

INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO EM BETÃO ARMADO POR RECURSO A PREFABRICAÇÃO

Análise dum caso concreto

HENRIQUE MENDONÇA COELHO PINHEIRO DOS SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JULHO DE 2024

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil – 2023/2024 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e ao meu irmão por tudo o que significam para mim e por todo o apoio e carinho que me têm dado em todas as fases da minha vida.

Aos meus avós por todo o apoio e carinho que me dão e pela alegria e boa disposição que sempre me transmitem.

À minha namorada, Margarida, por todo o apoio, carinho e companheirismo ao longo destes anos.

A toda a minha família e amigos por estarem sempre presentes.

Ao Professor Hipólito Sousa, pela orientação, disponibilidade e, principalmente, compreensão que teve comigo ao longo desta jornada.

Ao Engenheiro Pedro Freitas pela orientação e pela oportunidade de aprender e contactar com um projeto inovador como o “The Yard”.

Ao Engenheiro Delfim Santos pela disponibilidade e pelo gosto com que transmite todo o seu conhecimento e experiência.

À Equipa de Obra com a qual tenho tido o privilégio de trabalhar e aprender diariamente: Ao Engenheiro Pedro Araújo, ao Engenheiro Paulo Duarte, ao Sérgio Coelho, ao Daniel Pinto e à Catarina Nogueira.

Obrigado.

RESUMO

Atualmente, o setor da construção enfrenta, contrariamente a outras indústrias do mercado, uma diversidade de problemáticas associadas à sustentabilidade, baixa produtividade e ausência de mão de obra qualificada. Por sua vez, pressões constantes para redução de custos e prazos de execução são, também, cada vez maiores. Todos estes fatores impulsionam a adoção de processos produtivos altamente industrializados e novas soluções construtivas, aumentando a receptividade de diversos intervenientes a métodos construtivos alternativos, como a prefabricação.

Esta dissertação foi realizada em ambiente empresarial, na empresa Ferreira Build Power, tendo como objeto de estudo a obra “The Yard” - projeto pioneiro, em Portugal, no que diz respeito à prefabricação em betão da estrutura em edifícios de habitação multifamiliar. Esta experiência proporcionou um contacto direto com diversos desafios e especificidades provenientes do recurso à prefabricação.

O principal objetivo da presente dissertação consiste, através do estudo de um caso real, na identificação das principais vantagens e desvantagens do uso da prefabricação da estrutura de betão armado, com vista à industrialização da construção por um maior uso da construção “off site”.

Assim, de forma a alcançar o objetivo proposto, é realizada, numa primeira fase, uma abordagem ao panorama global da IC face a outras indústrias, ilustrando a baixa produtividade do setor. De seguida, são explorados diversos conceitos chave relativos à Construção Prefabricada.

Posteriormente, a partir da análise do caso real, são ilustrados vários detalhes da prefabricação ao nível do projeto, da preparação, da produção dos componentes e ao nível da execução de obra. Ou seja, são descritos diversos parâmetros desde a fase de conceção à fase de montagem dos prefabricados in situ.

Por fim, tendo em conta os dados obtidos da Obra “The Yard” e o principal objetivo deste trabalho, é realizada uma análise comparativa do uso deste método construtivo alternativo face aos métodos tradicionais.

PALAVRAS-CHAVE: Prefabricação, Industrialização, Produtividade, Sustentabilidade, Inovação.

ABSTRACT

Unlike other industries, the construction sector is currently facing a range of challenges related to sustainability, low productivity, and a shortage of skilled labor. At the same time, there is increasing pressure to reduce costs and project timelines. These factors are driving the adoption of highly industrialized production processes and innovative construction solutions, leading to a greater receptiveness to alternative construction methods, such as prefabrication.

This dissertation was conducted within a business environment at Ferreira Build Power, focusing on “The Yard” – a pioneering project in Portugal concerning the prefabrication of concrete structures in multi-family housing. This project provided direct insights into the various challenges and specifics associated with prefabrication.

The main objective of this dissertation is to identify the primary advantages and disadvantages of using prefabrication for reinforced concrete structures through the study of a real case, with the aim of promoting industrialized construction via increased off-site construction methods.

To achieve this objective, the dissertation first explores the global context of construction industry productivity compared to other sectors, highlighting the sector's low productivity. It then examines key concepts related to prefabricated construction.

Following this, the analysis of the real case provides detailed insights into various aspects of prefabrication, including design, preparation, component production, and on-site execution. This includes a description of various parameters from the design phase to the assembly of prefabricated components in situ.

Finally, based on data obtained from “The Yard” and the main objective of this study, a comparative analysis is conducted between this alternative construction method and traditional methods.

KEYWORDS: Prefabrication, Industrialization, Productivity, Sustainability, Innovation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DA TESE	2
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	5
2.1.1. CONSTRUÇÃO VS OUTROS SETORES	5
2.1.2. CAUSAS DA BAIXA PRODUTIVIDADE	7
2.2. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO - CONCEITO	9
2.3. PREFABRICAÇÃO	10
2.3.1. PREFABRICAÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	10
2.3.2. PREFABRICAÇÃO – CONCEITO	12
2.3.3. DESIGNAÇÕES	13
2.3.4. OPORTUNIDADES DE MERCADO	14
2.3.5. DIFERENTES ABORDAGENS À PREFABRICAÇÃO	14
2.3.6. PREFABRICAÇÃO EM BETÃO	18
2.4. VANTAGENS/DESVANTAGENS DA PREFABRICAÇÃO	19
2.4.1. PLANEAMENTO	20
2.4.1.1. Prazos	20
2.4.1.2. Equipamento	22
2.4.1.3. Transporte	22
2.4.2. CUSTOS	22
2.4.2.1. Custos de Construção	23
2.4.2.2. Custos de Projeto	24
2.4.2.3. Redução dos prazos de execução	24

2.4.2.4. Custos de Materiais.....	24
2.4.2.5. Custos de Mão de Obra	24
2.4.2.6. Logística	25
2.4.2.7. Custos de Fábrica	25
2.4.3. SUSTENTABILIDADE	25
2.4.4. SEGURANÇA	26
2.4.5. QUALIDADE.....	27
2.4.5.1. Durabilidade	27
2.4.5.2. Desempenho e Custo de Ciclo de Vida	27

3. O PROJETO E A OBRA

29

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....

29

3.2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE PREFABRICADO.....

35

3.2.1. PROJETO DE ESTRUTURAS

35

3.2.2. PRODUÇÃO DE PREFABRICADOS

36

3.2.2.1. Receção e controlo das matérias-primas

37

3.2.2.2. Produção e transporte

37

3.2.3. DETALHES DE PREPARAÇÃO DOS PREFABRICADOS.....

43

3.2.4. DETALHES DE EXECUÇÃO DE OBRA

46

3.3. PROCESSO CONSTRUTIVO E PLANEAMENTO

57

3.4. ESTUDO DE CUSTO DA SOLUÇÃO.....

60

4. ANÁLISE DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS ENCONTRADAS

63

4.1. ESTALEIRO

63

4.2. SUSTENTABILIDADE.....

65

4.3. PLANEAMENTO E PRAZOS DE EXECUÇÃO

66

4.4. ECONOMIA

67

4.5. QUALIDADE

67

5. CONCLUSÃO

69

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....

69

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Produtividade do setor construção vs outros setores.....	6
Fig. 2 – Evolução da produtividade de vários setores nos EUA.....	7
Fig. 3 – Parâmetros da Industrialização.....	9
Fig. 4 – Repartição dos tempos e tarefas na construção.....	9
Fig. 5 – Colapso do edifício “Ronan Point”, Londres, 1968.....	10
Fig. 6 – Relação entre prefabricação e períodos de escassez de habitação.....	11
Fig. 7 – Três principais fases da construção prefabricada.....	12
Fig. 8 – Potencial de mercado para diferentes segmentos imobiliários.....	14
Fig. 9 – Diferentes abordagens na Prefabricação.....	15
Fig. 10 – Diferentes soluções modulares.....	16
Fig. 11 – Módulo ou unidade tridimensional.....	17
Fig. 12 – Ligação dos módulos à fundação.....	17
Fig. 13 – Ligação entre módulos.....	17
Fig. 14 – Montagem de Paineis de fachada em madeira.....	18
Fig. 15 – Muros prefabricados.....	19
Fig. 16 – Box-Culvert.....	19
Fig. 17 – Prazos de execução construção prefabricada vs tradicional.....	21
Fig. 18 – Tempo de execução de obra.....	21
Fig. 19 – Período típico para tornar um edifício estanque.....	22
Fig. 20 – Análise do potencial da prefabricação a nível económico	23
Fig. 21 – Localização da obra “The Yard”	29
Fig. 22 – Arquitetura exterior “The Yard”	30
Fig. 23 – Alçado exterior “The Yard”	30
Fig. 24 - “The Yard” (Interiorismo – sala de estar)	31
Fig. 25 - “The Yard” (Interiorismo – quarto)	31
Fig. 26 - “The Yard” (Interiorismo – casa de banho)	31
Fig. 27 – Projeto de estruturas.....	35

Fig. 28 – Tipos de espaçadores.....	38
Fig. 29 – Pregos para fixação da pega (esquema)	38
Fig. 30 – Pregos de fixação (pilar)	39
Fig. 31 – Pega para movimentação da peça (esquema)	39
Fig. 32 - Pega para movimentação da peça numa viga.....	40
Fig. 33 – Etiqueta (identificação da peça)	41
Fig. 34 – Armazenamento elementos prefabricados de betão.....	42
Fig. 35 – Transporte/Acondicionamento de pilares vigas e vigas laje.....	43
Fig. 36 - Transporte/Acondicionamento de box-culvert.....	43
Fig. 37 – Preparação pilares prefabricados: geometria.....	44
Fig. 38 - Preparação pilares prefabricados: armaduras.....	45
Fig. 39 - Preparação pilares prefabricados: chanfros e quebra-cantos.....	46
Fig. 40 – Arranque pilares prefabricados.....	47
Fig. 41 – Arranque pilares prefabricados.....	47
Fig. 42 – Pormenor de continuidade de Pilares.....	48
Fig. 43 – Pilar prefabricado.....	49
Fig. 44 – Escoramento pilar prefabricado.....	49
Fig. 45 – Selagem pilares prefabricados.....	50
Fig. 46 – Ferrolhos para ligação verticais-viga.....	51
Fig. 47 – Baínhas corrugadas em viga prefabricada.....	51
Fig. 48 – Ligação pilar-viga.....	52
Fig. 49 – Ligação pilar-viga.....	52
Fig. 50 – Montagem viga prefabricada (ligação com parede betonada in situ)	53
Fig. 51 – Viga prefabricada.....	53
Fig. 52 – Garra de elevação.....	54
Fig. 53 – Ligação viga – laje alveolar.....	54
Fig. 54 – Montagem laje alveolar.....	55
Fig. 55 – Pormenor de cintagem de estrutura.....	55

Fig. 56 - Acopladores.....	56
Fig. 57 – Armadura de cintagem num pilar.....	56
Fig. 58 – Lâmina de compressão.....	56
Fig. 59 – Plano de Trabalhos Yard – Solução Betão in Situ.....	57
Fig. 60 – Plano de Trabalhos Yard – Solução Betão Prefabricado.....	58
Fig. 61 – Planeamento de produção prefabricados do piso 6 lote 12A.....	59
Fig. 62 – Plano de montagem piso 6.....	60
Fig. 63 – Planta de estaleiro “The Yard” – Configuração das Gruas.....	64
Fig. 64 – Limpeza e organização da obra.....	65
Fig. 65 – Acabamento dos elementos de betão prefabricados	68
Fig. 66 – Esquema resumo da Industrialização da Construção.....	70

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Quadro de áreas – Bloco 10E	2
Quadro 2 – Quadro de áreas – Bloco 12A	4
Quadro 3 – Quadro de áreas – Bloco 12B	2
Quadro 4 – Área Total de Construção The Yard.....	60
Quadro 5 – Custos/ Rácios Solução Prefabricada.....	61
Quadro 6 – Histórico de Custos Solução in Situ	61
Quadro 7 – Custos/ Rácios Solução Betão in Situ	62
Quadro 8 – Estudo de Custo: Solução Prefabricada vs Solução in Situ.....	62
Quadro 9 – Vantagens e Desvantagens ao nível do Estaleiro	65
Quadro 10 – Vantagens e Desvantagens ao nível da Sustentabilidade	66
Quadro 11 – Vantagens e Desvantagens ao nível do Planeamento e Prazos de Execução	66
Quadro 12 – Vantagens e Desvantagens ao nível Económico.....	67
Quadro 13 – Vantagens e Desvantagens ao nível da Qualidade do produto final	68

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

PIB - Produto interno bruto

IC - Indústria da construção

MO - Mão de obra

2D - Duas dimensões

3D - Três dimensões

EUA – Estados Unidos da América

IE – Instalação Elétrica

IH – Instalação Hidráulica

IM – Instalação Mecânica

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BA – Betão Armado

ATC – Área Total de Construção

Fig. – Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A Construção é uma das maiores e mais importantes indústrias do mundo e da economia global, representa 13% do PIB mundial [1], e desempenha, inevitavelmente, um papel crucial no dia a dia das populações.

Ao longo das últimas décadas, diversos fatores como o avanço das tecnologias, a globalização e a implementação de mecanismos de gestão eficientes contribuíram para o aumento da eficiência e da capacidade produtiva de várias indústrias.

No entanto, ao longo desse período, e muito devido à complexidade associada à execução de uma obra, o setor tem vindo a revelar uma estagnação da sua produtividade comparado à economia mundial e outras indústrias, cujos crescimentos anuais chegam a ser até três vezes superiores. É, por isso, notória e expressiva a dificuldade que a Indústria da Construção tem revelado em acompanhar este desenvolvimento tecnológico.

Este défice de produtividade/crescimento, aliado a dificuldades ao nível da mão de obra qualificada, sustentabilidade, e pressões constantes para a redução de custos e prazos de execução provoca, nesta indústria, uma grande necessidade de implementação de novas tecnologias e processos construtivos que privilegiem a digitalização, produção em massa, prefabricação e modularização – Industrialização da Construção.

Desta forma, nesta dissertação será realizada, através do estudo de um caso real, uma análise do papel da prefabricação na industrialização da construção e de que forma poderá impulsionar a produtividade do setor. Será elaborada uma análise dos aspetos positivos e negativos obtidos do uso da prefabricação da estrutura na construção de edifícios de habitação multifamiliar.

O empreendimento em estudo será o “The Yard”, empreendimento pioneiro em Portugal no que diz respeito à prefabricação da estrutura em edifícios de habitação multifamiliar, cuja estrutura é realizada por recurso a elementos de betão prefabricado - pilares, vigas, lajes, varandas e escadas - que se desenvolvem a partir de fundações indiretas, paredes de contenção e núcleos de escadas/elevadores realizados “in situ”.

O projeto “The Yard” surge do desejo do Dono de Obra - Grupo GFH – e da Construtora - Ferreira Build Power – de criar um projeto inovador, tecnológico e que desse resposta às necessidades de futuro da Indústria da Construção, visando o aumento da sustentabilidade, produtividade e controle de qualidade.

1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Numa altura em que a estagnação dos índices de produtividade do setor da Construção é notória e cada vez mais preocupante, a mudança de abordagens e paradigmas nunca foi tão necessária. É premente industrializar a construção através da criação de sistemas de produção automatizados e digitais.

Inúmeros estudos anunciam a prefabricação como a principal alternativa aos métodos de construção tradicional, associando à mesma, a capacidade de redução de prazos até 50%, redução de custos até 20% e a possibilidade de construir de forma sustentável, aumentando a qualidade do produto final bem como reduzindo a dependência de mão de obra qualificada, que é cada vez mais escassa.

Deste modo, ter a oportunidade de contactar com um projeto altamente inovador em Portugal e estudar o resultado obtido do recurso à prefabricação da estrutura de betão num edifício de habitação multifamiliar, é sem dúvida, extremamente motivador e desafiante. É também, de elevada relevância referir que, uma vez que o desempenho do uso da prefabricação está diretamente relacionado com economias de escala, localização geográfica, proximidade do mercado e logística de transportes, será muito interessante analisar a viabilidade deste método construtivo alternativo num país de pequenas dimensões e descentralizado como Portugal.

Assim, o objetivo desta dissertação de Mestrado em Engenharia Civil consiste na análise das vantagens e desvantagens do uso da prefabricação da estrutura de betão armado, com vista à industrialização da construção por um maior uso da construção “off site”.

Assim, tomando por base de comparação a realização dos mesmos edifícios “in situ”, pretende-se avaliar os seguintes aspetos:

- Impactos ao nível do projeto - quando optar pela solução pré-fabricada, constituição e organização dum projeto para uma obra prefabricada, ligações e tolerâncias dimensionais;
- Impactos ao nível do estaleiro e logística;
- Impactos ao nível da sustentabilidade;
- Impactos ao nível da mão de obra;
- Impactos ao nível dos prazos globais e do planeamento dos trabalhos;
- Impactos ao nível dos custos;

1.3. ESTRUTURA DA TESE

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos estruturados de forma a permitir, através do estudo de pontos fundamentais relacionados com o estado atual do setor da construção e com a construção prefabricada, a correta análise do caso prático – Obra “The Yard”.

O primeiro capítulo “Introdução”, é composto por uma breve contextualização, motivação e objetivos deste trabalho.

No segundo capítulo, “Estado da Arte”, é descrita, numa primeira fase, a baixa produtividade do setor da construção que, por sua vez, impulsiona a adoção de novos métodos construtivos como a prefabricação. De seguida, é abordada a temática Prefabricação, onde são explorados conceitos teóricos e práticos, e comparadas as vantagens e desvantagens da sua utilização face à construção “tradicional”.

O terceiro capítulo, denominado “O Projeto e a Obra”, ilustra diversas particularidades provenientes do uso da prefabricação da estrutura de betão na obra em estudo. Desta forma, são apresentados vários detalhes ao nível do projeto, preparação, produção e execução de obra, desde a fase de conceção até à montagem dos prefabricados in situ. É, também, realizada uma análise ao nível do Plano de Trabalhos e do Custo de cada solução.

No quarto capítulo, “Análise das Vantagens e Desvantagens Encontradas”, é feita uma análise comparativa dos pontos positivos e negativos do recurso à Construção Prefabricada.

Por fim, no capítulo cinco, “Conclusão”, são apresentadas ilações retiradas do estudo da obra “The Yard” e alterações a efetuar em projetos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Antes de se abordar conceitos de prefabricação e industrialização da Construção é necessário abordar o panorama global da Indústria da Construção, estudando o seu papel na economia global, bem como comparando-a com outros setores do mercado.

Todos os anos, a IC representa, a nível mundial, cerca de 10 triliões de dólares gastos por ano, o que equivale a cerca de 13% do PIB mundial. É, inevitavelmente, uma das maiores indústrias mundiais pois, para além de empregar cerca de 7% população trabalhadora, está diretamente relacionada com a qualidade de vida das populações através da construção dos espaços onde as pessoas habitam, trabalham e se deslocam. [2]

No entanto, nas últimas décadas, tem revelado uma grande dificuldade em acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos, traduzindo-se numa estagnação dos índices de produtividade do setor face a outros do mercado. Enquanto outras indústrias se transformaram, aproveitando o boom tecnológico para maximizar recursos, otimizar e automatizar processos, criando cadeias de distribuição de grandes escala e sistemas de distribuição digitais, a Construção manteve a sua abordagem tradicional.

2.1.1. CONSTRUÇÃO VS OUTROS SETORES

De acordo com estudos realizados pela McKinsey & Company [2], a Construção aumentou, em média, a sua produtividade em 1% ao ano, entre 1995 e 2014, comparado à economia mundial e à manufatura cujos crescimentos médios anuais são de 2.7% e 3.6%, sucessivamente.

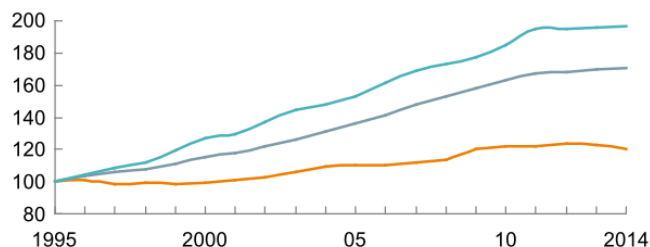
Exhibit E1

Globally, labor-productivity growth lags behind that of manufacturing and the total economy

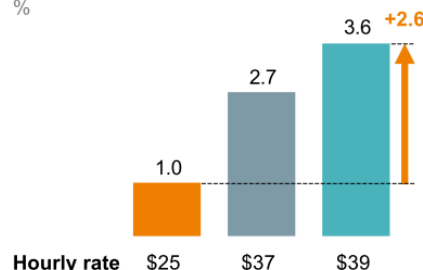
Global productivity growth trends¹

Construction Total economy Manufacturing

Real gross value added per hour worked
by persons engaged, 2005 \$
Index: 100 = 1995



Compound annual growth rate,
1995–2014
%



¹ Based on a sample of 41 countries that generate 96% of global GDP.

SOURCE: OECD; WIOD; GGCD-10, World Bank; BEA; BLS; national statistical agencies of Turkey, Malaysia, and Singapore; Rosstat; McKinsey Global Institute analysis

Fig. 1 - Produtividade do setor construção vs outros setores [2]

Este estudo associa, à falta de produtividade da IC, uma perda de valor na ordem dos 1.6 triliões de dólares por ano. Isto é, caso o setor da construção alcance o progresso feito pela economia global, existe uma oportunidade de valorização da indústria em cerca de 1.6 triliões de dólares por ano, o que equivale a um aumento do PIB mundial em 2 por cento ao ano [2]. Por outro lado, esta criação de valor pode traduzir-se em melhores salários para os trabalhadores, maiores margens para as empresas e menores custos para os clientes finais.

