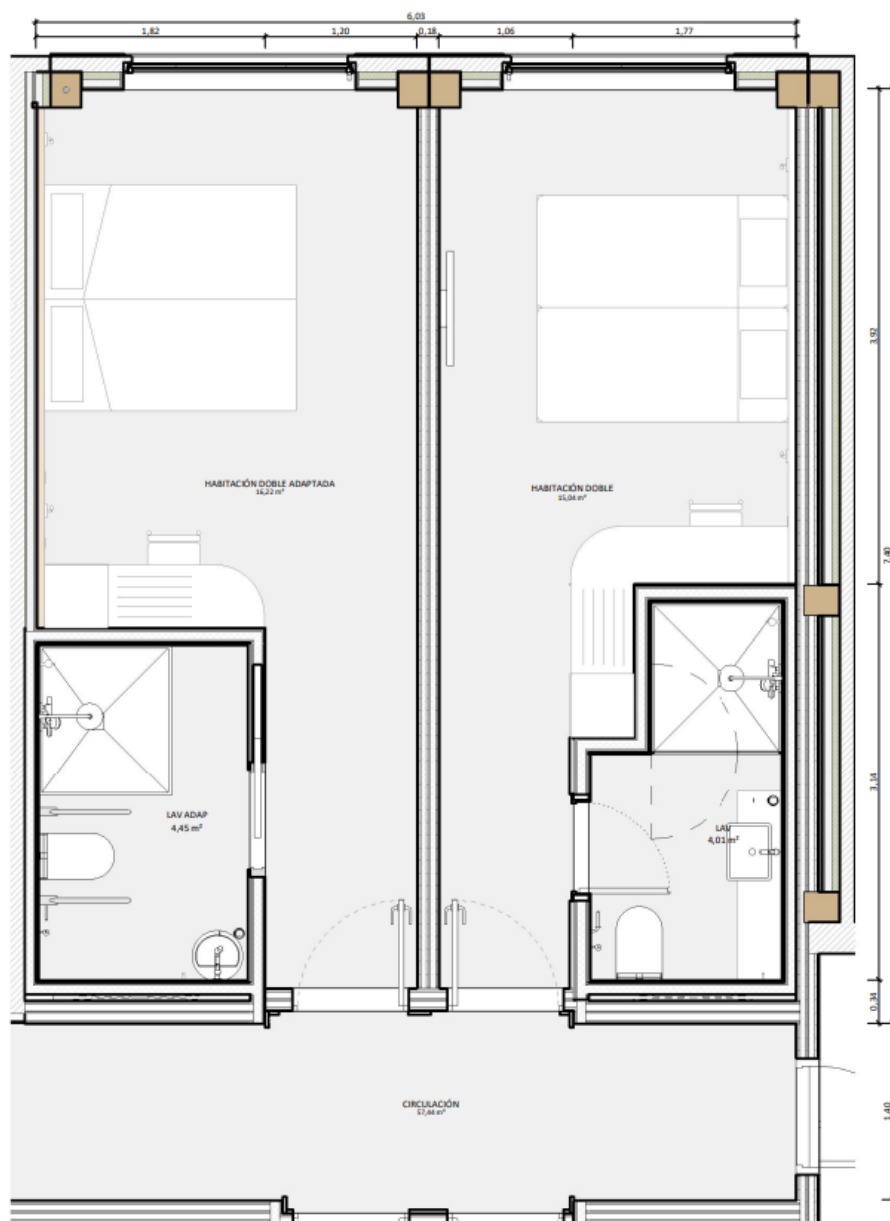


Figura A.1 — Planta de um quarto simples e adaptado - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)



Figura A.2 — Planta do rés do chão - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)

