U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE MÓDULOS PRÉ-FABRICADOS DE INSTALAÇÕES SANITÁRIAS EM EMPREITADAS DE EDIFÍCIOS

Desenvolvimento de indicadores de apoio à decisão

ANTÓNIO VIAGEM MÁQUINA JÚNIOR

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

Coorientador: Professor Carlos Henrique da Silva Otto Rodrigues

OUTUBRO DE 2026

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2025/2026

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E GEORRECURSOS

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 - 2025/2026 - Departamento de Engenharia Civil e Georrecursos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2026*.

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.

Aos meus pais e amigos

Life is 10% what happens to you and 90% how you react to it

Charles R. Swindoll

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação marca o fim de um percurso exigente, caracterizado por muitas "reguadas" mas também muita aprendizagem.

Ao meu orientador, Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins, agradeço por me ter recebido de braços abertos, pela orientação, pela confiança e por independentemente das circunstâncias, orientar-me sempre para a solução.

Ao meu coorientador, Professor Carlos Henrique da Silva Otto Rodrigues, agradeço pelo entusiasmo e apoio demonstrado desde o primeiro contacto, ao acolhimento e toda a disponibilidade ao longo deste trabalho.

À CONSTRUÇÕES GABRIEL A. S. COUTO, S.A., por me ter aberto as suas portas e permitido desenvolver esta dissertação num ambiente que me proporcionou um enorme crescimento, tanto profissional como pessoal.

Aos meus pais, por acreditarem sempre em mim e por me darem um apoio incondicional, mesmo quando o caminho não foi fácil de compreender ou de percorrer ao meu lado.

Às minhas irmãs, Anacleta e Anésia, pelo amor, carinho e apoio que sempre me deram.

À minha Partner, Leo, por estar sempre ao meu lado, em todos os momentos.

Ao Yasser, por ser um companheiro incondicional de longas batalhas.

Ao Faheem, cuja teimosia já me fez ver a razão várias vezes.

Ao Fifu, pelo seu companheirismo de longa data.

Ao Rafael, que me recebeu e acolheu numa aula de Materiais de Construção e que, desde então, nunca mais deixou de estar do meu lado.

A todos os que, de uma forma ou de outra, me acompanharam neste percurso e que os limites desta página não me permitiram nomear, o meu sincero obrigado.

RESUMO

A pré-fabricação constitui uma alternativa à construção tradicional com potencial para melhorar o desempenho das empreitadas de edifícios, nomeadamente ao nível do prazo, da produtividade, da qualidade e da previsibilidade da execução. Contudo, a decisão de recorrer a soluções pré-fabricadas depende das características específicas de cada empreitada, não devendo resultar apenas de uma comparação de custos diretos.

A presente dissertação teve como objetivo desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão para avaliar a viabilidade da pré-fabricação em empreitadas de edifícios, com particular incidência na utilização de Bathroom Pods. A metodologia adotada incluiu a revisão da literatura, a identificação e validação dos fatores relevantes para a decisão e a determinação da importância relativa dos critérios através do método Analytic Hierarchy Process. A ferramenta desenvolvida, designada FAD-PF, organiza a avaliação segundo os critérios Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade, permitindo calcular um Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação.

A FAD-PF foi aplicada a uma empreitada de construção de uma unidade hoteleira, incidindo sobre a utilização de 97 Bathroom Pods numa tipologia repetitiva de instalações sanitárias. A aplicação resultou num índice de 3,67, correspondente a uma situação de viabilidade moderada. Apesar de os Pods apresentarem um custo direto 5,8% superior ao da solução executada in situ, a repetitividade da tipologia, a pressão temporal da obra e a redução da dependência de mão de obra especializada favoreceram a sua utilização. A montagem dos 97 módulos foi realizada em 18 dias, evidenciando a capacidade da solução para acelerar o avanço físico da empreitada.

Os resultados demonstram que a viabilidade da pré-fabricação depende de uma análise integrada das condições da obra. A maturidade do projeto, as condições logísticas e o grau de completude dos módulos assumem particular relevância para o sucesso da sua implementação.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-fabricação; Construção *off-site*; *Bathroom Pods*; Apoio à decisão; Indicadores de desempenho

ABSTRACT

Prefabrication is an alternative to traditional construction with the potential to improve building project performance, particularly in terms of schedule, productivity, quality and predictability. However, the decision to adopt prefabricated solutions depends on the specific characteristics of each project and should not be based solely on a direct cost comparison.

This dissertation aimed to develop a decision-support tool to assess the feasibility of prefabrication in building projects, with particular focus on the use of Bathroom Pods. The methodology included a literature review, the identification and validation of relevant decision factors, and the determination of the relative importance of the criteria through the Analytic Hierarchy Process method. The developed tool, named FAD-PF, assesses Schedule, Cost, Quality and Productivity, allowing the calculation of a Prefabrication Feasibility Index.

The FAD-PF was applied to the construction of a hotel development, focusing on the use of 97 Bathroom Pods for a repetitive bathroom typology. The application resulted in an index of 3.67, corresponding to moderate feasibility. Although the Pods had a direct cost 5.8% higher than the in-situ solution, the repetition of the typology, the project time constraints and the reduced dependence on specialised on-site labour supported their adoption. The 97 modules were installed in 18 days, demonstrating the solution's capacity to accelerate physical progress on site.

The results show that the feasibility of prefabrication depends on an integrated assessment of project conditions. Project maturity, logistical conditions and the level of module completion are particularly relevant to the successful implementation of prefabricated solutions.

KEYWORDS: Prefabrication; Off-site construction; Bathroom Pods; Decision support; Performance indicators.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS I

RESUMO III

ABSTRACT V

ÍNDICE DE FIGURAS X

ÍNDICE DE TABELAS XII

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO 1

1.2 OBJETIVOS 4

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 5

2 ESTADO DA ARTE 7

2.1 INTRODUÇÃO 7

2.2 A EVOLUÇÃO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO 7

2.3 CONSTRUÇÃO *OFF-SITE* E CONSTRUÇÃO MODULAR 20

2.4 *BATHROOM PODS* 22

2.4.1 Definição e Enquadramento 22

2.4.2 Processo de fabrico 25

2.4.3 Transporte e instalação 27

2.4.4 Comparação com a construção tradicional 30

***2.5* BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE *BATHROOM PODS* 34**

2.5.1 Impacto no prazo de execução 34

2.5.2 Impacto nos custos 35

2.5.3 Impacto na mão de obra e na produtividade 36

2.5.4 Impacto na qualidade 37

2.5.5 Impacto na segurança e saúde 37

2.5.6 Impacto na sustentabilidade 38

3 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA PRÉ-FABRICAÇÃO (FAD-PF)..... 41

3.1 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA FAD-PF 41

3.2 IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO 42

3.2.1 Identificação dos fatores na literatura 43

3.2.2 Validação dos fatores 44

3.2.3 Síntese e agrupamento dos fatores identificados 45

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS ATRAVÉS DO MÉTODO AHP 46

3.3.1 Justificação da seleção do método AHP 46

3.3.2 Aplicação do método AHP 48

3.3.3 Questionário e participantes 50

3.3.4 Tratamento dos julgamentos e determinação dos pesos dos critérios 51

3.3.5 Verificação da consistência dos julgamentos 55

3.3.6 Agregação dos julgamentos válidos 56

3.3.7 Caracterização dos participantes e consistência dos julgamentos 56

3.3.8 Pesos de referência dos critérios 58

3.4 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA A PRÉ-FABRICAÇÃO (FAD-PF) 59

3.4.1 Estrutura geral da FAD-PF 59

3.4.2 Critérios e subcritérios de avaliação 60

3.4.3 Escala de avaliação dos subcritérios 61

3.4.4 Determinação da pontuação dos critérios 64

3.4.5 Cálculo do Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação 65

3.4.6 Interpretação do Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação 66

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 67

4 APLICAÇÃO DA FAD-PF A UM CASO DE ESTUDO 69

4.1 INTRODUÇÃO 69

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPREITADA 70

4.2.1 Programa funcional e instalações sanitárias 70

4.2.2 Condicionantes da preparação e execução da empreitada 71

4.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ANALISADAS 73

4.4 APLICAÇÃO DA FAD-PF 76

4.4.1 Avaliação do critério Prazo 76

4.4.2 Avaliação do critério Custo 77

4.4.3 Avaliação do critério Qualidade 77

4.4.4 Avaliação do critério Produtividade 78

4.4.5 Cálculo e interpretação do IVP 79

4.5 RESULTADOS OBSERVADOS DURANTE A EXECUÇÃO 80

4.6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS 82

5 CONCLUSÕES 83

5.1 RESULTADOS 83

5.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO 83

5.3 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS 84

APÊNDICES 85

AP.1 QUESTIONÁRIO 86

AP.2 PESOS DE REFERÊNCIA DOS CRITÉRIOS (AGREGADOS) 89

AP.3 FAD-PF 90

ANEXOS 93

A.1 CATÁLOGO DA SEARS, ROEBUCK AND COMPANY COM ALGUNS MODELOS DE CASAS PRÉ-FABRICADAS POR ENCOMENDAS [12] 94

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Índice dos custos de construção de habitação nova [2] 1
Figura 1.2 - Discriminação do índice dos custos de construção de habitação nova 2
Figura 2.1 - Estrutura da casa colonial de Manning – "*The Manning Portable Colonial Cottage for Emigrants*" [6] 8
Figura 2.2 - Uma variação da casa colonial de manning denominada *LaTrobe's Cottage* enviada para Austrália em 1839 [6] 9
Figura 2.3 - *Crystal Palace*, concebido por Joseph Paxton [7] 10
Figura 2.4 - Elevação de parte da estrutura metálica da cobertura do *Crystal Palace* [8] 10
Figura 2.5 - *Sears, Roebuck and Co. Consumers Guide : Catalogue No. 104 : Spring 1897* [9] 11
Figura 2.6 - Plantas dos modelos D1 e J900 do *American System-Built Homes* [10] 13
Figura 2.7 – Catalogo das *Modern Houses* da Sears, Roebuck and Company [12] 14
Figura 2.8 - Sistema *Dom-ino* concebido por Le Corbusier [13] 15
Figura 2.9 - *Dymaxion House* [14] 16
Figura 2.10 - A casa de banho modular de Fuller - *Dymaxion bathroom* [4] 17
Figura 2.11 - Sistema de ligação universal desenvolvido por Wachsmann para o *General Panel System* [15] 18
Figura 2.12 - Modelo BIM compatibilizando diversas especialidades [17] 19
Figura 2.13 - Diferentes tipos de sistemas ligados a construção *off-site* 21
Figura 2.14 – Módulo pré-fabricado de uma instalação sanitária (*Pod*) [19] 22
Figura 2.15 - *Unit bathroom* desenvolvida para o hotel Otani [22] 23
Figura 2.16 – a) *Pod* com acabamentos interiores por fazer; b) *Pod* com acabamentos interiores feitos [24, 25] 24
Figura 2.17 - A esquerda está uma ilustração dos *Pods* antes do acabamento exterior e a direita após acabamento exterior [26] 25
Figura 2.18 - Processo de fabrico dos *Pods*: 1 - Elaboração do Projeto; 2 - Concessão da estrutura de suporte do módulo; 3 – Instalação das redes técnicas; 4 – Aplicação de revestimentos; 5 – Instalação de equipamentos sanitários; 6 – Acabamentos interiores; 7 – Controle de qualidade; 8 – Preparação para transporte [20, 27-31] 26
Figura 2.19 – a) Descarga do módulo; b) Elevação do módulo [32, 33] 27
Figura 2.20 - a) Descarga do módulo no piso com recurso a grua; b) transporte do módulo até ao local de instalação no piso com recurso a prateleira manual; c) posicionamento do módulo na localização definitiva; d) Alinhamento e nivelamento do módulo [20] 28
Figura 2.21 - Ligação de um módulo as infraestruturas do edifício [35] 29
Figura 2.22 - Integração funcional e estética do módulo 29
Figura 2.23 - Principais fases do processo de construção de uma casa de banho *in-situ* [20] 31
Figura 3.1 - Metodologia de desenvolvimento da FAD-PF 42
Figura 3.2 - Comparações paritárias 48

Figura 3.3 - Exemplo de comparação entre o prazo e o custo 49
Figura 3.4 - Estrutura de funcionamento da FAD-PF 60
Figura 4.1 - Representação 3D da casa de banho tipo 1 71
Figura 4.2 - Algumas aberturas na fachada para entrada dos *Pods* 72
Figura 4.3 - a) *Pod* em fábrica; b) *Pod* entregue no hotel 73
Figura 4.4 - Tomada por instalar num *Pod* 74
Figura 4.5 - Resíduos resultantes dos trabalhos executados nos *Pods* em obra 74
Figura 4.6 - Instalação dos suportes dos dispensadores 75
Figura 4.7 - a) Casa de banho feita in-situ com junta na transição madeira-cerâmico; b) *Pod* com uma junta a mais que a) 80
Figura 4.8 - Lavatório entupido; Remoção de espelho; Manípulo da misturadora em falta 81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Comparação entre a construção *in-situ* e os módulos pré-fabricados de casas de banho 32
Tabela 3.1 - Síntese e agrupamento dos fatores identificados 46
Tabela 3.2 - Escala fundamental de Saaty [41] 49
Tabela 3.3 - Matriz de comparação paritária exemplificativa 50
Tabela 3.4 - Matriz de comparação paritária 51
Tabela 3.5 - Matriz contendo a soma dos valores de cada coluna 52
Tabela 3.6 - Matriz da Tabela 3.5 normalizada 52
Tabela 3.7 - Matriz contendo os pesos relativos de cada critério 53
Tabela 3.8 - Matriz contendo a soma ponderada de cada critério 54
Tabela 3.9 - Síntese dos resultados do processo AHP 57
Tabela 3.10 - Matriz contendo os pesos de referência agregados 58
Tabela 3.11 - Critérios e subcritérios da FAD-PF 61
Tabela 3.12 - Subcritérios e respetivas pontuações 62
Tabela 3.13 - Intervalos do IVP 66
Tabela 4.1 - Diferentes tipologias de casas de banho da empreitada 70
Tabela 4.2 - Síntese do MTQ de concurso relativamente a execução de casas de banho do tipo 1 75
Tabela 4.3 - Pesos de referência dos critérios (AHP) 78
Tabela 4.4 - Avaliação dos subcritérios 79
Tabela 4.5 - Resultados da avaliação da FAD-PF 79
Tabela 4.6 - Síntese dos resultados observados durante a execução 81

SÍMBOLOS, SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AHP	*Analytic Hierarchy Process*
ANP	*Analytic Network Process*
BIM	*Building Information Modelling*
CGASC	CONSTRUÇÕES GABRIEL A. S. COUTO, S.A.
CI	Índice de Consistência (*Consistency Index*)
COPRAS	*Complex Proportional Assessment*
CR	Razão de Consistência (*Consistency Ratio*)
DfMA	*Design for Manufacturing and Assembly*
FAD - PF	Ferramenta de Apoio à Decisão para Pré-Fabricação
IVP	Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação
MCDM	Métodos de apoio multicritério à decisão (*Multi-Criteria Decision-Making Methods*)
MTQ	Mapa de Tarefas e Quantidades
Pods	Módulos de Instalações Sanitárias Pré-Fabricadas
PROMETHEE	*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*
TOPSIS	*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

O investimento na construção continua a registar uma evolução positiva, refletindo-se também num crescimento da produção do setor. No entanto, persistem alguns constrangimentos que dificultam a execução das empreitadas, destacando-se, a escassez de mão de obra qualificada e o aumento dos custos de construção (Figura 1.1) [1].

O acréscimo dos custos de construção resulta essencialmente de dois fatores: o aumento do custo dos materiais e o aumento do custo da mão de obra (Figura 1.2). Entre estes, é a mão de obra que tem maior impacto, contribuindo para o aumento dos custos de construção de forma significativamente superior [2].

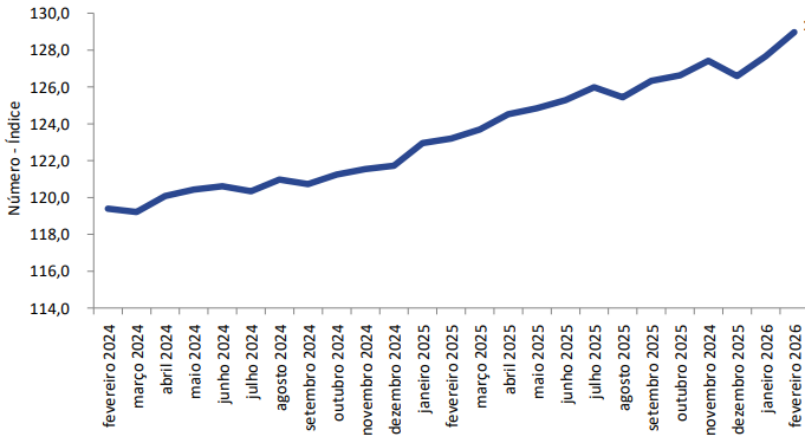


Figura 1.1 - Índice dos custos de construção de habitação nova [2]

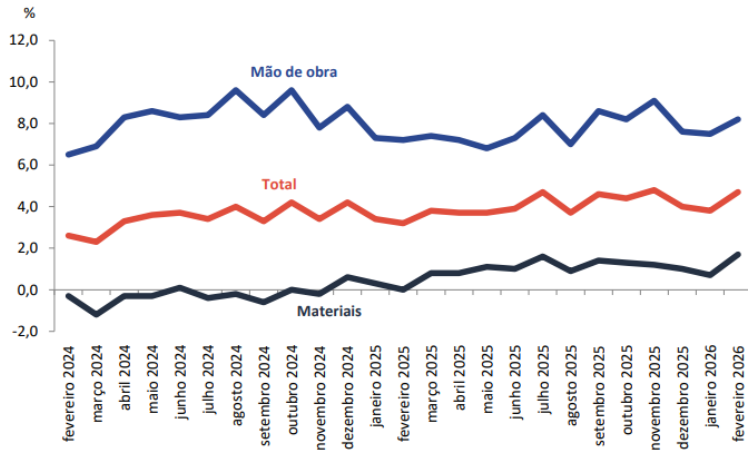


Figura 1.2 - Discriminação do índice dos custos de construção de habitação nova

Esta realidade demonstra que a mão de obra representa um desafio em duas frentes. Por um lado, a sua escassez dificulta a resposta às necessidades atuais do setor, comprometendo a capacidade de execução das empreitadas. Por outro, o aumento do seu custo reflete-se diretamente no custo final das obras, agravando os encargos associados à atividade da construção.

Este contexto evidencia que os desafios atualmente enfrentados pelas empresas de construção não decorrem apenas do aumento dos custos de produção, mas também da crescente dificuldade em assegurar os recursos humanos necessários para responder às exigências de prazo, qualidade e custo associadas às empreitadas, obrigando-as a procurar soluções que permitam executar as obras de forma mais eficiente.

Entre as diferentes estratégias identificadas para responder a estes desafios, a industrialização da construção tem vindo a assumir um papel de crescente relevância. O conceito de industrialização assenta na aplicação de princípios de produção industrial aos processos construtivos, promovendo a normalização, a repetibilidade, a racionalização dos processos de execução e a transferência de atividades tradicionalmente realizadas em obra para ambientes de fabrico controlados. Esta abordagem procura aumentar a produtividade, melhorar o controlo da qualidade, reduzir desperdícios e minimizar a influência das condicionantes inerentes ao estaleiro, como as condições climatéricas ou a disponibilidade de mão de obra [3].

No âmbito da construção industrializada, a construção *off-site* e a pré-fabricação modular têm grande potencial de adoção no setor da construção. Entre as diferentes soluções disponíveis, destacam-se os *Bathroom Pods* (ou simplesmente *Pods*), módulos tridimensionais de instalações sanitárias integralmente produzidos em fábrica, incluindo revestimentos, equipamentos sanitários, instalações hidráulicas, instalações elétricas e restantes componentes necessários ao seu funcionamento. Após a conclusão do processo de fabrico, os módulos são transportados para a obra e instalados na sua posição definitiva, reduzindo significativamente a quantidade de trabalhos a executar em estaleiro. Esta solução tem particular interesse por compreender vários trabalhos de diferentes especialidades que no método tradicional geralmente são realizados em diferentes momentos e por diferentes equipas, resultando em tempos de execução maiores e maior dependência entre especialidades, ou seja, o atraso de uma pode implicar o atraso das atividades subsequentes.

Há diversas vantagens associadas à utilização de *Pods*, nomeadamente a possibilidade de reduzir a duração de determinadas atividades de obra, melhorar o controlo da qualidade, diminuir a variabilidade dos processos construtivos, reduzir desperdícios e aumentar a previsibilidade da produção[3]. Contudo, estes benefícios não são universais, dependendo de fatores como a dimensão da empreitada, o número de módulos a produzir, a repetitividade das tipologias, a estratégia logística, a localização da obra, o processo de transporte e elevação dos módulos e a integração da solução nas fases iniciais de projeto e planeamento. Consequentemente, a decisão de recorrer a *Pods* deve resultar de uma avaliação técnica, económica e produtiva adaptada às características específicas de cada empreendimento, não sendo possível generalizar a sua aplicabilidade a todas as situações.

No contexto da presente investigação, desenvolvida em colaboração com a CONSTRUÇÕES GABRIEL A. S. COUTO, S.A. (CGASC), foi identificada a necessidade de dispor de uma metodologia que apoiasse a avaliação da viabilidade da utilização de *Pods* nas fases de preparação e planeamento das empreitadas. Esta necessidade constitui a motivação para o desenvolvimento da Ferramenta de Apoio à Decisão para Pré-Fabricação (FAD-PF), proposta na presente dissertação, cujo objetivo é estruturar e sistematizar a avaliação desta solução através de um conjunto de indicadores de apoio à decisão.