Deste modo, este défice de produtividade gera impactos negativos não só nas entidades envolvidas no setor, como também em toda a economia mundial.

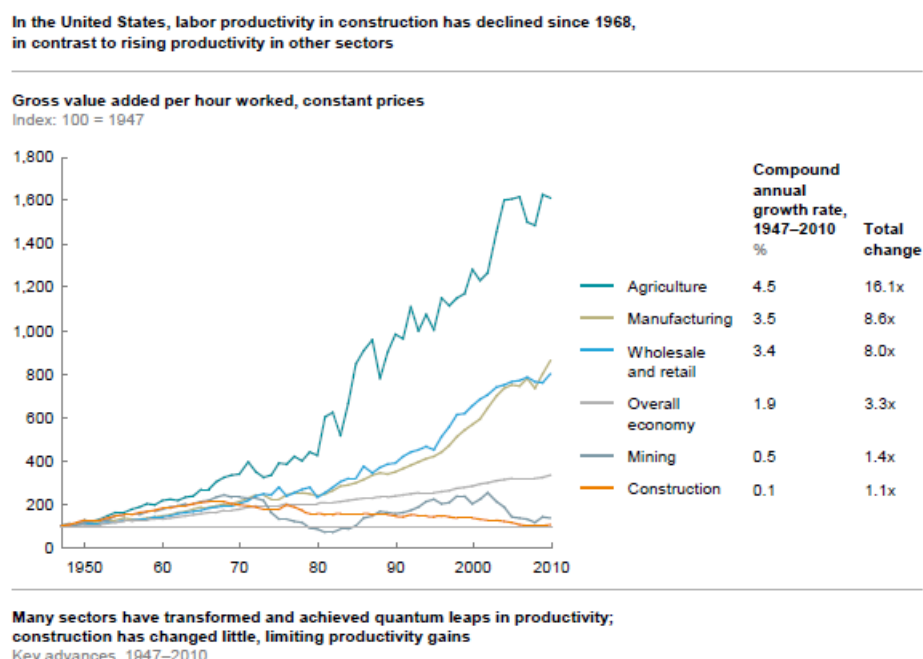


Fig. 2 - Evolução da produtividade de vários setores nos EUA [1]

O gráfico da figura 2 ilustra a evolução da produtividade de diversos setores nos Estados Unidos da América desde 1947 a 2010. A partir da análise deste gráfico, é perceptível o contraste existente entre o setor da construção e outros setores como a agricultura, manufatura e retalho. [2]

Estes setores aproveitaram os avanços tecnológicos para otimizar processos, criar sistemas de produção em massa e escalar os seus negócios de forma que o produto final esteja acessível a um público muito mais alargado.

O setor da agricultura, para além de utilizar uma política de escala no seu modo de gerir e operar as terras, implementou técnicas de bioengenharia avançada que permitiram melhorar os rendimentos obtidos.

A manufatura instituiu novos conceitos como a padronização e a modularização, introduzindo sistemas de produção altamente automatizados com vista ao aumento da produção.

Por sua vez, a indústria do retalho aproveitou as vantagens da escala e avanços ao nível da logística para fornecer bens acessíveis às massas, expandindo assim o seu mercado.

Por outro lado, toda a IC sempre demonstrou uma resistência relativamente à adoção de novas tecnologias e métodos construtivos, o que resulta, conforme gráfico da figura 2, numa estagnação da sua produtividade que contrasta com os outros setores do mercado.

2.1.2. CAUSAS DA BAIXA PRODUTIVIDADE

Primeiramente, é importante salientar que, contrariamente ao que se sucede com outras indústrias, a construção tem como produto final algo muito complexo, resultante da conjugação de diversas atividades, materiais e intervenientes. Assim, caracteriza-se como unitária, não repetitiva e sob encomenda. É, por isso, um setor com um grau de padronização e volumes muito reduzidos, estando

sempre sujeito às exigências do mercado. Cada projeto é único e deve atender a uma série de requisitos como as necessidades do utilizador, a finalidade, a localização e o contexto em que se insere. É desta singularidade/autenticidade, característica de cada projeto, que resulta a principal barreira para a implementação de processos industrializados na construção. [3]

Por sua vez, para além de todas as particularidades associadas à execução de um projeto, há, também, uma grande diversidade de fatores que impedem a Construção de se tornar num verdadeiro sistema de produção.

Estes fatores, podem ser divididos em fatores externos à IC, fatores associados à dinâmica do próprio setor da construção e fatores associados à forma como cada organização/empresa opera, sendo que todos eles se traduzem em impactos negativos ao nível da produtividade.

Relativamente a fatores externos à IC, a Construção é fortemente regulamentada e possui projetos cada vez mais complexos, o que, consequentemente, resulta num aumento de custos e atrasos associados a todo o processo burocrático e à complexidade dos projetos. Por sua vez, o setor está muito dependente do investimento público, que é caracterizada pelos seus ciclos económicos e políticas governamentais, criando incerteza e instabilidade no setor. Por fim, o fator corrupção retira, também, interesse e confiança no mercado. [2]

Quanto à dinâmica da indústria, esta é caracterizada por ser opaca e altamente fragmentada, onde a gestão de aprovisionamentos se centra na passagem/transferência de risco para as empresas contratadas e prioriza como critério de seleção o preço mais baixo, em detrimento da qualidade.

No que diz respeito às empresas em particular, há uma enorme falta de investimento na digitalização, na inovação e na formação dos seus trabalhadores, quer a níveis superiores, quer ao nível da frente de obra.

Em suma, a capacidade do setor em dar resposta à necessidade global de construção de edifícios e infraestruturas, poderá ser comprometida devido à dificuldade demonstrada em acompanhar o crescimento doutros setores, remetendo para a importância de combater a falta de produtividade através da mudança de paradigmas, caminhando no sentido de industrializar a construção, apostando na digitalização e criando sistemas de produção off-site, de elementos standardizados (prefabricação e modularização) em alternativa aos métodos tradicionais.

2.2. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO – CONCEITO

Associada a uma série de problemáticas como a falta de habitação e infraestruturas, crescentes preocupações com o meio ambiente e escassez de mão de obra qualificada, surge a necessidade de alterar a abordagem face à forma como o setor da construção opera.

A Industrialização da Construção consiste numa mudança de abordagem face aos métodos de construção tradicional, altamente dependentes da existência de mão de obra qualificada e com uma série de variáveis incontroláveis associadas, através da aplicação de processos industriais como padronização de elementos, prefabricação, sistemas de produção automatizados e digitalização.

O conceito “Industrialização” pode ser entendido considerando o somatório de racionalizar (processos), mecanizar (tarefas) e automatizar (operações). [4]

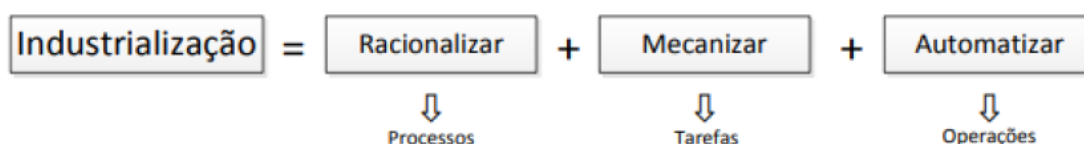


Fig. 3 - Parâmetros da Industrialização [4]

Assim, a Industrialização da Construção implica a transferência de trabalho realizado em obra/estaleiro (in situ) para um ambiente controlado de fábrica (off-site). Esta mudança possibilita a otimização de todo o processo construtivo, aumentando a capacidade produtiva, o controle de qualidade e a sustentabilidade.

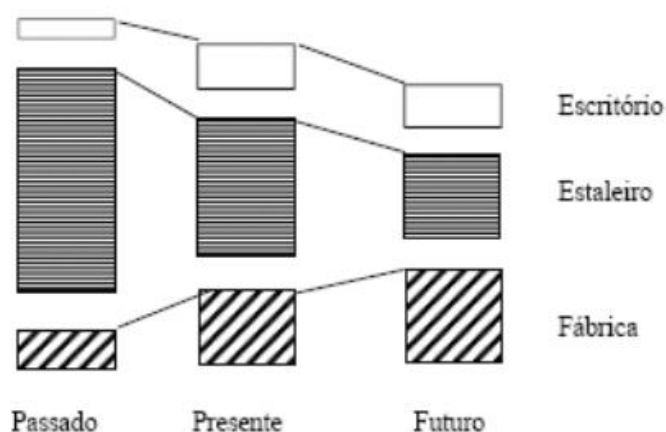


Fig. 4 - Repartição dos tempos e tarefas na construção [5]

2.3. PREFABRICAÇÃO

2.3.1. PREFABRICAÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

A prefabricação, em sentido lato, possui registos históricos que remontam há 400 anos. Em 1624, um grupo de ingleses levou para Cape Ann, localizado nos Estados Unidos da América, uma casa composta por painéis de madeira prefabricados com vista a alojar trabalhadores de uma frota pesqueira. Esta estrutura foi projetada e executada em Inglaterra, transportada para Cape Ann e, posteriormente montada (princípio da prefabricação). [4]

Historicamente, a adoção de construção modular está diretamente associada a períodos de grande escassez de habitação e mão de obra qualificada. Assim, a construção prefabricada teve um boom nas décadas de 1940 e 1950 nos Estados Unidos da América, e na década de 1960 no Reino Unido. Este crescimento coincidiu com o período pós 2ª guerra mundial, onde houve, para além de uma necessidade premente de reconstrução de infraestruturas e habitação social, que tinham sido destruídas durante os conflitos armados, uma grande carência de recursos e mão de obra. [6]

Posteriormente, o recurso à construção prefabricada abrandou, de forma natural, à medida que a oferta e a procura por edificações e infraestruturas se reequilibraram. No entanto, em 1968, ocorreu um trágico colapso do edifício “Ronan Point” em Londres, que suscitou sérias dúvidas e preocupações relativamente à segurança das construções prefabricadas. Para além deste incidente, o facto de inúmeros blocos de habitação social terem sido construídos por recurso a prefabricação, contribui para a existência de opiniões negativas na sociedade, afetando a aceitação das populações face a este método construtivo. [6]



Fig. 5 – Colapso do edifício “Ronan Point”, Londres, 1968 [7]

Atualmente, os Estados Unidos e o Reino Unido demonstram, novamente, interesse na prefabricação. Isto deve-se, uma vez mais, à elevada procura de habitação e escassez de mão de obra. De acordo com o estudo realizado pela McKinsey, estima-se que no Reino Unido, seja necessário construir, anualmente, cerca de 300.000 fogos habitacionais de modo a dar resposta à procura existente. [6]

Contudo, desde a década de 1970 que a construção de habitação tem ficado aquém desses números. Sendo o mercado atual do Reino Unido dominado por investidores privados, que raramente superaram a marca de 200.000 novos fogos por ano, estima-se que haja um défice habitacional na ordem de 1 a 2 milhões de unidades. [6]

Contrariamente ao que se sucedeu com os EUA e o UK, o Japão, por exemplo, tem capitalizado sinergias com outras indústrias de manufaturação. Assim, através da produção de um elevado volume de módulos assegurou economias de escala e reduzidos custos de fabrico. Para além disso, as casas modulares tornaram-se num produto premium no Japão devido a uma maior garantia de qualidade, nomeadamente ao nível da performance sísmica. [6]

Na Suécia, país onde as horas de luz solar são escassas e as condições climáticas são adversas, a construção modular tem, também, assumido um papel crucial e eficaz em alternativa aos métodos convencionais. [6]

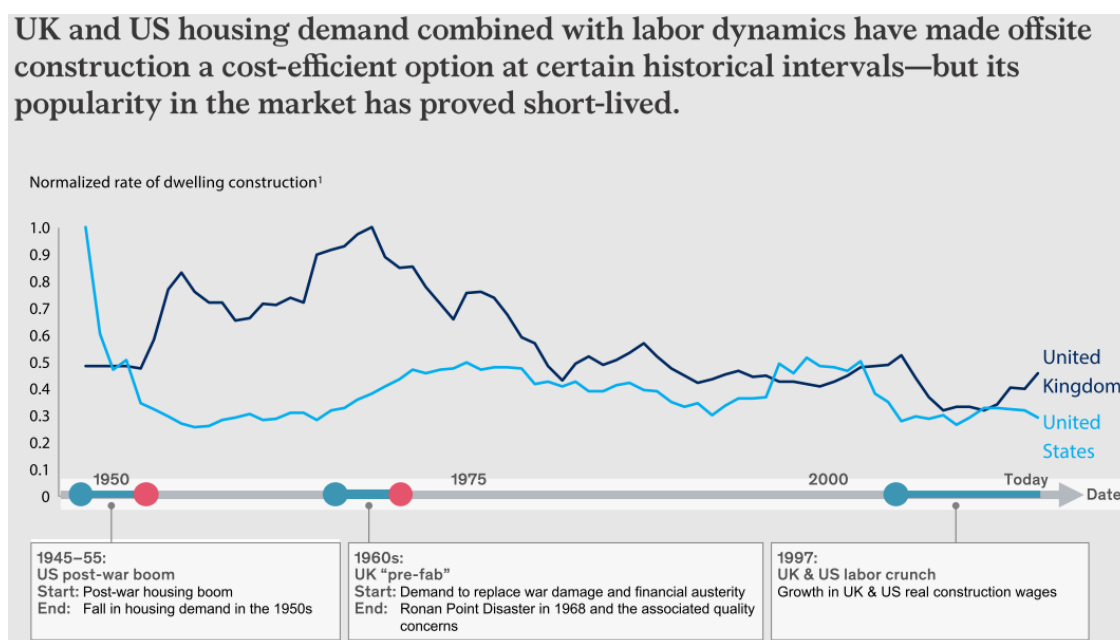


Fig. 6 – Relação entre prefabricação e períodos de escassez de habitação [6]

2.3.2. PREFABRICAÇÃO – CONCEITO

De acordo com o Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, obtém-se as seguintes definições para o termo Prefabricação: 1) “Ato ou efeito de fabricar com antecedência; fabrico prévio” 2) “Sistema de construção de um conjunto (casa, navio, etc.) com elementos standardizados, fabricados antecipadamente e reunidos segundo um plano preestabelecido “. [8]

A prefabricação é um método construtivo alternativo, em que os elementos construtivos ou estruturais são produzidos em fábrica (off-site) e, posteriormente, transportados para a obra onde serão montados.



Fig. 7 - Três principais fases da construção prefabricada

Assim, a grande diferença entre a Construção Prefabricada e a “Construção Convencional” verifica-se ao nível do faseamento construtivo, que no caso da prefabricação consiste essencialmente na: [4]

- Separação do projeto/edifício em sistemas, subsistemas e elementos singulares;
- Produção destes componentes fora do local onde irão estar em serviço;
- Transporte dos elementos do local onde foram fabricados/produzidos para a obra;
- Montagem e ligação dos diversos componentes “in situ” de forma que sejam cumpridos todos os requisitos que conferem ao “edifício” o devido comportamento, quer a nível estrutural, quer ao nível da qualidade, quer ao nível de conforto.

A cada fase desta técnica de construção (fabrico, transporte e montagem) estão associados uma diversidade de fatores que alteram a forma como o processo construtivo deve ser realizado, pelo que é determinante que haja uma visão holística do projeto.

Deste modo, a prefabricação, quando otimizada e empregue em projetos concebidos desde a primeira fase com vista à utilização de construção modular, oferece uma série de benefícios comparativamente à construção convencional, tais como:

- Redução de custos em fase de execução e no ciclo de vida de um edifício;
- Redução de prazos de execução;
- Maior precisão relativamente a previsão de custos e planeamento;
- Maior qualidade do produto final, melhor performance energética e sísmica;
- Redução da mão de obra necessária;
- Maior independência das condições atmosféricas;
- Melhor controlo de qualidade;
- Aumento da sustentabilidade;

Estes benefícios serão abordados com maior detalhe mais à frente no subcapítulo 2.4.

O recurso a soluções prefabricadas justifica-se para tipos de edifícios onde estes aspetos representam um papel determinante, dado que estes ganhos estão diretamente relacionados com o grau de repetibilidade, o tamanho e a complexidade de cada componente.

A repetibilidade dos elementos é necessária para a industrialização da construção, permitindo a implementação de processos de produção em escala que, consequentemente, se traduzem em poupança de tempo e custos. O tamanho dos módulos é, também, um fator essencial para a viabilidade desta tecnologia, uma vez que implica diretamente com a capacidade de transporte e manuseio, a qual representa elevados custos associados. Por sua vez, a complexidade associada a cada elemento é um fator decisivo nos proveitos retirados do uso da prefabricação, já que, a poupança associada à produção off site de determinado componente terá de compensar os custos logísticos associados à mudança de trabalhos feitos em obra para a fábrica.

Desta forma, importa referir que a localização e os acessos à obra são preponderantes no uso deste método construtivo. Isto é, quanto maior for a distância entre a fábrica, onde os elementos são produzidos, e a obra, onde serão montados e aplicados, maior será o custo associado à fase de transporte, podendo comprometer os ganhos retirados do recurso à produção modular. Em obras de difícil acesso, e onde o espaço destinado a estaleiro seja reduzido, não se aconselha, de todo, o recurso a prefabricação, uma vez que as fases transporte e descarga de elementos devem ser rápidas e fluidas, sem entraves que provoquem gastos e perdas de tempo.

2.3.3. DESIGNAÇÕES

Quando se aborda conceitos como construção off site, prefabricação e construção modular, é comum confundir/misturar os seus significados. A verdade é que, são, efetivamente, termos muito idênticos e que, inevitavelmente se interligam, contudo, é importante que se perceba devidamente cada uma destas designações.

A prefabricação consiste no processo de planear o fabrico de componentes isolados ou completos para, após serem transportados para o local onde irão estar ao serviço, poderem ser montados. O local onde são produzidos não tem de ser necessariamente uma fábrica, pode ser, por exemplo, no estaleiro da obra onde vão ser instalados, ou seja, fora do local da sua instalação. Estes ambientes caracterizam-se por serem mais controlados, organizados, e por permitirem uma maior capacidade produtiva. Em suma, a prefabricação corresponde à produção planeada/antecipada de elementos ou módulos fora do local onde irão estar em serviço. [4]

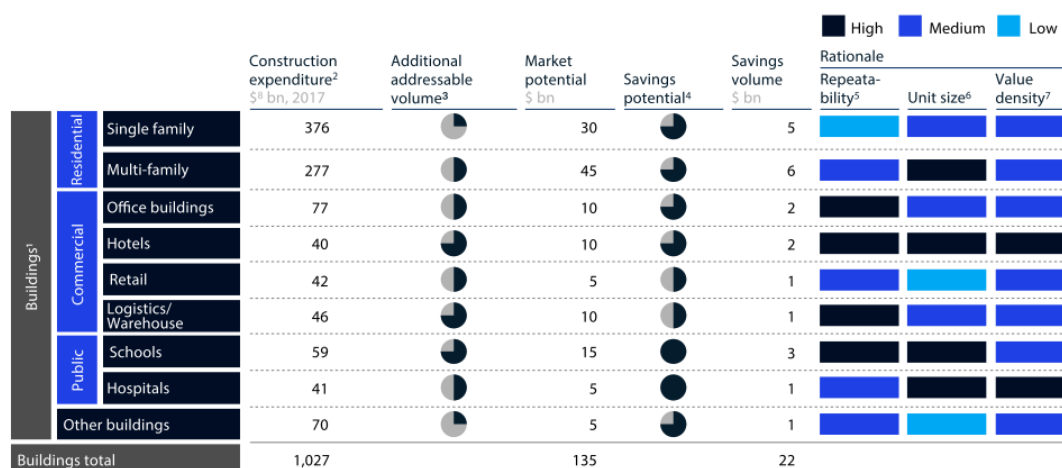
Por sua vez, o conceito construção off site está relacionado com o anterior no que se refere ao planeamento, desenho, produção e montagem num local diferente do qual será instalado, no entanto, enquanto a prefabricação é um termo mais abrangente, inclui por exemplo, o modo como os elementos se irão ligar, o conceito de construção off site está mais relacionado com o local onde serão produzidos. [4]

Por fim, a construção modular diverge da construção prefabricada dado que o termo modular remete para sistemas prefabricados completos. Isto é, em obra, a componente montagem é menor pois os diversos componentes são produzidos e montados fora do local, chegando à obra como um conjunto. [4]

2.3.4. OPORTUNIDADES DE MERCADO

De acordo com um estudo realizado pela Mckinsey & Company [6], onde foram avaliados diferentes segmentos imobiliários, existe uma oportunidade de mercado que corresponde a cerca de 135 biliões de dólares na Europa e nos Estados Unidos da América para a construção modular (Fig. 8)

Modular construction in Europe and the United States could deliver annual savings of up to \$22 billion.



¹European countries included: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Hungary, Ireland, Italy, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland, UK.

²Includes only new building projects. Renovation/maintenance projects are less suitable for modular construction, but offer other productivity gain potential.

³Informed estimates. A full moon corresponds to a potential construction project value for (additional) modular construction of ~30%, a quarter moon thus to ~7.5%, in 2030.

⁴Informed estimates. A full moon corresponds to savings potential of ~20%, a quarter moon thus to ~5%, for each € of addressed construction expenditure.

⁵No unique layout requirements (either from regulation, or design expectations).

⁶Small unit size allows standard transportation.

⁷High complexity of units, high share of wet rooms, etc.

⁸Used 2017 average annual exchange rate to convert to \$ from Euroconstruct data in €.