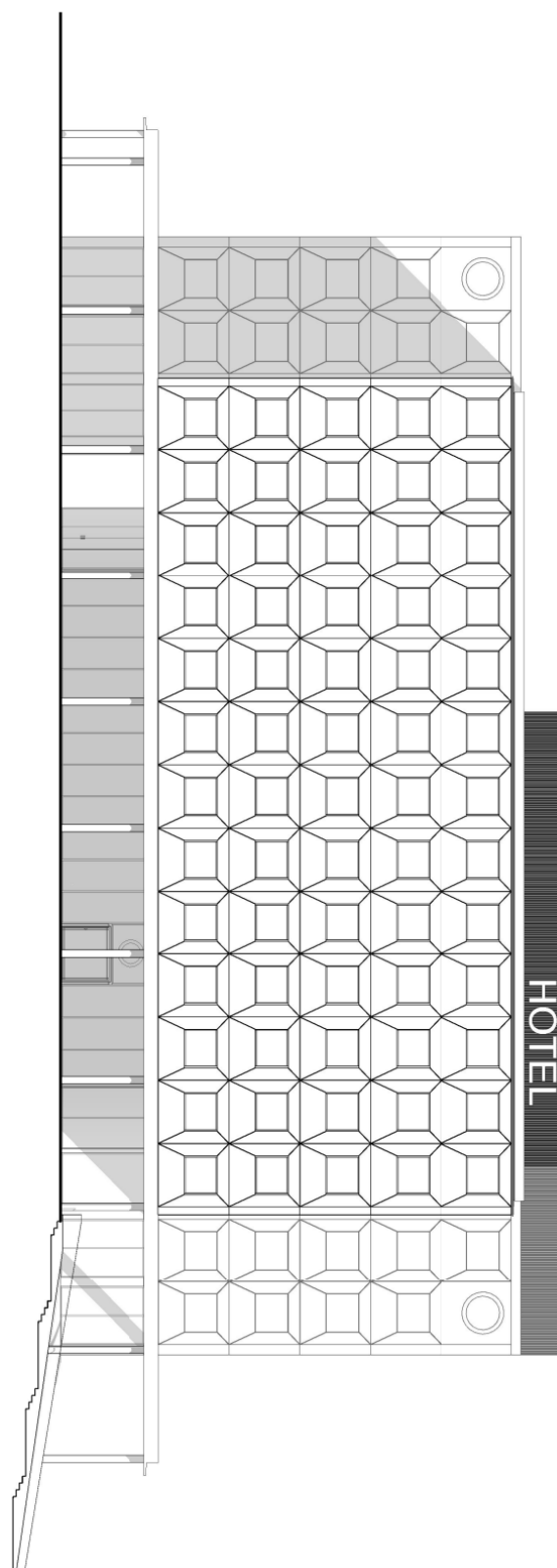


Figura A.4 — Alçado da fachada principal - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)