A presente dissertação é desenvolvida em ambiente empresarial, em colaboração com a CGASC, empresa que tem vindo a acompanhar a evolução das soluções de construção industrializada e que participou em empreitadas onde coexistem instalações sanitárias executadas pelo método tradicional e instalações sanitárias recorrendo a *Pods*. Esta circunstância proporciona a oportunidade de analisar dados reais de produção, nomeadamente tempos de execução e organização dos processos construtivos, permitindo comparar ambas as soluções num contexto empresarial.

1.2 OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo geral desenvolver uma Ferramenta de Apoio à Decisão para Pré-Fabricação (FAD-PF) que permita avaliar, de forma estruturada e objetiva, a viabilidade da utilização de módulos pré-fabricados de instalações sanitárias (*Pods*) em empreitadas de edifícios.

A ferramenta proposta pretende apoiar o processo de tomada de decisão nas fases iniciais de preparação das empreitadas, disponibilizando um conjunto de indicadores que permitam avaliar, considerando fatores técnicos, produtivos e económicos.

Para concretizar este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o estado da arte da construção industrializada, com particular enfoque na utilização de *Pods* em edifícios;
- Identificar os principais fatores que influenciam a decisão de utilizar módulos pré-fabricados de instalações sanitárias;
- Desenvolver um conjunto de indicadores que permitam avaliar a viabilidade técnica, produtiva e económica da utilização de *Pods*;
- Estruturar esses indicadores numa ferramenta de apoio à decisão, designada FAD-PF, aplicável à fase de preparação de empreitadas;
- Aplicar a FAD-PF a um caso de estudo de uma empreitada da CGASC onde as instalações sanitárias foram executadas com recurso a *Pods*.
- Avaliar os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta, analisando a sua capacidade para apoiar a tomada de decisão em futuros empreendimentos.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, nomeadamente:

- Capítulo 1: apresenta o enquadramento do tema, os objetivos da dissertação e a estrutura do documento.
- Capítulo 2: corresponde à revisão da literatura, abordando evolução da industrialização da construção e os princípios da construção *off-site*, a caracterização dos *Pods*, as suas principais vantagens e limitações e os fatores que condicionam a sua aplicação.
- Capítulo 3: descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento da FAD-PF, apresentando os critérios de avaliação e os indicadores que constituem a ferramenta proposta.
- Capítulo 4: apresenta o caso de estudo desenvolvido na CGASC, aplicando a FAD-PF e analisando os resultados obtidos.
- Capítulo 5: reúne as principais conclusões da investigação, as limitações do estudo e sugestões para futuros desenvolvimentos.

2
ESTADO DA ARTE

2.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre a industrialização da construção, a construção *off-site* e a utilização de *Pods*, abordando os conceitos fundamentais, as principais vantagens e limitações desta solução e os fatores que condicionam a sua aplicação. A análise efetuada constitui a base científica para a definição dos critérios de avaliação e dos indicadores que integram a Ferramenta de Apoio à Decisão para Pré-Fabricação (FAD-PF), desenvolvida no capítulo seguinte.

2.2 A EVOLUÇÃO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A identificação da origem da pré-fabricação não é consensual, uma vez que o seu desenvolvimento ocorreu de forma gradual, através de um conjunto de pequenas inovações que, apesar de nem sempre terem sido documentadas ou produzidas em larga escala, contribuíram para a evolução deste método construtivo. No entanto, a partir do século XVIII começam a surgir registos da utilização de estruturas pré-fabricadas para fins civis, particularmente em contexto colonial, refletindo a necessidade de soluções construtivas que permitissem responder às exigências de transporte, rapidez de montagem e ocupação de novos territórios [4].

Neste contexto, um dos exemplos mais relevantes é a *The Manning Portable Colonial Cottage for Emigrants* (Figura 2.1), desenvolvida no início do século XIX e frequentemente apontada como um marco na consolidação da pré-fabricação industrializada. Em 1827, um grupo de colonos britânicos que partiu para a Austrália Ocidental transportou consigo estas habitações desmontáveis, cujos componentes haviam sido fabricados em Inglaterra por Manning, carpinteiro e construtor civil. As peças eram produzidas de forma padronizada, embaladas de maneira compacta para facilitar o transporte marítimo e concebidas para serem montadas no local de destino com relativa facilidade [4, 5].

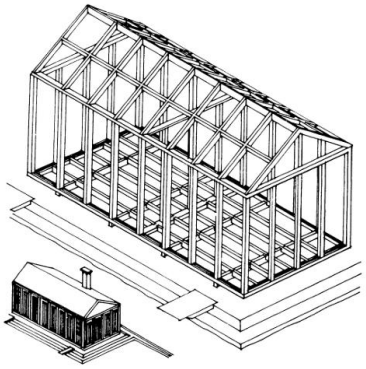


Figura 2.1 - Estrutura da casa colonial de Manning – "*The Manning Portable Colonial Cottage for Emigrants*" [6]

A inovação desta solução residia, sobretudo, na sua conceção orientada para a mobilidade. Os elementos construtivos apresentavam reduzidas dimensões e peso, permitindo o seu transporte manual mesmo em zonas de difícil acesso, sem necessidade de recorrer a equipamentos ou meios de tração animal. Estas características possibilitavam a rápida instalação das habitações em regiões remotas, respondendo às necessidades de expansão e fixação das populações em territórios coloniais. Com este modelo de Manning, a produção industrial avançou e foram fabricadas mais unidades destas e enviadas para as colónias (Figura 2.2) [4, 6].



Figura 2.2 - Uma variação da casa colonial de manning denominada *LaTrobe's Cottage* enviada para Austrália em 1839 [6]

Embora os primeiros exemplos de pré-fabricação estivessem associados sobretudo à construção de habitações destinadas à expansão colonial, foi com a Revolução Industrial que este método construtivo conheceu um desenvolvimento significativo. Os avanços tecnológicos nos processos de fabrico e nos meios de transporte criaram as condições necessárias para a produção em série de componentes construtivos, permitindo a aplicação da pré-fabricação em projetos de maior escala e complexidade [4].

Nos primeiros anos da Revolução Industrial, os avanços tecnológicos na mecanização da produção e no desenvolvimento dos sistemas de transporte impulsionaram uma transformação significativa no setor da construção. A produção de elementos construtivos em madeira e ferro fundido passou a ser realizada de forma mais eficiente e economicamente viável, permitindo o fabrico de componentes por encomenda com maior rapidez e precisão [4].

Neste contexto, destaca-se o projeto do *Crystal Palace* (Figura 2.3), concebido por Joseph Paxton para a Grande Exposição de Londres de 1851, frequentemente considerado um marco na evolução da construção pré-fabricada. O edifício incorporou os mais recentes progressos na produção de ferro fundido e de vidro, recorrendo a um sistema modular em que os diferentes componentes eram fabricados previamente em fábrica, transportados para o local da obra e posteriormente montados. Esta abordagem permitia, não só uma montagem rápida, mas também a desmontagem da estrutura, evidenciando um elevado grau de flexibilidade para a época [4, 7].

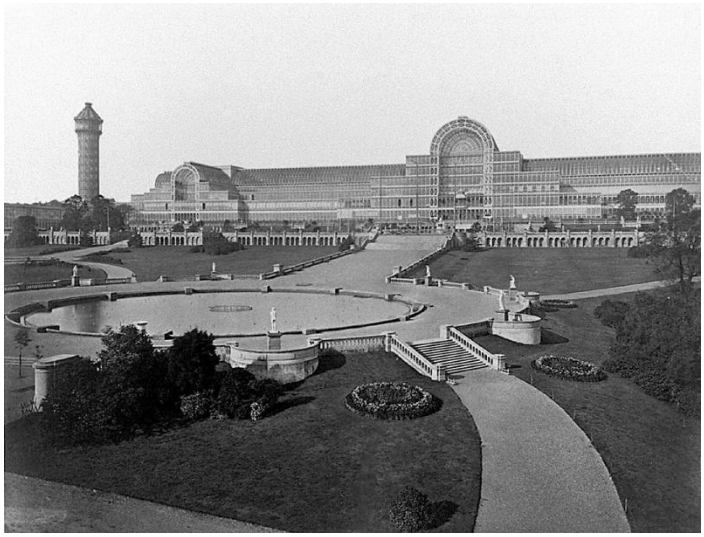


Figura 2.3 - *Crystal Palace*, concebido por Joseph Paxton [7]

Um dos aspetos mais inovadores do projeto foi a utilização de componentes pré-fabricados de grandes dimensões, em particular dos painéis de vidro e estruturas metálicas de suporte da cobertura (Figura 2.4). A produção de chapas de vidro de grandes dimensões constituía, à data, um avanço tecnológico recente, cuja aplicação em larga escala conferiu ao edifício um carácter pioneiro. Simultaneamente, a dimensão e a relevância nacional do projeto favoreceram a concentração de recursos, conhecimentos técnicos e capacidade industrial, possibilitando a conclusão da obra no prazo de apenas seis meses [4].



Figura 2.4 - Elevação de parte da estrutura metálica da cobertura do *Crystal Palace* [8]

Apesar do sucesso alcançado pelo *Crystal Palace* e por outros projetos contemporâneos que recorreram à pré-fabricação, estas soluções revelaram limitações quando aplicadas à construção corrente. Os benefícios da industrialização eram mais evidentes em obras de grande escala e elevada complexidade, onde a repetição de elementos e a necessidade de cumprir prazos rigorosos justificavam o investimento em processos industrializados. Em contrapartida, a diversidade e a menor padronização das construções convencionais dificultavam a generalização destas técnicas [4].

Assim, no final do século XIX, a industrialização da construção continuava essencialmente associada à mecanização do fabrico de componentes, como elementos de madeira, pregos e peças em ferro fundido. Paralelamente, verificou-se uma evolução dos modelos de produção, que passaram de um sistema baseado na produção por encomenda para um modelo de produção para stock, permitindo a comercialização de componentes normalizados através de catálogos especializados e facilitando o seu acesso a um mercado cada vez mais amplo (Figura 2.5) [4, 9].

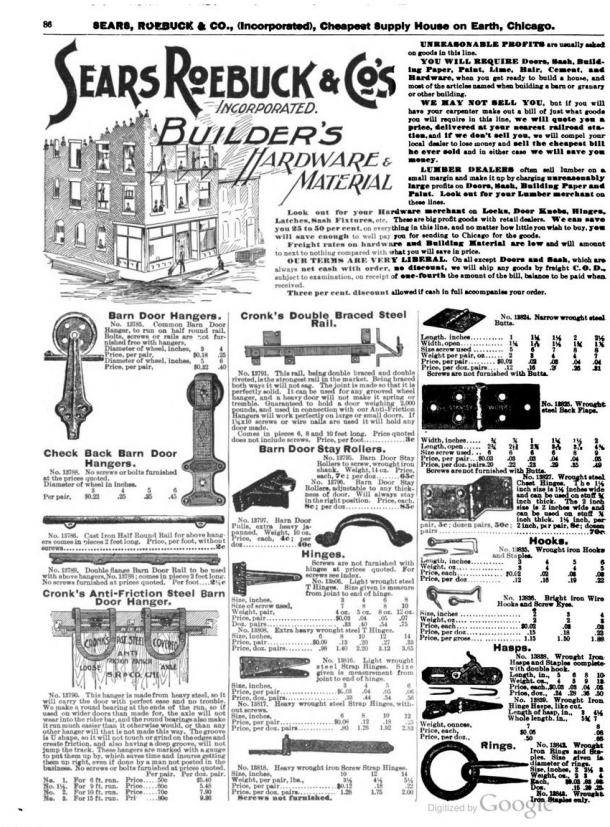


Figura 2.5 - *Sears, Roebuck and Co. Consumers Guide : Catalogue No. 104 : Spring 1897* [9]

O desenvolvimento da industrialização da construção conheceu um novo impulso no início do século XX, impulsionado pela generalização do betão armado como material estrutural. A facilidade de moldagem deste material permitiu a produção de elementos de diferentes dimensões e formas, favorecendo o aparecimento dos primeiros sistemas construtivos baseados em componentes padronizados [4].

Neste período, vários arquitetos do Movimento Moderno desempenharam um papel determinante na afirmação da construção industrializada. Nomes como Frank Lloyd Wright e Le Corbusier procuraram conciliar a inovação tecnológica com uma nova linguagem arquitetónica, explorando as potencialidades do aço, do betão armado e dos sistemas modulares. Para além da dimensão técnica, estes arquitetos defendiam que a industrialização poderia contribuir para tornar a habitação mais acessível, económica e adaptada às necessidades da sociedade contemporânea [4].

Um dos primeiros exemplos desta abordagem foi o programa *American System-Built Homes*, desenvolvido por Frank Lloyd Wright entre 1911 e 1916. O projeto consistia num conjunto de modelos habitacionais produzidos a partir de módulos normalizados em madeira, integralmente fabricados em fábrica e fornecidos como um sistema completo de construção (Figura 2.6). Todos os elementos estruturais chegavam previamente cortados, identificados e acompanhados dos acessórios necessários à montagem, reduzindo significativamente o tempo de construção, o desperdício de materiais e a necessidade de mão de obra especializada em obra. Mais do que comercializar componentes isolados, o sistema oferecia uma solução integrada, garantindo maior controlo sobre a qualidade final da construção [4].

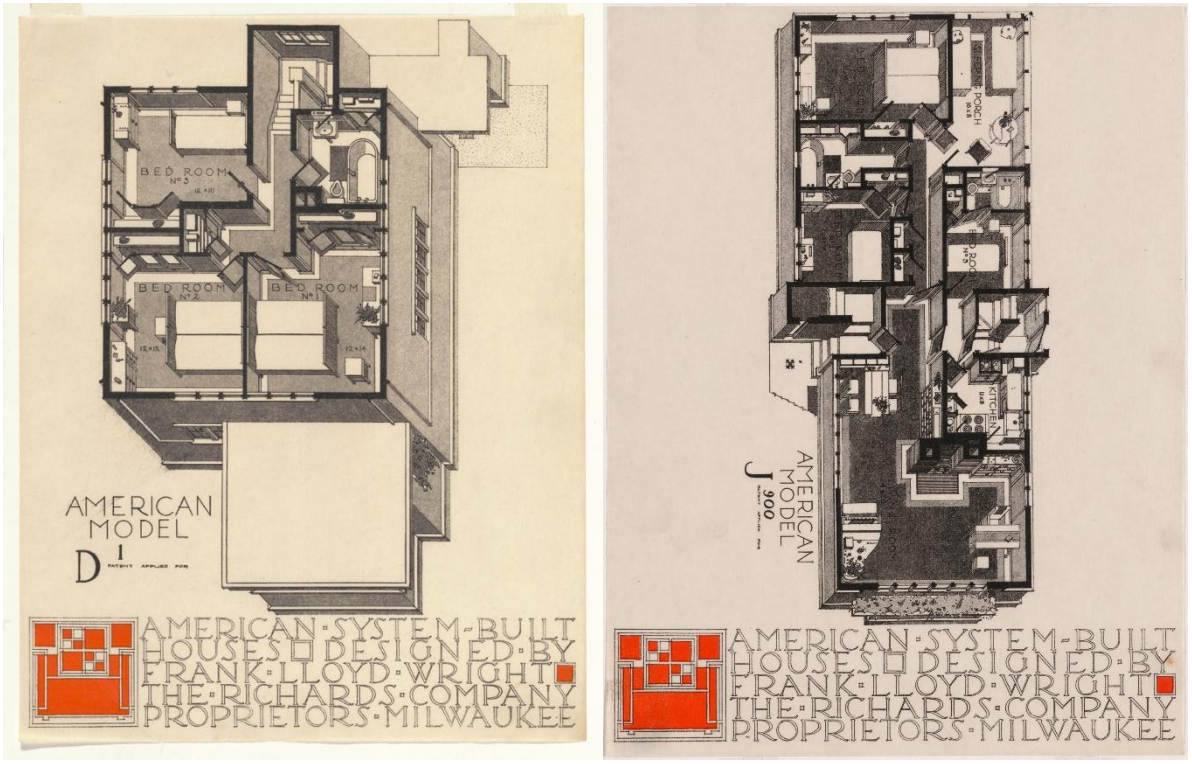
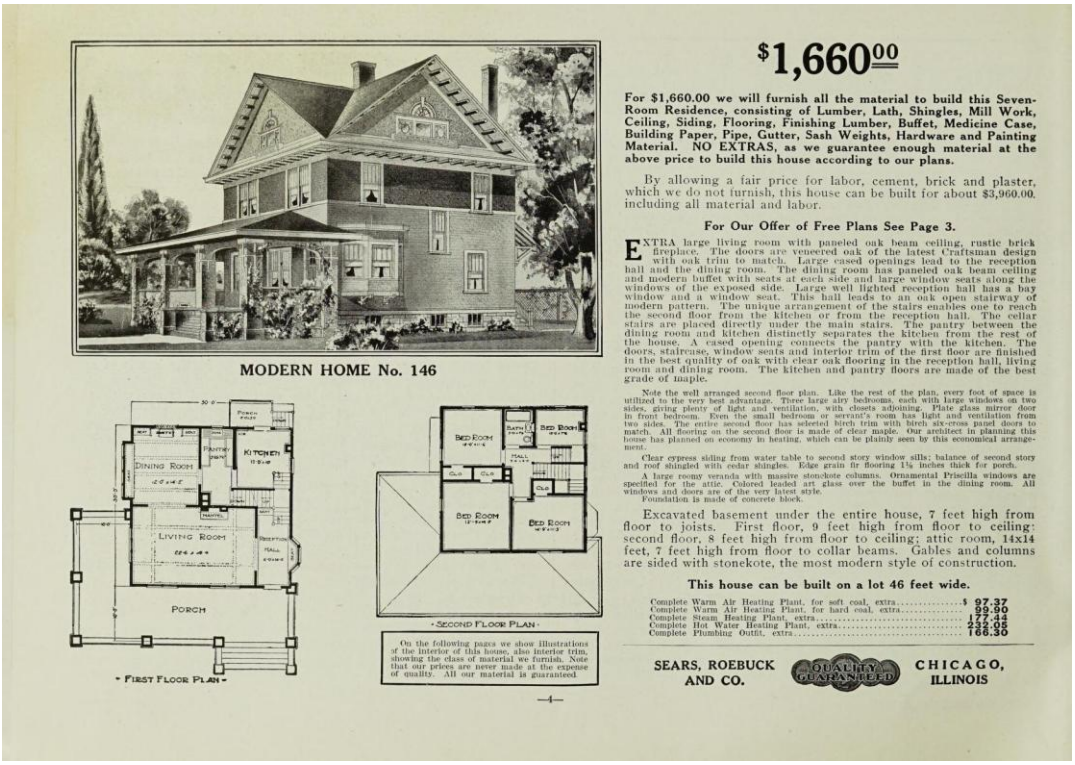


Figura 2.6 - Plantas dos modelos D1 e J900 do *American System-Built Homes* [10]

Nos Estados Unidos, a industrialização da habitação conheceu igualmente uma ampla difusão através das casas por catálogo comercializadas pela Sears, Roebuck and Company entre 1908 e 1940 (Figura 2.7). Durante este período, a empresa disponibilizou centenas de modelos de habitações unifamiliares que podiam ser encomendados por catálogo e enviados por caminho de ferro para qualquer ponto do país. Cada habitação era fornecida sob a forma de um kit completo, composto por dezenas de milhares de peças previamente produzidas, cortadas e numeradas em fábrica, acompanhadas de instruções detalhadas para a sua montagem. Este modelo permitia reduzir significativamente o tempo de construção relativamente aos métodos tradicionais e constituiu um dos primeiros exemplos de produção habitacional em larga escala baseada em processos industriais, demonstrando que era possível conciliar padronização, eficiência produtiva e diversidade de soluções arquitetónicas (Anexo 1) [11].



$1,660.00

For $1,660.00 we will furnish all the material to build this Seven-Room Residence, consisting of Lumber, Lath, Shingles, Mill Work, Ceiling, Siding, Flooring, Finishing Lumber, Buffet, Medicine Case, Building Paper, Pipe, Gutter, Sash Weights, Hardware and Painting Material. NO EXTRAS, as we guarantee enough material at the above price to build this house according to our plans.

By allowing a fair price for labor, cement, brick and plaster, which we do not furnish, this house can be built for about $3,960.00, including all material and labor.

For Our Offer of Free Plans See Page 3.

MODERN HOME No. 146

EXTRA large living room with paneled oak beam ceiling, rustic brick fireplace. The doors are veneered oak of the latest Craftsman design with oak trim to match. Large cased openings lead to the reception hall and the dining room. The dining room has paneled oak beam ceiling and modern buffet with seats at each side and large window seats along the windows of the exposed side. Large well lighted reception hall has a bay window and a window seat. This hall leads to an oak open stairway of modern pattern. The unique arrangement of the stairs enables one to reach the second floor from the kitchen or from the reception hall. The cellar stairs are placed directly under the main stairs. The pantry between the dining room and kitchen distinctly separates the kitchen from the rest of the house. A cased opening connects the pantry with the kitchen. The doors, staircase, window seats and interior trim of the first floor are finished in the best quality of oak with clear oak flooring in the reception hall, living room and dining room. The kitchen and pantry floors are made of the best grade of maple.

Note the well arranged second floor plan. Like the rest of the plan, every foot of space is utilized to the very best advantage. Three large airy bedrooms, each with large windows on two sides, giving plenty of light and ventilation, with closets adjoining. Plate glass mirror door in front bedroom. Even the small bedroom or servant's room has light and ventilation from two sides. The entire second floor has selected birch trim with birch six-cross panel doors to match. All flooring on the second floor is made of clear maple. Our architect in planning this house has planned on economy in heating, which can be plainly seen by this economical arrangement.

Clear cypress siding from water table to second story window sills; balance of second story and roof shingled with cedar shingles. Edge grain fir flooring 1¼ inches thick for porch.