Source: Euroconstruct; McGraw-Hill

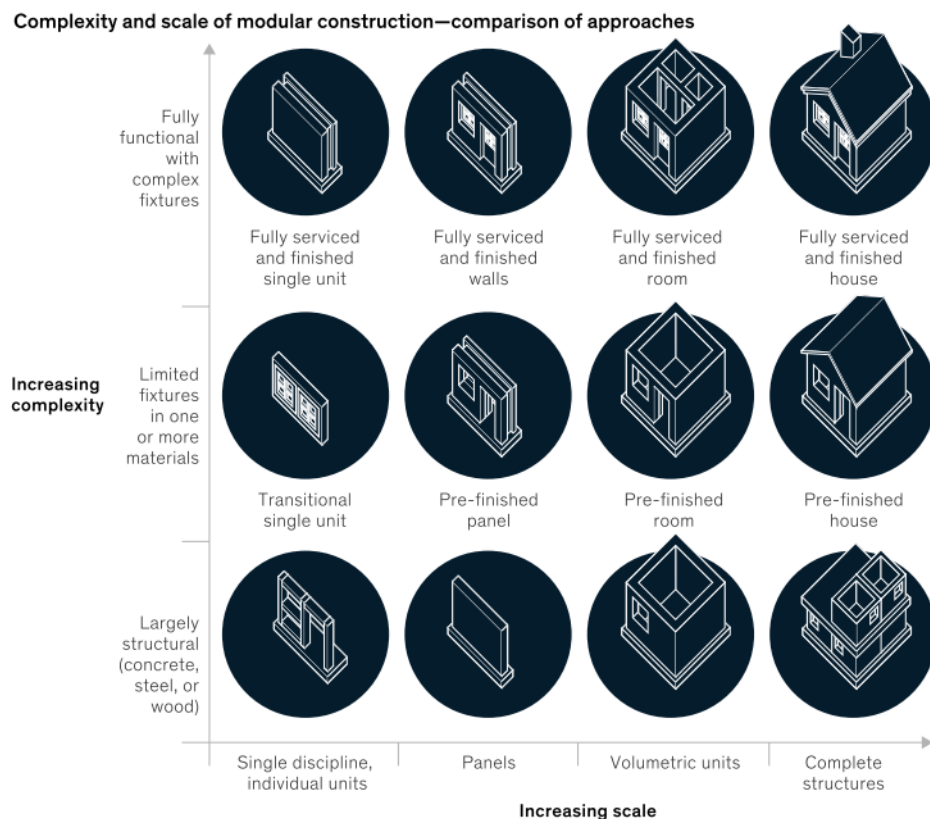
Fig. 8 - Potencial de mercado para diferentes segmentos imobiliários [6]

Tal como demonstrado na figura 8, é evidente o potencial de mercado associado a diferentes tipos de edifícios onde o grau de repetibilidade, o tamanho único e o grau de complexidade/acabamento dos prefabricados são elevados, potenciando a viabilidade da utilização da construção modular.

2.3.5. DIFERENTES ABORDAGENS À PREFABRICAÇÃO

Na figura 9, estão representados diversos sistemas modulares, os quais variam em termos de complexidade e escala. Relativamente à sua complexidade, existem diversas abordagens possíveis, desde a utilização de módulos de uma só especialidade a sistemas totalmente integrados e acabados. No que diz respeito à escala, as soluções podem variar desde componentes individuais até painéis bidimensionais e volumes tridimensionais.

Modular construction covers a broad set of approaches.



Source: Case studies; interviews; McKinsey Capital Projects & Infrastructure

Fig. 9 - Diferentes abordagens na Prefabricação [6]

Desta forma, partindo da análise deste espectro, é possível adaptar diferentes métodos construtivos ao tipo de projeto pretendido, tornando a prefabricação uma alternativa eficaz, cujas vantagens podem ser ajustadas a todos os edifícios.

De um modo geral, a aplicação de módulos 2D requer uma maior montagem em obra, enquanto módulos 3D envolvem uma maior vertente de produção off site, pois os elementos são principalmente integrados em fábrica.

A project's specific requirements will determine the choice of modular system.

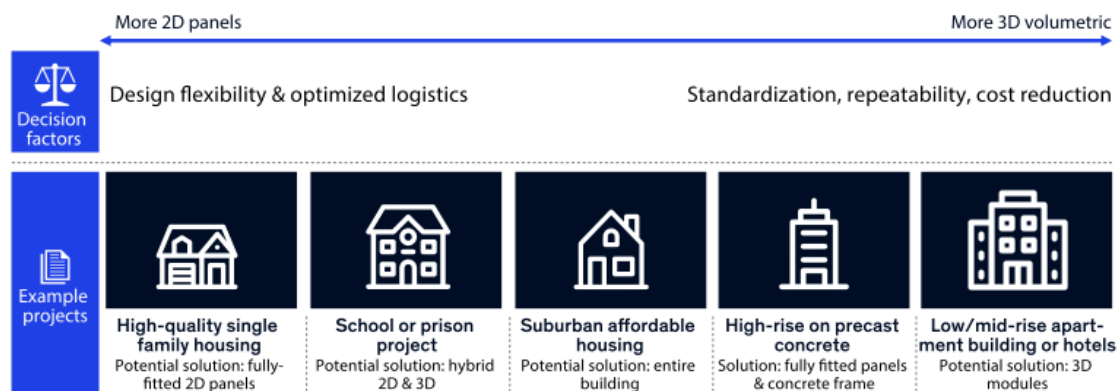


Fig. 10 – Diferentes soluções modulares [6]

Os modelos 3D são unidades totalmente equipadas que tanto podem constituir um quarto como parte de um, sendo que podem ser montados no local como se fossem peças de Lego. Estes podem ser desenvolvidos em betão, madeira ou aço, sendo os dois últimos mais comuns devido a vantagens ao nível de peso e logística. A montagem on site envolve a elevação dos módulos para o local pretendido, bem como a ligação de todas as especialidades (eletricidade, hidráulicas e AVAC). Esta abordagem permite maximizar a produtividade, uma vez que a maior parte do trabalho é realizado em fábrica, aumentando a eficiência e economizando tempo. [6]

No entanto, apresenta desvantagens relativas a custos de transportes e limitação de tamanhos, visto que a largura máxima permitida para transporte rodoviário, sem que haja a necessidade de policiamento, ronda os 3,5 metros, o que implica o aumento do custo de transporte de unidades de maiores dimensões ou limita o tamanho dos módulos. [6]

Deste modo, a utilização destes volumes é a mais adequada para hotéis e habitação acessível, sendo também vantajosa para espaços com acabamentos mais pormenorizados, e zonas húmidas como casas de banho e cozinhas. Esta abordagem é mais eficiente quanto maior for o grau de repetição e maior for a proporção de módulos húmidos para secos. [6]



Fig. 11 – Módulo ou unidade tridimensional [3]



Fig. 12 – Ligação dos módulos à fundação [3]



Fig. 13 – Ligação entre módulos [3]

Os modelos de 2 dimensões, painéis prefabricados, podem ser apenas estruturais ou podem ser completamente acabados, dependendo do grau de complexidade pretendido, conforme já foi abordado anteriormente.

Nos painéis prefabricados, o trabalho associado à montagem no local é muito mais simples do que a construção tradicional, contudo é mais complexo do que a montagem de volumes tridimensionais e requer um maior trabalho a nível de acabamentos e ligações entre painéis.

Por sua vez, é mais fácil transportar painéis do que módulos 3D, sendo que possibilitam, de uma só vez, o transporte de materiais de uma área significativamente maior.

As soluções 2D, para além de oferecerem maior flexibilidade comparativamente a volumes 3D, são também relevantes para projetos residenciais de gama elevada, onde o fator diferenciação é crucial e a proporção de zonas húmidas para zonas secas é menor. [6]



Fig. 14 – Montagem de painel de fachada em madeira [3]

Os modelos híbridos consistem na combinação destas duas abordagens, retirando os proveitos de cada uma delas. Tipicamente, as zonas húmidas, como casas de banho e cozinhas, são fabricadas em módulos 3D enquanto o restante é construído recorrendo a painéis 2D, o que permite otimizar todo o processo construtivo, garantindo qualidade nas áreas húmidas e flexibilidade/diversidade nas restantes zonas. Contudo, importa referir que esta abordagem híbrida requer um maior trabalho na coordenação e entrega dos elementos pretendidos. [6]

2.3.6. PREFABRICAÇÃO EM BETÃO

A prefabricação de estruturas em betão pode aplicar-se a todos os ramos da construção. Isto é, estes elementos podem ser aplicados para uma série de finalidades como por exemplo: viadutos, depósitos, muros de contenção, pontes, edifícios de habitação, edifícios industriais, edifícios comerciais, entre outros.



Fig. 15 - Muros prefabricados [9]



Fig. 16 - Box-Culvert [9]

A prefabricação divide-se em ligeira, leve e pesada, consoante o peso ou a dimensão das peças. Tratando-se o betão de um material que se enquadra num sistema de prefabricação pesado, a sua utilização em elementos prefabricados é fortemente condicionada pelo seu peso e dimensões, tendo em conta a componente de transporte dos elementos. Os custos e condicionalismos ao nível do transporte em elementos de betão são muito mais significativos do que noutros materiais mais leves, como é o caso da madeira por exemplo.

2.4. VANTAGENS/DESVANTAGENS DA PREFABRICAÇÃO

Conforme abordado anteriormente, a Construção enfrenta diversos desafios como a baixa produtividade e a falta de mão de obra qualificada, aliada à elevada necessidade de construção de habitação e infraestruturas, bem como exigências cada vez maiores no que diz respeito à redução de custos, prazos de execução e da pegada ecológica. Assim sendo a prefabricação surge como uma alternativa inovadora e eficiente, capaz de responder às necessidades do setor da Construção.

A produção em fábrica, em ambientes altamente controlados, possibilita a implementação de processos produtivos automatizados, mais eficientes e organizados, que, para além de garantirem um controlo de

qualidade mais rigoroso e eficaz, reduzem, substancialmente, a necessidade de mão de obra qualificada/especializada. [3]

Relativamente aos ganhos associados à redução de custos e prazos de execução, importa referir que estes estão diretamente relacionados com diversos fatores associados a cada projeto, como a complexidade dos componentes, o grau de repetibilidade, a escala e o fator transporte/logística. Desta forma, o planeamento extensivo, antecipado e preciso, assim como a coordenação entre intervenientes, assumem um papel crucial nos resultados obtidos.

Por outro lado, a prefabricação apresenta diversas dificuldades/desafios à sua implementação e desenvolvimento, quer a nível governamental/legislativo quer a nível social.

Assim, será realizada uma análise das vantagens e desvantagens do recurso à construção prefabricada face à construção tradicional.

2.4.1. PLANEAMENTO

O aumento das fases de planeamento e pré-construção, é uma das maiores condicionantes da Prefabricação, sendo por isso, necessário um esforço maior e antecipado da engenharia. O trabalho de projeto e planeamento extensivo deve ser conduzido de forma precisa antes da fase de fabrico dos componentes, visto que a coordenação do projeto, transporte e montagem em estaleiro constituem fatores decisivos no resultado final. [3]

Deste modo, a implementação destas técnicas obriga a uma visão holística do projeto, uma vez que na construção prefabricada todas as fases/atividades se correlacionam e as falhas numa determinada fase, como por exemplo na compatibilização do projeto, que podem comprometer a viabilidade de todo o processo.

2.4.1.1. Prazos

A redução de prazos de execução é um dos mais substanciais benefícios da prefabricação. Do ponto de vista do empreiteiro, isso traduz-se numa diminuição significativa de custos relacionados com o estaleiro de obra. Já do ponto de vista do investidor, esta otimização possibilita que os imóveis possam ser vendidos/alugados mais cedo, permitindo gerar receitas mais rapidamente, aumentando taxas de retorno, fluxos de caixa e reduzindo os riscos de ciclo de mercado.

Um estudo elaborado pela Mckinsey & Company [6], anuncia o potencial de redução de prazos de execução em cerca de 20% a 50% com o recurso a módulos prefabricados tridimensionais.

Assim, conforme demonstrado na figura 17, onde é analisado o tempo de execução de um projeto recorrendo à construção tradicional vs. construção prefabricada, verifica-se que ao iniciar a produção dos elementos prefabricados aquando dos trabalhos de fundações, é possível reduzir tempos de execução em até 50%. Isto porque, a produção em fábrica é mais eficaz, e possibilita que a montagem de determinados elementos ocorra em paralelo com o fabrico de outros.

Example apartment project construction duration, traditional vs offsite 3D volumetric, months

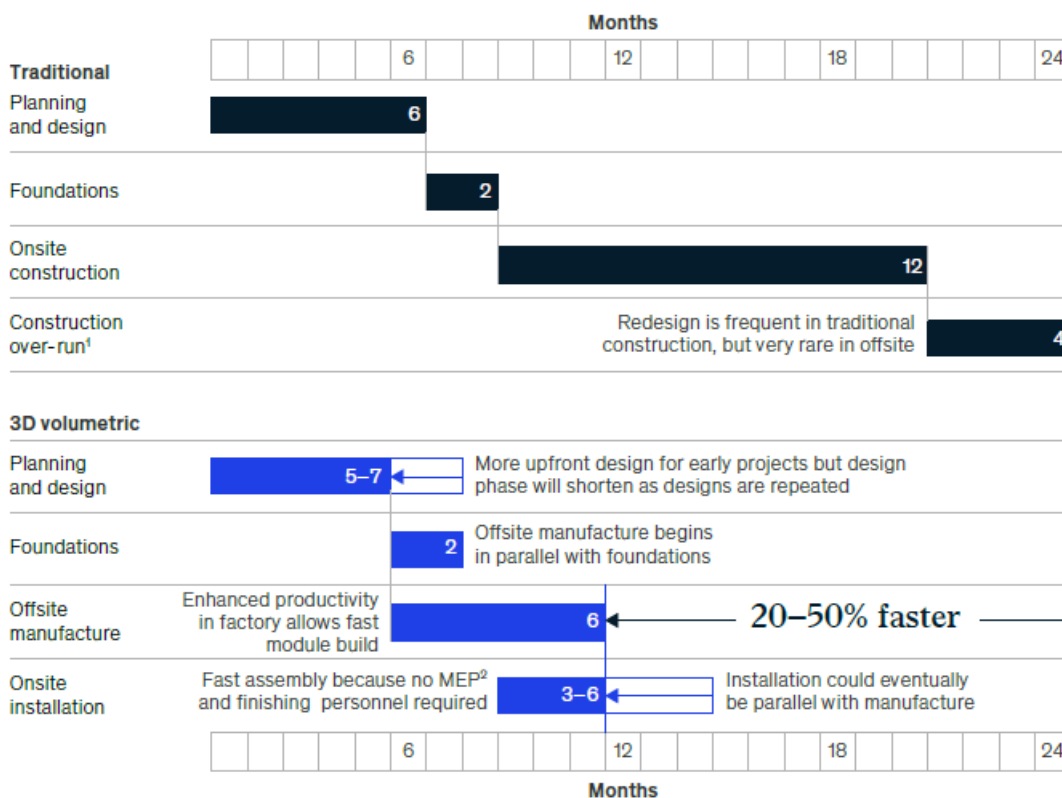


Fig. 17 – Prazos de execução construção prefabricada vs tradicional [5]

Por sua vez, outro estudo realizado no Reino Unido [10], também demonstra que a Construção modular pode reduzir o tempo de trabalho em obra para metade.

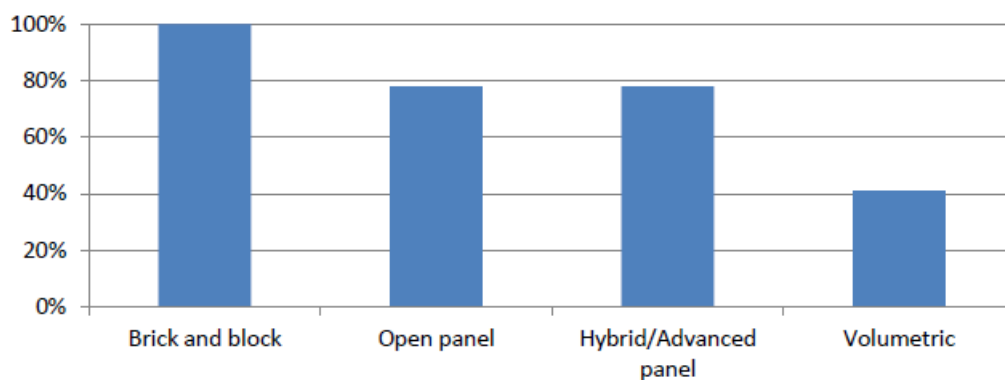


Fig. 18 – Tempo de execução de obra [3] [10]

O mesmo estudo, revela que o recurso a volumes prefabricados 3D pode trazer ainda mais vantagens na redução de tempos quando se trata do tempo necessário para que o edifício fique estanque, isto é

protegido contra a entrada de água. Este fator é muito importante pois garante que a qualidade é garantida (condições meteorológicas não danificam o trabalho já realizado), elimina entraves nas tarefas seguintes e melhora as condições de trabalho dado que os trabalhadores ficam mais protegidos das condições climáticas. [3]

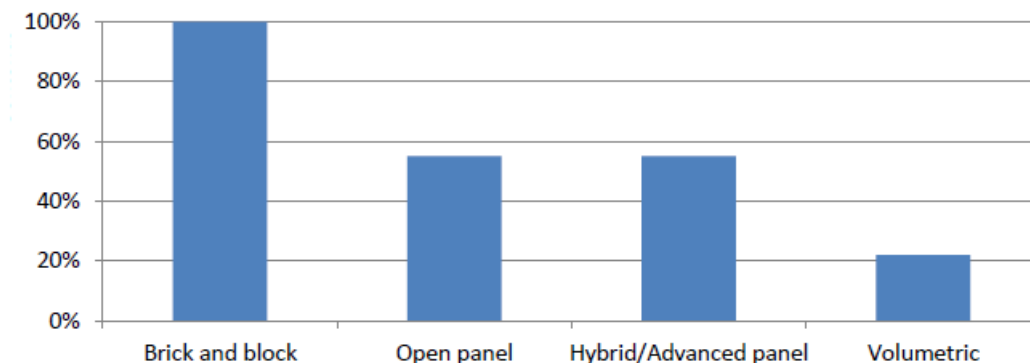


Fig. 19 – Período típico para tornar um edifício estanque [3] [10]

2.4.1.2. Equipamento

Um dos fatores que pode limitar o uso da prefabricação é a capacidade de transportar e manusear grandes componentes em estaleiro de obra. Alguns fabricantes disponibilizam meios de elevação nos seus meios de transporte, porém esses equipamentos precisam de ser ajustados de acordo com as condicionantes do local de montagem. Na configuração do estaleiro, é necessário contemplar distâncias máximas de montagem, que simultaneamente limita o peso dos elementos e o tipo de grua a montar.

2.4.1.3. Transporte

A logística de transporte representa um papel essencial para a viabilidade da construção prefabricada. Desta forma, o modo de transporte, o meio e o trajeto condicionam o peso e a dimensão dos elementos.

2.4.2. CUSTOS

Um dos grandes desafios da Construção Prefabricada prende-se, inevitavelmente, com a redução dos custos de construção. A prefabricação pressupõe a transferência de trabalho realizado em obra para a fábrica, o que, por sua vez, possibilita a redução de custos nas diversas etapas da cadeia de produção através da produção em massa de elementos standardizados. No entanto, é necessário salientar que esta redução de custos não é linear, uma vez que os processos adotados são complexos, em função da interdependência entre tarefas e recursos. [3]

De acordo com um estudo realizado pelo Construction Industry Institute [11], sobre projetos industriais, verificou-se que, em alguns casos, uma redução de custos de cerca de 10% do empreendimento e cerca de 25% relativamente a custos de mão de obra em estaleiro. Por outro lado, estudos efetuados no Reino

Unido, concluíram que o recurso a prefabricação pode resultar num incremento de custos na ordem dos 7 a 10%. [3]

Por sua vez, um estudo elaborado pela McKinsey & Company [6], onde foi estudado o potencial económico da prefabricação face à construção tradicional, concluiu que a prefabricação poderia reduzir custos em cerca de 20%, caso seja devidamente aplicada, mas também poderia incrementá-los em cerca de 10% caso os ganhos ao nível da mão de obra sejam ultrapassados por custos logísticos e de materiais [6].

2.4.2.1. Custos de Construção

A variação de custos de construção ocorre em diferentes fases, tal como ilustrado na Figura 20.

Primeiramente, a prefabricação, devido à transferência de trabalho realizado in situ para off site, reduz substancialmente a necessidade de se recorrer a empresas subcontratadas, o que se traduz numa poupança das margens por estas adicionadas. Por outro lado, é importante que haja um compromisso entre as poupanças ao nível da mão de obra, e os sobrecustos ao nível da logística e dos materiais.

No que diz respeito a custos de projeto, o recurso a prefabricação implica um maior investimento numa fase inicial, que posteriormente será recuperado pois há uma redução significativa da necessidade de efetuar revisões/alterações ao projeto.