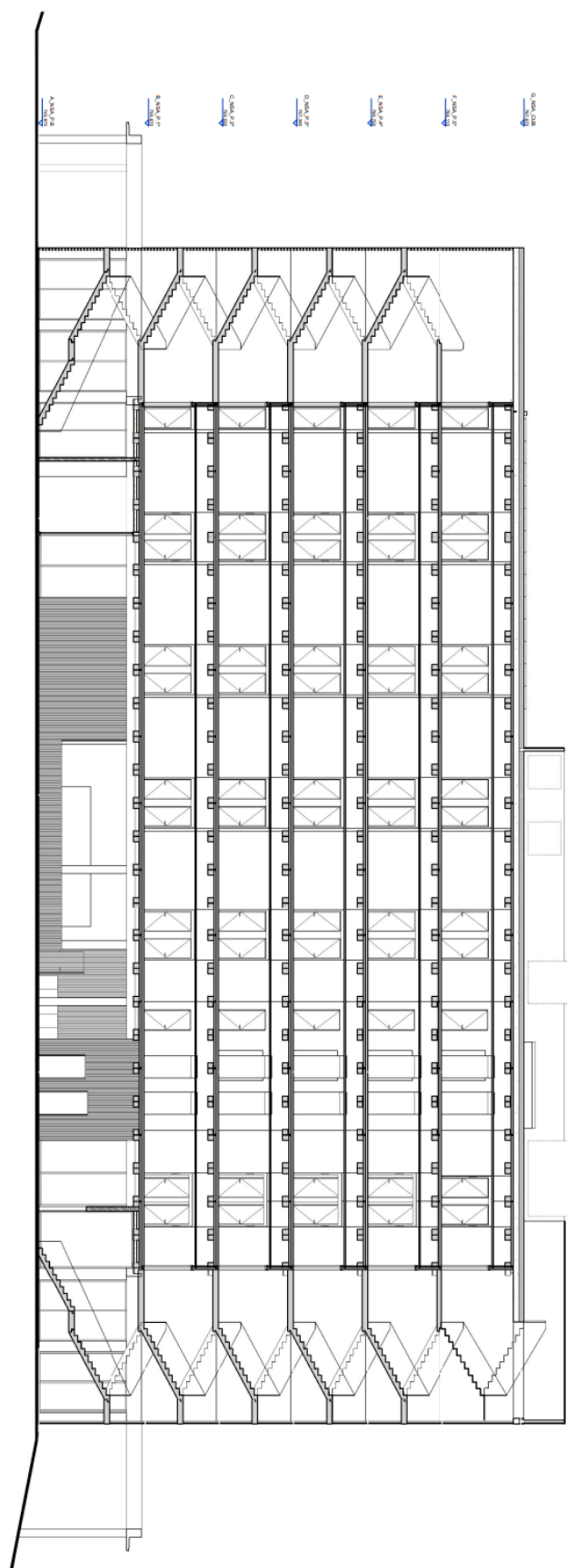


Figura A.5 — Corte longitudinal - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)

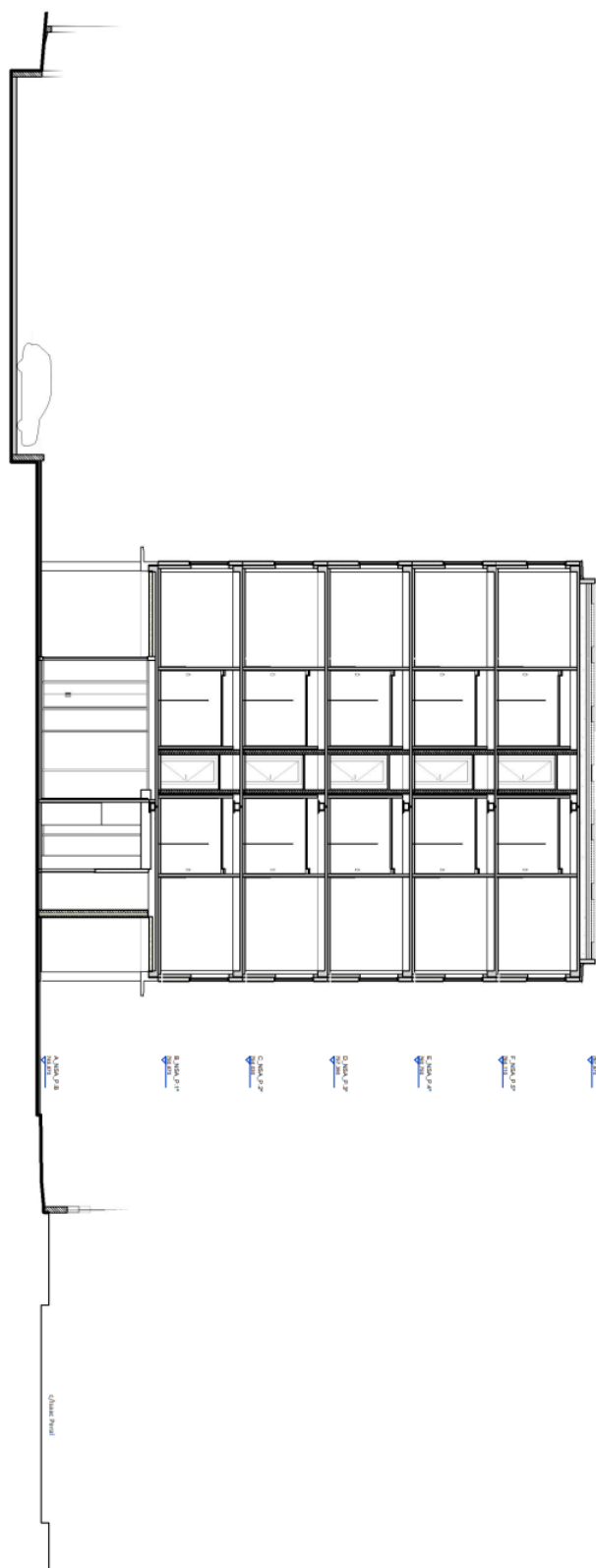


Figura A.6 — Corte transversal - Hotel "Tres Cantos" em Madrid (sem escala)