A large roomy veranda with massive stonekote columns. Ornamental Priscilla windows are specified for the attic. Colored leaded art glass over the buffet in the dining room. All windows and doors are of the very latest style.

Foundation is made of concrete block.

Excavated basement under the entire house, 7 feet high from floor to joists. First floor, 9 feet high from floor to ceiling; second floor, 8 feet high from floor to ceiling; attic room, 14x14 feet, 7 feet high from floor to collar beams. Gables and columns are sided with stonekote, the most modern style of construction.

This house can be built on a lot 46 feet wide.

Complete Warm Air Heating Plant, for soft coal, extra	$ 97.37
Complete Warm Air Heating Plant, for hard coal, extra	99.90
Complete Steam Heating Plant, extra	177.44
Complete Hot Water Heating Plant, extra	232.95
Complete Plumbing Outfit, extra	166.30

SEARS, ROEBUCK AND CO. CHICAGO, ILLINOIS

Figura 2.7 – Catalogo das *Modern Houses* da Sears, Roebuck and Company [12]

Enquanto nos Estados Unidos a industrialização se orientava para a produção em massa de habitações, na Europa o foco incidia no desenvolvimento de sistemas construtivos capazes de responder às necessidades de reconstrução e à crescente procura de habitação. Neste contexto, Le Corbusier apresentou, em 1914, o sistema *Dom-ino*, concebido a partir de uma estrutura independente em betão armado composta por lajes apoiadas em pilares, eliminando a função estrutural das paredes exteriores (Figura 2.8). Esta solução introduziu uma separação entre a estrutura resistente e a organização dos espaços interiores, permitindo uma maior liberdade na composição das fachadas e na distribuição das divisões.

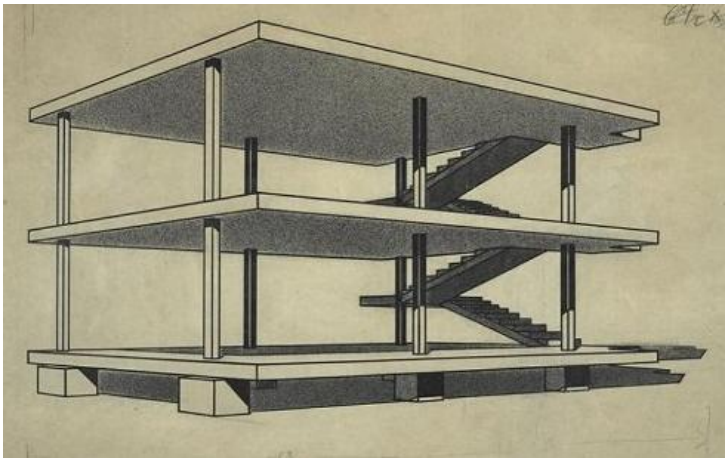


Figura 2.8 - Sistema *Dom-ino* concebido por Le Corbusier [13]

Os princípios desenvolvidos no sistema Dom-ino serviram de base a vários projetos posteriores de Le Corbusier, nomeadamente ao Bairro Frugès, em Pessac, e às casas *Citrohan*, onde procurou demonstrar que a industrialização não implicava uniformidade arquitetónica. A utilização de uma estrutura padronizada permitia produzir habitações em série, mantendo simultaneamente flexibilidade no desenho das fachadas e na organização dos espaços interiores.

Nas décadas seguintes, a industrialização da construção deixou de se centrar apenas na produção de componentes pré-fabricados, passando a privilegiar o desenvolvimento de sistemas construtivos modulares e de processos de montagem cada vez mais eficientes. O objetivo já não era apenas fabricar elementos em ambiente industrial, mas conceber os edifícios como um conjunto de submontagens (*sub-assemblies*), constituídas por componentes padronizados capazes de serem produzidos em série e montados rapidamente em obra.

Esta mudança foi impulsionada por arquitetos e engenheiros que defendiam uma maior racionalização da construção, através da normalização dos componentes, da utilização mais eficiente dos materiais e da otimização dos processos produtivos e logísticos. Entre estes destacou-se Walter Gropius que, durante a década de 1920, procurou aplicar à construção os princípios da produção em série já utilizados pela indústria automóvel norte-americana. Para Gropius, a industrialização exigia uma estreita colaboração entre arquitetos, engenheiros e indústria, permitindo desenvolver sistemas construtivos mais eficientes, com maior qualidade e custos mais reduzidos.

A partir da segunda metade do século XX, o conceito de modularização ganhou um papel central na evolução da construção industrializada. Buckminster Fuller foi um dos principais impulsionadores desta abordagem, defendendo que as habitações deveriam ser concebidas como produtos industriais, produzidos em fábrica e montados no local de implantação. Os seus projetos, nomeadamente a *Dymaxion House* (Figura 2.9), introduziram uma visão muito mais radical do que a das casas por catálogo: em vez de se limitar ao envio de um conjunto de peças para montagem em obra, Fuller procurava transformar a própria habitação num objeto industrial completo, leve, padronizado e facilmente transportável. A *Dymaxion House* foi pensada como uma casa de produção em série, composta por módulos funcionais e por componentes pré-fabricados, organizados em torno de um núcleo central metálico onde se concentravam as instalações técnicas e servia de fundação assim como estrutura de suporte do piso e da cobertura através de tirantes [4].

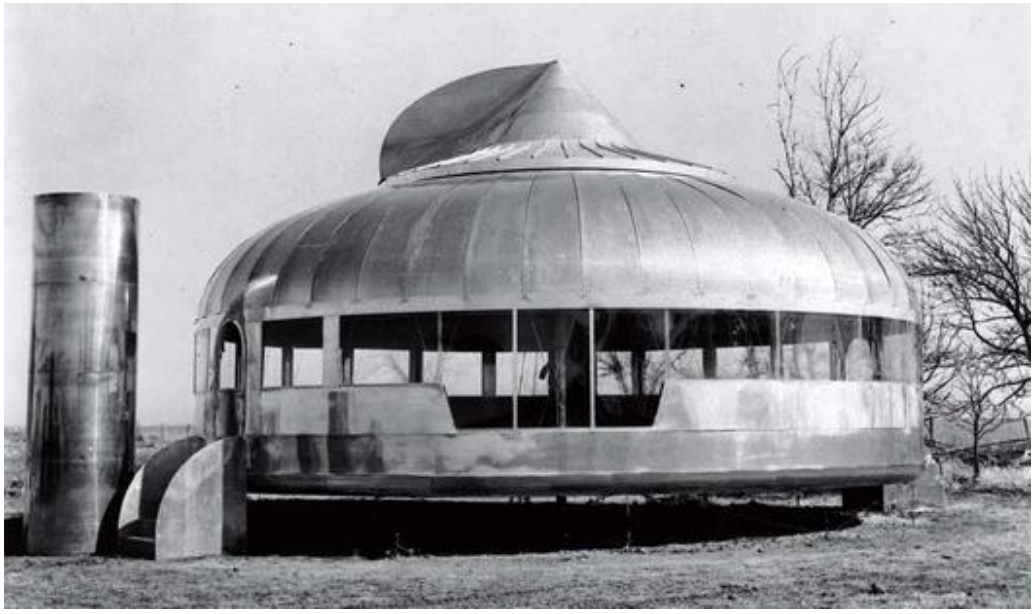


Figura 2.9 - *Dymaxion House* [14]

Esta solução permitia reduzir o peso global da construção, simplificar o transporte, acelerar a montagem e diminuir a dependência de mão de obra no estaleiro. Um dos exemplos mais emblemáticos desta lógica foi a casa de banho modular (Figura 2.10), concebida como uma unidade pré-fabricada de reduzido peso, facilmente transportável e instalada de forma autónoma no edifício [4].

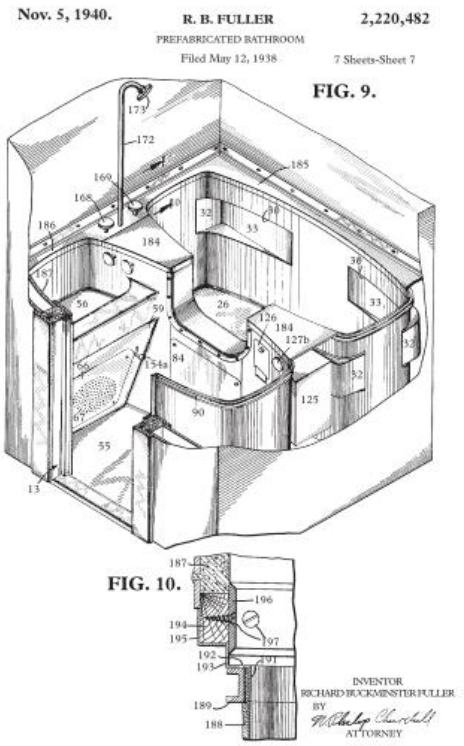


Figura 2.10 - A casa de banho modular de Fuller - *Dymaxion bathroom* [4]

Paralelamente, Konrad Wachsmann aprofundou os princípios da modularização ao desenvolver sistemas construtivos assentes em painéis normalizados e ligações padronizadas (Figura 2.11). Em colaboração com Walter Gropius, criou o *General Panel System*, um sistema habitacional baseado em painéis produzidos em fábrica e montados em obra através de ligações concebidas para simplificar o processo construtivo. Embora o sistema não tenha alcançado o sucesso comercial esperado, introduziu conceitos fundamentais relacionados com a normalização dos componentes, a racionalização das ligações e a organização sequencial da montagem, princípios que mais tarde influenciariam o desenvolvimento da automação e da robótica aplicadas à construção [4].

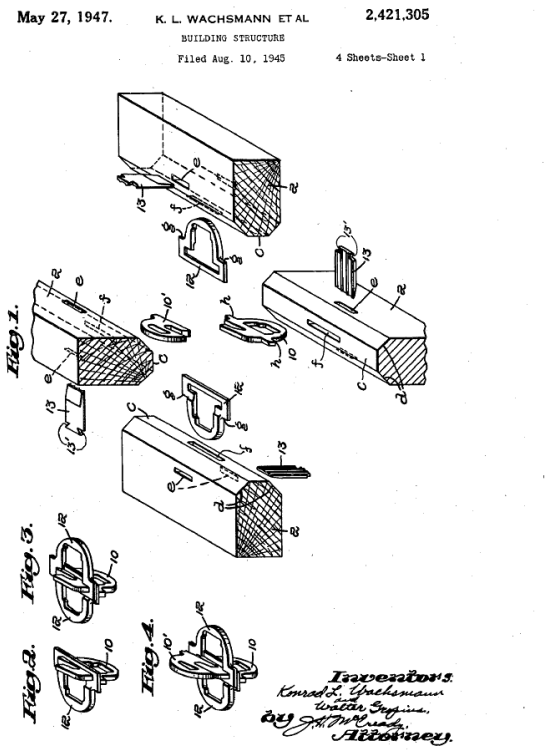


Figura 2.11 - Sistema de ligação universal desenvolvido por Wachsmann para o *General Panel System* [15]

Nas décadas de 1960 e 1970, a discussão sobre a industrialização da construção evoluiu para uma nova perspetiva, centrada na flexibilidade dos edifícios. N. John Habraken propôs a separação entre a estrutura permanente do edifício e os elementos interiores, permitindo que a organização dos espaços pudesse ser adaptada ao longo do tempo sem comprometer a estrutura principal. Esta abordagem conciliava a produção industrial de componentes padronizados com a possibilidade de personalização por parte do utilizador, demonstrando que a industrialização não implicava necessariamente uniformidade arquitetónica [4].

Deste modo, ao longo do século XX, a industrialização da construção evoluiu de uma lógica baseada na simples pré-fabricação de componentes para uma abordagem integrada, que passou a considerar todo o ciclo construtivo, desde a conceção modular e a normalização dos elementos até à produção industrial, transporte, montagem e adaptação dos edifícios às necessidades dos seus utilizadores. Muitos destes princípios continuam a constituir a base dos atuais sistemas de construção industrializada e modular.

Nas últimas décadas, a industrialização da construção tem evoluído para um novo paradigma, frequentemente designado por *Construção 4.0*, que resulta da integração entre os princípios da construção industrializada e as tecnologias digitais. Enquanto as primeiras abordagens privilegiavam a padronização, a pré-fabricação e a produção em série, a evolução tecnológica veio permitir uma gestão integrada de todo o ciclo de vida do edifício, desde a fase de projeto até à produção, transporte, montagem e operação.

A construção *offsite* assume atualmente um papel central nesta transformação, uma vez que aproxima a construção dos modelos de produção utilizados na indústria transformadora. Os componentes deixam de ser produzidos de forma isolada e passam a integrar um processo contínuo, em que projeto, fabrico, logística e montagem são planeados de forma coordenada. Esta integração reduz a fragmentação tradicional do setor da construção, melhora a comunicação entre os diferentes intervenientes e contribui para aumentar a produtividade, a qualidade e a previsibilidade dos processos construtivos [16].

Um dos principais impulsionadores desta evolução é a digitalização dos processos. A utilização de metodologias como o *Design for Manufacturing and Assembly (DfMA)* promove a conceção dos edifícios tendo em consideração, desde as fases iniciais do projeto, a facilidade de fabrico, transporte e montagem dos componentes. Paralelamente, a disseminação do *Building Information Modelling* (BIM) permite centralizar e partilhar informação entre todos os intervenientes, facilitando a coordenação do projeto e reduzindo erros durante a execução (Figura 2.12) [16].

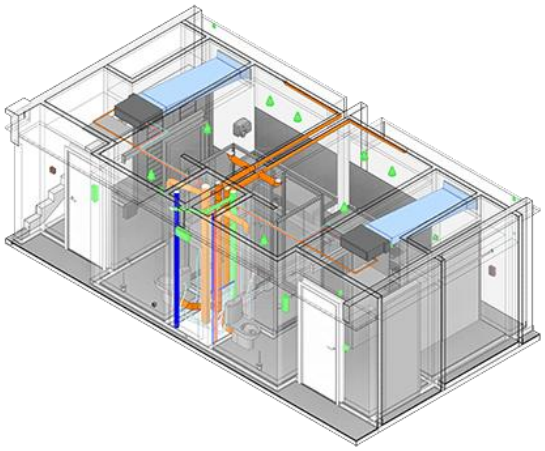


Figura 2.12 - Modelo BIM compatibilizando diversas especialidades [17]

Mais recentemente, o desenvolvimento do conceito de gémeo digital (*Digital Twin*) representa uma nova etapa da industrialização da construção. Ao contrário do BIM, que constitui essencialmente um modelo digital desenvolvido durante a fase de projeto, o gémeo digital estabelece uma ligação contínua entre o modelo virtual e o edifício físico, permitindo a atualização da informação em tempo real ao longo de todo o ciclo de vida da construção. Esta capacidade de monitorização e de retroalimentação dos dados favorece uma gestão mais eficiente dos processos produtivos e uma tomada de decisão mais rápida e fundamentada [16].

A evolução da Construção 4.0 tem igualmente impulsionado a adoção de tecnologias como a Internet das Coisas (*Interntet of things* - IoT), inteligência artificial, visão computacional, robótica e sistemas automatizados de produção. Estas soluções permitem monitorizar a produção e a montagem dos componentes, otimizar a logística, prever desvios ao planeamento e apoiar a tomada de decisão, contribuindo para uma construção mais eficiente, sustentável e resiliente [16].

Assim, a industrialização da construção deixou de estar associada apenas à produção de componentes pré-fabricados, passando a assentar na integração entre processos industriais, tecnologias digitais e gestão inteligente da informação. Este novo paradigma representa uma evolução natural dos princípios desenvolvidos ao longo do século XX, reforçando a produtividade, a qualidade, a sustentabilidade e a capacidade de adaptação da construção às exigências atuais do setor.

2.3 CONSTRUÇÃO *OFF-SITE* E CONSTRUÇÃO MODULAR

A construção *off-site* engloba um conjunto de métodos construtivos caracterizados pela produção parcial ou total de elementos de um edifício fora do local definitivo de implantação, sendo posteriormente transportados para a obra para montagem ou instalação. O grau de pré-fabricação pode variar significativamente, originando diferentes sistemas construtivos que se distinguem pelo nível de industrialização e pela dimensão dos elementos produzidos em fábrica.

De forma geral, as soluções *off-site* podem ser agrupadas em diferentes categorias. As mais comuns incluem (Figura 2.13) [18]:

Sistemas unidimensionais (1D) - correspondem a componentes lineares, com uma dimensão dominante, produzidos em fábrica, como vigas, pilares, treliças e terças, que são posteriormente incorporados na estrutura da obra.

Sistemas bidimensionais (2D) - são constituídos por elementos planos, com duas dimensões dominantes e espessura reduzida: paredes, lajes e coberturas pré-fabricadas.

Sistemas tridimensionais (3D) - correspondem a módulos volumétricos que integram piso, paredes e cobertura, formando unidades espaciais produzidas em fábrica e posteriormente transportadas para o local de implantação.: Módulos de compartimentos e edifícios completos.

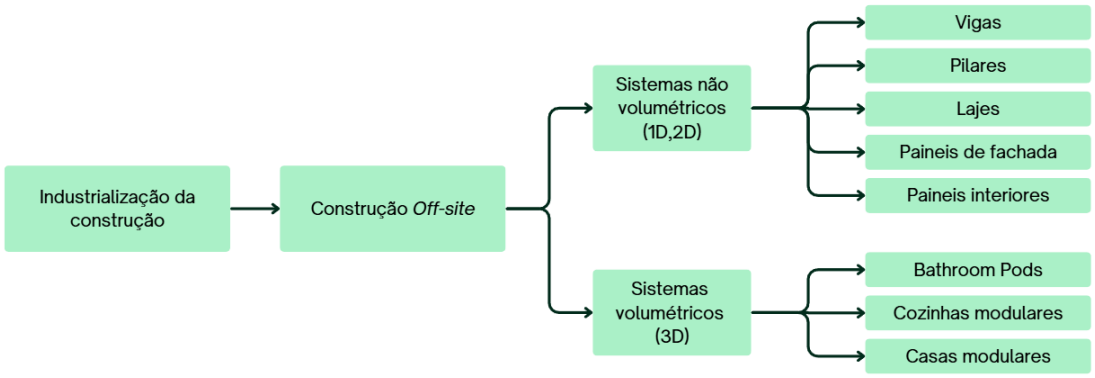


Figura 2.13 - Diferentes tipos de sistemas ligados a construção *off-site*

Entre estas soluções, os sistemas tridimensionais distinguem-se pelo seu elevado grau de industrialização, permitindo que os módulos sejam produzidos com um nível significativo de acabamento e equipados com instalações técnicas, revestimentos e outros elementos construtivos antes do seu transporte para a obra. Uma das aplicações mais representativas desta abordagem consiste nos *Pods* (Figura 2.14), módulos pré-fabricados de instalações sanitárias que constituem o foco da presente dissertação e cuja caracterização é apresentada na secção seguinte.



Figura 2.14 – Módulo pré-fabricado de uma instalação sanitária (*Pod*) [19]

2.4 *BATHROOM PODS*

2.4.1 Definição e Enquadramento

Os *Pods* são módulos tridimensionais pré-fabricados de instalações sanitárias, produzidos em ambiente industrial e transportados para a obra para serem instalados na sua localização definitiva. Cada módulo integra, num único elemento volumétrico, a estrutura, os revestimentos interiores, as redes técnicas (hidráulicas, elétricas e de ventilação), os equipamentos sanitários e os respetivos acabamentos, chegando à obra com um elevado grau de conclusão. Desta forma, grande parte das atividades tradicionalmente executadas em estaleiro é transferida para um ambiente de fabrico controlado, onde é possível assegurar maior rigor, qualidade e repetibilidade [20].

Os *Pods* constituem uma aplicação específica da construção modular e representam uma solução de construção off-site muito consolidada na indústria da construção. A sua utilização tem vindo a aumentar em edifícios caracterizados por uma elevada repetitividade funcional, como hotéis, hospitais, residências de estudantes e edifícios habitacionais multifamiliares, onde a produção em série permite tirar maior partido das vantagens associadas à industrialização dos processos construtivos [21].

Embora o conceito seja atualmente amplamente difundido, documenta-se a sua origem ao Japão, onde surgiu como resposta à necessidade de acelerar os processos construtivos num período de forte crescimento urbano. Em 1963, a empresa TOTO desenvolveu o primeiro sistema de *unit bathroom* (Figura 2.15) para o Hotel New Otani, em Tóquio. O projeto surgiu no contexto dos Jogos Olímpicos de Tóquio de 1964, que exigiam a construção de um elevado número de quartos num prazo muito reduzido. A adoção deste sistema permitiu instalar rapidamente as instalações sanitárias dos 1044 quartos do hotel, reduzindo significativamente o tempo de execução quando comparado com os métodos tradicionais [22].

Numa fase inicial, as *unit bathrooms* foram utilizadas sobretudo em hotéis e edifícios de habitação coletiva, tendo posteriormente sido adaptadas à habitação unifamiliar. As primeiras aplicações em edifícios residenciais multifamiliares surgiram em 1966, enquanto a sua introdução em moradias ocorreu apenas em 1977. A escassez de mão de obra, a necessidade de reduzir os prazos de construção e a maior facilidade de execução em regiões de clima frio constituíram alguns dos principais fatores que impulsionaram a sua disseminação no mercado japonês [22].



Figura 2.15 - *Unit bathroom* desenvolvida para o hotel Otani [22]

Esta tecnologia expandiu-se progressivamente para os mercados europeu e norte-americano. No Ocidente, os *Pods* começaram por ser utilizados principalmente em hotéis e residências de estudantes, onde a repetição dos compartimentos e a necessidade de cumprir calendários de construção rigorosos justificavam o investimento em soluções industrializadas [23]. Com o amadurecimento da tecnologia e o aumento da capacidade produtiva dos fabricantes, a sua aplicação estendeu-se a hospitais, habitação multifamiliar e outros programas de construção.