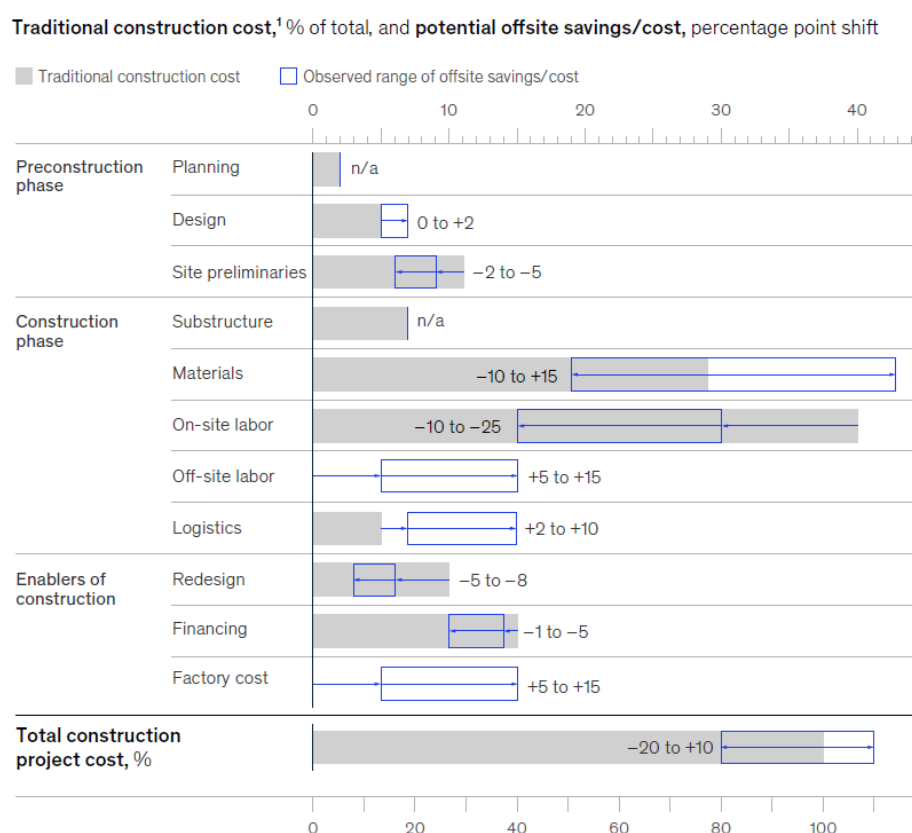


Fig. 20 – Análise do potencial da prefabricação a nível económico [6]

2.4.2.2. Custos de Projeto

Há por vezes, um custo adicional e antecipado na execução de projetos de elementos prefabricados que se deve, não só pela sua complexidade, como também pela falta de experiência/prática na conceção desses projetos. A falta de investimento no desenvolvimento de ferramentas digitais é também um fator crítico.

Contudo, a prefabricação aumenta a responsabilidade dos projetos estarem devidamente completos e compatibilizados antes da produção dos prefabricados, que por sua vez, oferece uma oportunidade económica devido à redução de custos associados a revisões e alterações de projeto em fase de execução da obra.

2.4.2.3. Redução dos prazos de execução

A redução dos prazos de execução, origina, naturalmente, poupanças significativas nomeadamente ao nível do estaleiro.

2.4.2.4. Custos de Materiais

Quanto aos custos de materiais, existe uma grande variedade de fatores que podem condicionar o aumento/redução dos mesmos, comparando o fabrico off site e a construção in situ.

O aumento dos custos pode ser impulsionado pelo facto de que, à medida que as fábricas se tornam mais automatizadas, surge a necessidade de garantir uma maior precisão relativamente a tolerâncias dimensionais dos materiais utilizados. Por exemplo, carpinteiros experientes, que trabalham em construções tradicionais sabem como compensar deformações ligeiras da madeira, o que em fábrica, onde existem processos automatizados, não acontece. Isto leva à necessidade de aumentar os requisitos de qualidade do material, o que, conseqüentemente, origina um aumento dos preços. Além disso, fatores associados ao modo de transporte, elevação e montagem das peças, contribuem também para um aumento dos custos. [6]

Todavia, existe também um potencial elevado de poupança de materiais através da centralização da aquisição de materiais para uma fábrica, ao invés de encomendas menores para diversos projetos. Posto isto, existem três formas de reduzir custos em cerca de 20 por cento: a fábrica, ao efetuar aquisições diretas, pode eliminar intermediários, que por sua vez permite otimizar e reduzir custos logísticos provenientes das entregas dos materiais, e por fim, o facto da fábrica ser um ambiente altamente controlado, contribui para a obtenção de percentagens de desperdícios muito mais reduzidas.[6]

2.4.2.5. Custos de Mão de Obra

De acordo com o relatório da McKinsey & Company, a prefabricação permite a transferência de até 80% da atividade tradicional de mão de obra para ambiente fabril. Alguns dos trabalhos mais especializados (como instalações mecânicas, elétricas e hidráulicas) podem ser realizados em fábrica por trabalhadores menos qualificados, o que se traduz, uma vez mais, numa redução de preços. O

ambiente industrial, caracteriza-se pelos seus processos produtivos padronizados, automatizados e altamente controlados, capazes de maximizar os índices de produtividade comparativamente à abordagem de construção tradicional in situ. [6]

Por sua vez, a montagem dos elementos in situ, requer um menor recurso a mão de obra, quer a nível quantitativo como qualitativo. De um modo geral, este estudo conclui que a transição para construção off site pode gerar poupanças na mão de obra na ordem dos 25 por cento, sendo que os ganhos mais representativos prendem-se com a passagem de atividades mais especializadas (como as especialidades – IE, IH, IM e AVAC) para a fábrica. [6]

2.4.2.6. Logística

Na construção prefabricada, o fator logística/transporte adquire uma dimensão determinante no sucesso ou insucesso de cada obra. A coordenação e entrega de módulos para o local é crítica, pois o custo total de um projeto pode aumentar até 10% em locais de difícil acesso e que possuam regulamentações de transporte restritivas. [6]

Assim, ao considerar o uso desta tecnologia, os agentes decisores devem garantir que os ganhos de produtividade superem esse sobrecusto, avaliando, para além destes fatores, a distância a percorrer entre a fábrica e o local de montagem.

2.4.2.7. Custos de Fábrica

O investimento associado à construção de uma fábrica e às despesas operacionais influenciam diretamente os custos de produção. Desta forma, quanto maior for a procura, maior poderá ser a otimização de custos de produção.

Em suma, um dos principais benefícios da industrialização da Construção é, naturalmente, a redução de custos. No entanto, importa referir que ainda não há um histórico consistente de poupança em projetos que adotem esta abordagem, sendo que, por vezes há até um risco associado ao uso desta tecnologia construtiva.

2.4.3. SUSTENTABILIDADE

Atualmente, as preocupações relacionadas com a preservação do meio ambiente representam um desafio a nível global, pelo que existe um conjunto de medidas aplicadas para regular o impacte ambiental e o desempenho energéticos dos edifícios, como a Diretiva Europeia dos Edifícios Sustentáveis.

O conceito sustentabilidade pode ser resumido pela capacidade de atender às necessidades do presente sem comprometer as necessidades de gerações futuras, através de uma gestão responsável de recursos naturais e humanos. Quando se trata de sustentabilidade existem três níveis essenciais: ambiental, económico e social, que se traduzem nos seguintes pontos: água, materiais, energia, desperdício, poluição, saúde e bem-estar, gestão e ecologia. [3]

A construção e as suas atividades inerentes continuam a ter um grande peso nos impactes negativos sobre o meio ambiente, nomeadamente no que diz respeito a consumos energéticos, utilização irracional

de recursos naturais, poluição, desperdício ou ruído. Vários estudos apontam a Prefabricação como uma solução competitiva e adequada neste campo. A nível europeu, a Prefabricação tem sido encarada como tendo um papel fundamental para tornar as atividades da construção mais sustentáveis. [3]

No âmbito do programa PREPARE (Preventive Environmental Protection Approaches) um grupo de trabalho considerou os seguintes potenciais benefícios da Prefabricação [3]:

- Redução de 50% na quantidade de água utilizada para construir uma casa típica;
- Redução de 50 % da utilização de materiais oriundos de uma pedreira;
- Redução de pelo menos 50% no consumo de energia.

Os benefícios ambientais vão depender do sistema específico escolhido e das especificidades de cada obra, pelo que importa salientar que, dependendo desses fatores, podem ser utilizados processos prefabricados cujo desempenho ambiental pode ser pior do que utilizando processos convencionais.

2.4.4. SEGURANÇA

Conforme abordado ao longo desta dissertação, a indústria da construção tem revelado dificuldades em acompanhar o desenvolvimento de outras indústrias do mercado a diversos níveis. Problemáticas associadas à produtividade, sustentabilidade e qualidade são as mais evidenciadas, no entanto a indústria precisa de evoluir como um todo, sendo que questões relacionadas com a segurança dos trabalhadores e as suas condições de trabalho urgem ser revistas e melhoradas.

Em obra, a exposição dos trabalhadores a riscos é muito maior, dado que estes podem ser originados por uma série de fatores como, por exemplo [3]:

- Necessidade de realização de trabalhos em altura;
- Exposição a condições meteorológicas adversas;
- Falta de organização e arrumação em obra;
- Desenvolvimento de atividades distintas em simultâneo.

Assim, a construção prefabricada pode desempenhar um papel importante a esse respeito através da transferência de trabalho realizado em obra para a fábrica, minimizando a execução de trabalhos in situ, onde a propensão a incidentes é muito maior pelos fatores acima enumerados. Por sua vez, o ambiente altamente controlado, organizado e sistematizado que caracteriza uma fábrica confere melhores condições de trabalho, quer a nível de segurança como de qualidade. Para além disso, o ambiente fabril proporciona uma maior segurança dos elementos, a nível estrutural, devido ao rigor e às verificações de conformidade exigidas ao longo das diferentes fases de produção de um prefabricado.

Por fim, relativamente ao fator segurança, importa salientar que a prefabricação implica, frequentemente, a movimentação de peças de grande dimensão e peso, pelo que a organização do estaleiro e a correta coordenação de atividades são fundamentais para garantir a segurança de todos os intervenientes.

2.4.5. QUALIDADE

O recurso a prefabricação pode oferecer vantagens significativas em termos de qualidade do produto final, uma vez que os procedimentos de controle em ambiente fabril tendem a ser mais rigorosos do que em ambiente de obra, resultando numa redução de falhas associadas a instalações incorretas ou a danos decorrentes das operações de construção. Em obra, a ausência, cada vez maior, de mão de obra qualificada, origina também problemas cada vez mais graves provenientes dessa falta de qualificação para a execução de trabalhos mais especializados. Estas falhas traduzem-se, muitas vezes, em grandes gastos monetários, quer ao nível da empresa construtora, quer ao nível do utilizador (cliente final).

Produzir fora do local de serviço (off site) permite alcançar um produto final de qualidade superior devido a um maior grau de precisão, supervisão e padronização. Contudo é também determinante assegurar a montagem correta dos componentes em obra, de acordo com as normas e padrões aplicáveis [16].

As três questões mais relevantes que podem ser colocadas sobre qualquer edifício construído com recurso a processos prefabricados, quando comparada com outro construído por recurso a metodologias mais tradicionais, são [3]:

- Será que vai durar tanto tempo? – Durabilidade
- Será que vai ter o mesmo custo de manutenção? – Custo do ciclo de vida (Life Cycle Cost)
- Será que vai funcionar tão bem? – Desempenho

2.4.5.1. Durabilidade

Relativamente à durabilidade, o resultado dos dois métodos construtivos é semelhante, visto que os principais componentes, que são afetados pelos agentes de degradação, são os mesmos para cada tipo de construção. Em particular, todas as componentes estruturais têm um período de vida útil estimado de 60 anos, o que corresponde ao período de vida útil estimado para os vários componentes prefabricados. Desta forma, a Construção Prefabricada não pode por si só assegurar uma maior durabilidade, no entanto o facto da sua produção ser realizada em ambiente de fábrica permite a redução de riscos de não conformidade relacionados com falhas de execução e consequentes reparações. [3]

2.4.5.2. Desempenho e Custo de Ciclo de Vida

Pelas mesmas razões apontadas acima, não tem necessariamente de haver questões diferentes de manutenção subjacentes à estrutura das construções prefabricadas. Os materiais são semelhantes e com especificações idênticas, o que significa que apresentam a mesma durabilidade e o mesmo custo de ciclo de vida. Os procedimentos de manutenção para diversos elementos, são os mesmos, independentemente da metodologia construtiva utilizada, pois os requisitos a satisfazer pelos componentes são os mesmos. [3]

No setor comercial e industrial, a importância do tempo de vida útil é compreendida de forma diferente. Alguns estabelecimentos comerciais são projetados para que o seu período de vida útil seja relativamente limitado, dentro do qual o desempenho do edifício consegue ser mantido. O conceito de Custo de Ciclo de Vida pode ser aplicado à Prefabricação, permitindo ao cliente, aquando do processo de escolha/decisão e estudo prévio, perceber quais as implicações financeiras de um dado edifício ao longo do seu período de vida útil.

Atualmente, existe um conjunto de normas cujo objetivo é garantir que os edifícios têm um desempenho satisfatório em serviço, independentemente da solução construtiva adotada. Contudo, importa referir que o desempenho de um edifício prefabricado difere do desempenho do edifício construído pelos com recurso a métodos convencionais. O faseamento construtivo é completamente diferente, e deve ser considerado desde a fase inicial do projeto. Os elementos prefabricados devem estar preparados não só para a fase de serviço, como sucede normalmente na Construção Tradicional, mas também para as fases de fabrico, transporte e montagem. [3]

Outro fator bastante relevante na Prefabricação, tem a ver com as ligações entre os elementos. Para se garantir o comportamento estrutural adequado de um edifício é necessário que a transmissão das cargas entre elementos seja feita corretamente e de acordo com o que está definido em projeto. Assim, as ligações entre os elementos assumem um papel de elevada importância nas construções prefabricadas, pelo que devem ser devidamente dimensionadas e especificadas em projeto e produzidas e montadas em conformidade. [3]

3

O PROJETO E A OBRA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

The Yard é um novo empreendimento de habitação multifamiliar, do Grupo GFH e Ferreira Build Power, que se localiza na Rua de Chãs, nos Jardins da Arrábida, e conta com uma área bruta de construção de 20.547,09 m², distribuída por três blocos: 10E, 12A e 12B.



Fig. 21 – Localização da obra “The Yard”

O Projeto de Arquitetura foi desenvolvido pelo Gabinete OODA, o design de interiores contou com a curadoria do Arquiteto Rui Maciel e o Projeto de Estruturas foi elaborado pelo Gabinete A400.

The Yard é um complexo habitacional de luxo que privilegia um ambiente sustentável, familiar, exclusivo e dinâmico, e que, ao mesmo tempo, tem como particularidade o facto de toda a superestrutura ser realizada num sistema porticado de prefabricado de betão armado aparente. Os elementos prefabricados - pilares, vigas, lajes, varandas e escadas - desenvolvem-se a partir de fundações indiretas, paredes de contenção periférica e núcleos de escadas/elevadores de betão executado in situ.

Desta forma, o processo construtivo do The Yard é inovador, tecnológico e visa responder aos desafios atuais do setor da construção como a produtividade e sustentabilidade.

A nível de Arquitetura, os alçados exteriores são compostos por elementos prefabricados de betão armado (pilares, vigas e varandas) com acabamento à vista, molduras em bambu e revestimento térmico em sistema Etics. Relativamente a acabamentos interiores, estes são essencialmente à base de paredes divisórias e tetos em gesso cartonado, pavimentos em madeira e zonas húmidas, como cozinhas e casas de banho, em cerâmico.



Fig. 22 – Arquitetura exterior “The Yard” [12]



Fig. 23 – Alçado exterior “The Yard” [12]



Fig. 24 – The Yard (interiorismo – Sala de estar) [12]



Fig. 25 – “The Yard” (interiorismo - Quarto) [12]



Fig. 26 – “The Yard” (interiorismo – Casa de banho) [12]

O empreendimento The Yard conta com um total de 92 apartamentos, distribuídos por dois blocos de 14 pisos (10E e 12A) e um bloco de 13 (12B), sendo que a tipologia das habitações varia desde T2 a T4.

Em seguida, são apresentados, por bloco, os quadros de áreas das frações:

Quadro 1 - Quadro de áreas - Bloco 10E

BLOCO	FRAÇÃO	PISO	TIPOLOGIA	Nº LUGARES ESTACION.	ÁREA BRUTA PRIVATIVA	ÁREA VARANDA
10E	A	-1	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	B	-1	T3	1	128,01 m2	16,41 m2
	C	-1	T3	1	135,14 m2	16,41 m2
	D	1	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	E	1	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	F	1	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	G	2	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	H	2	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	I	2	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	J	3	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	K	3	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	L	3	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	M	4	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	N	4	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	O	4	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	P	5	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	Q	5	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	R	5	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	S	6	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	T	6	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	U	6	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	V	7	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	W	7	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	X	7	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	Y	8	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	Z	8	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	AA	8	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	AB	9	T2	1	86,29 m2	22,52 m2
	AC	9	T3	2	128,01 m2	28,00 m2
	AD	9	T4	2	148,48 m2	16,41 m2
	AE	10 - 11	T3	2	183,89 m2	23,18 m2
	AF	10 - 11	T3	3	198,54 m2	45,31 m2
	AG	10 - 11	T3	3	196,75 m2	45,36 m2
	AH	10 - 11	T4	2	198,41 m2	9,86 m2

Quadro 2 - Quadro de áreas – Bloco 12A

BLOCO	FRAÇÃO	PISO	TIPOLOGIA	Nº LUGARES ESTACION.	ÁREA BRUTA PRIVATIVA	ÁREA VARANDA
12A	AI	2	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	AJ	2	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	AK	2	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	AL	3	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	AM	3	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	AN	3	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	AO	4	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	AP	4	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	AQ	4	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	AR	5	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	AS	5	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	AT	5	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	AU	6	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	AV	6	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	AW	6	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	AX	7	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	AY	7	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	AZ	7	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	BA	8	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	BB	8	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	BC	8	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	BD	9	T2	1	83,35 m2	20,19 m2
	BE	9	T3	2	123,63 m2	26,78 m2
	BF	9	T4	2	153,76 m2	15,19 m2
	BG	10 - 11	T3	2	173,12 m2	23,18 m2
	BH	10 - 11	T3	3	181,94 m2	41,99 m2
	BI	10 - 11	T3	3	187,89 m2	42,04 m2
	BJ	10 - 11	T4	2	210,22 m2	12,15 m2

Quadro 3 - Quadro de áreas – Bloco 12B

BLOCO	FRAÇÃO	PISO	TIPOLOGIA	Nº LUGARES ESTACION.	ÁREA BRUTA PRIVATIVA	ÁREA VARANDA
12B	BK	1	T2	1	87,16 m2	0,00 m2
	BL	1	T2	1	97,67 m2	0,00 m2
	BM	1	T2	1	97,29 m2	0,00 m2
	BN	2	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	BO	2	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	BP	2	T3	2	115,77 m2	13,23 m2
	BQ	3	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	BR	3	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	BS	3	T3	2	115,77 m2	13,23 m2
	BT	4	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	BU	4	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	BV	4	T3	2	115,77 m2	13,23 m2
	BW	5	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	BX	5	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	BY	5	T3	2	115,77 m2	13,23 m2
	BZ	6	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	CA	6	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	CB	6	T3	1	115,77 m2	13,23 m2
	CC	7	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	CD	7	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	CE	7	T3	1	115,77 m2	13,23 m2
	CF	8	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	CG	8	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	CH	8	T3	2	115,77 m2	13,23 m2
	CI	9	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	CJ	9	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	CK	9	T3	2	115,77 m2	13,23 m2
	CL	10	T2	1	87,19 m2	21,86 m2
	CM	10	T3	2	116,40 m2	13,20 m2
	CN	10	T3	2	115,77 m2	13,23 m2

3.2 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE PREFABRICAÇÃO

3.2.1. PROJETO DE ESTRUTURAS

O Projeto de Estruturas e Fundações do The Yard, referente à edificação dos blocos de edifícios 10E, 12A e 12B inseridos no loteamento dos Jardins da Arrábida na Rua de Chãs/Alameda dos Jardins da Arrábida foi realizado pelo gabinete de projetos A400.