A

ANEXO 2

Desenhos da arquitetura

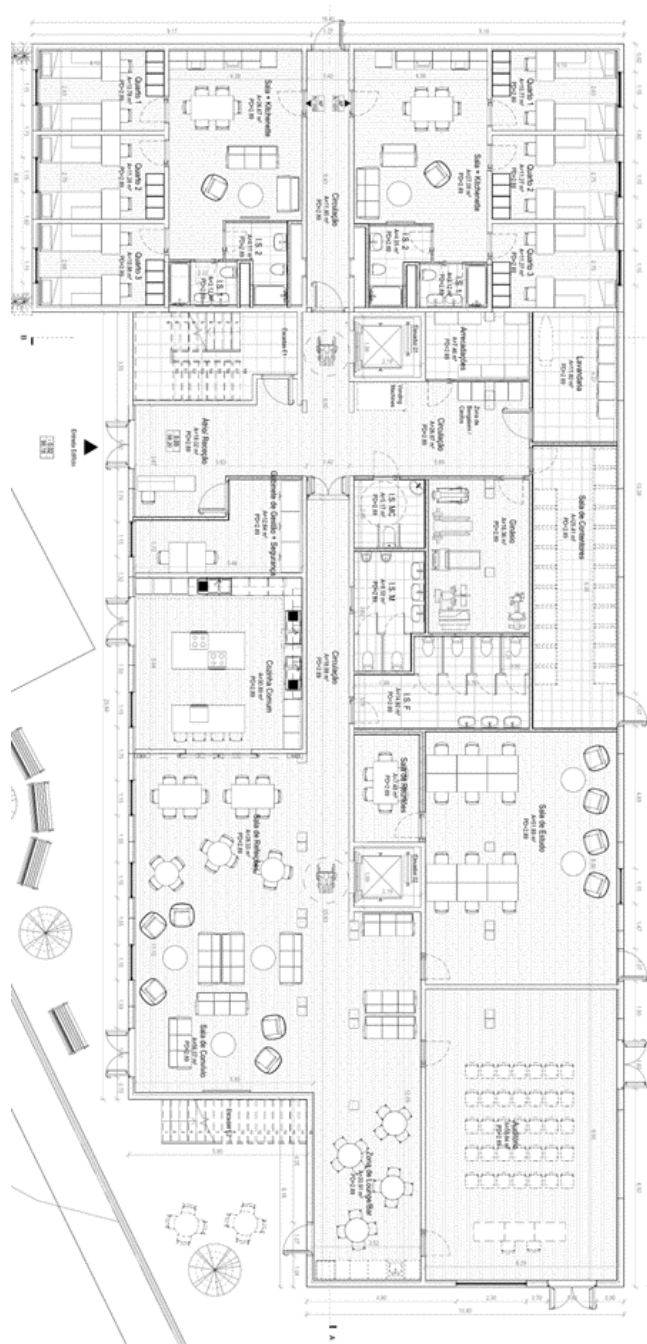


Figura A.7 — Planta do rés do chão - Residência em Benfica (sem escala)