Do ponto de vista construtivo, os *Pods* distinguem-se pelo elevado grau de pré-fabricação, embora este possa variar consoante o fabricante e os requisitos do projeto. Existem módulos parcialmente acabados (Figura 2.16 – a), que necessitam da realização de algumas operações complementares em obra, e módulos totalmente equipados (Figura 2.16 – b), entregues praticamente prontos a utilizar após a ligação às infraestruturas do edifício. Em qualquer dos casos, o princípio mantém-se inalterado: deslocar para o ambiente industrial o maior número possível de operações tradicionalmente executadas em estaleiro, aumentando a produtividade, o controlo da qualidade e a previsibilidade do processo construtivo.



a) b)

Figura 2.16 – a) *Pod* com acabamentos interiores por fazer; b) *Pod* com acabamentos interiores feitos [24, 25]

Importa, contudo, distinguir os *Pods* dos módulos volumétricos completos utilizados na construção modular integral. Apesar de constituírem unidades tridimensionais, estes elementos não desempenham, regra geral, funções estruturais no edifício. O módulo é concebido para ser inserido na estrutura principal da construção, funcionando como um compartimento autónomo e não como um elemento portante. O acabamento exterior é normalmente realizado em obra, garantindo a integração com os restantes elementos construtivos e com os espaços adjacentes (Figura 2.17). Assim, os *Pods* representam um elevado nível de pré-fabricação ao nível do compartimento, mas apenas um grau parcial de modularização ao nível do edifício, uma vez que dependem sempre de uma estrutura resistente independente para o seu suporte.



Figura 2.17 - A esquerda está uma ilustração dos *Pods* antes do acabamento exterior e a direita após acabamento exterior [26]

2.4.2 Processo de fabrico

O fabrico dos *Pods* decorre em ambiente industrial, onde as diferentes operações são realizadas de forma sequencial e em condições controladas. Ao contrário da construção tradicional, em que as atividades são executadas diretamente em estaleiro e condicionadas por fatores como as condições climatéricas, a disponibilidade de mão de obra e a coordenação entre especialidades, a produção em fábrica permite uma maior normalização dos processos e um controlo mais rigoroso da qualidade.

Embora o processo de fabrico possa variar consoante o fabricante e a tipologia do módulo, este inicia-se, de forma geral, pela execução da estrutura resistente, sobre a qual são posteriormente instaladas as redes técnicas, nomeadamente as instalações hidráulicas, de drenagem, elétricas e de ventilação. Segue-se a aplicação dos revestimentos interiores, a montagem dos equipamentos sanitários, dos elementos de carpintaria e dos restantes acabamentos previstos em projeto (Figura 2.18). Em muitos casos, estas atividades são organizadas em linhas de produção, permitindo que diferentes equipas especializadas realizem operações específicas de forma sequencial e repetitiva, contribuindo para uma maior eficiência do processo produtivo [20].

Após a conclusão da montagem, os módulos são sujeitos a procedimentos de controlo de qualidade, que podem incluir inspeções dimensionais, ensaios de estanquidade das redes hidráulicas, verificação das instalações elétricas e inspeção dos acabamentos. A realização destes controlos em ambiente fabril permite identificar e corrigir eventuais não conformidades antes do transporte para a obra, reduzindo a necessidade de intervenções corretivas durante a fase de construção.

Concluído o processo de fabrico e verificada a conformidade do módulo com os requisitos do projeto, os *Pods* são preparados para transporte até ao estaleiro, onde serão instalados na sua posição definitiva e ligados às infraestruturas do edifício.

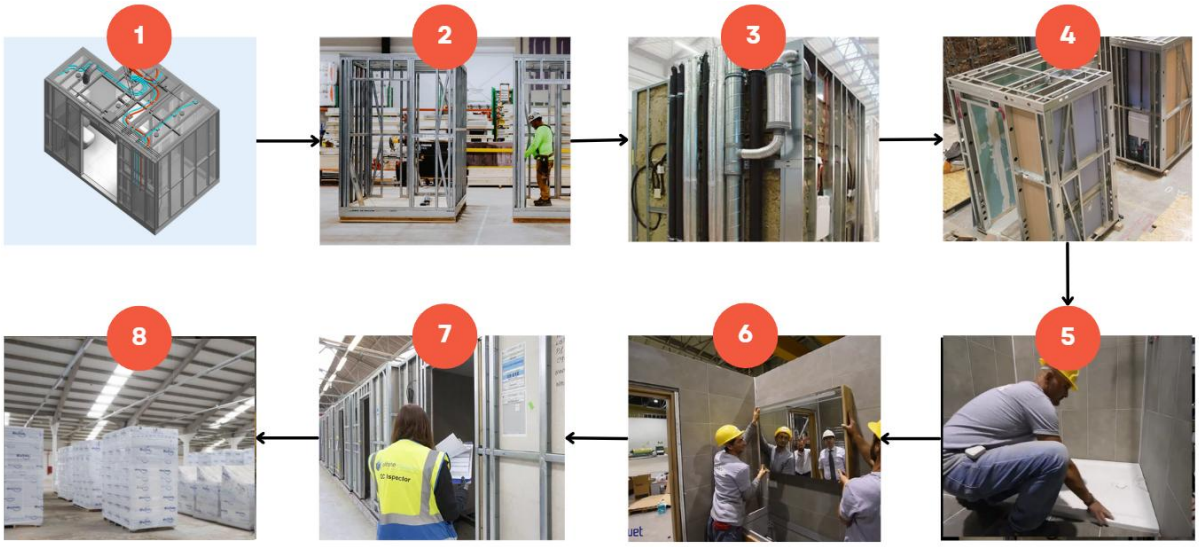


Figura 2.18 - Processo de fabrico dos *Pods*: 1 - Elaboração do Projeto; 2 - Concessão da estrutura de suporte do módulo; 3 – Instalação das redes técnicas; 4 – Aplicação de revestimentos; 5 – Instalação de equipamentos sanitários; 6 – Acabamentos interiores; 7 – Controle de qualidade; 8 – Preparação para transporte [20, 27-31]

2.4.3 Transporte e instalação

Concluído o processo de fabrico e realizados os respetivos controlos de qualidade, os *Pods* são preparados para transporte até ao estaleiro. Tratando-se de módulos totalmente acabados e equipados, o transporte constitui uma fase particularmente sensível, exigindo um planeamento logístico cuidado para garantir que chegam à obra em perfeitas condições. Durante esta etapa, é essencial assegurar a proteção dos acabamentos, a estabilidade dos módulos ao longo do percurso e o cumprimento das restrições legais aplicáveis ao transporte de cargas de grandes dimensões. [20].

Chegados ao estaleiro, os módulos são descarregados do camião recorrendo, normalmente, a uma grua móvel ou a uma grua de torre (Figura 2.19).



a) b)

Figura 2.19 – a) Descarga do módulo; b) Elevação do módulo [32, 33]

Após a descarga, podem ser movimentados até ao local de instalação através de equipamentos de transporte adequados, como paleteiras ou outros meios auxiliares (Figura 2.20), dependendo das condições de acesso e da organização do estaleiro.

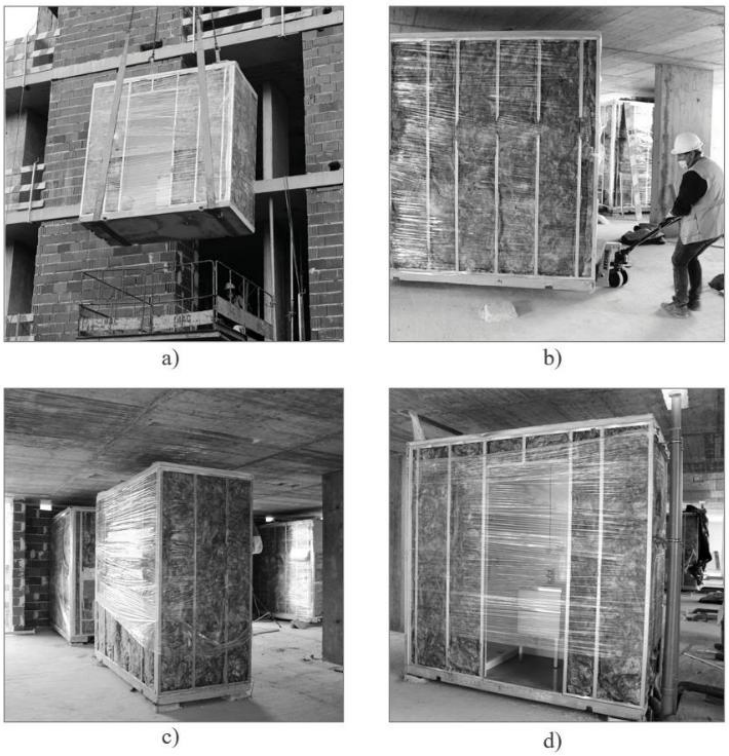


Figura 2.20 - a) Descarga do módulo no piso com recurso a grua; b) transporte do módulo até ao local de instalação no piso com recurso a prateleira manual; c) posicionamento do módulo na localização definitiva; d) Alinhamento e nivelamento do módulo [20]

Em função das características do estaleiro, os módulos podem ser instalados imediatamente após a sua chegada à obra ou permanecer temporariamente armazenados até ao momento da instalação. A disponibilidade de áreas de armazenamento adequadas pode aumentar a flexibilidade logística da empreitada, reduzindo a dependência de operações *just-in-time* e permitindo acomodar eventuais desvios entre o calendário de produção, o transporte dos módulos e a evolução da obra. Em contrapartida, empreitadas com espaço limitado tendem a exigir uma coordenação logística mais rigorosa entre fabricante, transportador e equipa de obra [34].

A colocação dos *Pods* na sua posição definitiva é efetuada à medida que a execução da estrutura do edifício o permite. Por este motivo, a sequência de instalação deve ser previamente articulada com o planeamento global da obra, uma vez que o avanço da construção pode limitar os acessos e dificultar as operações de elevação e posicionamento.

Depois de posicionados e devidamente alinhados, procede-se à ligação dos módulos às infraestruturas do edifício, nomeadamente às redes de abastecimento de água, drenagem, eletricidade e ventilação (Figura 2.21).



Figura 2.21 - Ligação de um módulo as infraestruturas do edifício [35]

Nesta fase são igualmente executados os acabamentos nas zonas de interface entre o módulo e os restantes elementos construtivos, assegurando uma integração funcional e estética com a arquitetura do edifício (Figura 2.22). Embora estas intervenções sejam bastante mais reduzidas do que as exigidas na construção tradicional, a sua correta execução é determinante para garantir o desempenho, a durabilidade e a funcionalidade das instalações sanitárias.



Figura 2.22 - Integração funcional e estética do módulo

O transporte e a instalação representam, assim, etapas fundamentais para o sucesso da utilização de *Pods*. Para além da qualidade do processo de fabrico, o desempenho desta solução depende da existência de um planeamento logístico adequado, da acessibilidade ao estaleiro, da disponibilidade de equipamentos de elevação e da coordenação entre as diferentes especialidades e fases da obra.

2.4.4 Comparação com a construção tradicional

A execução de instalações sanitárias pode ser realizada através da construção tradicional in situ ou mediante a utilização de *Pods*. Embora ambas as soluções tenham como objetivo disponibilizar um espaço funcional, seguro e com desempenho equivalente ao longo da sua vida útil, diferem significativamente na forma como o processo construtivo é organizado, na gestão dos recursos, no controlo da qualidade e na sequência das operações.

Na construção tradicional, todas as atividades são executadas diretamente em obra, envolvendo a intervenção sucessiva de diversas especialidades, como estruturas, alvenarias, instalações hidráulicas, instalações elétricas, impermeabilizações, revestimentos, carpintarias e montagem dos equipamentos sanitários. Este processo caracteriza-se por uma forte dependência da coordenação entre equipas, uma vez que o início de cada atividade está frequentemente condicionado pela conclusão da anterior. Além disso, a execução está sujeita às condições do estaleiro e a fatores externos, como as condições climatéricas, a disponibilidade de mão de obra e o fornecimento de materiais, que podem influenciar o cumprimento dos prazos [20].

A construção de uma casa de banho in situ inicia-se, geralmente, com a execução da estrutura e das paredes, seguindo-se a instalação das redes de abastecimento de água, drenagem, eletricidade e ventilação. Posteriormente, são aplicados os sistemas de impermeabilização, executados os revestimentos e instalados os equipamentos sanitários e restantes elementos de acabamento (Figura 2.23).

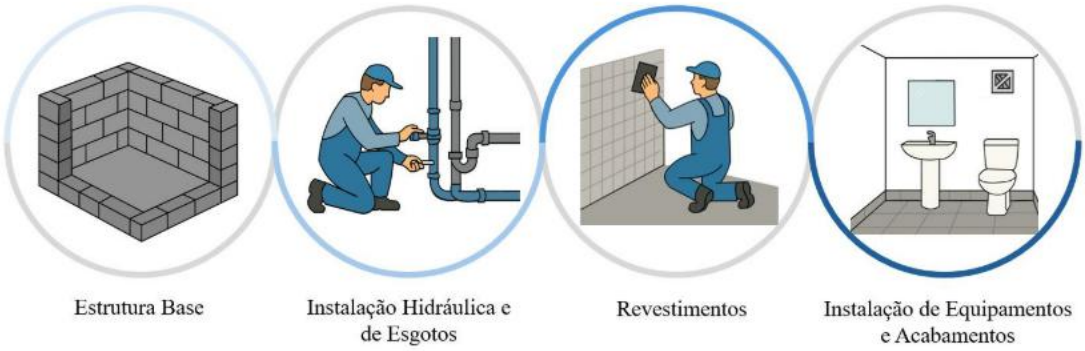


Figura 2.23 - Principais fases do processo de construção de uma casa de banho *in-situ* [20]

Este método oferece um elevado grau de flexibilidade, permitindo adaptar facilmente a solução às características específicas do edifício ou introduzir alterações durante a execução da obra. No entanto, esta flexibilidade está frequentemente associada a uma maior duração dos trabalhos, à necessidade de coordenação de um número elevado de intervenientes e a uma maior probabilidade de ocorrência de erros de execução, retrabalhos e desperdício de materiais. Adicionalmente, os tempos de cura das argamassas, impermeabilizações e revestimentos podem condicionar o avanço das restantes atividades, contribuindo para o prolongamento do prazo global da empreitada.

Em contraste, a utilização de *Pods* assenta num processo de construção industrializada, no qual uma parte significativa das atividades é transferida para um ambiente fabril. Os módulos são produzidos em linha de montagem, completamente equipados e sujeitos a procedimentos de inspeção e controlo de qualidade antes de serem transportados para o estaleiro. Enquanto decorre a fabricação dos módulos, a obra pode prosseguir em paralelo com a execução da estrutura e das restantes especialidades, reduzindo a duração total do projeto.

Paralelamente, a fabricação industrial contribui para uma utilização mais eficiente dos materiais, reduzindo a produção de resíduos e facilitando o controlo dos consumos de recursos. A diminuição do número de operações realizadas em obra traduz-se também numa melhoria das condições de segurança do estaleiro e numa menor perturbação das restantes atividades da empreitada [20].

Do ponto de vista económico, as duas soluções apresentam características distintas. A construção tradicional tende a exigir um investimento inicial menos concentrado, uma vez que os custos são distribuídos ao longo da execução da obra. Por sua vez, a utilização de *Pods* implica, frequentemente, um investimento inicial mais elevado, associado ao fabrico industrial dos módulos, ao transporte e ao planeamento logístico. Contudo, este acréscimo pode ser compensado pela redução dos prazos de execução, da necessidade de mão de obra em obra, dos desperdícios de materiais e dos custos associados a retrabalhos e atrasos. Assim, a avaliação económica destas soluções não deve basear-se apenas no investimento inicial, mas sim no custo global da sua implementação ao longo do processo construtivo [20].

Contudo, a adoção de *Pods* implica desafios específicos. O transporte dos módulos exige um planeamento logístico rigoroso, tendo em consideração as dimensões e o peso dos elementos, as condições de acesso ao estaleiro e a disponibilidade de equipamentos de elevação. Além disso, o sucesso desta solução depende de uma definição atempada do projeto, uma vez que alterações após o início da produção são mais difíceis de implementar e podem implicar custos adicionais.

De seguida, apresenta-se a tabela 2.1 que compara as principais características da construção tradicional e da utilização de *Pods*.

Tabela 2.1 - Comparação entre a construção *in-situ* e os módulos pré-fabricados de casas de banho

Característica	Construção *in-situ*	*Pods*
Local de execução	Estaleiro	Fábrica
Processo construtivo	Predominantemente sequencial	Produção industrial paralela à obra
Coordenação entre especialidades	Realizada maioritariamente em obra	Realizada sobretudo em fábrica
Controlo de qualidade	Durante a execução em obra	Em ambiente industrial, antes da entrega
Prazo de execução	Geralmente superior	Tendencialmente inferior
Flexibilidade para alterações	Elevada	Mais limitada após o início da produção
Dependência da mão de obra em obra	Tendencialmente maior	Tendencialmente menor

Desperdício de materiais	Tendencialmente maior	Tendencialmente menor
Produção de resíduos	Tendencialmente maior	Tendencialmente menor
Segurança em obra	Tendencialmemte maior exposição a riscos	Menor número de operações em estaleiro
Planeamento logístico	Moderado	Elevado
Investimento inicial	Geralmente inferior	Tendencialmente superior, dependendo da escala

Importa salientar que estas diferenças não permitem concluir que uma solução seja universalmente superior à outra. A adequação da construção tradicional ou da utilização de *Pods* depende das características específicas de cada empreendimento, nomeadamente do número de instalações sanitárias, do grau de repetitividade dos espaços, da estratégia construtiva adotada, das condições logísticas do estaleiro, da disponibilidade de equipamentos de elevação, dos prazos de execução e dos objetivos definidos pelo dono de obra e pelo empreiteiro [20, 21].

Assim, a seleção da solução mais adequada deve resultar de uma avaliação integrada dos fatores técnicos, económicos, logísticos e ambientais associados a cada alternativa. Esta necessidade de analisar simultaneamente múltiplos critérios constitui uma das principais motivações para o desenvolvimento de metodologias de apoio à decisão, tema que será aprofundado nos capítulos seguintes.

2.5 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DA UTILIZAÇÃO DE *BATHROOM PODS*

2.5.1 Impacto no prazo de execução

O prazo de execução constitui um dos principais critérios considerados na avaliação da viabilidade da utilização de *Pods*, podendo contribuir para a redução da duração global das empreitadas, através de uma redução de 20 a 50% do tempo de execução das instalações sanitárias quando comparado com a solução sobretudo devido à transferência de atividades do estaleiro para um ambiente industrial, onde os módulos são produzidos em paralelo com a execução da estrutura do edifício. Contudo, o efeito no prazo global deve ser determinado através do planeamento da empreitada pois a redução da duração de uma atividade só antecipa a conclusão da obra se alterar o caminho crítico [20, 21].

Há um caso de estudo de um hospital de 360 camas nos Estados Unidos da América, onde foram utilizados 346 módulos de instalações sanitárias pré-fabricados. A comparação feita sobre o cronograma do projeto indicou que, com casas de banho construídas em obra, a empreitada demoraria 701 dias úteis, em vez dos 649 do cronograma base com módulos. Esta diferença de 52 dias úteis, cerca de 2,5 meses, equivale a 7,4%. Isto deveu-se à importância destas tarefas no caminho crítico da obra [36].

Contudo, a redução do prazo não depende exclusivamente da utilização de módulos pré-fabricados. Diversos autores salientam que os benefícios são mais expressivos em empreendimentos com um elevado número de instalações sanitárias repetitivas, onde é possível tirar partido da produção em série e da repetitividade dos processos. Por outro lado, em edifícios com reduzido número de módulos ou com soluções arquitetónicas muito diferenciadas, os ganhos temporais podem ser menos significativos [3, 20, 23].

Além disso, a obtenção destes benefícios depende de um adequado planeamento da empreitada, da coordenação entre as equipas de projeto, fabrico e obra, bem como da disponibilidade dos módulos no momento previsto para a sua instalação. Atrasos na produção, no transporte ou na montagem podem comprometer parte das vantagens inicialmente esperadas, evidenciando que o impacto no prazo resulta da articulação entre diversos fatores técnicos e organizacionais [20].

Um aspeto que impacta diretamente o início da produção é a necessidade de antecipar a definição do projeto (*design freeze*). Ao contrário da construção tradicional, onde é possível introduzir alterações durante a fase de execução, a produção de *Pods* exige que o projeto das instalações sanitárias esteja concluído e validado numa fase mais precoce da empreitada, permitindo o início da produção em fábrica. Embora esta antecipação contribua para a redução do prazo global da obra através da realização de atividades em paralelo, também reduz a flexibilidade para introduzir alterações de projeto numa fase posterior, exigindo uma maior coordenação entre projetistas, empreiteiro e fabricante. Assim, o grau de maturidade do projeto assume um papel determinante na viabilidade da adoção desta solução construtiva [21].

2.5.2 Impacto nos custos

O impacto económico da utilização de *Pods* tem sido amplamente discutido, embora ainda não exista consenso quanto à sua influência no custo global das empreitadas. Alguns estudos apontam para reduções de custos decorrentes da industrialização do processo construtivo e outros concluem que o investimento inicial associado aos módulos pré-fabricados pode ser superior ao da execução tradicional in situ [37]. Estas diferenças resultam, sobretudo, das características específicas de cada projeto, da sua dimensão e da metodologia utilizada na avaliação dos custos.