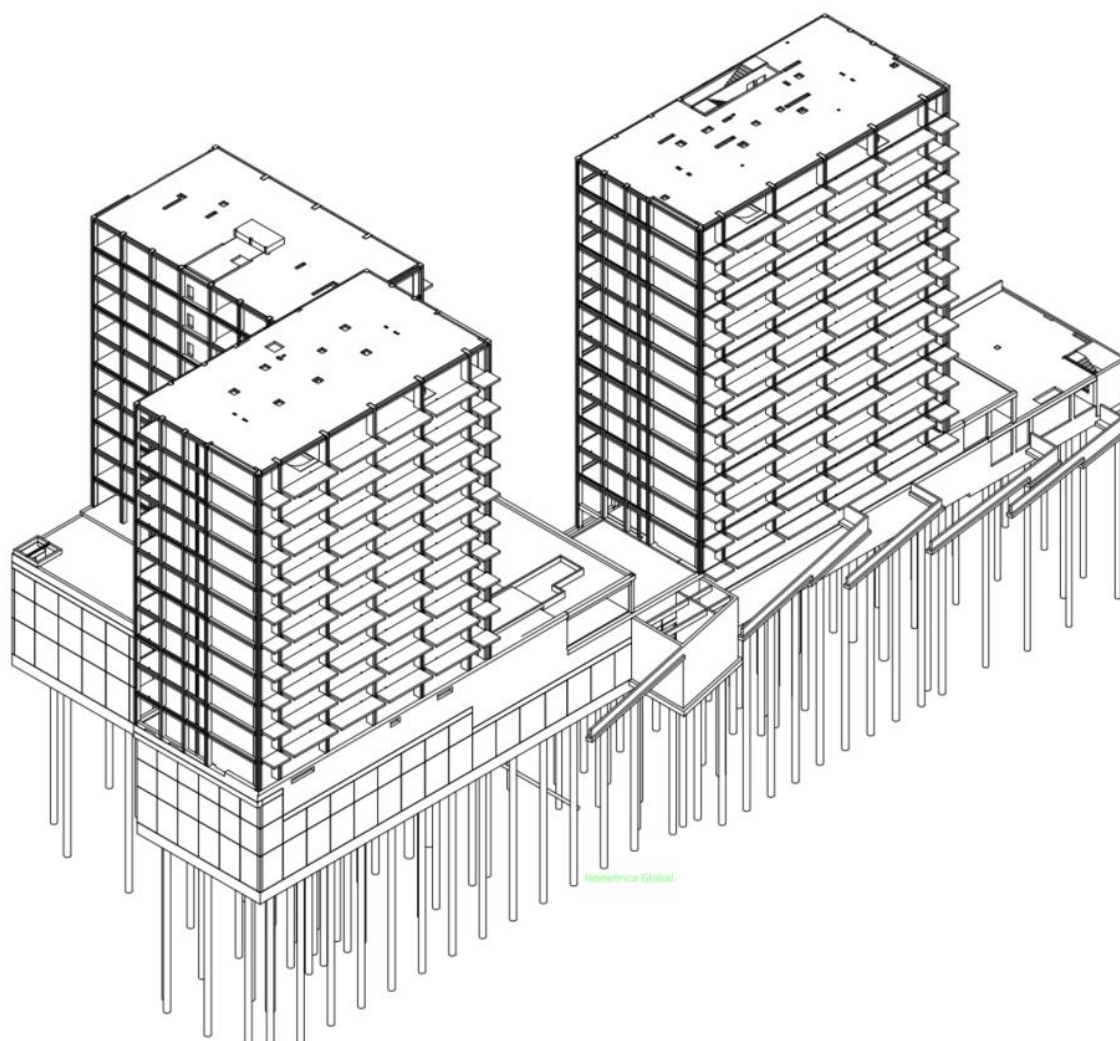


Fig. 27 – Projeto de Estruturas

A conceção estrutural adotada neste projeto foi efetuada tendo em consideração as condicionantes arquitetónicas presentes nas plantas gerais de arquitetura, a intenção do Dono de Obra em executar a superestrutura com elementos prefabricados e os requisitos que permitem conferir às estruturas o comportamento adequado. [13]

Relativamente aos pisos enterrados, a obra possui 3 pisos completa ou parcialmente enterrados destinados a estacionamento para os moradores e áreas técnicas dos 3 blocos. Quanto aos pisos

superiores, destinados a habitação, os blocos 12A e 12B estão estruturalmente ligados, enquanto a torre 10E é estruturalmente independente dos blocos anteriores. [13]

Cada bloco possui o seu próprio núcleo de escadas e elevador que, juntamente com as paredes resistentes betonadas in situ, constituem o sistema de contraventamento da estrutura perante as ações horizontais, ou seja, sismo e vento. [13]

Dada a intenção de executar a estrutura maioritariamente com elementos prefabricados, foi concebida uma solução estrutural para os pisos de habitação, composta por pilares, vigas e lajes alveolares em betão prefabricado, com núcleos e paredes executadas em betão in situ. [13]

Ao nível do piso 1, na zona dos blocos 12A e 12B, foi executada uma laje maciça em betão in situ com bandas de reforço de forma a acomodar as elevadas cargas dos pilares indiretos dos pisos superiores.

Para a materialização das caves foi necessária a execução de uma cortina do tipo Munique definitiva, ancorada durante a fase provisória, uma vez que, dada a proximidade ao limite do lote, não era exequível a escavação em talude para a implantação dos edifícios. Os restantes muros das caves são muros de contenção tradicionais em betão armado in situ, enquanto os pisos superiores são compostos por pilares, vigas e lajes alveolares em betão prefabricado. [13]

Uma vez que diversos elementos estruturais de betão são visíveis (betão pronto), integrando o acabamento das fachadas, foi tido em especial cuidado o acabamento do betão, de forma que o aspeto final do mesmo fosse de elevada qualidade e uniforme entre todos os elementos. Foi, também, alvo de especial atenção a execução de juntas de ligação de modo a evitar o escorrimento indesejado de material de selagem e regularização, assim como respeitar estereotomia das juntas das fachadas representadas nos respetivos pormenores. [13]

Relativamente às fundações, com base no relatório geotécnico verificou-se que as camadas superficiais do terreno não apresentavam aptidão para a execução de fundações diretas, pelo que foi necessário fundar o edifício com recurso a estacas a trado contínuo em betão armado, devidamente encastradas no estrato ZG1. [13]

Em complemento às estacas a trado contínuo em betão armado, tirou-se proveito das microestacas executadas no âmbito da cortina de Berlim para que funcionassem como elementos de fundação definitivos. [13]

A estrutura está sujeita a um impulso de terras descompensado, visto que, do lado Norte, os 3 pisos inferiores se encontram enterrados, enquanto do lado Sul apenas um piso se encontra parcialmente enterrado, pelo que se previu a execução de um conjunto de microestacas inclinadas para resistirem diretamente a estas cargas, evitando assim, o considerável agravamento dos esforços nos restantes elementos de fundação. [13]

3.2.2. PRODUÇÃO DE PREFABRICADOS

A execução dos elementos prefabricados do The Yard – pilares, vigas, escadas e lajes – foi adjudicada à empresa Mota-Engil Prefabricados.

Neste subcapítulo pretende-se demonstrar as diferentes fases da execução de um elemento prefabricado, desde a receção das matérias-primas até à fase de transporte, e o sistema de controlo de produção existente, ao nível da qualidade, ambiente e segurança no fabrico dos mesmos.

3.2.2.1. Receção e controlo das matérias-primas

Todas as matérias-primas utilizadas para a execução destes produtos possuem marcação CE, com exceção do aço que, apesar de não ter marcação CE, é também um produto certificado. [14]

A receção das matérias-primas é efetuada, de um modo geral, pela confirmação da guia de remessa, verificação da documentação de qualidade que acompanha a carga (quando aplicável) e do aspeto geral da embalagem/produto. As unidades fabris não permitem que seja feita a descarga do produto caso algum dos itens anteriores não esteja em conformidade com os requisitos mínimos, sendo a carga recusada. [14]

3.2.2.2. Produção e transporte

Neste ponto são abordados os vários passos para a execução de um produto prefabricado, incluindo o seu controlo de qualidade. Os passos a seguir descritos estão sujeitos a um Plano de Inspeção e Ensaio que define as verificações a efetuar e as respetivas periodicidades, bem como, os responsáveis pela sua execução. [14]

- Execução da armadura

A armadura é efetuada em conformidade com o que está definido em projeto, sendo os seus componentes produzidos e montados em fábrica. O aço é moldado e cortado de acordo com as dimensões especificadas. É moldado de uma forma automática para os diâmetros inferiores a 16 mm, e é moldado em máquinas manuais para os diâmetros superiores. No caso de o aço ser moldado na máquina automática, de forma a garantir as dimensões definidas em projeto, a fábrica definiu uma instrução que descreve o critério de amostragem e respetivo controlo, bem como inclusão deste ponto no Plano de Inspeção e Ensaio referente à produção. Por sua vez, os varões de aço moldados de forma manual, dado o seu número reduzido, são controlados individualmente. [14]

Após a execução dos varões de aço moldados, é feita a montagem da armadura. Como forma de manter a estrutura da armadura, os vários componentes são unidos, principalmente, por meio de soldadura, sendo apenas algumas partes da mesma amarrados com fio de aço. Esta soldadura não é estrutural, sendo apenas aplicada em pontos estratégicos da armadura. A soldadura é permitida em conformidade com a especificação do LNEC E-460. [14]

- Verificação geométrica e dimensional da armadura

Após montada, a armadura é verificada comparando as suas dimensões e posicionamento do aço com o definido no projeto. Esta verificação é registada e feita em conformidade com o definido no Plano de Inspeção e Ensaio referente à Produção. [14]

- Preparação do molde e colocação de espaçadores

Antes da colocação da armadura no molde, este deve ser limpo, preparado e verificado de modo a garantir que as dimensões do produto prefabricado cumprem com o definido em projeto. Esta verificação é feita em conformidade com o estipulado no Plano de Inspeção e Ensaio referente à Produção e registada no “Registo de Verificação”. [14]

Na armadura, após a sua verificação e antes de ser colocada no molde, são colocados os espaçadores de forma a garantir o recobrimento mínimo exigido. Mediante o tipo de produto são utilizados diferentes espaçadores. [14]

Os tipos de espaçadores utilizados são os seguintes [14]:

- Régua (1);
- Circular (2);
- Em “A” (3)

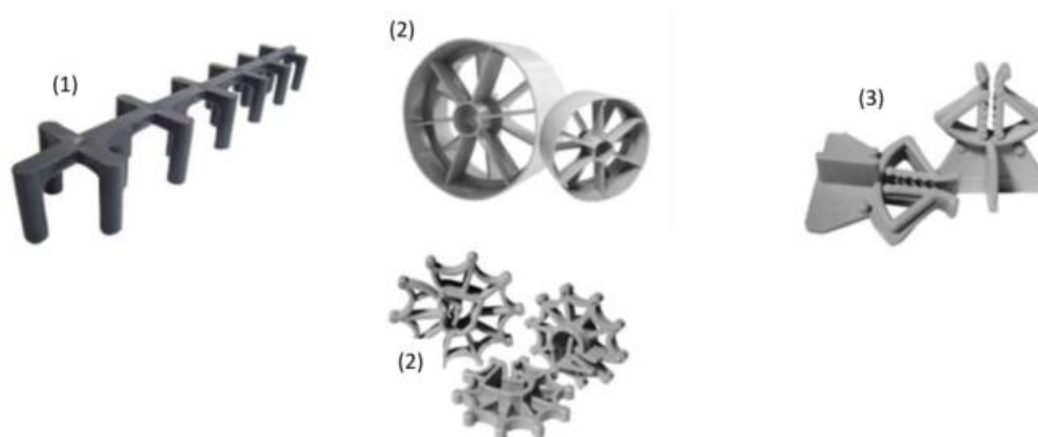


Fig. 28 - Tipos de espaçadores [14]

Estando o molde preparado e a armadura com os espaçadores, esta é colocada dentro do molde e os elementos de elevação são posicionados. O sistema de elevação utilizado, usualmente, para a movimentação das peças é o seguinte [14]:

- Prego para fixação da pega:

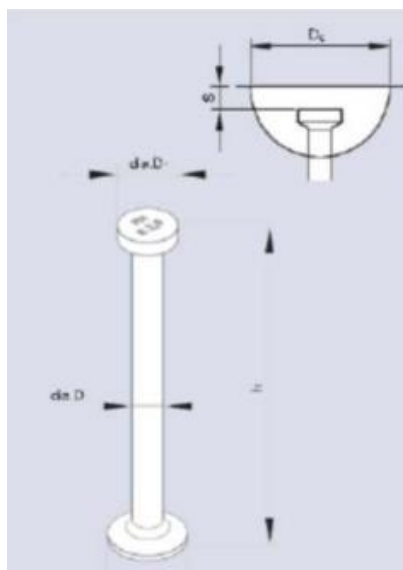


Fig. 29 - Prego para fixação da pega (esquema) [14]



Fig. 30 - Prego de fixação (pilar)

A movimentação da peça é feita com recurso a uma pega especial, conforme figuras abaixo:

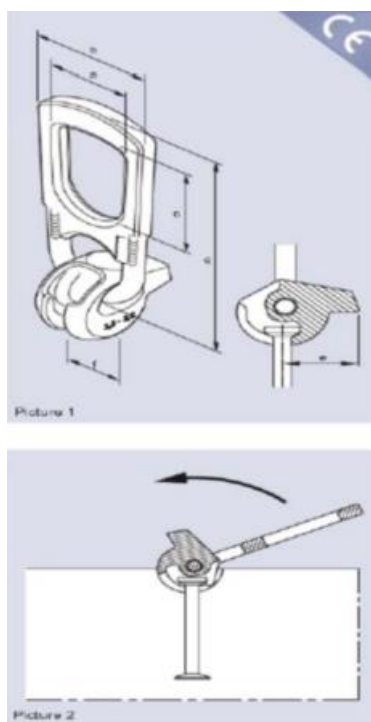


Fig. 31 - Pega para movimentação da peça (esquema) [14]



Fig. 32 - Pega para movimentação da peça numa viga

- Aplicação de Pré-esforço

A aplicação do pré-esforço pode ser efetuada, dependendo do produto, antes ou depois da colocação da armadura passiva. [14]

De uma maneira geral, os cabos de pré-esforço são “lançados” na pista com recurso a um equipamento próprio e, após correto posicionamento e verificação dos cabos, é aplicada a tensão nos mesmos com o recurso a macacos hidráulicos devidamente calibrados. Esta tensão é dada individualmente, cabo a cabo, sendo verificados os valores da tensão, via manómetro da central hidráulica, e os alongamentos definidos em projeto. [14]

A operação de tensionamento é registada em impresso próprio em função da pista onde é produzido o elemento prefabricado. Para efeitos de controlo de qualidade e rastreabilidade, o n.º de vazamento dos cordões de aço de pré-esforço são registados no impresso mencionado acima. Na execução do relatório de produção são incluídos no processo uma cópia da etiqueta que identifica o cordão de pré-esforço, bem como a inclusão dos respetivos certificados de conformidade. [14]

- Fecho do molde e betonagem

Estando todos os elementos incorporados é realizado o fecho do molde e executada a betonagem. O betão produzido é controlado em conformidade com a EN 206-1 em conjunto com o Plano de Inspeção e Ensaio referente ao Betão. [14]

Após conclusão da betonagem é colocada uma etiqueta que identifica a peça betonada composta pelos seguintes campos (conforme figura 33):

- Cliente
- N.º Encomenda
- N.º Peça - Este número é composto por 3 letras que designam o tipo de produto e local de produção (N – Nelas; R – Rio Maior), por uma sequência numérica de 5 dígitos e que termina com dois dígitos referentes ao ano. Ex.: VIN0000114 – Corresponde a uma viga I, executada na fábrica de Nelas, com o número 1 do ano de 2014.
- Tipo
- Peso
- Data Fabrico

De seguida, de forma a garantir que o betão não apresente fissuras de retração, é aplicado um produto (antissol) que previne esse aparecimento.



Fig. 33 - Etiqueta (identificação da peça)

- Desmoldagem da peça

Após a realização de ensaios de compressão aos provetes cúbicos e no caso de estes atingirem os valores considerados ideais para descofrar, (este valor depende do produto e das especificações do projeto) é retirada a peça do molde ou aplicado ao betão o esforço existente nos cordões de pré-esforço. [14]

Após a peça ser retirada do molde, a mesma é encaminhada para a zona de armazenagem para possíveis correções no acabamento e verificação e controlo de qualidade. [14]

- Verificação e controlo de qualidade

A verificação e controlo de qualidade são efetuados em conformidade com o Plano de Inspeção e Ensaio referente à Produção. De uma forma geral, e dependendo se o produto possui marcação CE são realizadas as seguintes verificações [14]:

- Ao acabamento (fissuras, chochos, manchas, entre outros);
- Dimensionais;
- Recobrimento;

Estas verificações são efetuadas por amostragem, à luz da norma NP EN 13369 – Regras Gerais para Produtos Prefabricados e, caso exista, a norma harmonizada respetiva. As evidências desta verificação encontram-se registadas no impresso “Registo de Verificação”. [14]

- Armazenamento

O produto é armazenado em conformidade com as suas características, sendo que a área de negócio possui uma instrução base onde estão inscritas as regras de armazenamento para os produtos de maior volume de produção. (Pilares, vigas e vigas-laje; Vigas pré-esforçadas; Box Culvert) [14]

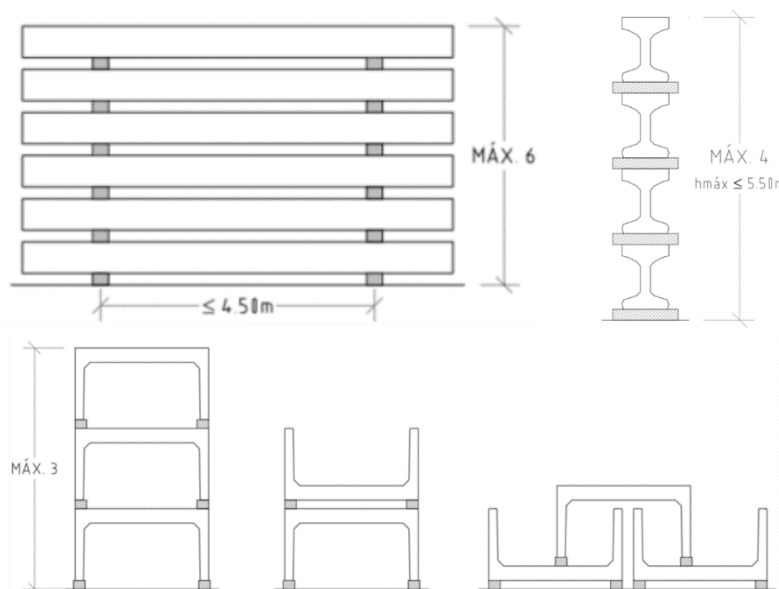


Fig. 34 – Armazenamento elementos prefabricados de betão [14]

- Transporte

Mediante a programação da obra, as peças são enviadas para o local de montagem por empresa de transportes especializada, sendo que o acondicionamento da carga, é, de uma maneira geral, salvo tipologia não prevista na instrução seguinte, feito em conformidade com a “I.18.PRFB – Acondicionamento”.

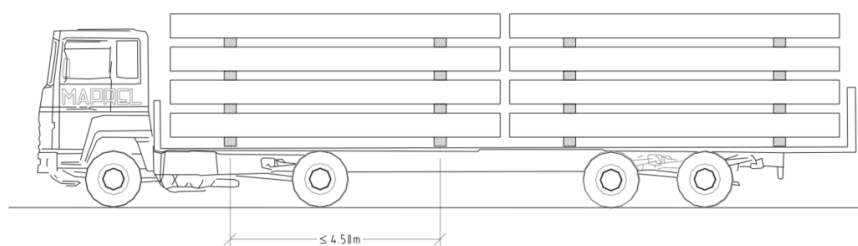


Fig. 35 - Transporte/Acondicionamento de pilares, vigas e vigas-laje [14]

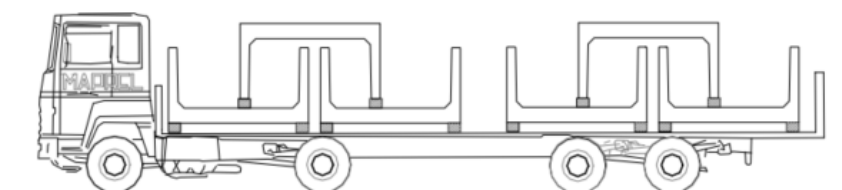


Fig. 36 - Transporte/Acondicionamento de box-culvert [14]

3.2.3. DETALHES DE PREPARAÇÃO DOS PREFABRICADOS

O projeto de execução de estruturas foi realizado, como já referido, pelo gabinete de projetos A400.

Contudo, a construção prefabricada requer um projeto específico relativo à preparação dos elementos prefabricados, contemplando todos os detalhes necessários à sua correta execução, como por exemplo modos de elevação para transporte e montagem in situ, acabamento do betão, pormenores de armaduras, entre outros.

Esta preparação, é normalmente, da responsabilidade do fabricante, mas, neste projeto, dada a sua dimensão e complexidade, a Mota-Engil (fabricante) acordou produzir os prefabricados de betão com a condição de não possuir a responsabilidade de executar esta preparação.

Desta forma, o projeto/preparação dos elementos prefabricados foi adjudicado à empresa A400. Este projeto envolve um nível de detalhe muito superior, sendo muitas vezes necessária a realização de um projeto de geometria, armaduras e acessórios/acabamento para cada elemento.

Esta preparação envolveu uma comunicação permanente entre a A400, a Ferreira Build Power e a Mota-Engil Prefabricados, de modo que a mesma satisfaça as necessidades do projeto bem como do fabricante.

De seguida, serão ilustrados exemplos do elevado nível de detalhe associado à produção de prefabricados em pilares, dado que estes, por serem elementos verticais, têm como particularidade o

facto de serem transportados na horizontal e montados na vertical, enquanto as vigas e lajes são transportadas e montadas sempre na horizontal.