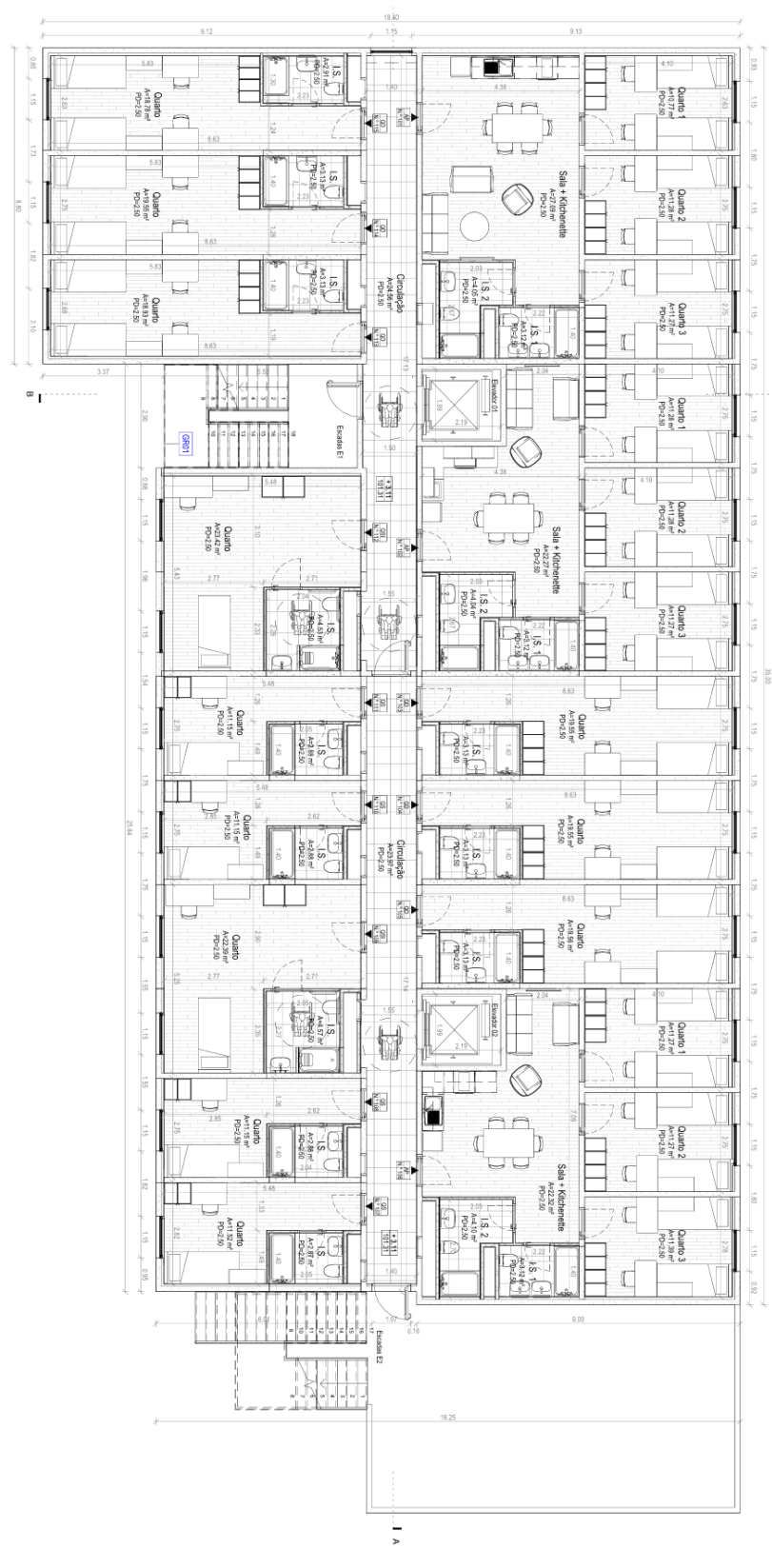


Figura A.8 — Planta dos pisos superiores - Residência em Benfca (sem escala)