Numa análise dos custos diretos, consideram-se os custos da aquisição, de transporte, movimentação, elevação e instalação em obra. Em muitos casos, o custo unitário destes módulos é superior ao de uma instalação sanitária executada por métodos convencionais. No entanto, uma comparação baseada apenas no custo direto pode conduzir a conclusões pouco representativas da realidade. A utilização de soluções pré-fabricadas pode permitir uma redução significativa da mão de obra em obra, dos retrabalhos, dos desperdícios de materiais e da duração da empreitada, fatores que influenciam diretamente o custo global do projeto.

No caso de estudo do hospital referido no subcapítulo 2.5.1, o custo direto total dos 346 *Pods* foi de 9 498 000 $, contra 9 082 000 $ se fossem construídos em obra. A solução pré-fabricada foi, assim, 416 000 $ mais cara, o que corresponde a um acréscimo de 4,6%. Contudo, o recurso aos módulos permitiu evitar um prolongamento de 52 dias úteis no prazo da obra, o que representou uma poupança de 3 124 000 $ em custos gerais de estaleiro. Este valor supera largamente o sobrecusto de aquisição, o que evidencia o potencial dos custos indiretos para compensar o preço mais elevado dos módulos.

Daí surge a necessidade de avaliar os custos numa perspetiva global, abrangendo todo o ciclo de execução da empreitada e não apenas o investimento inicial [37]. A redução do prazo de construção, a menor dependência de mão de obra em estaleiro, o maior controlo de qualidade proporcionado pelo fabrico industrial e a diminuição dos trabalhos de correção podem traduzir-se em benefícios económicos significativos, ainda que nem sempre sejam imediatamente evidentes numa análise baseada exclusivamente no custo dos módulos.

2.5.3 Impacto na mão de obra e na produtividade

A escassez de mão de obra qualificada constitui atualmente um dos principais desafios enfrentados pelo setor da construção, condicionando a capacidade de resposta das empresas, o cumprimento dos prazos e a competitividade das empreitadas [1]. Neste contexto, a industrialização dos processos construtivos tem sido apontada como uma das estratégias para reduzir a dependência da execução tradicional em obra e melhorar a produtividade do setor [38].

A utilização de *Pods* permite transferir uma parte significativa das atividades tradicionalmente executadas em estaleiro para um ambiente industrial, reduzindo a necessidade de mobilizar diversos subempreiteiros para a execução das instalações sanitárias em obra e consequentemente reduzindo a dimensão das equipes a coordenar em obra e a sobreposição de atividades de diferentes especialidades. Esta reorganização do processo produtivo favorece a normalização das operações, reduz os tempos improdutivos e melhora a previsibilidade da produção [3].

A produção em ambiente industrial facilita a especialização das equipas e a repetição sistemática das operações, permitindo reduzir a variabilidade inerente aos processos executados em obra [39]. Consequentemente, a produtividade tende a aumentar, sobretudo em empreendimentos com elevado número de módulos idênticos, onde é possível beneficiar de economias de aprendizagem e da otimização das linhas de produção.

Apesar destes benefícios, a utilização de *Pods* não elimina a necessidade de mão de obra qualificada [39]. Pelo contrário, exige novas competências relacionadas com o fabrico industrial, a logística, o planeamento da produção e a coordenação entre projeto, fábrica e obra. Assim, mais do que reduzir a necessidade global de recursos humanos, esta solução promove uma redistribuição das competências ao longo da cadeia de valor da construção.

2.5.4 Impacto na qualidade

A qualidade é um aspeto frequentemente apontado como uma das principais vantagens da utilização de *Pods* [38]. O facto de os módulos serem produzidos em ambiente industrial permite que todas as operações decorram em condições controladas, favorecendo a padronização dos processos, a repetição consistente das tarefas e a implementação de procedimentos rigorosos de controlo da qualidade.

Outra vantagem prende-se com a possibilidade de realizar inspeções e ensaios ainda em fábrica, antes da expedição dos módulos para a obra [20]. Entre as verificações habitualmente efetuadas incluem-se o controlo dimensional, os ensaios de estanquidade das redes hidráulicas, os testes às instalações elétricas e a inspeção dos acabamentos. Esta abordagem permite identificar e corrigir eventuais não conformidades numa fase precoce, reduzindo a probabilidade de surgirem defeitos após a instalação dos módulos e, consequentemente, minimizando a necessidade de retrabalhos e intervenções corretivas.

Apesar destas vantagens, a qualidade final dos *Pods* não depende apenas da fase de fabrico. O transporte, o manuseamento e a instalação dos módulos representam etapas críticas, durante as quais podem ocorrer danos nos revestimentos, nos equipamentos ou nas ligações técnicas. Além disso, a correta ligação dos módulos às infraestruturas do edifício, bem como a execução cuidada dos acabamentos nas zonas de interface com os restantes elementos construtivos, é determinante para garantir o desempenho e a durabilidade da solução. Assim, a qualidade alcançada resulta da articulação eficaz de todas as fases do processo, desde o projeto e fabrico até ao transporte, instalação e receção da obra.

2.5.5 Impacto na segurança e saúde

A segurança e saúde no trabalho constituem um dos fatores que beneficiam da adoção de soluções pré-fabricadas, como os *Pods*. A industrialização deste elemento construtivo altera significativamente a forma como as atividades são distribuídas ao longo da empreitada, transferindo uma parte substancial das operações de um ambiente de obra, caracterizado pela variabilidade e imprevisibilidade, para um ambiente fabril, onde os processos são planeados, repetitivos e executados em condições controladas. Esta mudança reflete-se diretamente na redução da exposição dos trabalhadores a diversos riscos inerentes à construção tradicional.

Na execução convencional de instalações sanitárias, a reduzida dimensão dos compartimentos obriga à intervenção sucessiva de diferentes especialidades no mesmo espaço, originando situações frequentes de sobreposição de equipas e de interferência entre atividades. Esta realidade dificulta a circulação dos trabalhadores, aumenta a probabilidade de acidentes e torna mais complexa a gestão da segurança em obra. Com a utilização de *Pods*, a maioria destas operações deixa de ser realizada em estaleiro, reduzindo significativamente o número de intervenções necessárias e contribuindo para um ambiente de trabalho mais organizado e menos propenso à ocorrência de incidentes.

Esta solução também permite diminuir a exposição dos trabalhadores a tarefas fisicamente exigentes e a atividades de maior risco, como o corte de materiais, perfurações, trabalhos prolongados em posições ergonomicamente desfavoráveis ou a utilização simultânea de diversos equipamentos elétricos portáteis em espaços confinados [20]. Para além da redução do esforço físico, verifica-se também uma menor exposição ao ruído, ao pó e a outros agentes resultantes das operações de construção, promovendo melhores condições de trabalho e contribuindo para a prevenção de acidentes e de doenças profissionais.

Apesar destas vantagens, a utilização de *Pods* introduz riscos específicos que não devem ser desvalorizados. A movimentação de módulos de grandes dimensões exige operações de transporte e elevação cuidadosamente planeadas, envolvendo equipamentos de grande capacidade e procedimentos rigorosos de montagem. A definição dos pontos de elevação, a estabilidade das cargas, a coordenação entre os operadores dos equipamentos de movimentação e as equipas de instalação, bem como a verificação das condições de acesso e da capacidade estrutural da obra, tornam-se aspetos críticos para garantir a segurança durante esta fase.

2.5.6 Impacto na sustentabilidade

A sustentabilidade tem assumido uma importância crescente no setor da construção, impulsionando o desenvolvimento de soluções construtivas que promovam uma utilização mais eficiente dos recursos e reduzam os impactes ambientais das empreitadas. Neste contexto, a industrialização da construção e a utilização de *Pods* têm sido apontadas como estratégias com potencial para melhorar o desempenho ambiental dos projetos. [40]

A produção dos módulos em ambiente industrial permite uma maior racionalização da utilização de materiais, favorecendo a normalização dos processos produtivos e a redução de desperdícios quando comparada com a execução tradicional em obra. O fabrico em fábrica facilita igualmente a gestão e a separação dos resíduos gerados durante a produção, contribuindo para uma utilização mais eficiente dos recursos.

Por outro lado, a utilização de *Pods* implica operações adicionais de transporte entre a fábrica e o estaleiro, bem como a utilização de equipamentos de elevação para a sua instalação. Estes aspetos podem aumentar os impactes ambientais associados à logística, dependendo da localização do fabricante, da distância de transporte e das características da empreitada. Assim, o desempenho ambiental desta solução deve ser avaliado considerando todo o processo construtivo e não apenas a fase de produção dos módulos.

De um modo geral, os *Pods* podem contribuir para uma construção mais eficiente na utilização de recursos e na gestão de resíduos [40]. No entanto, os benefícios ambientais dependem das características específicas de cada empreendimento e da forma como a produção, o transporte e a instalação dos módulos são planeados e executados.

3
DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA PRÉ-FABRICAÇÃO (FAD-PF)

3.1 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA FAD-PF

O presente capítulo descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento da investigação, apresentando as diferentes etapas que conduziram à conceção da Ferramenta de Apoio à Decisão para a Pré-Fabricação (FAD-PF). A metodologia foi estruturada de forma a assegurar que a ferramenta desenvolvida assente em fundamentos científicos e responda ao objetivo da investigação, nomeadamente apoiar a avaliação da viabilidade da utilização de *Pods* em empreitadas de edifícios.

O desenvolvimento da FAD-PF, apresenta uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. A componente qualitativa está associada à revisão da literatura e à identificação dos fatores que influenciam a adoção de soluções pré-fabricadas, enquanto a componente quantitativa resulta da aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), utilizado para determinar a importância relativa dos critérios de avaliação através do julgamento de especialistas.

A metodologia seguida compreendeu cinco etapas principais. Numa primeira fase, foi realizada uma revisão da literatura com o objetivo de identificar os principais fatores associados à utilização de *Pods* e de outras soluções de pré-fabricação na construção de edifícios.

De seguida foram selecionados os critérios considerados mais relevantes para a avaliação da viabilidade da sua utilização.

Posteriormente, procedeu-se à determinação da importância relativa desses critérios através da aplicação do método AHP. Para o efeito, foi elaborado um questionário dirigido a especialistas do setor da construção, permitindo recolher os julgamentos necessários para a comparação paritária dos critérios e, consequentemente, calcular os respetivos pesos.

Com base nos resultados obtidos, foi desenvolvida a FAD-PF. A ferramenta foi estruturada de forma a avaliar a viabilidade da utilização de *Pods* através de um conjunto de critérios e subcritérios, combinando as pontuações atribuídas pelo utilizador com os pesos determinados pelo AHP.

Por fim, a ferramenta foi aplicada a um caso de estudo correspondente a uma empreitada de edifícios, com o objetivo de demonstrar o seu funcionamento e analisar a sua aplicabilidade em contexto real.

A Figura 3.1 apresenta, de forma esquemática, as principais etapas da metodologia adotada nesta investigação.

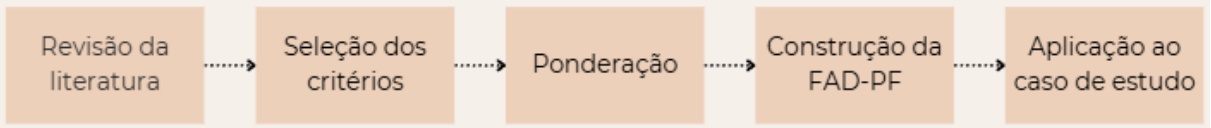


Figura 3.1 - Metodologia de desenvolvimento da FAD-PF

3.2 IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

A definição dos critérios de avaliação constitui uma etapa determinante no desenvolvimento da FAD-PF, uma vez que estes representam as dimensões através das quais é avaliada a viabilidade da utilização de *Pods* em empreitadas de edifícios. A robustez da ferramenta depende, em grande medida, da adequação dos critérios selecionados, pelo que a sua definição foi suportada por um processo metodológico estruturado, baseado na revisão da literatura e na análise crítica da evidência existente.

Conforme apresentado no Capítulo 2, a literatura sobre construção evidencia um número significativo de fatores associados à implementação de soluções pré-fabricadas. Contudo, verificou-se que estes fatores são apresentados sob diferentes perspetivas, recorrendo frequentemente a terminologias distintas e níveis de detalhe variados. Enquanto alguns autores descrevem os principais benefícios decorrentes da adoção de *Pods*, outros centram-se nos fatores críticos para o seu sucesso ou nas condições necessárias para a sua implementação.

Esta diversidade evidencia a inexistência de um modelo consensual para apoiar a decisão sobre a utilização de *Pods*, tornando necessária a realização de um processo de síntese que permitisse estruturar os fatores identificados em critérios de avaliação coerentes, abrangentes e aplicáveis ao contexto da presente investigação.

Para esse efeito, a identificação dos critérios desenvolveu-se em três etapas. Numa primeira fase, procedeu-se à identificação dos fatores reportados na literatura. Posteriormente, esses fatores foram confrontados com os resultados do estudo Delphi desenvolvido por Senger e Santos (2020), permitindo identificar aqueles que são considerados mais relevantes pelos especialistas da indústria. Finalmente, foi realizada uma análise crítica e o respetivo agrupamento conceptual dos fatores selecionados, da qual resultaram os critérios utilizados na FAD-PF [38].

3.2.1 Identificação dos fatores na literatura

A revisão da literatura permitiu identificar um conjunto alargado de fatores associados à adoção de *Pods*, abrangendo diferentes dimensões do desempenho de uma empreitada. Entre os fatores mais frequentemente referidos encontram-se a redução do prazo de execução, a diminuição dos custos, a melhoria da qualidade, o aumento da produtividade, a redução de retrabalhos, a repetitividade das unidades, a maturidade do projeto, a disponibilidade de mão de obra qualificada e as condições logísticas para transporte e instalação.

Apesar da diversidade de abordagens encontradas, observou-se uma elevada convergência relativamente aos objetivos pretendidos com a adoção desta solução construtiva. A maioria dos estudos aponta para ganhos ao nível da eficiência da construção, da previsibilidade do processo produtivo e da qualidade do produto final. No entanto, verificou-se igualmente que muitos dos fatores identificados apresentam relações de complementaridade ou representam diferentes perspetivas do mesmo fenómeno.

Por exemplo, diferentes autores referem a redução da duração da obra através de expressões como redução do tempo de construção, cumprimento do cronograma ou aceleração da execução. Embora descritos de forma distinta, todos estes fatores refletem uma mesma dimensão relacionada com o desempenho temporal da empreitada. Situação semelhante verifica-se relativamente aos custos, onde são referidas reduções de custos diretos, custos indiretos, desperdícios e retrabalhos, bem como na qualidade, frequentemente associada ao controlo do processo produtivo, à precisão de fabrico e à diminuição de defeitos.

Tornou-se, por isso, necessário proceder à sua validação e posterior síntese, distinguindo os fatores que apresentam maior relevância para a decisão daqueles que constituem apenas consequências ou benefícios da utilização de *Pods*.

3.2.2 Validação dos fatores

Com o objetivo de complementar a revisão da literatura e reforçar a fundamentação da seleção dos critérios de avaliação, foi analisado um estudo Delphi sobre os benefícios e os criadores de valor associados à utilização de *Pods* [38]. A consideração deste estudo revelou-se particularmente relevante por incidir especificamente sobre esta solução construtiva e por incorporar a perspetiva de profissionais da indústria da construção.

Este estudo Delphi permitiu distinguir os fatores que, na perspetiva dos especialistas consultados, apresentam maior capacidade para criar valor na adoção de *Pods*. Os resultados obtidos nesse estudo evidenciam, em particular, a relevância atribuída à redução do tempo de construção, à previsibilidade e redução dos custos, à melhoria da qualidade e do controlo de qualidade, bem como ao aumento da produtividade e à redução da dependência de mão de obra em obra. Este estudo também permitiu perceber que que apesar da segurança e da sustentabilidade serem fatores importantes no setor da construção e que a adoção de *Pods* em empreitadas tem potencial para melhorar estes dois fatores, eles não foram considerados na lista dos benefícios que mais criam valor, por isso não foram considerados como critérios que influenciam a adoção.

Importa, contudo, distinguir os conceitos de benefícios e criadores de valor. Os benefícios correspondem aos resultados potencialmente obtidos através da utilização de *Pods*, tais como a redução do prazo de execução ou a melhoria da qualidade final. Por sua vez, os criadores de valor correspondem aos mecanismos ou condições que contribuem para a obtenção desses resultados, incluindo a produção em ambiente controlado, a repetitividade das unidades, a redução de atividades em obra, a antecipação da definição do projeto e a racionalização da sequência construtiva.

Esta distinção foi relevante para o desenvolvimento da FAD-PF. Os benefícios mais valorizados pelos especialistas foram utilizados para definir as principais dimensões de avaliação da ferramenta, enquanto os criadores de valor e as características da empreitada foram utilizados posteriormente na definição dos subcritérios de avaliação. Desta forma, evitou-se a incorporação direta de um número excessivo de fatores no modelo, mantendo simultaneamente a ligação entre a ferramenta proposta, a evidência científica e a perspetiva dos profissionais do setor.

Assim, o estudo Delphi não foi utilizado para definir os pesos dos critérios da FAD-PF, uma vez que essa ponderação é realizada no âmbito da presente investigação através do método AHP. O seu contributo consistiu em apoiar a priorização dos fatores identificados na literatura e em reforçar a seleção das dimensões consideradas mais relevantes para a avaliação da viabilidade da utilização de *Pods*.

3.2.3 Síntese e agrupamento dos fatores identificados

A análise conjunta da revisão da literatura e dos resultados do estudo Delphi permitiu verificar que os fatores associados à utilização de *Pods* apresentam relações de complementaridade e, em alguns casos, sobreposição conceptual. Por esse motivo, a sua incorporação individual na FAD-PF resultaria numa ferramenta excessivamente extensa e de difícil aplicação em contexto empresarial.

Procedeu-se, assim, à síntese e ao agrupamento dos fatores considerados mais relevantes em quatro critérios principais: Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade. A seleção destes critérios procurou assegurar que a ferramenta abrangesse as principais dimensões de valor associadas à utilização de *Pods*, sem comprometer a simplicidade necessária à sua aplicação durante a fase de preparação da empreitada.

A Tabela 3.1 apresenta o processo de síntese efetuado.

Tabela 3.1 - Síntese e agrupamento dos fatores identificados

Fatores e benefícios identicados	Síntese	Critério
Redução do tempo de construção; cumprimento do cronograma; redução das atividades executadas em obra	Avaliação da influência da solução no desempenho temporal da empreitada	Prazo
Certeza do custo; redução dos custos diretos e indiretos; redução de desperdícios e retrabalhos	Avaliação da viabilidade económica global da solução	Custo
Melhoria da qualidade do produto; controlo de qualidade; redução de defeitos e não conformidades	Avaliação das exigências de qualidade e das condições para assegurar a conformidade da solução	Qualidade
Redução da dependência de mão de obra; construtibilidade; racionalização do processo; repetitividade	Avaliação do potencial de melhoria da eficiência produtiva da empreitada	Produtividade

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS ATRAVÉS DO MÉTODO AHP

3.3.1 Justificação da seleção do método AHP

Após a identificação dos critérios Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade, tornou-se necessário definir a sua importância relativa na avaliação da viabilidade da utilização de *Pods*. Apesar de os quatro critérios contribuírem para a decisão, não se pressupôs que apresentassem igual relevância. A importância atribuída a cada critério foi, por isso, determinada com base no julgamento de profissionais do setor da construção no mercado português.

Foram identificados diversos métodos de apoio multicritério à decisão (*Multi-Criteria Decision Making* – MCDM) aplicados ao setor da construção, entre os quais se destacam o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o *Analytic Network Process* (ANP), o *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), o *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE), o *Complex Proportional Assessment* (COPRAS) e o método Delphi, entre outros. Embora todos estes métodos sejam amplamente utilizados na resolução de problemas multicritério, a sua aplicabilidade depende da natureza do problema em análise e dos objetivos da investigação.

No âmbito da presente dissertação, o objetivo consistiu em determinar a importância relativa dos critérios que influenciam a viabilidade da utilização de Bathroom *Pods*, de forma a desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão. Assim, tornou-se necessário selecionar um método que permitisse transformar os julgamentos de especialistas em pesos quantitativos.

O método AHP foi considerado o mais adequado por permitir decompor um problema complexo numa estrutura hierárquica composta por critérios independentes, recorrendo a comparações paritárias para determinar a importância relativa de cada um deles. Esta abordagem é particularmente adequada quando se pretende obter pesos para critérios de decisão a partir da opinião de especialistas, mantendo simultaneamente um processo de cálculo simples, transparente e amplamente validado na literatura [41].

Embora o ANP constitua uma extensão do AHP, permitindo modelar relações de dependência entre critérios, a sua aplicação pressupõe a existência de interdependências significativas entre os elementos da estrutura de decisão. Na presente investigação, os critérios foram definidos como dimensões distintas e independentes de avaliação da viabilidade da utilização de *Pods*, pelo que a estrutura hierárquica do AHP respondeu adequadamente aos objetivos do estudo. A utilização do ANP implicaria uma implementação mais complexa, sem acrescentar benefícios relevantes para o problema em análise [42].

Por sua vez, métodos como o TOPSIS, PROMETHEE, COPRAS e VIKOR são predominantemente utilizados para classificar ou selecionar alternativas previamente definidas, exigindo a existência de uma matriz de desempenho das alternativas relativamente aos critérios considerados. No presente estudo, não se pretendeu comparar soluções alternativas, mas sim determinar a importância relativa dos critérios que integram a FAD-PF, pelo que estes métodos não se revelaram os mais adequados nesta investigação [42].

O método Delphi foi igualmente considerado durante o desenvolvimento da investigação. Contudo, o seu propósito consiste em obter consenso entre especialistas através de sucessivas rondas de consulta, não sendo um método destinado à determinação quantitativa dos pesos relativos dos critérios. Nesta investigação, o estudo Delphi analisado foi utilizado como suporte na identificação e validação dos fatores mais relevantes reportados na literatura, enquanto o AHP foi utilizado para determinar a importância relativa dos critérios selecionados.