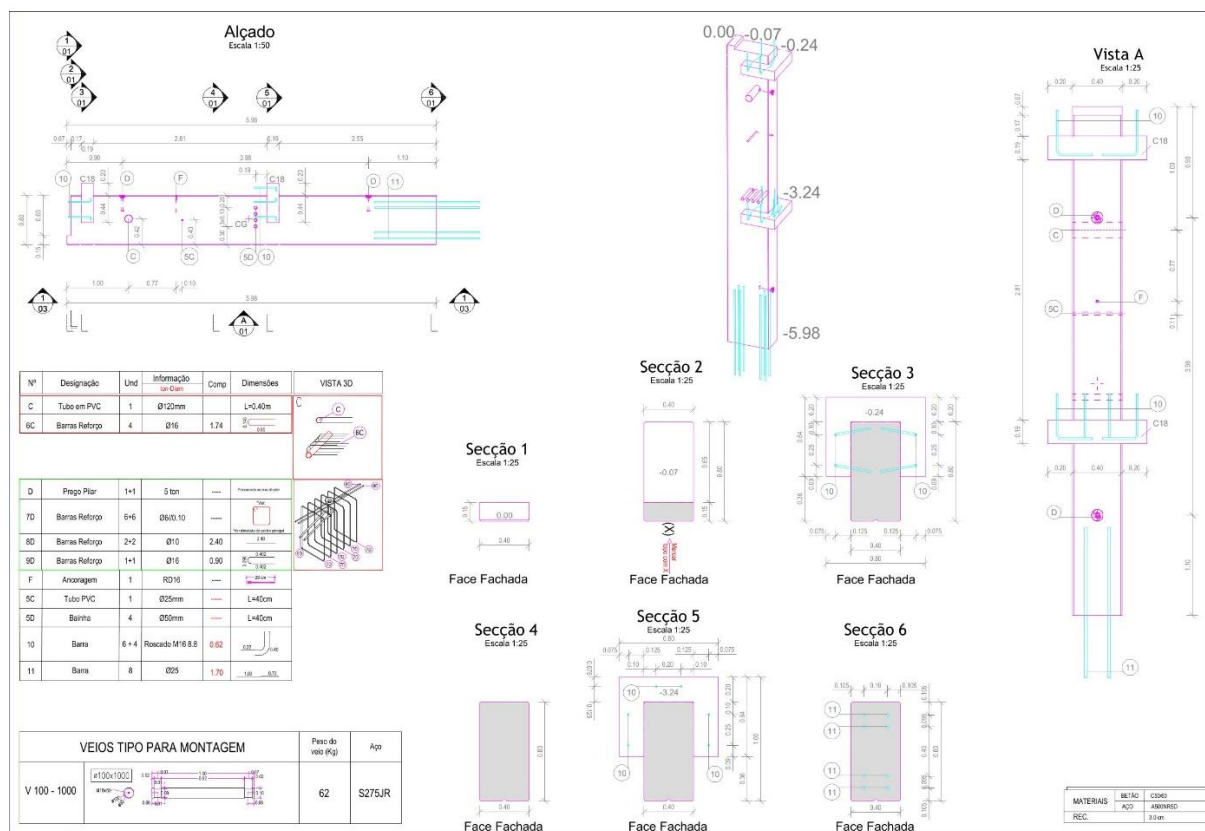


Fig. 37 – Preparação pilares prefabricados: Geometria [15]

Conforme é visível na figura, a execução de prefabricados requer uma pormenorização muito detalhada relativamente a elementos necessários para o transporte e montagem dos componentes, à ligação com outros componente e execução da cintagem da estrutura:

1. A letra C representa um tubo em PVC com 120 mm de diâmetro, que funciona como um negativo no qual posteriormente se instala um veio para elevação do pilar na vertical. Este negativo tem de estar localizado no centro geométrico da peça de modo a garantir que o pilar é elevado e montado completamente apurado. Consequentemente, os elementos 6C são barras/varões de reforço que conferem resistência ao elemento em fase de elevação.
2. A letra D ilustra os pregos pilar, responsáveis pelo manuseamento do elemento em fase de fabrico e transporte. A sua localização é calculada de forma que o pilar seja manuseado na horizontal. Os componentes 7D, 8D e 9D correspondem a reforços estruturais que, como o nome indica, reforçam a envolvente do prego pilar.
3. Por sua vez, os símbolos F e 5C correspondem a ancoragens e negativos que facilitam a aplicação do escoramento, na fase de montagem, para garantir a verticalidade do elemento.
4. As quatro bainhas de 50 mm de diâmetro, 5D, permitem a passagem dos varões de aço responsáveis pela cintagem do edifício.

5. O número 10 representa os ferrolhos, na zona da consola curta do pilar, que possibilitam a posterior montagem das vigas – as vigas possuem bainhas nas quais encaixam estes ferrolhos – garantindo a ligação entre elementos.
6. As 8 barras/ferrolhos, identificados com o número 11 são responsáveis, pela ligação entre pilares.
7. Por fim, neste pormenor não estão representadas as bainhas existentes no pilar em questão, que possibilitam a montagem do pilar do piso superior.

No layout abaixo estão representados todos os pormenores relacionados com a armadura do pilar questão.

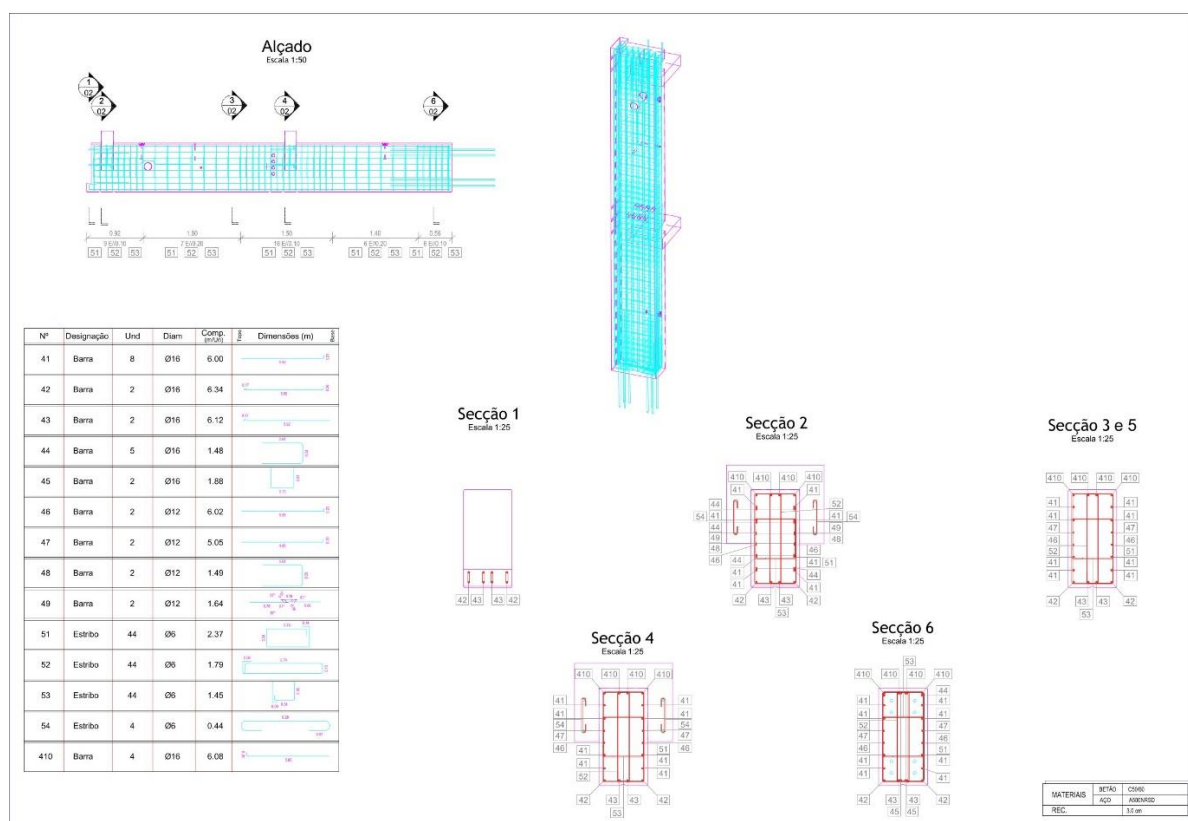


Fig. 38 - Preparação pilares prefabricados: Armaduras [15]

Por fim, neste terceiro layout, pretende-se demonstrar os pormenores relacionados com acabamento/ aspeto visual do pilar. Isto é, o facto de o betão ser aparente remete para uma série de exigências ao

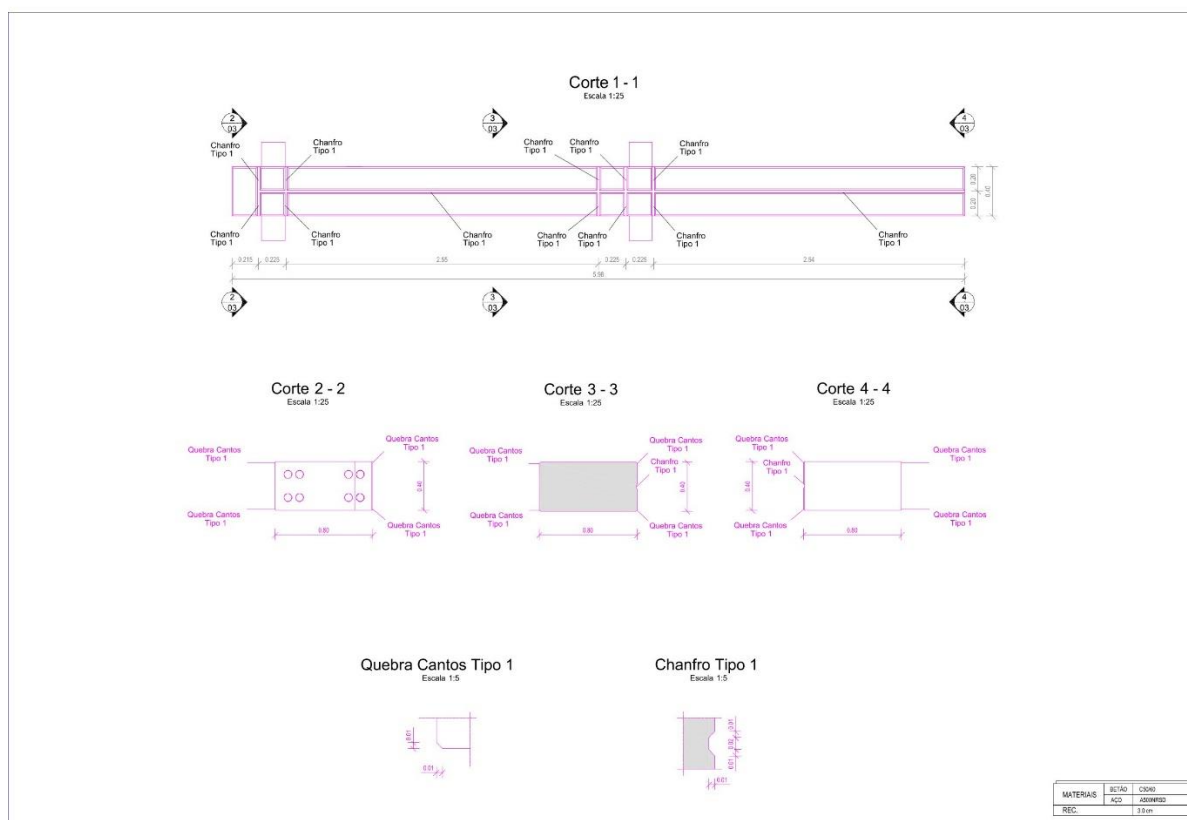


Fig. 39 - Preparação pilares prefabricados. Chanfros e Quebra cantos [15]

3.2.4. DETALHES DE EXECUÇÃO DE OBRA

Nesta fase pretende-se ilustrar diversos pormenores relacionados com a montagem/ligação dos elementos prefabricados.

Quer na ligação entre elementos betonados in situ e elementos prefabricados quer na ligação entre elementos prefabricados, é fundamental que seja garantida a continuidade estrutural entre componentes, para que a transferência de cargas ocorra de forma eficiente sem que a estrutura seja afetada.

▪ Arranque dos pilares prefabricados

Pretende-se demonstrar como é executado o arranque dos elementos prefabricados. Neste caso, a ligação ocorre entre os elementos de betão betonados in situ e pilares prefabricados.

Na betonagem do elemento de arranque betonado in situ, instalam-se umas bainhas corrugadas com 63 mm de diâmetro que permitem o encaixe do elemento prefabricado e que posteriormente são devidamente seladas com Sika Grout 340.

Na figura abaixo é exemplificado um tipo de ligação, LPFA1, onde são instaladas 10 bainhas corrugadas no elemento de arranque. Após a introdução/encaixe dos 10 varões de 25 mm nas bainhas correspondentes, estas são devidamente seladas.

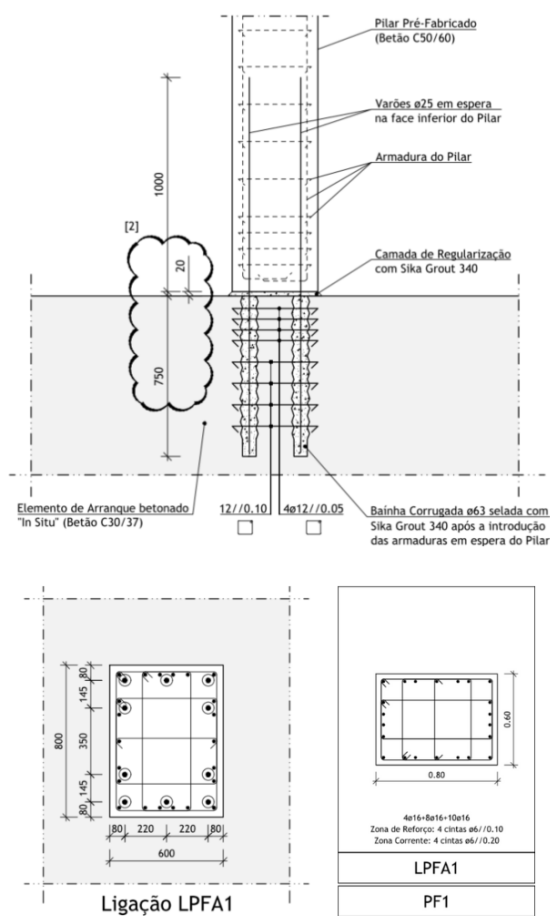


Fig. 40 - Arranque pilares prefabricados



Fig. 41 – Arranque pilares prefabricados

▪ Ligação Pilar - Pilar

A ligação de continuidade entre pilares prefabricados é realizada através da instalação das bainhas corrugadas, de 63 mm de diâmetro, no elemento previamente montado, que permitem o encaixe do elemento prefabricado, e que posteriormente, são devidamente seladas com Sika Grout 340.

Na figura 42, consta o pormenor de continuidade de pilares referente à ligação LPFC1, composta por 4 bainhas corrugadas que irão receber os 4 varões de 25 mm em espera na face inferior do pilar do piso superior.

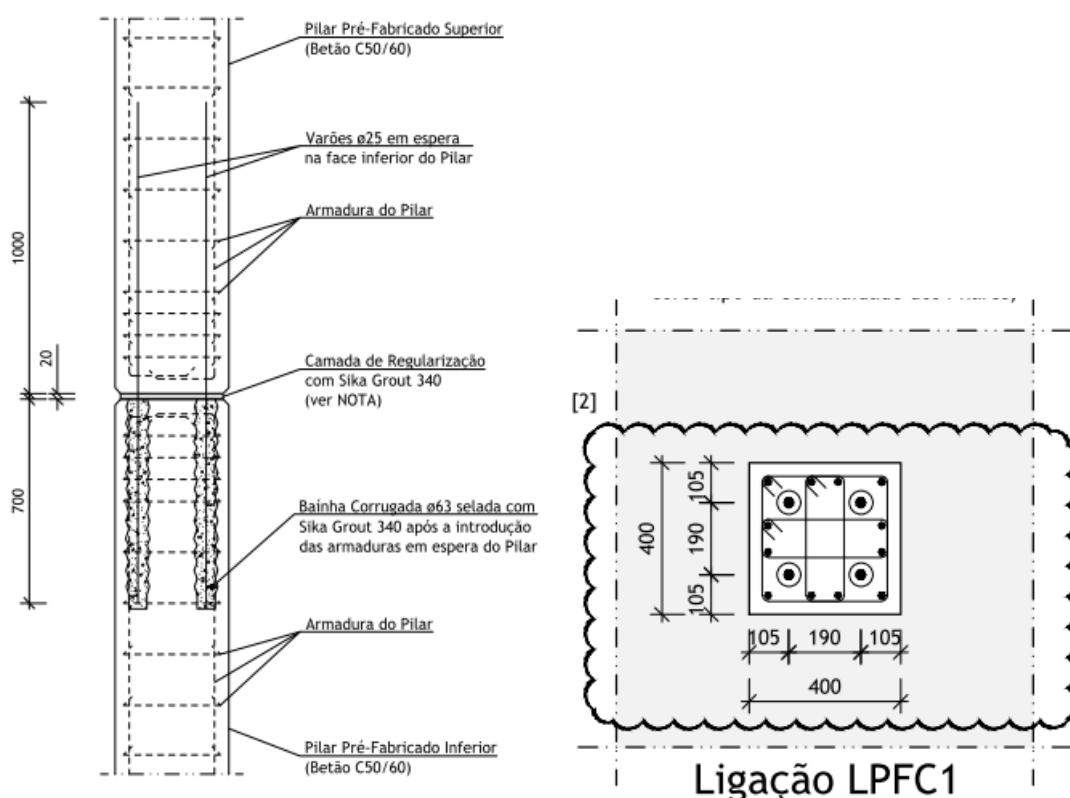


Fig. 42 – Pormenor de Continuidade de Pilares

Um aspeto crucial na montagem de pilares é a garantia da verticalidade dos elementos. Grande parte dos pilares são de dois pisos, ou seja, um desaprumo na ordem dos 2 cm ao nível do primeiro piso resulta num desaprumo de 4 cm na extremidade do pilar (no segundo piso), que por sua vez poderá inviabilizar a montagem de elementos subsequentes.

Como tal, foi necessário atuar a dois níveis:

- Alertar a Fábrica para este tipo de situações de modo a trabalhar com o maior rigor possível, reduzindo as tolerâncias dimensionais;
- Garantir apoio topográfico permanente na montagem dos elementos verticais. Inclusivamente, o próprio topografo é que ficava responsável por dar o último acerto nas escoras, de modo a garantir que as peças se encontravam completamente apuradas.



Fig. 43 – Pilar Prefabricado



Fig. 44 – Escoramento Pilar prefabricado

A selagem dos elementos merece também especial cuidado, dado que muitos dos pilares ficarão aparentes (visíveis), integrando o acabamento das fachadas. A execução das juntas de ligação deverá ser alvo de especial atenção de modo a evitar o escorrimento indesejado de material de selagem e regularização (Sika Grout 340):



Fig. 45 – Selagem pilares prefabricados

▪ **Ligação Verticais – Viga**

Nas estruturas correntes, as ligações entre vigas e elementos verticais são extremamente relevantes, especialmente em zonas com alguma sismicidade, pois conferem à estrutura a capacidade de dissipar energia em sistemas porticados [17]. Estas ligações são cruciais para o comportamento de uma viga à flexão, bem como para o travamento dos pilares quanto à encurvadura, sendo que diferentes tipos de ligação possuem respostas distintas e são responsáveis pela transmissão dos esforços entre os elementos. [18]

A ligação é efetuada através do encaixe da viga (que possui bainhas para esse efeito) nos ferrolhos existentes nos elementos verticais “em espera”.

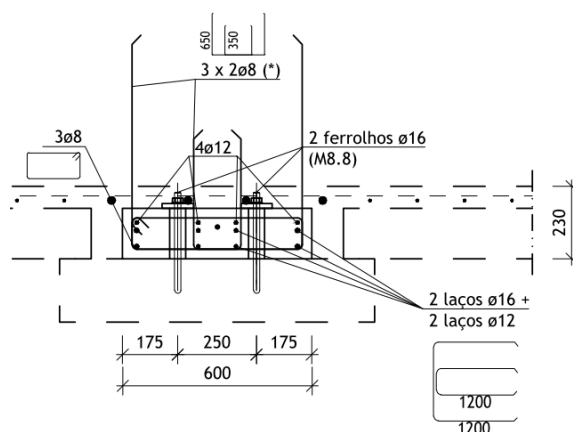


Fig. 46 - Ferrolhos para ligação Verticais-Viga



Fig. 47 – Bainhas corrugadas em viga prefabricada

No entanto, a montagem distingue-se de acordo com a continuidade do pilar na zona de ligação. Os pilares contínuos possuem cachorros nos quais assentam as vigas, enquanto que, nos pilares sem continuidade, as vigas assentam no seu topo.

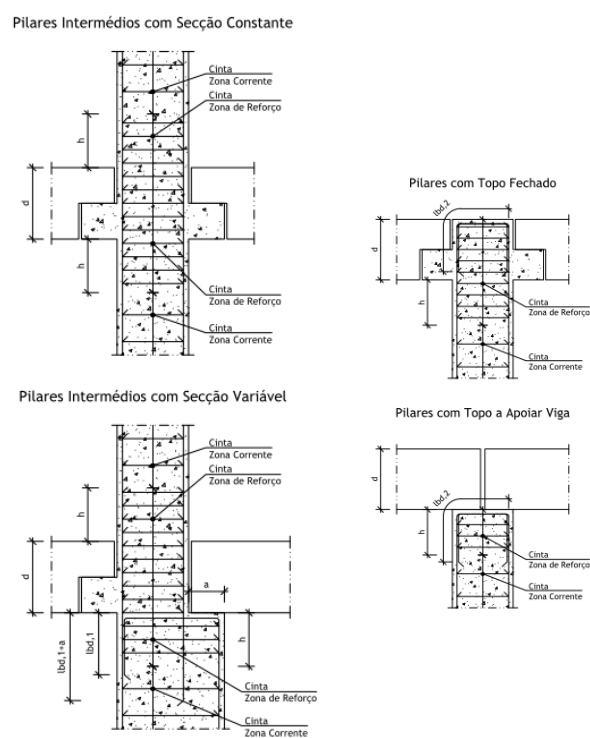


Fig. 48 - Ligação pilar-viga

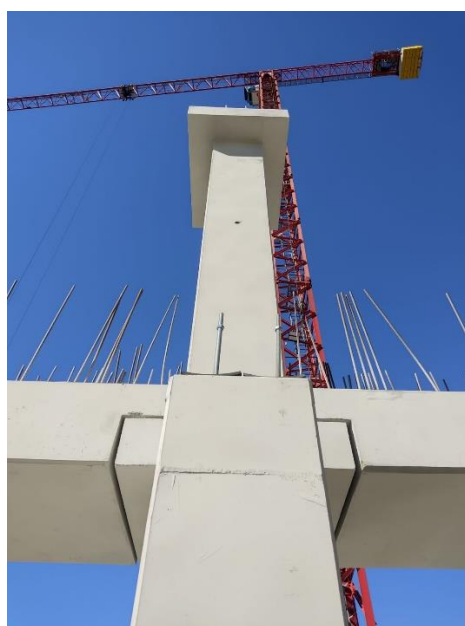


Fig. 49 - Ligações pilares-viga



Fig. 50 – Montagem Viga prefabricada (ligação com parede betonada in situ)



Fig. 51 – Viga Prefabricada

- **Ligação Viga – Laje Alveolar**

A ligação viga-laje permite que a viga receba as cargas provenientes da laje em toda a sua extensão, traduzindo-se numa carga distribuída que será absorvida pela viga. [19]

Conforme se pode ver na figura 52, a montagem das lajes alveolares é realizada com recurso a garras de elevação que, ao serem elevadas, comprimem, permitindo o transporte dos elementos.