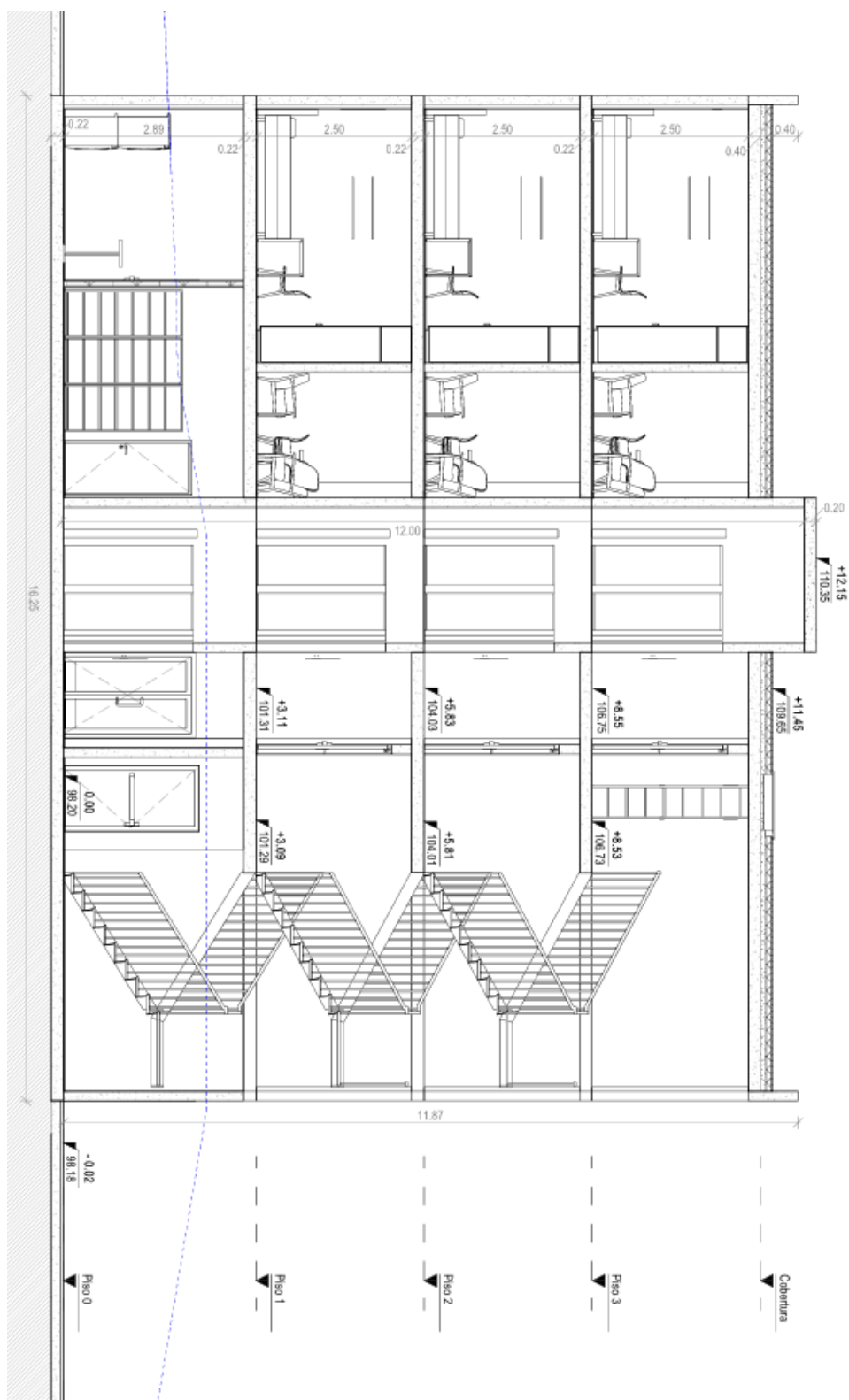


Figura A.10 — Corte transversal - Residência em Benfica (sem escala)

ANEXO 3

Resumo do Artigo

Resumo do artigo submetido para o congresso SUBLime.

**MODULAR CONSTRUCTION AS A PROMISING ALTERNATIVE
FOR THE CONSTRUCTION OF AFFORDABLE AND QUALITY HOUSING**

Duarte R. P. B. Antunes ⁽¹⁾, Válder J.G. Lúcio ⁽²⁾ e Fernando F. S. Pinho ⁽²⁾

(1) Civil Engineering Master student at NOVA School of Science and Technology

(2) Professor at NOVA School of Science and Technology

ABSTRACT

In this study seeks to address the fundamental characteristics of modular construction, covering the nuances of the design and construction process, from production to assembly. The objective is to estimate essential parameters, such as deadlines and costs, associated to this construction method, comparing them with the ones of traditional construction systems. This analysis comes as a response to the lack of labor force, and the shortage and high prices of housing in Portugal. Modular construction focuses on the adoption of prefabricated construction systems and their introduction may result in reduced costs and construction time, contributing to quality, more economical and accessible housing. This study offers valuable insights to address housing challenges in the Portuguese context, highlighting modular construction as a promising and sustainable alternative.



2024

DUARTE BARREIRA ANTUNES CONSTRUÇÃO MODULAR EM PORTUGAL