3.3.2 Aplicação do método AHP

A aplicação do AHP baseou-se na comparação paritária dos quatro critérios. Assim, cada participante foi convidado a indicar, para cada par de critérios, qual considera mais importante na decisão de adoção de *Pods* e qual a intensidade dessa preferência. Considerando os quatro critérios selecionados, foram realizadas seis comparações paritárias (Figura 3.2).

Comparação 1: Prazo × Custo

Prazo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 2: Prazo × Qualidade

Prazo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qualidade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 3: Prazo × Produtividade

Prazo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produtividade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 4: Custo × Qualidade

Custo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qualidade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 5: Custo × Produtividade

Custo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produtividade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 6: Qualidade × Produtividade

Qualidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produtividade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 3.2 - Comparações paritárias

Os julgamentos foram efetuados com base na escala fundamental de Saaty [41], apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Escala fundamental de Saaty [41]

Intensidade	Significado
1	Igual importância
3	Importância moderada
5	Importância forte
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2, 4, 6 e 8	Valores intermédios

Nesta escala, o valor 1 representa igual importância entre dois critérios, enquanto os valores 3, 5, 7 e 9 representam, respetivamente, importância moderada, forte, muito forte e extrema de um critério relativamente a outro. Os valores pares correspondem a níveis intermédios de preferência. No fundo, pode fazer-se uma analogia com uma balança onde em cada extremo tem-se cada um dos critérios. Se o valor for 1 é porque ambos tem o mesmo peso, mas a medida que os valores vão aumentando para um dado lado, o peso do critério desse mesmo lado vai aumentando proporcionalmente. Na figura 3.3, temos um exemplo de comparação entre o prazo e o custo. É atribuído um valor de 5, deslocado para o lado do prazo o que quer dizer que na opinião do profissional, o prazo tem uma importância forte relativamente ao custo.

Comparação 1: Prazo × Custo

Prazo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo
	☐	☐	☐	☐	X	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 3.3 - Exemplo de comparação entre o prazo e o custo

Os valores recíprocos são utilizados quando o segundo critério da comparação foi considerado mais importante. Por exemplo, o critério Prazo foi considerado fortemente mais importante do que o critério Custo, sendo atribuído o valor 5 à comparação entre Prazo e Custo e o valor (1/5) à comparação inversa (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Matriz de comparação paritária exemplificativa

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade
Prazo	1.00	5.00	1/7	6.00
Custo	1/5	1.00	9.00	7.00
Qualidade	7.00	1/9	1.00	8.00
Produtividade	1/6	1/7	1/8	1.00

3.3.3 Questionário e participantes

A recolha dos julgamentos necessários à aplicação do método AHP foi realizada através de um questionário dirigido a profissionais do setor da construção civil. O questionário incluiu uma apresentação do objetivo da investigação, a definição dos quatro critérios de avaliação, a escala fundamental de Saaty e as seis comparações paritárias necessárias para a determinação dos pesos.

Foram contactados aproximadamente 150 profissionais pertencentes a empresas de construção e entidades relacionadas com a preparação, gestão e acompanhamento de empreitadas de edifícios.

A seleção dos participantes procurou abranger profissionais com experiência em funções relevantes para a tomada de decisão em empreitadas de edifícios, nomeadamente direção de obra, fiscalização, planeamento, orçamentação, gestão de produção e projeto e simultaneamente, tenham em algum momento da carreira trabalhado com elementos pré-fabricados, preferencialmente *Pods*. Esta diversidade permitiu recolher perspetivas complementares sobre os fatores que influenciam a adoção de soluções pré-fabricadas.

O questionário incluiu questões destinadas à caracterização dos participantes, incluindo a função profissional, os anos de experiência, as áreas de atuação e a experiência prévia com elementos pré-fabricados e *Pods*. A experiência direta com *Pods* não foi definida como requisito obrigatório de participação, uma vez que a sua aplicação permanece limitada no contexto português. Contudo, esta variável foi recolhida para permitir a adequada caracterização da amostra e a contextualização dos resultados.

O questionário aplicado aos participantes encontra-se apresentado no Apêndice 3.1.

3.3.4 Tratamento dos julgamentos e determinação dos pesos dos critérios

A aplicação do método AHP foi realizada individualmente para cada questionário considerado válido. Cada participante comparou os quatro critérios, Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade, dois a dois, utilizando a escala fundamental de Saaty. Estas comparações permitiram construir uma matriz quadrada de ordem quatro, designada por matriz de comparação paritária (Tabela 3.4) [43].

Tabela 3.4 - Matriz de comparação paritária

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade
Prazo	1.00	a_{12}	a_{13}	a_{14}
Custo	a_{21}	1.00	a_{22}	a_{23}
Qualidade	a_{31}	a_{32}	1.00	a_{33}
Produtividade	a_{41}	a_{42}	a_{43}	1.00

Na diagonal principal da matriz são sempre atribuídos valores iguais a 1, uma vez que cada critério apresenta igual importância quando comparado consigo próprio. Os restantes valores resultam das respostas dos participantes. Recordando que a matriz é recíproca, ou seja, quando um critério recebe, por exemplo, o valor 5 relativamente a outro, a comparação inversa recebe o valor 1/5.

Após o preenchimento da matriz de comparação paritária, procede-se à determinação dos pesos relativos dos critérios através das etapas apresentadas nos pontos seguintes [43]:

a) Soma dos valores de cada coluna

Inicialmente, é calculada a soma dos elementos de cada coluna da matriz de comparação. Para uma coluna j, essa soma é dada por:

$$S_j = \sum a_{ij} \tag{3.1}$$

em que:

S_j - representa a soma dos elementos da coluna j;

a_{ij} - representa o elemento localizado na linha i e coluna j;

Esta operação permite obter os valores de referência necessários para a normalização da matriz (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 - Matriz contendo a soma dos valores de cada coluna

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade
Prazo	1.00	5.00	7.00	1.00
Custo	0.20	1.00	5.00	0.14
Qualidade	0.14	0.20	1.00	0.13
Produtividade	1.00	7.00	8.00	1.00
SOMA	2.34	13.20	21.00	2.27

b) Normalização da matriz de comparação

De seguida, cada elemento da matriz é dividido pela soma da respetiva coluna, obtendo-se a matriz normalizada (Tabela 3.6) [43]. O valor normalizado de cada elemento foi calculado através da expressão:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_{ij}} \tag{3.2}$$

em que:

n_{ij} - representa o elemento normalizado da linha i e coluna j;

a_{ij} - representa o valor original da matriz de comparação;

S_j - representa a soma dos elementos da coluna j;

A normalização permite expressar a importância relativa de cada critério face aos restantes critérios, garantindo que a soma dos valores de cada coluna normalizada é igual a 1.

Tabela 3.6 - Matriz da Tabela 3.5 normalizada

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade
Prazo	0.43	0.38	0.33	0.44
Custo	0.09	0.08	0.24	0.06
Qualidade	0.06	0.02	0.05	0.06
Produtividade	0.43	0.53	0.38	0.44

c) Determinação do vetor de prioridades (pesos relativos)

Após a normalização da matriz, é calculada a média dos valores de cada linha. Esta média corresponde ao peso relativo de cada critério, também designado por vetor de prioridades (Tabela 3.7) [43].

O peso do critério i foi calculado através da seguinte expressão:

$$w_i = \frac{\sum a_{ij}}{n} \tag{3.3}$$

em que:

w_i - representa o peso do critério i;

n_{ij} - representa o elemento normalizado da linha i e coluna j;

n - representa o número total de critérios avaliados.

No presente estudo, como foram considerados quatro critérios, o valor de n é igual a 4. Os pesos obtidos foram posteriormente normalizados, garantindo que a sua soma total é igual a 1.

Tabela 3.7 - Matriz contendo os pesos relativos de cada critério

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade	Peso dos critérios (w)
Prazo	0.43	0.38	0.33	0.44	0.39
Custo	0.09	0.08	0.24	0.06	0.12
Qualidade	0.06	0.02	0.05	0.06	0.04
Produtividade	0.43	0.53	0.38	0.44	0.44

d) Cálculo do vetor da soma ponderada

Após a determinação dos pesos dos critérios, procede-se ao cálculo do vetor da soma ponderada. Para cada critério, os valores da respetiva linha da matriz original são multiplicados pelos pesos dos critérios correspondentes às colunas e posteriormente somados (tabela 3.8) [43].

A soma ponderada associada ao critério *i* foi calculada através da expressão:

$$V_i = \sum a_{ij} \times w_j \tag{3.4}$$

em que:

V_i - representa a soma ponderada do critério i;

a_{ij} - representa o elemento da matriz original;

w_j - representa o peso do critério j.

Esta etapa permite relacionar os julgamentos iniciais dos participantes com os pesos relativos determinados através da matriz normalizada.

Tabela 3.8 - Matriz contendo a soma ponderada de cada critério

	0.39	0.12	0.04	0.44	
	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade	Soma ponderada (V)
Prazo	0.39	0.58	0.31	0.44	1.73
Custo	0.08	0.12	0.22	0.06	0.48
Qualidade	0.06	0.02	0.04	0.06	0.18
Produtividade	0.39	0.81	0.36	0.44	2.01

e) Determinação do vetor de consistência e de λmax

Em seguida, cada valor da soma ponderada é dividido pelo peso correspondente ao respetivo critério. Deste procedimento resulta o vetor de consistência [44].

$$\lambda_i = \frac{V_i}{W_i} \tag{3.5}$$

em que:

λ_i - i representa o valor de consistência associado ao critério i;

V_i - representa a soma ponderada do critério i;

W_i - representa o peso do critério i.

O valor de λmax foi obtido através da média dos valores do vetor de consistência:

$$\lambda_{max} = \frac{\sum \lambda_i}{n} \tag{3.6}$$

O valor de λmax é utilizado para verificar se os julgamentos efetuados pelos participantes apresentam um nível de coerência aceitável. Quanto mais próximo λmax estiver do número de critérios considerados, neste caso 4, maior será a consistência da matriz de comparação.

3.3.5 Verificação da consistência dos julgamentos

A consistência dos julgamentos constitui uma etapa essencial do método AHP. Embora os participantes sejam convidados a comparar os critérios de forma lógica, podem ocorrer incoerências entre diferentes comparações. Por exemplo, se um participante considerar o critério Prazo mais importante do que o Custo, o Custo mais importante do que a Qualidade e, simultaneamente, a Qualidade mais importante do que o Prazo, os julgamentos apresentam uma inconsistência lógica [44].

Para avaliar esta situação, calcula-se o Índice de Consistência (Consistency Index - CI), através da expressão:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{3.7}$$

em que:

CI - representa o Índice de Consistência;

λ_{max}- representa o valor próprio máximo da matriz;

n - representa o número de critérios considerados.

Posteriormente, calcula-se a Razão de Consistência (Consistency Ratio - CR), através da seguinte expressão:

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{3.8}$$

em que:

CR representa a Razão de Consistência;

CI - representa o Índice de Consistência;

RI - representa o Índice Aleatório definido por Saaty.

O valor de RI depende da dimensão da matriz de comparação. Como foram considerados quatro critérios, foi utilizado o valor RI = 0,90 [45].

De acordo com Saaty, uma matriz de comparação é considerada aceitavelmente consistente quando CR ≤ 0,10.

Assim, apenas valores de CR inferiores ou iguais a 0,10 foram considerados válidos para integração na determinação final dos pesos de referência.

3.3.6 Agregação dos julgamentos válidos

Depois de verificada a consistência de cada matriz individual, os julgamentos considerados válidos foram agregados para obter uma matriz representativa do painel de profissionais. Para este efeito, foi utilizada a média geométrica dos valores correspondentes de cada matriz individual.

O valor agregado para cada comparação entre os critérios *i* e *j* foi calculado pela expressão:

$$a_{ij}\ (grupo) = \sqrt[m]{a_{ij}(1) \times a_{ij}(2) \times \cdots\ a_{ij}(m)} \tag{3.9}$$

em que:

$a_{ij}\ (grupo)$ - representa o julgamento agregado entre os critérios i e j;

$a_{ij}\ (k)$ - representa o julgamento do participante k;

m - representa o número de participantes cujas matrizes apresentaram consistência aceitável.

Após a agregação dos julgamentos, a matriz do grupo foi submetida ao mesmo procedimento de cálculo anteriormente descrito: soma das colunas, normalização da matriz, determinação dos pesos, cálculo de λmax, CI e CR.

Os pesos obtidos a partir da matriz agregada constituem os pesos de referência utilizados na FAD-PF. Estes pesos traduzem a importância relativa atribuída pelos especialistas aos critérios Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade e são posteriormente aplicados no cálculo do Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação.

3.3.7 Caracterização dos participantes e consistência dos julgamentos

Após a recolha dos questionários, procedeu-se à análise individual das matrizes de comparação paritária, através do cálculo do Razão de Consistência. Esta verificação permitiu identificar os julgamentos que apresentavam coerência lógica suficiente para integrar a determinação dos pesos de referência da FAD-PF.

Das respostas obtidas, foram consideradas para a análise AHP 35 respostas. As respostas de profissionais que nunca estiveram envolvidos em projetos com elementos pré-fabricados assim como os formulários que não foram corretamente preenchidos não foram consideradas. Os participantes apresentavam experiência profissional compreendida entre 1 e 52 anos, correspondendo a uma experiência média de 22 anos. A amostra foi constituída maioritariamente por diretores de obra, seguindo-se profissionais ligados à fiscalização, o que permitiu recolher perspetivas de intervenientes com experiência direta na preparação, coordenação, acompanhamento e processo de decisão de empreitadas.

A verificação da consistência das matrizes individuais revelou que 11 das 35 respostas consideradas apresentaram uma razão de consistência inferior ou igual a 0,10. Estas respostas foram consideradas consistentes e integradas na determinação dos pesos de referência. As restantes 24 respostas apresentaram valores de CR superiores ao limite de aceitação definido pelo método AHP, tendo sido excluídas da agregação dos julgamentos.

A Tabela 3.9 sintetiza os resultados do processo de verificação de consistência.

Tabela 3.9 - Síntese dos resultados do processo AHP

Descrição	Resultado
Profissionais contactados	~150
Respostas consideradas	35
Respostas de participantes com experiência prévia em *Pods*	12
Matrizes com CR ≤ 0,10	11
Matrizes com CR ≤ 0,10 de participantes com experiência em *Pods*	1
Matrizes excluídas por CR > 0,10	24
Experiência profissional mínima	1 anos
Experiência profissional máxima	52 anos
Experiência profissional média	22 anos
Função profissional predominante	Direção de obra
Segunda função mais representada	Fiscalização

A percentagem de matrizes excluídas foi superior ao inicialmente expectável. No entanto, este resultado não invalida a aplicação do método, uma vez que a verificação da consistência constitui uma etapa essencial do AHP e tem precisamente como objetivo garantir que os pesos finais resultam de julgamentos internamente coerentes. Assim, privilegiou-se a qualidade e a consistência da informação utilizada em detrimento da dimensão da amostra.

Embora doze dos participantes tenham indicado possuir experiência prévia na utilização de *Pods*, apenas 1 das respetivas matrizes cumpriu o critério de consistência estabelecido pelo método AHP. Este resultado evidencia a dificuldade em estabelecer comparações paritárias consistentes entre critérios de decisão, mesmo quando existe experiência prática com a solução em análise. Acresce que a utilização de *Pods* parece ainda ter uma expressão limitada no contexto nacional, reduzindo o número de profissionais com experiência consolidada nesta tecnologia.

3.3.8 Pesos de referência dos critérios

Após a agregação dos julgamentos válidos e a aplicação do procedimento de cálculo descrito anteriormente, foram obtidos os pesos de referência dos quatro critérios considerados na FAD-PF (Tabela 3.10).

Tabela 3.10 - Matriz contendo os pesos de referência agregados

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade	Peso dos critérios (w)
Prazo	0.37	0.40	0.37	0.35	0.37
Custo	0.15	0.16	0.21	0.16	0.17
Qualidade	0.19	0.17	0.19	0.23	0.20
Produtividade	0.29	0.27	0.23	0.27	0.26

Os resultados (Apêndice 2) evidenciam que o critério Prazo apresenta a maior importância relativa na decisão sobre a utilização de *Pods*, com um peso aproximado de 37%. Este resultado demonstra que a redução da duração da obra e o cumprimento do planeamento constituem aspetos particularmente valorizados pelos profissionais consultados.

O critério Produtividade apresenta o segundo peso mais elevado, aproximadamente 26%, evidenciando a importância atribuída à racionalização dos processos construtivos, à repetitividade das instalações sanitárias e à redução da dependência de mão de obra em obra.

Os critérios Qualidade e Custo apresentam pesos semelhantes, de aproximadamente 20% e 17%, respetivamente. Embora estes fatores sejam relevantes para a decisão, os resultados sugerem que, para o painel de especialistas considerado, os benefícios associados ao prazo e à produtividade assumem uma importância relativa superior.

Em conjunto, os critérios Prazo e Produtividade representam cerca de dois terços da importância total atribuída pelos participantes. Este resultado é coerente com os desafios identificados no setor da construção, nomeadamente a necessidade de cumprir prazos exigentes, aumentar a produtividade e mitigar as dificuldades associadas à disponibilidade de mão de obra qualificada.

Os pesos obtidos foram integrados na FAD-PF como pesos de referência e serão utilizados para ponderar as pontuações atribuídas aos critérios na avaliação do caso de estudo. Importa referir que estes pesos refletem a perceção do painel de profissionais considerado na presente investigação, não devendo ser interpretados como valores universais para todas as empresas ou empreitadas.

3.4 Desenvolvimento da Ferramenta de Apoio à Decisão para a Pré-Fabricação (FAD-PF)

3.4.1 Estrutura geral da FAD-PF

A estrutura de funcionamento da FAD-PF encontra-se representada na Figura 3.4. A ferramenta utiliza informação disponível durante a fase de preparação da empreitada, nomeadamente elementos de projeto, planeamento, orçamento, requisitos de qualidade e condições previstas para o estaleiro.

Numa primeira fase, são introduzidos os pesos de referência dos critérios, determinados através do método AHP. De seguida, procede-se à avaliação dos subcritérios associados às quatro dimensões de análise, nomeadamente, Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade, recorrendo à escala ordinal de cinco níveis definida para a ferramenta.

A média das classificações atribuídas aos subcritérios permite determinar a pontuação de cada critério. Posteriormente, estas pontuações são ponderadas de acordo com os respetivos pesos de referência. A soma das pontuações ponderadas resulta no Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação (IVP), cujo valor permite classificar a viabilidade da utilização de *Pods* na empreitada analisada.

A estrutura proposta procura equilibrar simplicidade de aplicação e abrangência da análise.

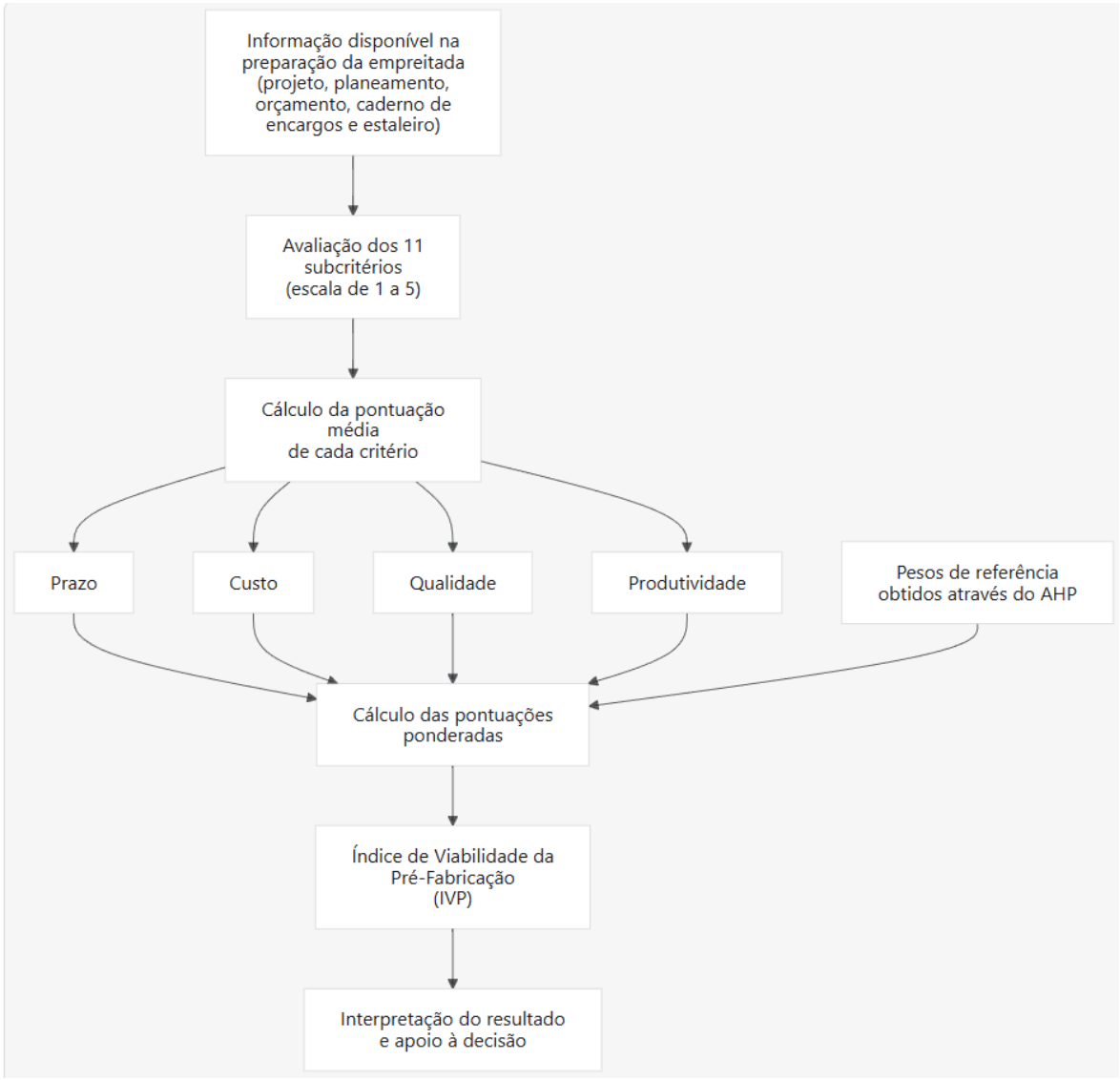


Figura 3.4 - Estrutura de funcionamento da FAD-PF

3.4.2 Critérios e subcritérios de avaliação

Os critérios foram decompostos em subcritérios, permitindo avaliar características concretas da empreitada que influenciam a viabilidade da utilização de *Pods*.