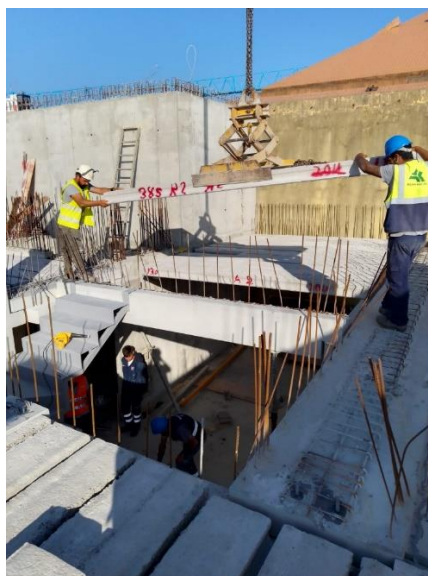


Fig. 52 – Garra de elevação

As lajes alveolares são montadas ficando com as suas extremidades apoiadas nas vigas existentes:

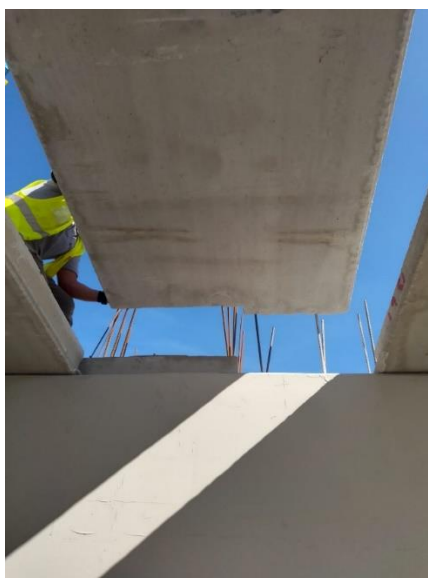


Fig. 53 – ligação viga - laje alveolar

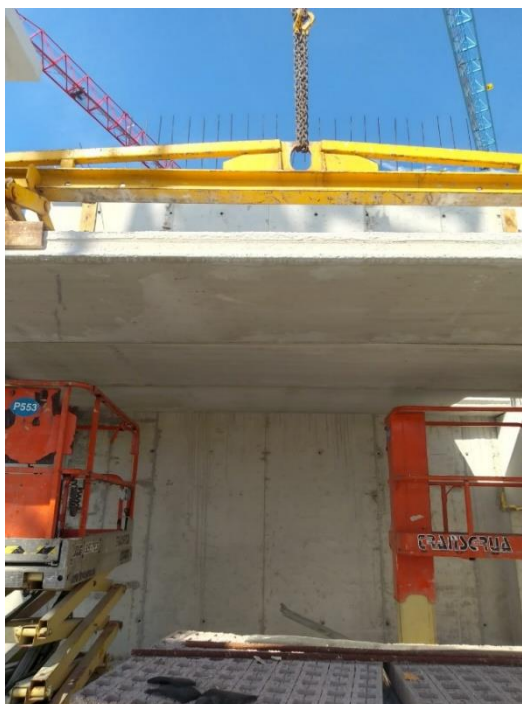


Fig. 54 – Montagem laje alveolar

▪ Cintagem de pilares

A cintagem dos pilares é essencial pois através da rigidez das paredes dos núcleos de escadas e elevadores, confere à estrutura maior resistência face às ações sísmicas.

A armadura de cintagem é composta por varões de 25 mm e é instalada em obra, após a montagem das vigas. Por sua vez, estas armaduras são ligadas por intermédio de acopladores cuja resistência tem de ser igual ou superior à dos varões a conectar.

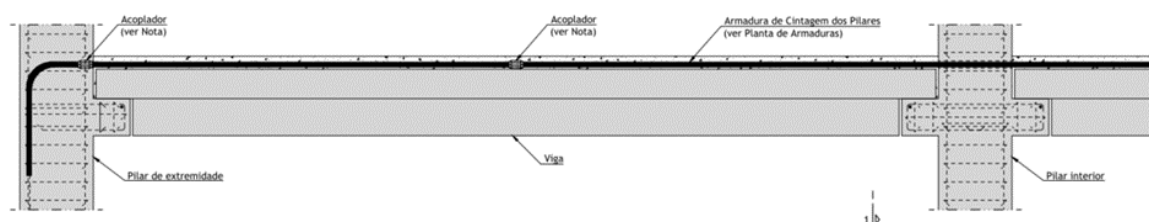


Fig. 55 – Pormenor de cintagem da estrutura



Fig. 56 - Acopladores



Fig. 57 – Armadura de cintagem num pilar

▪ Betonagem da lâmina de compressão

A betonagem da lâmina de compressão é o último passo para a conclusão da estrutura de um dado piso. Após a montagem das lajes alveolares procede-se à montagem das armaduras (As1 e As2) bem como à cintagem dos pilares. Posteriormente, executa-se a betonagem in situ da lâmina de compressão.

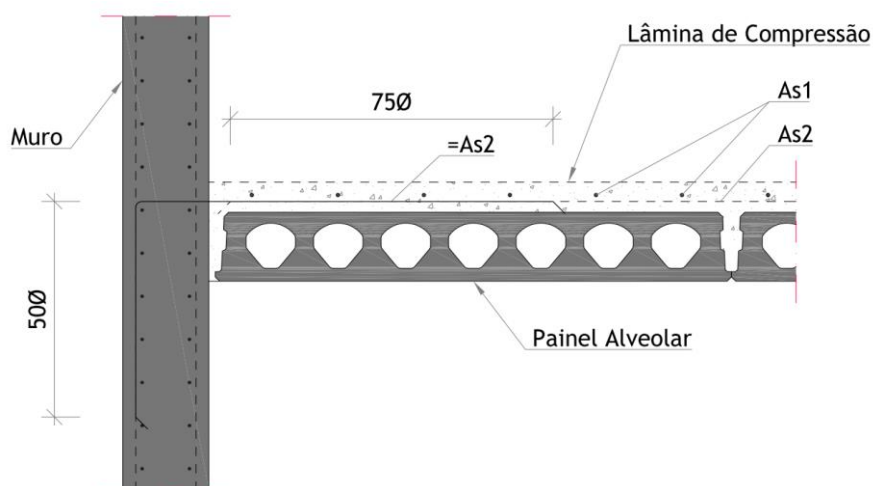


Fig. 58 - Lâmina de Compressão

3.3. PROCESSO CONSTRUTIVO E PLANEAMENTO

Uma das principais vantagens do recurso à Construção Prefabricada face à Construção Tradicional prende-se com a capacidade de redução de prazos de execução. Assim, será elaborada uma análise comparativa entre a solução in situ e a solução prefabricada ao nível do plano de trabalhos.

Nesta análise, foram contempladas três atividades principais: Estrutura (Betão Armado), Arquitetura e Especialidades. As atividades de Escavação e Demolição não foram consideradas, visto que não têm qualquer interferência na análise que se pretende efetuar.

O tempo de execução da Estrutura abaixo do solo não varia com o tipo de solução adotada, pelo que foram considerados, para ambas as soluções, cerca de 3 meses para a execução de Fundações e Contenção Periférica e cerca de 2,5 meses para a execução da estrutura dos pisos enterrados (3 pisos).

Tendo em conta que a área das lajes dos Blocos 10E, 12A e 12B varia entre 375 m² e os 450 m², estimou-se, para a solução Betão in situ, um ciclo de betonagem de lajes de 13 dias úteis com a seguinte distribuição: 4 dias para a execução de elementos verticais, 4 dias para a cofragem de vigas e laje, 4 dias para a aplicação do ferro e, por fim, um dia para a betonagem da laje. Assim, obteve-se uma duração de 391 dias de calendário para a execução de toda a estrutura de betão armado. Importa recordar que os lotes 10E e 12A são compostos por 11 pisos acima do solo, enquanto o lote 12B é composto por 10 pisos.

Por sua vez, considerou-se a entrada da Arquitetura após a betonagem das lajes do piso 7 de forma que as empreitadas que sucedem o Betão Armado avancem sem que o BA seja um impedimento, garantindo a continuidade dessas atividades. A data estimada para a entrada das especialidades (instalações elétricas, hidráulicas e mecânicas) é 13/06/2023, cerca de um mês após o início das atividades pertencentes à Arquitetura.

Desta forma, a solução Betão in situ, possui uma duração total da empreitada de 24 meses (720 dias), sem contabilizar os trabalhos de escavação e demolição.

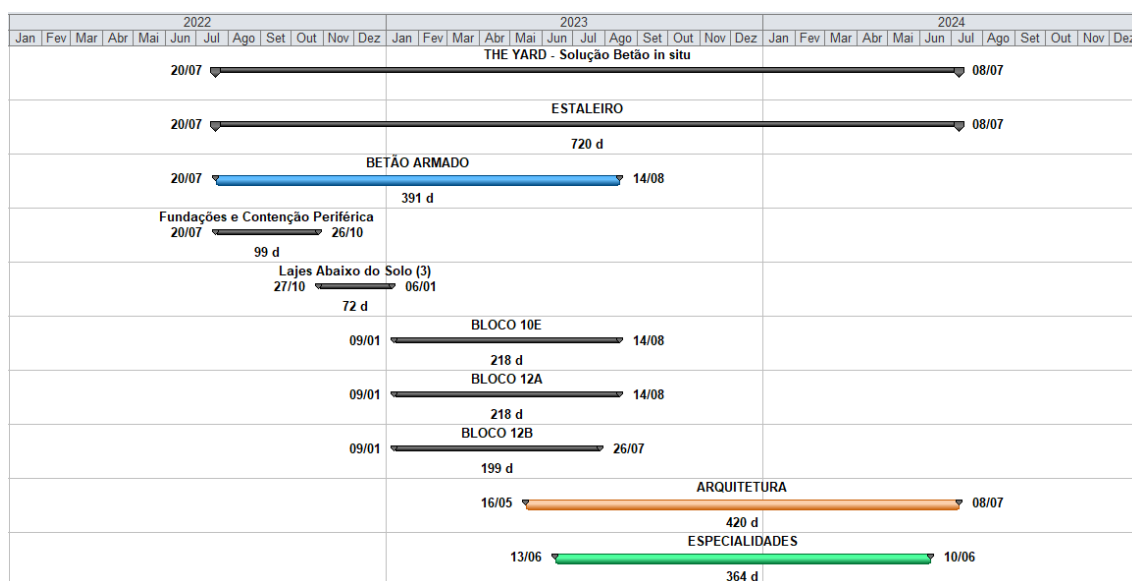


Fig. 59 – Plano de Trabalhos Yard – Solução Betão in Situ

Para a elaboração do Planeamento com a solução prefabricada, mantiveram-se os tempos de execução da estrutura abaixo do solo, como já explicado anteriormente. No entanto, a adoção desta tecnologia possibilita a redução dos ciclos de betonagem entre lajes, bem como a antecipação da entrada das atividades sucessoras ao Betão Armado, devido à ausência da necessidade de manter escoramentos por períodos de aproximadamente 30 dias.

Deste modo, foram considerados ciclos de betonagem de lajes de 9 dias, sendo 3 dias para betonagem de elementos verticais in situ (núcleos) e montagem de pilares prefabricados, 3 dias para montagem de vigas e lajes, 2 dias para a aplicação de aço e, para concluir, 1 dia para a betonagem da lâmina de compressão. No que diz respeito à entrada das atividades sucessoras ao Betão, através do recurso a elementos de betão prefabricados, esta pode ser antecipada em cerca de 1 mês relativamente ao caso em que se adota a solução betão in situ, conforme já explicado.

Como se pode verificar através da análise dos dois Planos de Trabalhos, o recurso a prefabricação possibilita a otimização do prazo de conclusão da obra, reduzindo-o em 81 dias ($720 - 639 = 81$ dias), o que corresponde a 2,7 meses.

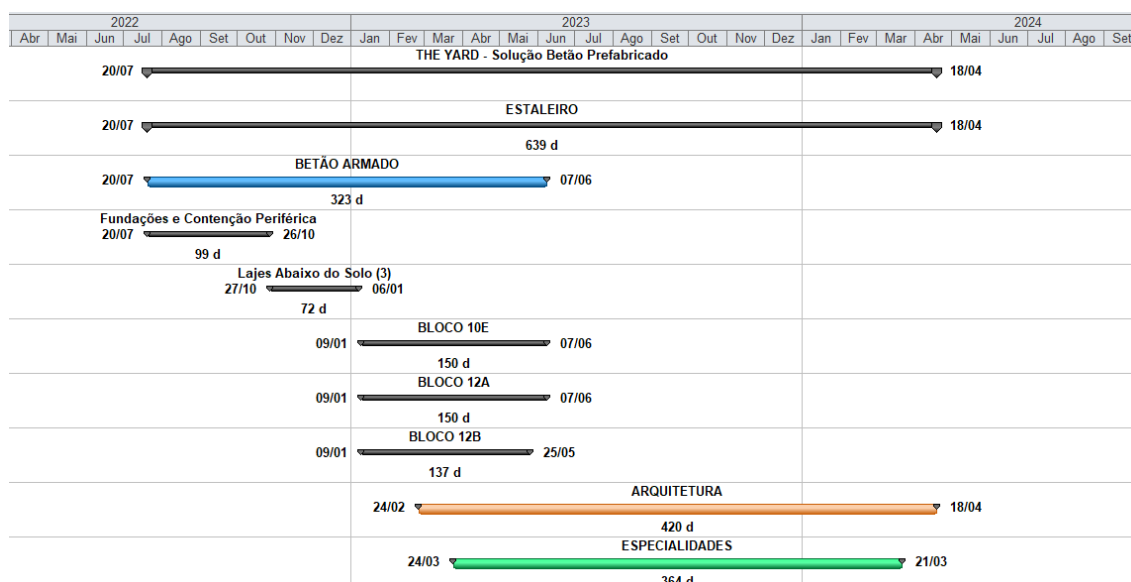


Fig. 60 – Plano de Trabalhos Yard – Solução Betão Prefabricado

No entanto, para que seja possível atingir estes resultados, é crucial que o projeto de estruturas e o projeto dos prefabricados sejam entregues com a devida antecedência, de maneira que o processo de produção/ fabrico dos elementos ocorra atempadamente, sem comprometer o desenvolvimento da obra. O aumento das fases de planeamento e pré-construção, é uma das maiores condicionantes da Prefabricação, sendo necessário um esforço maior e antecipado.

Na obra “The Yard”, a entrega do projeto dos elementos prefabricados atrasou, atrasando por sua vez a produção dos componentes e, consequentemente, impactando negativamente o desenvolvimento da obra.

Posto isto, a elaboração do planeamento do “The Yard” teve como base as necessidades da construtora e a capacidade produtiva do fabricante. A Construção Prefabricada exige um planeamento mais rigoroso e claro, garantindo:

- Transparência entre empreiteiro e fabricante relativamente ao cumprimento/incumprimento de datas estabelecidas quer ao nível da entrega dos prefabricados, quer ao nível da execução dos trabalhos de betão armado realizados in situ;
- Continuidade/sequência de trabalho para a equipa responsável pelo betão armado (in situ);
- Permanente cooperação e coordenação entre os intervenientes.

LOTE 12A									
PISO 6	Nº	PILARES				VIGAS		LAJES MACIÇAS	
		PT22+PT23+PT24+ 2xPT25+2xPT26		OUTROS					
		7	Previsão fabrico	15	Previsão fabrico	25	Previsão fabrico	6	Previsão fabrico
	DATA MONT.	09/mai		10/mai		23/mai		25/mai	
		PT22_B		PT4_F	26/abr	VL2.1C (2)		LMPF1.3 (4)	12/abr
		PT23_B		PT5_D		VL2.1D		LMPF1.4 (2)	17/abr
		PT24_B		PT20_B	04/mai	VR1.1A			
		PT25A_B		PT21A_B	02/mai	VL1.1C	16/mai		
		PT25B_B		PT21B_B	08/mai	VL1.1D	19/mai		
		PT26A_B		PT27_B (5)	19/mai	VL1.2D	22/mai		
		PT26B_B		PT29A_B (2)	19/mai	VL3.1D (2)	13/abr		
				PT29B_B (2)	19/mai	VL3.1E			
				PT31_D		VL3.1F			
						VV1.1A			
						VV1.1B	13/abr		
						VV1.2C			
						VT3.1H	04/mai		
						VT4.1B (2)	22/mai		
						Pn30_2	15/mai		
						Pn30_3	15/mai		
						VT2.2C	16/abr		
						VT2.2D			
						VT2.1G			
						VT2.1H			
						VT2.1I			
						VT2.1J			

Fig. 61 – Planeamento de produção prefabricados do piso 6 Lote 12A

No planeamento ilustrado acima, referente à produção dos prefabricados do piso 6 Lote 12A, fornecido pela Mota-Engil Prefabricados, percebe-se que o elemento que irá condicionar a montagem do piso 6 será a viga VT4.1B, cuja data prevista para o seu fabrico é o dia 22 de maio. A partir desse dado, é realizado o plano de montagem do piso 6 (figura 62).

A primeira fase de montagem de pilares ocorre nos dias 09 e 10, uma vez que uma parte deles já se encontra fabricada. Os três dias seguintes são dedicados à execução dos núcleos de escadas e elevadores do piso 6. A segunda fase de montagem de pilares ocorre dia 22, pois os pilares PT27_B, PT29A_A e PT29B_B só são fabricados numa sexta-feira, dia 19, conforme planeamento acima, e como tal, só podem ser transportados para a obra e montados no dia seguinte, neste caso, segunda-feira dia 22. A montagem das vigas ocorre nos dias 23 e 24 pois, uma vez mais, a viga VT4.1B só é produzida no dia 22. De seguida procede-se à montagem das lajes alveolares e dia 29 conclui-se o piso 6 com a betonagem da lâmina de compressão.

Montagem Piso 6		
Datas betão "in situ" Datas Mota-Engil Fim semana e feriados		
mai/23		
10 - E	12 - A	12 - B
1 Segunda 2 Terça 3 Quarta 4 Quinta 5 Sexta 6 Sábado 7 Domingo 8 Segunda 9 Terça 10 Quarta 11 Quinta 12 Sexta 13 Sábado 14 Domingo 15 Segunda 16 Terça 17 Quarta 18 Quinta 19 Sexta 20 Sábado 21 Domingo 22 Segunda 23 Terça 24 Quarta 25 Quinta 26 Sexta 27 Sábado 28 Domingo 29 Segunda 30 Terça 31 Quarta	1 Segunda 2 Terça 3 Quarta 4 Quinta 5 Sexta 6 Sábado 7 Domingo 8 Segunda 9 Terça 10 Quarta 11 Quinta 12 Sexta 13 Sábado 14 Domingo 15 Segunda 16 Terça 17 Quarta 18 Quinta 19 Sexta 20 Sábado 21 Domingo 22 Segunda 23 Terça 24 Quarta 25 Quinta 26 Sexta 27 Sábado 28 Domingo 29 Segunda 30 Terça 31 Quarta	1 Segunda 2 Terça 3 Quarta 4 Quinta 5 Sexta 6 Sábado 7 Domingo 8 Segunda 9 Terça 10 Quarta 11 Quinta 12 Sexta 13 Sábado 14 Domingo 15 Segunda 16 Terça 17 Quarta 18 Quinta 19 Sexta 20 Sábado 21 Domingo 22 Segunda 23 Terça 24 Quarta 25 Quinta 26 Sexta 27 Sábado 28 Domingo 29 Segunda 30 Terça 31 Quarta
Pilares 2ª fase + Vigas piso 5 Vigas piso 5 LMPF + Laje alveolar Lâmina compressão Betonagem Lâmina compressão piso 5 Vigas piso 6 Vigas piso 6 Vigas piso 6 LMPF + Laje alveolar Lâmina compressão Betonagem Lâmina compressão piso 6	Lâmina compressão Betonagem Lâmina compressão piso 5 Pilares 1ª fase Piso 6/7 Pilares 2ª fase Piso 6/7 Nucleo piso 6 Nucleo piso 6 Nucleo piso 6 Nucleo piso 6 Nucleo piso 6 Pilares 2ª fase Piso 6/7 Lâmina compressão Betonagem Lâmina compressão piso 6	Vigas piso 5 LMPF + Laje alveolar Lâmina compressão Betonagem Lâmina compressão piso 5 Pilares 1ª fase + 2ª fase Piso 6/7 Pilares 1ª fase Nucleo piso 6 Nucleo piso 6 Nucleo piso 6 Pilares 2ª fase Piso 6/7 Nucleo piso 7 Nucleo piso 7 Nucleo piso 7 Vigas piso 6 Vigas piso 6 LMPF + Laje alveolar Lâmina compressão

Fig. 62 – Plano de Montagem Piso 6

Por fim, ao analisar-se a figura 62, verifica-se a rotação/ sequência da equipa de betão armado entre o bloco 10E, 12A e 12B, por forma a garantir uma continuidade dos trabalhos.

3.4. ESTUDO DO CUSTO DA SOLUÇÃO

Neste subcapítulo é realizada uma análise comparativa entre o custo da solução prefabricada e o custo da solução in situ. No caso da solução prefabricada são apresentados valores reais da obra The Yard. Já no caso da solução tradicional, betão in situ, é realizada uma estimativa tendo em conta o histórico dos últimos anos das obras da Ferreira Construção, SA.

Primeiramente, importa ilustrar a Área Total de Construção da obra The Yard, bem como a sua distribuição, abaixo e acima do solo. Estes dados estão representados no quadro abaixo e são necessários para a obtenção de custos e rácios.

Quadro 4 – Área Total de Construção The Yard

Área Total de Construção The Yard	
Área Total de Construção	20 547,09 m2
Abaixo do Solo	4 785,95 m2
Acima do Solo	15 761,14 m2

O custo da Estrutura em The Yard foi 6.578.428,75 €. Este valor contempla custos associados a Movimento de Terras, Fundações Especiais (estacaria), Estrutura e Estaleiro. O custo de execução da Estrutura abaixo do solo foi 1.578.822,90 €, dividindo esse valor pela ATC correspondente, obtém-se um custo de 329,89 €/m2. Seguindo o mesmo raciocínio, obtém-se um custo de 317,21 €/m2 para a execução da Estrutura acima do solo.

Quadro 5 – Custos/ Rácios Solução Prefabricada

Custos/ Rácios Solução Prefabricada			
Custo da Estrutura	6 578 428,75 €	320,16 €/m2	Inclui Movimento de Terras, Fundações Especiais (estacaria), Estrutura e Estaleiro
Abaixo do Solo	1 578 822,90 €	329,89 €/m2	-
Acima do Solo	4 999 605,85 €	317,21 €/m2	-

Tal como já foi referido, para se estimar o custo associado à execução da Estrutura do The Yard recorrendo aos métodos tradicionais, isto é, estrutura de betão armado realizada in situ, foi considerado um valor médio das obras realizadas nos últimos anos pela Ferreira Build Power.

Tendo em conta esse histórico, o valor médio do custo da Estrutura acima do solo para betão a revestir é de 200,01 €/m2. Dado que o betão prefabricado do The Yard é aparente/ acabado, deve considerar-se o sobrecusto associado à execução de betão aparente, que ronda os 22%. Desta forma, obtém-se um custo médio de 244,01 €/m2 para a realização da Estrutura (acima do solo).

Quadro 6 – Histórico de Custos Solução in Situ

Histórico de Custos Solução in Situ	
Histórico Custo Acima do Solo (Betão a Revestir)	200,01 €/m2
Sobrecusto Betão Aparente (22%)	244,01 €/m2

Uma vez que para a execução das Fundações e da Contenção Periférica se recorre a métodos convencionais, considera-se o mesmo valor da solução prefabricada para a execução da estrutura abaixo do solo (329,89 €/m²). Assim, multiplicando esses rácios pelas correspondes Áreas de Construção estima-se que o custo de execução da Estrutura, da solução betão in situ, seja 5.424.698,67 €.

Quadro 7 – Custos/ Rácios Solução Betão in Situ

Custos/ Rácios Solução Betão in Situ	
Custo Estimado Estrutura in situ	5 424 698,67 €
Abaixo do solo	329,89 €/m ²
Acima do solo	244,01 €/m ²

Por fim, comparando os valores obtidos do uso de cada um destes métodos construtivos, obtém-se um diferencial de 1.153.730,08 € a mais para a solução prefabricada. Dividindo este valor pelos 20.547,09 m² de Área Total de Construção alcança-se um diferencial de 56,15 € por metro quadrado.

Quadro 8 – Estudo de Custo: Solução Prefabricada vs Solução in Situ

Estudo de Custo: Solução Prefabricada vs Solução in Situ	
Solução Prefabricada	6 578 428,75 €
Solução Betão in Situ	5 424 698,67 €
Diferencial de Custo (€)	1 153 730,08 €
Diferencial de Custo por m ² (€/m ²)	56,15 €/m ²

Outro dado muito relevante e que deve também ser considerado é o custo de Estaleiro. De acordo com o histórico de obras da Ferreira Construção, SA, numa obra como a do The Yard, o custo mensal médio de Estaleiro ronda os 85.000 €, o que traduz uma economia de 85.000 € por cada mês que se consiga reduzir o prazo de execução da obra. No caso abordado no subcapítulo 3.3, a solução prefabricada possibilitou uma redução do prazo de execução em 2,7 meses. Se se multiplicar essa redução pelo custo mensal médio obtém-se uma poupança de 229.500€ (85.000€ x 2,7 meses = 229.500€).

4

ANÁLISE DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS ENCONTRADAS

Tomando por base a realização do mesmo empreendimento com recurso a métodos tradicionais, pretende-se, neste capítulo, identificar as vantagens e desvantagens encontradas na execução deste projeto.

4.1 ESTALEIRO

Tal como abordado no capítulo 2, a configuração do estaleiro é determinante para o bom desenvolvimento da obra, pelo que importa considerar uma diversidade de fatores, nomeadamente o peso dos elementos a manusear, o alcance, a capacidade de elevação e a altura dos meios elevatórios.

Assim, foram instaladas em obra 3 gruas torre (G1 – Grua torre 1 com 40 m de lança e 56,90 m de altura; G2 – Grua torre 2 com 45 m de lança e 57,40 m de altura; G3 – Grua torre 3 – 37,5 m de lança e 46,40 m de altura), distribuídas de forma a garantir apoio permanente a cada bloco. Por sua vez, o dimensionamento das gruas foi realizado tendo em conta o raio e a capacidade de carga necessária para a elevação dos elementos prefabricados, sendo feito para uma capacidade de 6 toneladas. Na planta de estaleiro (figura 63), os raios intermédios, desenhados a tracejado preto, demonstram o limite até ao qual as gruas conseguem elevar elementos com peso até 6 toneladas.

Foram instaladas gruas com capacidade de carga suficiente para elevar cerca de 95% dos elementos prefabricados. Os restantes 5% foram montados com recurso a autogruas por ser economicamente mais viável.

Assim, comparando com a realização da estrutura de betão armado in situ, a utilização prefabricação origina uma maior necessidade de meios elevatórios.

Por outro lado, na figura 62 é visível a organização e limpeza da obra derivados da ausência de materiais de cofragem e escoramentos. Quanto à mão de obra, verificou-se que a produção off site dos elementos

de betão provocou uma redução da quantidade de mão de obra in situ, no entanto, a MO existente era mais qualificada/especializada.

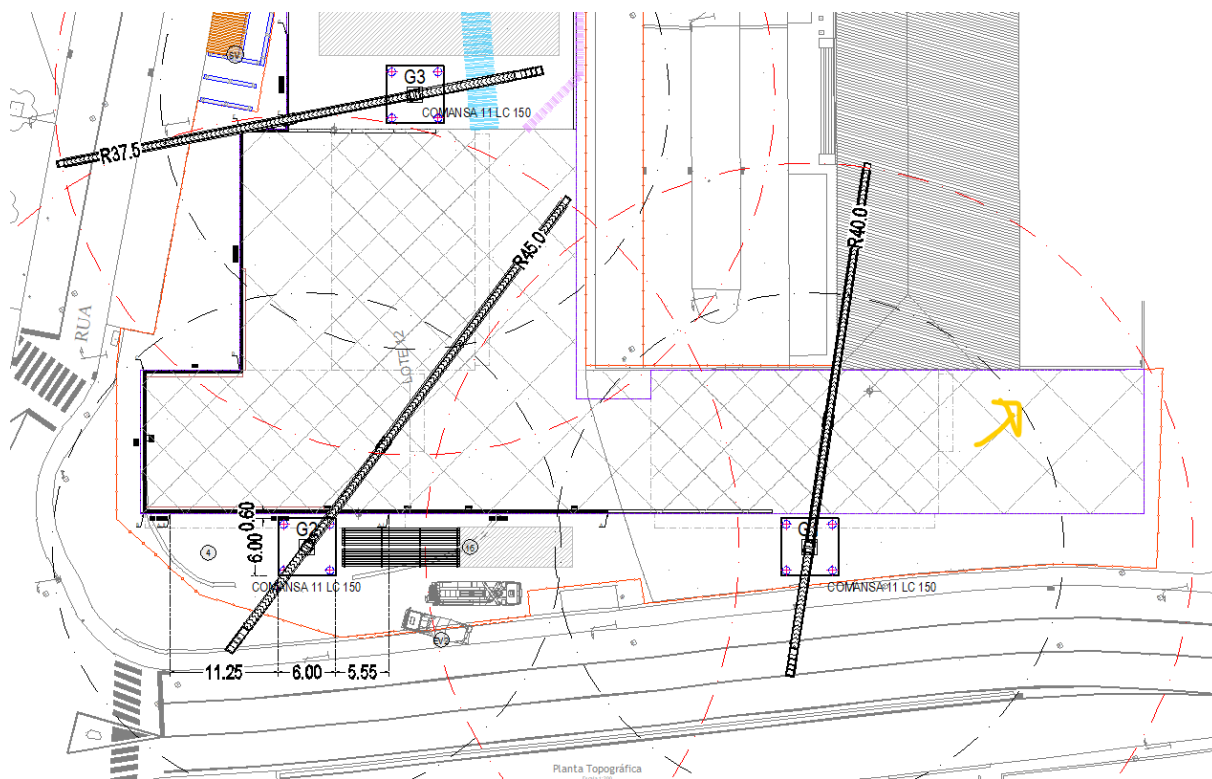


Fig. 63 – Planta de estaleiro “The Yard” – configuração das guias



Fig. 64 - Limpeza e Organização da obra

Quadro 9 – Vantagens e Desvantagens ao nível do Estaleiro

ESTALEIRO	
Vantagens	Desvantagens
Maior limpeza e organização	Maior necessidade meios elevatórios
Redução do risco de acidentes	-
Redução de mão de obra	-

4.2. SUSTENTABILIDADE

Quanto à sustentabilidade, na execução da obra The Yard verificaram-se melhorias dado o maior uso da construção off site. A transferência de trabalho realizado em obra para a fábrica possibilitou a redução de desperdícios de materiais, consumos de energia e água. Em contrapartida, a componente logística associada ao transporte e montagem dos elementos assume um papel negativo no meio ambiente.

Quadro 10 – Vantagens e Desvantagens ao nível da Sustentabilidade

SUSTENTABILIDADE	
Vantagens	Desvantagens
Redução do desperdício de materiais	Maior consumo de energia nas fases de transporte e montagem
Redução de consumos de água e energia em obra	Efeitos ambientais negativos associados ao transporte dos componentes

4.3. PLANEAMENTO E PRAZOS DE EXECUÇÃO

A entrega tardia do projeto de execução dos elementos prefabricados impossibilitou que a produção dos mesmos se sucedesse com a devida antecedência. Desta forma, a obra e os trabalhos de betão in situ estiveram sempre à espera da produção dos prefabricados, ao invés do contrário. Isto, impossibilitou o aproveitamento de uma das principais vantagens da prefabricação que é, naturalmente, a redução de prazos de execução.

Além disso, as condicionantes arquitetónicas não possibilitaram que os componentes prefabricados de betão armado possuissem um elevado grau de repetição/standardização, o que também prejudicou a velocidade de fabrico.

No entanto, os atrasos na execução do betão armado, provocados pelos motivos acima enumerados, foram suprimidos no Planeamento Global da obra. Devido à ausência da necessidade de manter escoramentos por períodos de aproximadamente 30 dias, as atividades sucessoras puderam entrar mais cedo.

Quadro 11 – Vantagens e Desvantagens ao nível do Planeamento e Prazos de execução

PLANEAMENTO E PRAZOS DE EXECUÇÃO	
Vantagens	Desvantagens
Maior previsibilidade ao nível do Plano de trabalhos	Atrasos na entrega/produção dos prefabricados
Antecipação das atividades sucessoras ao Betão Armado	Atraso na conclusão do Betão Armado

4.4. ECONOMIA

Neste projeto, vários fatores influenciaram negativamente o custo associado à utilização da prefabricação. Primeiramente, o atraso do projeto dos elementos prefabricados impossibilitou a redução do tempo de execução da obra, que consequentemente, retirou a possibilidade de redução de custos de estaleiro. Depois, o baixo grau de repetição dos elementos prefabricados de betão também não possibilitou a otimização de custos de fabrico/produção. Assim, por estes motivos e conforme demonstrado no subcapítulo 3.4, verificou-se que o custo da utilização desta tecnologia construtiva é mais elevado do que a tradicional em cerca de 56,15 €/m².

Por outro lado, a Prefabricação possibilita um melhor e mais rigoroso controlo económico, uma vez que, comparativamente à solução de betão in situ, o número de variáveis é substancialmente mais reduzido. Isto porque, quando se adjudica e se avança para a produção dos componentes o projeto já tem de estar muito bem desenvolvido/definido, o que por vezes não acontece quando se trata do recurso a métodos convencionais.

Quadro 12 – Vantagens e Desvantagens ao nível Económico

ECONOMIA	
Vantagens	Desvantagens
Previsão e Controlo de Custos	Custo mais elevado

4.5. QUALIDADE

Por fim, relativamente ao parâmetro qualidade, a prefabricação permite, conforme se percebe na figura 65, a obtenção de produto final de elevada qualidade. Comparativamente a elementos in situ, é evidente a qualidade do betão a nível visual, a nível da uniformização dos elementos e a nível estrutural.



Fig. 65 – Acabamento dos elementos de betão prefabricado

Quadro 13 – Vantagens e Desvantagens ao nível da Qualidade do produto final

QUALIDADE	
Vantagens	Desvantagens
Maior qualidade a nível estrutural	-
Maior qualidade estética (ao nível do acabamento)	-
Uniformização do acabamento dos elementos	-

5

Conclusão

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo da presente dissertação consistiu na análise das vantagens e desvantagens do recurso a prefabricação de elementos de betão armado em edifícios de habitação multifamiliar, tendo por base o estudo da obra “The Yard”. Através desta análise foi possível comprovar as vantagens anunciadas provenientes da Construção Prefabricada, bem como identificar pontos críticos para a obtenção de um resultado de sucesso.

Primeiramente, importa reforçar que o projeto “The Yard” foi altamente inovador e desafiante para todos os intervenientes, visto que se trata de um projeto pioneiro no que diz respeito à prefabricação da estrutura de betão armado em edifícios de habitação multifamiliar. Como tal, foi necessária uma grande dedicação de todas as organizações envolvidas no processo na procura de soluções para os desafios encontrados. A transparência, comunicação e coordenação entre empreiteiro, fabricante e projetista foram determinantes para o bom desenvolvimento deste projeto.

Por um lado, comparativamente à construção “tradicional”, ou seja, a realização dos trabalhos de betão armado in situ, constataram-se melhorias significativas ao nível do estaleiro, da mão de obra, da sustentabilidade e da qualidade do produto final, comprovando que a prefabricação pode ser uma alternativa válida à construção “convencional”, capaz de dar resposta às necessidades de futuro da indústria da construção.

Por outro lado, identificaram-se dois pontos chave que serão melhorados em projetos futuros, tais como o grau de repetição dos elementos e a necessidade de antecipar a entrega do projeto de estruturas/prefabricados. Ao aumentar a repetibilidade das peças, minimiza-se a necessidade de criação de novos moldes, reduzindo, consequentemente, custos e prazos de produção dos componentes prefabricados. Por sua vez, a antecipação da entrega do projeto de execução de estruturas e do projeto dos prefabricados, permite avançar atempadamente com o processo de fabrico dos elementos prefabricados potencializando a redução de prazos de execução. A Construção Prefabricada implica uma visão holística do projeto, o aumento das fases de planeamento e pré-construção é notório e determinante para o sucesso de cada projeto, sendo necessário um esforço maior e antecipado de todos os intervenientes.

Por fim, é importante salientar que a Industrialização da Construção é necessária e premente de forma a dar resposta, não só as necessidades de construção de habitação e infraestruturas, como também às dificuldades demonstradas pelo setor ao longo das últimas décadas, quer ao nível da produtividade, quer ao nível da mão de obra. Para tal é necessário reunir esforços a diferentes níveis (governo, promotores, construtores, projetistas) para a criação de um contexto favorável à Industrialização da Construção, de modo a alcançar os resultados pretendidos:

- Controlo de custos;
- Aumento da produtividade;
- Redução de prazos de execução;
- Redução da dependência de mão de obra;
- Aumento da produtividade;
- Aumento da qualidade.

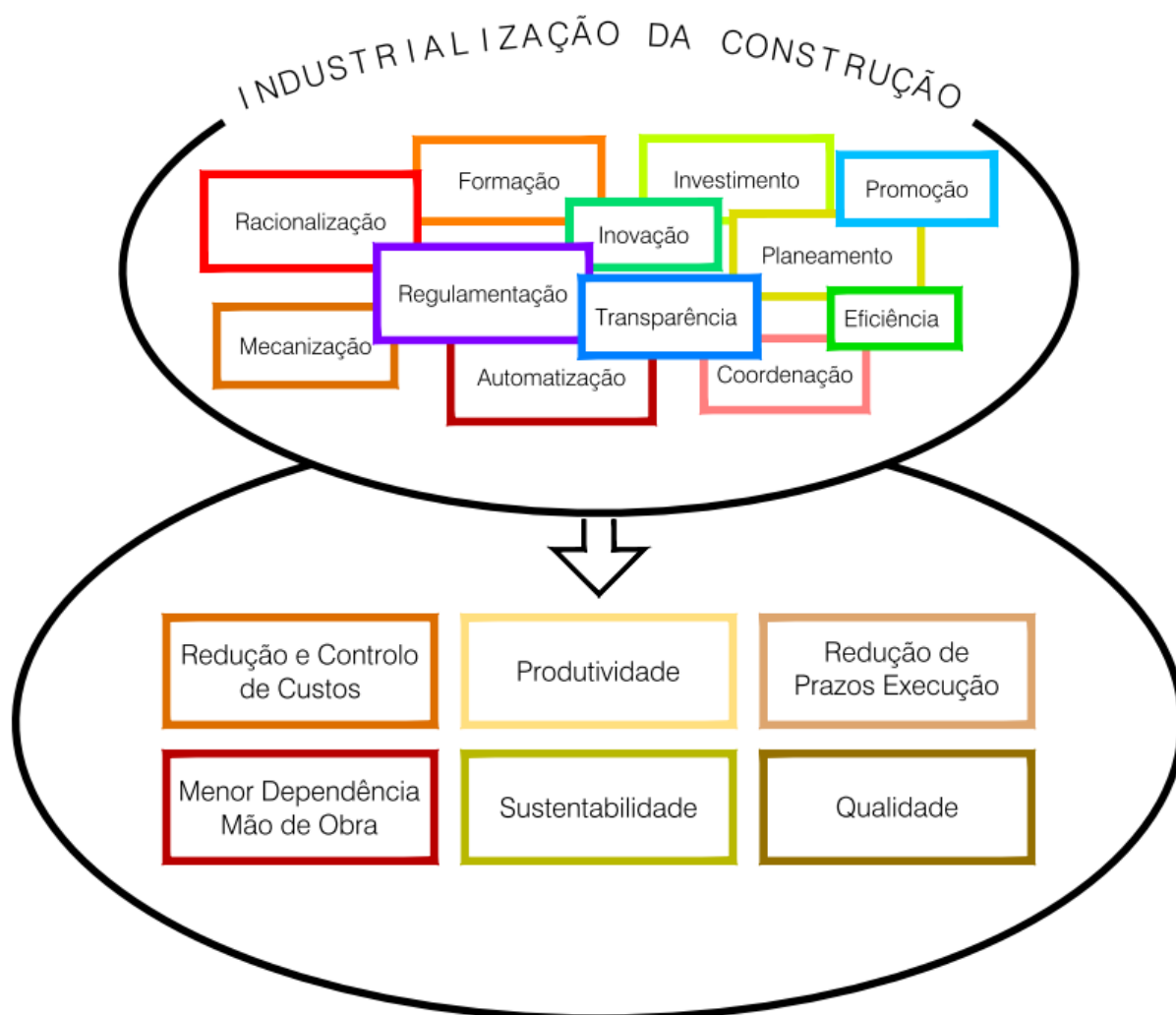


Fig. 66 – Esquema resumo da Industrialização da Construção

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “The next normal in Construction”, Report by Mckinsey & Company, June 2020.
- [2] “Reinventing Construction: A route to higher productivity”, Report by Mckinsey & Company, February 2017.
- [3] Costa, J. *Construção Prefabricada – Análise da utilização da Prefabricação nas várias etapas do Processo Construtivo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [4] Silva, L. *Utilização de BIM na Prefabricação*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2019.
- [5] Couto, J., Couto, A. *Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- [6] “Modular construction: From projects to products”, Report by Mckinsey & Company, June 2019
- [7] The collapse of Ronan Point, May 1968 - in pictures. Society. The Guardian. <https://www.theguardian.com/society/from-the-archive-blog/gallery/2018/may/16/ronan-point-tower-collapse-may-1968>. Acedido em maio 2024.
- [8] Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. <https://dicionario.priberam.org/prefabricação>. Acedido em maio 2024.
- [9] Prefabricados – Mota-Engil Engenharia e Construção. <https://engenharia.mota-engil.pt/areas-especializadas/prefabricados/solucoes>. Julho 2024.
- [10] “Using Modern Methods of Construction to Build Homes More Quickly and Efficiently”, Report by The National Audit Office, 2005.
- [11] Na, L. *Investigation of the Designers and general Contractor Perceptions of Offsite Construction Techniques in the United States Construction Industry*, Dissertation Presented to the Graduate School of Clemson University, 2017.
- [12] The Yard. <https://www.theyard.pt/>. Acedido em junho 2024.

- [13] A400 – Projetistas e Consultores de Engenharia. *Memória Descritiva e Justificativa Jardins da Arrábida*. Maio 2024.
- [14] Mota-Engil Engenharia Prefabricados. *Manual de Qualidade Jardins da Arrábida*. Maio 2024.
- [15] A400 – Projetistas e Consultores de Engenharia. *Projeto Produção Prefabricados – 20220028 - Jardins da Arrábida – Blocos 12A, 12B e 10E*. Junho 2024
- [16] "Current Practice and Potencial Uses of Prefabrication," DTI Construction Industry Directorate Project Report, 2003.
- [17] Magalhães, A. *A pré-fabricação em betão em Edifícios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [18] Ferreira, P. *Análise Sísmica de um Edifícios Constituído por Elementos Pré-Fabricados de Betão*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2023.
- [19] Albarran, E. *Construção com Elementos Pré-fabricados em Betão Armado. Adaptação de uma Solução Estrutural “in situ” a uma Solução Pré-Fabricada*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2008.