A Tabela 3.11 apresenta a estrutura de avaliação adotada.

Tabela 3.11 - Critérios e subcritérios da FAD-PF

Critério	Subcritério
Prazo	Pressão temporal; Impacto no cronograma
Custo	Competitividade económica; Custos indiretos; Risco de retrabalhos
Qualidade	Exigência de qualidade; Complexidade técnica; Maturidade do projeto
Produtividade	Repetitividade; Disponibilidade de mão de obra; Condições logísticas

O critério Prazo avalia a relevância das condicionantes temporais da empreitada, considerando a exigência do prazo contratual e a influência da execução das instalações sanitárias no cronograma global.

O critério Custo considera a viabilidade económica da solução, integrando a comparação entre os custos das alternativas construtivas, a importância dos custos indiretos e o risco de retrabalhos associado à execução tradicional.

O critério Qualidade avalia as exigências técnicas e de desempenho das instalações sanitárias, bem como o grau de definição e estabilidade do projeto. Este último aspeto é particularmente relevante na utilização de soluções pré-fabricadas, uma vez que a produção dos módulos exige uma definição antecipada das soluções de projeto.

Por fim, o critério Produtividade considera fatores relacionados com a eficiência da execução, incluindo o grau de repetitividade das instalações sanitárias, a disponibilidade de mão de obra qualificada e as condições logísticas necessárias ao transporte, armazenamento e instalação dos módulos.

3.4.3 Escala de avaliação dos subcritérios

A avaliação dos subcritérios da FAD-PF é efetuada através de uma escala ordinal de cinco níveis. A pontuação 1 corresponde a uma condição muito desfavorável à utilização de *Pods*, enquanto a pontuação 5 representa uma condição muito favorável. Os níveis intermédios permitem graduar a adequação da empreitada à adoção desta solução.

Os subcritérios e as respetivas pontuações encontram-se na tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Subcritérios e respetivas pontuações

PRAZO					
Pontos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Pressão temporal	Prazo confortável, com margem significativa para atrasos	Alguma pressão, mas exequível sem medidas especiais	Prazo exigente, requerendo planeamento rigoroso	Prazo muito exigente, com reduzida margem para desvios	Cumprimento do prazo crítico para o empreendimento
Impacto no cronograma	Instalações sanitárias com impacto reduzido no cronograma global	Impacto limitado e absorvível pelo planeamento	Influência parcial na duração da obra	Execução condiciona significativamente o avanço da empreitada	Instalações sanitárias determinantes para o cumprimento do cronograma global

CUSTO					
Pontos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Competitividade económica	Solução com Bathroom *Pods* apresenta custo significativamente superior	Custo moderadamente superior	Custos semelhantes entre as duas soluções	Custo moderadamente inferior	Custo significativamente inferior
Custos indiretos	Peso muito reduzido no custo da empreitada	Peso pouco significativo	Importância moderada	Parcela significativa do custo total	Custos indiretos muito elevados, cuja redução é determinante
Risco de retrabalhos	Risco muito reduzido de retrabalhos na solução tradicional	Risco reduzido	Risco moderado	Risco elevado	Risco muito elevado, com impacto significativo nos custos e no prazo

QUALIDADE					
Pontos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Exigência de qualidade	Exigências básicas de qualidade e acabamento	Exigências ligeiramente superiores ao habitual	Exigências moderadas de qualidade e desempenho	Elevadas exigências de qualidade, precisão e acabamento	Exigências muito elevadas, com tolerâncias reduzidas e controlo rigoroso
Complexidade técnica	Instalações simples, com poucas especialidades e reduzida complexidade	Baixa complexidade técnica	Complexidade moderada	Elevada complexidade técnica e forte coordenação entre especialidades	Complexidade muito elevada, com integração de múltiplas especialidades e requisitos exigentes
Maturidade do projeto	Projeto pouco desenvolvido, com informação incompleta e elevada probabilidade de alterações	Projeto parcialmente definido, com aspetos relevantes por consolidar	Projeto maioritariamente definido, podendo ocorrer alterações pontuais	Projeto bem definido e coordenado, com reduzida probabilidade de alterações	Projeto totalmente definido, coordenado e estabilizado

PRODUTIVIDADE					
Pontos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Repetitividade	Instalações sanitárias substancialmente diferentes entre si	Reduzido número de instalações semelhantes	Repetição moderada de tipologias	Maioria das instalações apresenta tipologias repetitivas	Instalações altamente repetitivas e padronizadas
Disponibilidade de mão de obra	Elevada disponibilidade de mão de obra qualificada para execução tradicional	Boa disponibilidade de mão de obra	Disponibilidade moderada	Dificuldade na contratação de mão de obra qualificada	Escassez significativa de mão de obra, condicionando a execução
Condições logísticas	Condições que inviabilizam ou dificultam significativamente a utilização dos módulos	Limitações logísticas importantes	Condições aceitáveis, embora exigindo planeamento adicional	Boas condições para transporte, armazenamento e instalação	Condições muito favoráveis, permitindo uma implementação eficiente

A classificação dos subcritérios deve ser efetuada com base na informação disponível durante a fase de preparação da empreitada. Sempre que possível, a avaliação deve apoiar-se em elementos verificáveis, nomeadamente o planeamento da obra, o orçamento, os projetos das especialidades, o caderno de encargos e as condições previstas para o estaleiro.

3.4.4 Determinação da pontuação dos critérios

Após a classificação dos subcritérios, é determinada a pontuação associada a cada critério da FAD-PF.

Importa referir que a aplicação do método AHP foi restringida aos quatro critérios principais da FAD-PF, não tendo sido realizada a comparação paritária dos respetivos subcritérios. Esta opção metodológica resultou da necessidade de conciliar o rigor da análise com a viabilidade da recolha de dados junto dos especialistas.

Durante a fase de aplicação dos questionários verificou-se que uma das primeiras questões colocadas pelos participantes dizia respeito ao tempo necessário para o seu preenchimento. Esta preocupação foi particularmente evidente nos questionários entregues presencialmente, tendo vários especialistas manifestado interesse em saber se o processo seria rápido. Considerando que os participantes eram profissionais em exercício, com responsabilidades e disponibilidade limitada, entendeu-se que um questionário excessivamente extenso poderia comprometer a taxa de resposta e a qualidade dos julgamentos efetuados.

Esta decisão encontra igualmente suporte na literatura. Wedley (2009) refere que uma das limitações mais frequentemente apontadas à aplicação do método AHP é o elevado número de comparações paritárias exigidas aos decisores, tornando o processo repetitivo, moroso e cognitivamente exigente. O autor salienta ainda que a redução do número de comparações constitui uma forma de diminuir o esforço associado ao processo de avaliação, contribuindo para a obtenção de estimativas mais fiáveis e precisas por parte dos especialistas [46].

Neste contexto, optou-se por aplicar o método AHP apenas aos quatro critérios principais da ferramenta, limitando o número de comparações solicitadas aos especialistas e garantindo um questionário de preenchimento simples e expedito.

Assim sendo e considerando que os critérios possuem um número distinto de subcritérios, optou-se pela utilização da média aritmética das respetivas pontuações dos subcritérios.

Esta opção permite evitar que critérios com maior número de subcritérios assumam uma influência superior no resultado final apenas devido à sua estrutura interna. Assim, cada critério mantém exclusivamente a importância relativa que lhe é atribuída através dos pesos determinados pelo método AHP.

A pontuação do critério Prazo é calculada através da média dos subcritérios Pressão temporal e Impacto no cronograma.

A pontuação do critério Custo é determinada pela média das classificações atribuídas à Competitividade económica, aos Custos indiretos e ao Risco de retrabalhos:

A pontuação do critério Qualidade é calculada através da média dos subcritérios Exigência de qualidade, Complexidade técnica e Maturidade do projeto:

Por fim, a pontuação do critério Produtividade resulta da média das classificações atribuídas à Repetitividade, à Disponibilidade de mão de obra e às Condições logísticas:

As pontuações obtidas para cada critério variam entre 1 e 5. Estes valores são posteriormente ponderados de acordo com os pesos de referência definidos através do método AHP, permitindo calcular o Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação.

3.4.5 Cálculo do Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação

O resultado final da FAD-PF é expresso através do IVP. Este índice resulta da agregação das pontuações obtidas nos quatro critérios de avaliação, ponderadas de acordo com os pesos de referência determinados através do método AHP.

O IVP é calculado através da seguinte expressão:

$$IVP = P \times WP + C \times WC + Q \times WQ + Pr \times WPr \tag{3.10}$$

em que:

- IVP corresponde ao Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação;
- P corresponde à pontuação do critério Prazo;
- C corresponde à pontuação do critério Custo;
- Q corresponde à pontuação do critério Qualidade;
- Pr corresponde à pontuação do critério Produtividade;

- *WP*, *WC*, *WQ* e *WPr* correspondem aos pesos de referência dos critérios Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade, respetivamente.

Importa referir que a ferramenta vem por predefinição com os pesos para o Prazo, Custo, Qualidade e Produtividade de acordo com os valores obtidos no AHP, porém existe a possibilidade de o utilizador ajustar os mesmos ao seu critério.

O IVP varia entre 1 e 5. Valores mais elevados correspondem a condições mais favoráveis à utilização de *Pods* na empreitada analisada.

3.4.6 Interpretação do Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação

O IVP permite traduzir o resultado da avaliação multicritério numa classificação de fácil interpretação para apoio à decisão. Atendendo que o índice varia entre 1 e 5, foram definidos quatro níveis de viabilidade, apresentados na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Intervalos do IVP

Intervalo do IVP	Classificação	Interpretação
1,00 ≤ IVP ≤ 2,00	Baixa viabilidade	As condições da empreitada são predominantemente desfavoráveis à utilização de Bathroom *Pods*.
2,00 < IVP ≤ 3,00	Viabilidade reduzida	A utilização de Bathroom *Pods* apresenta condicionantes relevantes, devendo ser analisada com precaução.
3,00 < IVP ≤ 4,00	Viabilidade moderada	A solução apresenta potencial de aplicação, embora seja recomendada uma análise complementar dos fatores mais condicionantes.
4,00 < IVP ≤ 5,00	Elevada viabilidade	As condições da empreitada são favoráveis à utilização de Bathroom *Pods*.

A classificação obtida não deve ser interpretada como uma decisão automática, mas como um instrumento de apoio à decisão. Em particular, os resultados devem ser analisados em conjunto com as pontuações individuais dos critérios, permitindo identificar as dimensões que favorecem ou condicionam a adoção da solução.

Os intervalos apresentados constituem uma proposta inicial para a interpretação do IVP. A sua calibração poderá ser aprofundada em trabalhos futuros, através da aplicação da FAD-PF a um conjunto mais alargado de empreitadas e da comparação entre os resultados da ferramenta e as decisões efetivamente adotadas.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A FAD-PF constitui, assim, uma ferramenta estruturada para apoiar a tomada de decisão durante a fase de preparação da empreitada. Esta foi desenvolvida no programa Microsoft Excel (Apêndice 3) com o objetivo de a tornar prática e acessível aos decisores, sendo apenas necessário atribuir pontuações aos subcritérios e o programa realiza o cálculo automaticamente, devolvendo o IVP. No capítulo seguinte procede-se à sua aplicação um caso de estudo, com o objetivo de demonstrar o seu funcionamento e analisar a adequação da ferramenta em contexto empresarial.

4
APLICAÇÃO DA FAD-PF A UM CASO DE ESTUDO

4.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta a aplicação da FAD-PF a uma empreitada de construção de um hotel. O caso de estudo foi desenvolvido em contexto empresarial com a CGASC e tem como objetivo avaliar a viabilidade da adoção de *Pods* para uma parte das instalações sanitárias da empreitada.

A Construções Gabriel A. S. Couto, S.A. (CGASC) é uma empresa portuguesa de construção civil e obras públicas, com atividade desde 1948 e sede em Vila Nova de Famalicão. Possui uma larga experiência na construção civil e obras públicas, incluindo edifícios industriais, hoteleiros e habitacionais. A empresa tem utilizado elementos estruturais pré-fabricados em pavilhões industriais, soluções pré-fabricadas de fachada e módulos de instalações sanitárias (*pods*) em hotéis, edifícios de habitação coletiva e residências de estudantes. Importa referir que a empresa não fabrica os *pods*, sendo responsável pela sua aquisição e instalação em obra.

A análise é desenvolvida em dois momentos distintos. Num primeiro momento, a FAD-PF é aplicada com base na informação disponível durante a fase de preparação da empreitada, procurando reproduzir as condições em que a decisão entre construção tradicional e pré-fabricação poderia ser tomada. Num segundo momento, os resultados da ferramenta são confrontados com os resultados observados durante a execução, incluindo o desempenho em prazo, custo, qualidade e organização da obra.

Por motivos de confidencialidade, os valores monetários apresentados são sugestivos. A análise económica incide exclusivamente sobre o âmbito comparável entre as duas soluções, não sendo divulgados valores comerciais reais, mas mantendo a proporcionalidade dos mesmos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPREITADA

4.2.1 Programa funcional e instalações sanitárias

A empreitada em análise corresponde à construção de uma unidade hoteleira composta por 139 quartos, 45 apartamentos, uma zona comercial, restaurante e bar. O edifício integra um total de 193 instalações sanitárias, distribuídas por treze tipologias distintas.

As tipologias 1 a 3 correspondem a instalações sanitárias dos quartos, distinguindo-se pela disposição dos equipamentos e pelas respetivas dimensões. As tipologias 4 e 5 encontram-se associadas aos apartamentos, enquanto a tipologia 6 corresponde às instalações sanitárias destinadas aos funcionários. As restantes tipologias abrangem instalações sanitárias de mobilidade reduzida, receção, bar e restaurante (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Diferentes tipologias de casas de banho da empreitada

Tipo	Local de aplicação	Quantidade
1	Quarto	126
2	Quarto	12
3	Quarto	1
4	Apartamentos	10
5	Apartamentos	35
6	Funcionários	2
7	Comércio (PMR)	1
8	Receção Masculina	1
9	Receção Feminina	1
10	Receção (PMR)	1
11	Bar (PMR)	1
12	Bar	1
13	Restaurante	1

Apesar da diversidade de tipologias, verificou-se que a instalação sanitária do tipo 1 (Figura 4.1) apresentava uma repetitividade particularmente elevada, correspondendo a 97 unidades, isto é, cerca de 50,3% do total das instalações sanitárias da empreitada. Esta concentração tornou-a adequada para avaliar uma solução de pré-fabricação volumétrica, tendo sido selecionada como âmbito da análise de viabilidade dos *Pods*.

Importa referir que no total são 126 instalações sanitárias do tipo 1, porém 26 dessas sofreram pequenos ajustes devido a localização acabando diferindo nas dimensões das mesmas, assim, não tendo sido consideradas para pré-fabricação.

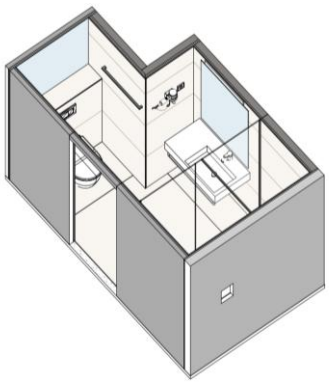


Figura 4.1 - Representação 3D da casa de banho tipo 1

A escolha desta tipologia permitiu concentrar a análise numa solução suficientemente repetitiva e padronizável, sem assumir que todas as instalações sanitárias do edifício apresentavam as mesmas condições de adequação à pré-fabricação. As restantes tipologias, por apresentarem menor repetição, maior especificidade funcional ou requisitos particulares de acessibilidade, permaneceram previstas para execução in situ.

4.2.2 Condicionantes da preparação e execução da empreitada

A empreitada apresentava uma condicionante temporal relevante, uma vez que a conclusão do edifício estava associada à entrada em operação da unidade hoteleira num período de elevada procura. O cumprimento do prazo assumia, por isso, uma importância superior à habitual, uma vez que eventuais atrasos poderiam comprometer a disponibilidade do edifício para exploração.

O planeamento de concurso evidenciava uma sequência exigente de trabalhos de especialidades, acabamentos e fachadas. Embora nem todas as instalações sanitárias constituíssem atividades críticas, as instalações sanitárias da receção encontravam-se associadas a atividades sensíveis do planeamento, com uma folga limitada. Adicionalmente, a solução com *Pods* introduziu uma dependência relevante relativamente à fachada: em cada piso foram mantidas cinco aberturas destinadas à entrada dos módulos (Figura 4.2). Consequentemente, o fecho definitivo da fachada ficou condicionado pela conclusão da operação de fornecimento e montagem dos *Pods*.

Esta situação constitui um aspeto importante da análise. Por um lado, as aberturas permitiram a entrada dos módulos em condições controladas. Por outro, criaram uma interface entre a logística de pré-fabricação e a sequência de execução da envolvente exterior, exigindo uma coordenação rigorosa entre o fornecimento dos *Pods*, a operação de elevação ou movimentação, a segurança da obra e o fecho posterior da fachada.



Figura 4.2 - Algumas aberturas na fachada para entrada dos *Pods*

A obra apresentava igualmente condicionantes logísticas significativas. A área edificada ocupava praticamente a totalidade do lote, não existindo uma zona exterior disponível para armazenamento prolongado de materiais ou módulos. Os materiais tinham, por isso, de ser armazenados no interior dos pisos ou entregues de forma faseada. O edifício localizava-se ainda numa avenida principal, sendo necessário condicionar ou interromper temporariamente a circulação rodoviária durante determinadas operações de carga e descarga após a conclusão da estrutura.

Do ponto de vista da mão de obra, o planeamento previa a concentração de trabalhos de alvenaria, gesso cartonado, revestimentos e especialidades numa fase próxima do período de verão. Esta circunstância poderia dificultar a mobilização de mão de obra qualificada para a execução tradicional das instalações sanitárias, nomeadamente para trabalhos de revestimentos, impermeabilização, canalizações, equipamentos sanitários e acabamentos.

Por fim, importa referir que o projeto não se encontrava totalmente estabilizado durante a fase da adjudicação. Existiam alterações previstas ou em discussão, designadamente mudanças de posição entre a base de duche e o lavatório, alterações em zonas de fachada, reposicionamento de coretes, modificações de quadros elétricos e indefinições relativas a alguns elementos de revestimento. Esta condição representava uma limitação relevante à adoção de *Pods*, uma vez que a produção exige uma definição das soluções arquitetónicas e das especialidades.

4.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ANALISADAS

A alternativa inicialmente prevista consistia na execução integral das instalações sanitárias do tipo 1 em obra, através de um processo sequencial que envolvia a execução de redes técnicas, impermeabilização, revestimentos, instalação de equipamentos sanitários, montagem de tetos, aparelhagem elétrica e trabalhos de acabamento.

A solução alternativa consistiu na utilização de *Pods* para as 97 instalações sanitárias do tipo 1. Os módulos foram produzidos em fábrica (Figura 4.3 - a) e entregues em obra com uma parte substancial dos trabalhos concluída (Figura 4.3 - b), incluindo os principais elementos de acabamento, equipamentos sanitários e componentes das especialidades incorporadas no módulo.



a) b)

Figura 4.3 - a) *Pod* em fábrica; b) *Pod* entregue no hotel

Para assegurar a comparabilidade entre as soluções, a análise económica considerou apenas os trabalhos diretamente associados ao interior da instalação sanitária. Foram excluídas as paredes exteriores entre a instalação sanitária e o quarto, bem como os trabalhos de integração arquitetónica exteriores ao módulo. Esta delimitação permite comparar o custo das soluções para um âmbito funcional equivalente.

A solução com *Pods* não eliminou integralmente todos os trabalhos em obra. Os módulos foram entregues sem tomadas elétricas instaladas (Figura 4.4) e sem suportes para os dispensadores, pelo que estes elementos tiveram de ser posteriormente montados em obra (Figura 4.6). Esta intervenção obrigou à abertura das instalações sanitárias, gerando resíduos (Figura 4.5) e reduzindo parcialmente o benefício associado à entrega de um módulo totalmente concluído e protegido.



Figura 4.4 - Tomada por instalar num *Pod*



Figura 4.5 - Resíduos resultantes dos trabalhos executados nos *Pods* em obra



Figura 4.6 - Instalação dos suportes dos dispensadores

Para efeitos de comparação, considera-se que as equipas e recursos previstos no orçamento de concurso para a execução tradicional seriam mantidos como referência. A diferença entre soluções resulta, assim, da redução das quantidades de trabalho transferidas para fábrica no caso dos *Pods*. Esta opção metodológica permite comparar as soluções sem atribuir ganhos de produtividade baseados em equipas efetivamente medidas, uma vez que não se encontra disponível o registo do número real de trabalhadores mobilizados em cada atividade.

A comparação económica revelou que a solução com *Pods* apresentava um custo unitário superior ao da execução tradicional para o âmbito analisado, sendo 7 322.09 € e 6 918.80 € respetivamente. Uma vez que os valores apresentados na síntese do Mapa de Tarefas e Quantidades (MTQ) de concurso (Tabela 4.2) são sugestivos para preservar a confidencialidade da informação comercial, o custo da solução in situ foi convertido num índice de 100, enquanto o custo da solução com *Pods* correspondeu a um índice de 105,8.

Tabela 4.2 - Síntese do MTQ de concurso relativamente a execução de casas de banho do tipo 1

designação	preço (euro) unitário
Instalação Sanitária Quartos (Tipo 1)	**6 918.80 €**
Fornecimento e instalação de loiças sanitárias	1 668.36 €
Fornecimento e instalação de canalização	1 241.17 €
Fornecimento e aplicação de impermeabilização	211.90 €
Fornecimento e aplicação de revestimentos	2 204.55 €
Fornecimento e aplicação de elementos de eletricidade	228.10 €
Fornecimento e aplicação de boca de extração (AVAC)	37.41 €
Fornecimento e aplicação de acessórios	1 327.32 €

Assim, a utilização de *Pods* representou um acréscimo direto de custo de aproximadamente 5,8% por instalação sanitária do tipo 1. Este resultado demonstra que, neste caso, a opção pela pré-fabricação não se fundamenta apenas numa redução do custo direto de execução, devendo ser analisada em conjunto com os potenciais ganhos de prazo, redução da dependência de mão de obra, menor exposição a retrabalhos e maior previsibilidade da produção.

A interpretação deste resultado deve considerar que a comparação se refere ao custo direto do âmbito analisado. Os custos associados à instalação posterior de tomadas, suportes ou outros elementos complementares devem ser integrados no custo final da solução com *Pods* quando não estejam incluídos no respetivo fornecimento. Do mesmo modo, os efeitos económicos indiretos associados ao estaleiro, à mão de obra, à logística, à redução de retrabalhos ou à eventual redução da duração dos trabalhos devem ser analisados separadamente.

4.4 APLICAÇÃO DA FAD-PF

A aplicação da FAD-PF foi realizada em conjunto com o diretor da obra em estudo, considerando, em primeiro lugar, a informação que estaria disponível na fase de preparação da empreitada. Os resultados observados durante a execução são apresentados posteriormente como elemento de validação da análise, não devendo substituir a avaliação inicial.

4.4.1 Avaliação do critério Prazo

A **pressão temporal** foi classificada com **5 pontos**. A empreitada encontrava-se associada a uma data de conclusão relevante para a entrada em exploração da unidade hoteleira, pelo que o cumprimento do prazo assumia um carácter crítico para o empreendimento.

O subcritério relativo ao **impacto no cronograma** foi classificado com **4 pontos**. Embora a totalidade das instalações sanitárias do tipo 1 não estivesse inicialmente inserida no caminho crítico, a operação de entrada dos *Pods* condicionava o fecho definitivo da fachada, devido à existência de cinco aberturas por piso. Assim, atrasos no fornecimento ou na montagem dos módulos poderiam afetar atividades subsequentes de fachada, acabamentos e estanquidade do edifício.

4.4.2 Avaliação do critério Custo

A **competitividade económica** foi classificada com **2 pontos**, uma vez que a solução com *Pods* apresentou um custo direto moderadamente superior ao da solução tradicional para o âmbito comparável. O acréscimo estimado foi de aproximadamente 5,8% por instalação sanitária do tipo 1.

O subcritério relativo aos **custos indiretos** foi classificado com **3 pontos**. Embora a empreitada apresentasse condicionantes que poderiam aumentar os custos indiretos da execução tradicional, nomeadamente limitações de estaleiro, pressão sobre a mão de obra e necessidade de coordenação de várias especialidades, não foi possível quantificar de forma autónoma estes efeitos. Foi, por isso, atribuída uma pontuação intermédia.

O **risco de retrabalhos** foi classificado com **3 pontos** na avaliação inicial. A execução tradicional de instalações sanitárias envolve uma sucessão de trabalhos executados por diferentes especialidades, pelo que existe um risco moderado de incompatibilidades, danos, perdas de materiais ou intervenções posteriores. Contudo, na fase de preparação não existia informação suficiente para classificar este risco como elevado.

4.4.3 Avaliação do critério Qualidade

A **exigência de qualidade** foi classificada com **4 pontos**, atendendo ao padrão de acabamento e desempenho esperado numa unidade hoteleira. As instalações sanitárias exigiam coordenação entre revestimentos, impermeabilização, equipamentos sanitários, redes hidráulicas, redes de drenagem, eletricidade, ventilação e elementos de acabamento.

A **complexidade técnica** foi igualmente classificada com **4 pontos**. Apesar de a tipologia selecionada ser repetitiva, a instalação sanitária integra diversas especialidades e exige uma coordenação rigorosa entre interfaces técnicas e arquitetónicas.

A **maturidade do projeto** foi classificada com **1 ponto**. Na fase de concurso, o projeto apresentava ainda alterações previstas e indefinições relevantes, incluindo equipamentos, revestimentos, fachadas, coretes e elementos elétricos. Esta condição constituía uma das principais limitações à utilização de *Pods*, uma vez que uma alteração posterior pode implicar modificações em módulos já produzidos ou em processo de fabrico.

4.4.4 Avaliação do critério Produtividade

A **repetitividade** foi classificada com **4 pontos**. Embora existissem treze tipologias de instalações sanitárias no edifício, a tipologia 1 representava 97 das 193 unidades, correspondendo a mais de metade do total. Esta repetição permitia justificar a industrialização de uma solução específica.

A **disponibilidade de mão de obra** foi classificada com **4 pontos**. A concentração de trabalhos durante o período de verão poderia dificultar a contratação e mobilização de mão de obra qualificada para a execução tradicional das instalações sanitárias. A transferência de uma parte significativa das atividades para fábrica permitia reduzir a dependência de equipas especializadas em obra e permitia o avanço mais cedo das frentes de obra relacionadas com os *Pods*.

As **condições logísticas** foram classificadas com **3 pontos**. A inexistência de espaço de estaleiro exterior, a necessidade de armazenamento no interior dos pisos, os condicionamentos de trânsito e a dependência do fecho da fachada relativamente à entrada dos *Pods* constituíam limitações logísticas importantes. Contudo, estas limitações não inviabilizavam a solução, desde que fossem acompanhadas por um plano de fornecimento e montagem faseado.

As tabelas a seguir, extraídas da FAD-PF, mostram os pesos de referência aplicados aos critérios (Tabela 4.3) e a avaliação dos subcritérios (Tabela 4.4).

Tabela 4.3 - Pesos de referência dos critérios (AHP)

1. Pesos de referência dos critérios (AHP)		
Critério	**Peso**	**Observação**
Prazo	37.0%	O peso pode ser alterado
Custo	17.0%	O peso pode ser alterado
Qualidade	20.0%	O peso pode ser alterado
Produtividade	26.0%	O peso pode ser alterado

Soma dos pesos	**100.0%**
Verificação	**OK**

Tabela 4.4 - Avaliação dos subcritérios

2. Avaliação dos subcritérios			
Critério	**Subcritério**	**Descrição resumida**	**Pontuação (1–5)**
Prazo	Pressão temporal	Exigência do prazo contratual da empreitada	5
Prazo	Impacto no cronograma	Influência das instalações sanitárias na duração global da obra	4
Custo	Competitividade económica	Comparação económica entre Pods e solução tradicional	2
Custo	Custos indiretos	Importância dos custos indiretos na empreitada	3
Custo	Risco de retrabalhos	Risco de retrabalhos na solução tradicional	3
Qualidade	Exigência de qualidade	Nível de qualidade e acabamento exigido	4
Qualidade	Complexidade técnica	Complexidade das instalações e coordenação entre especialidades	4
Qualidade	Maturidade do projeto	Grau de definição, coordenação e estabilidade do projeto	1
Produtividade	Repetitividade	Grau de repetição das tipologias de instalações sanitárias	4
Produtividade	Disponibilidade de mão de obra	Disponibilidade de mão de obra qualificada para execução tradicional	4
Produtividade	Condições logísticas	Condições para transporte, armazenamento e instalação	3

4.4.5 Cálculo e interpretação do IVP

Considerando os pesos de referência definidos no capítulo anterior, correspondentes a 0,37 para o Prazo, 0,17 para o Custo, 0,20 para a Qualidade e 0,26 para a Produtividade, o Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação foi **3.67** (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Resultados da avaliação da FAD-PF

3. Resultados da avaliação			
Critério	**Pontuação**	**Peso AHP**	**Pontuação ponderada**
Prazo	4.50	37.0%	1.67
Custo	2.67	17.0%	0.45
Qualidade	3.00	20.0%	0.60
Produtividade	3.67	26.0%	0.95

Índice de Viabilidade (IVP)	**3.67**

Interpretação		**Viabilidade moderada**

Nota: o IVP constitui um instrumento de apoio à decisão. A interpretação final deve considerar as pontuações individuais de cada critério e as particularidades da empreitada.

De acordo com a escala de interpretação definida para a FAD-PF, o valor obtido corresponde a uma situação de viabilidade moderada. A utilização de *Pods* apresentava condições favoráveis, sobretudo devido à pressão temporal, à repetitividade da tipologia, à redução de custo direto e à limitação previsível de mão de obra. Contudo, a solução exigia uma análise complementar e medidas de controlo específicas devido à reduzida maturidade do projeto e às condicionantes logísticas associadas à fachada e ao estaleiro.

4.5 RESULTADOS OBSERVADOS DURANTE A EXECUÇÃO

A montagem dos 97 *Pods* foi realizada em 18 dias, correspondendo a uma cadência média de aproximadamente 5,4 *Pods* por dia. Este resultado evidencia a capacidade da solução pré-fabricada para concentrar num período reduzido atividades que, na solução tradicional, dependeriam da execução sequencial de várias especialidades em obra.

Em termos de acabamento visual, verificou-se que as instalações sanitárias executadas in situ e as instalações sanitárias pré-fabricadas apresentavam um nível de qualidade semelhante. Após a conclusão dos trabalhos, não era facilmente percetível a diferença entre ambas as soluções. O principal elemento distintivo correspondia à junta visível na entrada das instalações sanitárias pré-fabricadas, resultante da interface entre o Pod e os elementos construtivos adjacentes (Figura 4.7).



a) b)

Figura 4.7 - a) Casa de banho feita in-situ com junta na transição madeira-cerâmico; b) *Pod* com uma junta a mais que a)

Apesar da qualidade global observada, a solução com *Pods* exigiu trabalhos complementares em obra. A instalação posterior de tomadas elétricas e suportes para sabonete implicou a abertura dos módulos após a respetiva montagem. Esta situação gerou resíduos no interior das instalações sanitárias e reduziu parcialmente uma das vantagens da pré-fabricação, isto é, a possibilidade de manter o módulo concluído, protegido e encerrado até à integração final com o quarto.

Na solução executada in situ foram observados diversos exemplos de retrabalho e perdas de produtividade. Entre os casos identificados encontram-se a recolocação de espelhos devido a erros de posicionamento, a perda de elementos sanitários, como torneiras e tampas, a necessidade de nova aquisição de materiais, entupimentos provocados pela presença de resíduos e a necessidade de limpeza adicional das instalações sanitárias (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Lavatório entupido; Remoção de espelho; Manípulo da misturadora em falta

A Tabela 4.6 sintetiza os resultados observados durante a execução.

Tabela 4.6 - Síntese dos resultados observados durante a execução

Aspeto	Solução com *Pods*	Solução in situ
Custo direto comparável	Superior em 5,8%	Inferior
Montagem	97 *Pods* montados em 18 dias	Duração global não quantificada de forma comparável
Acabamento visual	Bom acabamento; junta visível na entrada do módulo	Bom acabamento; sem junta visível na entrada
Trabalhos residuais	Instalação posterior de tomadas e suportes para sabonete	Execução integral das atividades em obra
Retrabalhos observados	Resíduos decorrentes da abertura posterior dos módulos	Reposição de espelhos, perdas de peças, entupimentos e limpeza adicional
Condicionantes principais	Logística, acessos, fachada e maturidade do projeto	Maior dependência de mão de obra e sequência de especialidades

Estes resultados observados reforçam a adequação da avaliação inicial do risco de retrabalhos. Caso a classificação deste subcritério seja atualizada de 3 para 4 pontos, com base na evidência recolhida durante a execução, a pontuação do critério Custo passa para 3,00 e o IVP aumenta para aproximadamente **3,73**. A classificação global mantém-se como viabilidade moderada.

4.6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A aplicação da FAD-PF permitiu identificar que a adoção de *Pods* era favorável no contexto da empreitada, mas dependia da gestão rigorosa de condicionantes específicas. O resultado de viabilidade moderada não deve ser interpretado como uma limitação da solução, mas como uma indicação de que a pré-fabricação exigia condições de preparação e coordenação superiores às necessárias para a execução tradicional.

Os fatores que mais favoreceram a solução foram a repetitividade da tipologia 1, a pressão temporal da empreitada, a redução do custo direto comparável e a possibilidade de reduzir a dependência de mão de obra especializada em obra. Por outro lado, os principais fatores condicionantes foram a instabilidade do projeto, as limitações de estaleiro, o condicionamento de trânsito e a dependência entre a entrada dos módulos e a conclusão da fachada.

A condicionante da fachada merece particular destaque. A necessidade de manter aberturas para a entrada dos *Pods* demonstra que a pré-fabricação não pode ser analisada apenas ao nível da instalação sanitária. A sua adoção altera a sequência construtiva de outros elementos do edifício, nomeadamente fachadas, caixilharias, acabamentos exteriores e logística de acessos. Na aplicação da FAD-PF, este aspeto foi refletido simultaneamente no subcritério Impacto no cronograma e no subcritério Condições logísticas.

Os resultados observados durante a execução confirmam igualmente que a pré-fabricação não elimina totalmente os trabalhos em obra. A existência de elementos não instalados à saída da fábrica obrigou a intervenções posteriores e reduziu parte dos benefícios esperados relativamente à proteção dos acabamentos e à prevenção de resíduos. Este facto evidencia a importância de definir, ainda na fase de preparação, o grau de completude pretendido para os *Pods* e a repartição exata de responsabilidades entre fábrica e obra.

5
CONCLUSÕES

5.1 RESULTADOS

O IVP calculado pela FAD-PF, através da simulação da fase de preparação da empreitada, foi de 3,67, enquanto o cálculo realizado na fase final de execução resultou num valor de 3,73. A diferença de apenas 0,06 pontos evidencia a proximidade entre a avaliação inicial e a avaliação baseada nos resultados da execução, corroborando a previsão obtida pela ferramenta para a empreitada analisada. Esta concordância permitiu validar a utilidade da FAD-PF como instrumento de apoio à decisão na fase de preparação, ao permitir antecipar a viabilidade da utilização de módulos pré-fabricados de instalações sanitárias com resultados coerentes com os posteriormente observados em obra.

5.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A principal limitação da investigação relaciona-se com a aplicação da ferramenta a apenas um caso de estudo. Embora o caso analisado tenha permitido demonstrar a utilização prática da FAD-PF, os resultados não devem ser generalizados para todas as empreitadas ou para todas as soluções pré-fabricadas.

A classificação dos subcritérios através de uma escala ordinal implica igualmente uma componente de julgamento técnico. Apesar de a ferramenta procurar apoiar a pontuação em informação verificável, a atribuição de determinados níveis pode variar em função da experiência dos intervenientes e das características específicas de cada empreitada.

Outra limitação prende-se com a indisponibilidade de dados completos relativos à mão de obra efetivamente mobilizada, aos custos indiretos e à duração equivalente da execução integral das instalações sanitárias pela solução tradicional. Por esse motivo, a análise de produtividade e de custos indiretos foi desenvolvida de forma qualitativa ou com base em pressupostos comparáveis.

5.3 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como desenvolvimento futuro, recomenda-se a aplicação da FAD-PF a um conjunto mais alargado de empreitadas, incluindo edifícios com diferentes utilizações, escalas, localizações e graus de repetitividade. Esta aplicação permitiria testar a robustez da ferramenta e calibrar os intervalos de interpretação do IVP.

Seria igualmente relevante aprofundar a análise económica, incorporando custos indiretos, custos de estaleiro, custos de financiamento, custos de logística, impacto no prazo global e custos associados a retrabalhos. Uma análise de custo do ciclo de vida poderia também permitir avaliar os efeitos da pré-fabricação para além da fase de construção.

Por último, recomenda-se o desenvolvimento de uma versão digital da FAD-PF, eventualmente integrada com ferramentas BIM e com informação de planeamento e orçamentação. Esta evolução permitiria reduzir a subjetividade da avaliação, facilitar a atualização dos dados e apoiar a comparação de diferentes cenários de pré-fabricação ao longo da fase de preparação da empreitada.

APÊNDICES

AP.1 QUESTIONÁRIO

Questionário

Âmbito

No âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, encontra-se em desenvolvimento uma ferramenta de apoio à decisão destinada a avaliar a viabilidade da utilização de *Bathroom Pods* em empreitadas de edifícios.

Objetivo

Este questionário tem como objetivo avaliar a importância relativa dos critérios que influenciam a decisão de utilizar *Bathroom Pods* em empreitadas de edifícios.

Em cada questão deverá indicar qual dos dois critérios considera mais importante para a decisão de utilização de *Bathroom Pods* e o grau dessa importância, utilizando a escala proposta por Saaty.

Nota: Não existem respostas certas ou erradas. Pretende-se apenas conhecer a sua opinião técnica e experiência profissional.

Identificação do especialista

Cargo/Função: _____

Empresa/Instituição: _____

Anos de experiência na construção: _____ anos

Área(s) de experiência (assinale as aplicáveis):

☐ Direção de Obra ☐ Preparação de Obra ☐ Fiscalização

☐ Projeto ☐ Orçamentação ☐ Gestão de Produção

☐ Construção Modular / Off-site ☐ BIM

☐ Outra: _____

Já participou em projetos com elementos pré-fabricados?

☐ Sim ☐ Não

Já participou em projetos com Bathroom Pods?

☐ Sim ☐ Não

Se respondeu "Sim", indique aproximadamente o número de projetos: _____

Critérios de avaliação

- **Prazo:** Potencial para reduzir o tempo de execução e melhorar o cumprimento do cronograma.
- **Custo:** Viabilidade económica global da solução, considerando custos diretos e custos indiretos.
- **Qualidade:** Potencial de melhoria da qualidade do produto, do controlo da qualidade e da fiabilidade da instalação.
- **Produtividade:** Potencial para racionalizar a execução, reduzir a dependência de mão de obra e aumentar a produtividade.

Escala fundamental de Saaty

Intensidade	Significado
1	Importância igual
3	Importância moderada
5	Importância forte
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2,4,6,8	Valores intermédios

5. Comparações par a par

Comparação 1: Prazo × Custo

Prazo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 2: Prazo × Qualidade

Prazo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qualidade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 3: Prazo × Produtividade

Prazo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produtividade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 4: Custo × Qualidade

Custo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Qualidade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 5: Custo × Produtividade

Custo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produtividade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Comparação 6: Qualidade × Produtividade

Qualidade	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produtividade
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Observações

Caso considere pertinente, apresente sugestões relativamente aos critérios:

_____

_____

_____

_____

_____

AP.2 PESOS DE REFERÊNCIA DOS CRITÉRIOS (AGREGADOS)

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade
Prazo	1.00	2.51	1.94	1.29
Custo	0.40	1.00	1.12	0.58
Qualidade	0.51	1.11	1.00	0.84
Produtividade	0.77	1.72	1.20	1.00
SOMA	2.69	6.34	5.26	3.71

	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade	Peso dos critérios (w)
Prazo	0.37	0.40	0.37	0.35	0.37
Custo	0.15	0.16	0.21	0.16	0.17
Qualidade	0.19	0.17	0.19	0.23	0.20
Produtividade	0.29	0.27	0.23	0.27	0.26

	0.37	0.17	0.20	0.26	
	Prazo	Custo	Qualidade	Produtividade	Soma ponderada (V)
Prazo	0.37	0.42	0.38	0.34	1.52
Custo	0.15	0.17	0.22	0.15	0.69
Qualidade	0.19	0.19	0.20	0.22	0.79
Produtividade	0.29	0.29	0.23	0.26	1.08

	Soma ponderada	Peso dos critérios	w/S
Prazo	1.52	0.37	4.08
Custo	0.69	0.17	4.08
Qualidade	0.79	0.20	4.07
Produtividade	1.08	0.26	4.07

λmax	4.08

C.I	0.03

C.R	0.028

AP.3 FAD-PF

FAD-PF — Ferramenta de Apoio à Decisão para a Pré-Fabricação

Preencha as células a azul com os pesos de referência obtidos através do AHP e com a classificação de cada subcritério (1 a 5). A folha calcula automaticamente as pontuações dos critérios, o Índice de Viabilidade da Pré-Fabricação (IVP) e a respetiva interpretação.

1. Pesos de referência dos critérios (AHP)

Critério	Peso	Observação
Prazo	37.0%	O peso pode ser alterado
Custo	17.0%	O peso pode ser alterado
Qualidade	20.0%	O peso pode ser alterado
Produtividade	26.0%	O peso pode ser alterado

Soma dos pesos	**100.0%**
Verificação	**OK**

2. Avaliação dos subcritérios

Critério	Subcritério	Descrição resumida	Pontuação (1–5)
Prazo	Pressão temporal	Exigência do prazo contratual da empreitada	
Prazo	Impacto no cronograma	Influência das instalações sanitárias na duração global da obra	
Custo	Competitividade económica	Comparação económica entre Pods e solução tradicional	
Custo	Custos indiretos	Importância dos custos indiretos na empreitada	
Custo	Risco de retrabalhos	Risco de retrabalhos na solução tradicional	
Qualidade	Exigência de qualidade	Nível de qualidade e acabamento exigido	
Qualidade	Complexidade técnica	Complexidade das instalações e coordenação entre especialidades	
Qualidade	Maturidade do projeto	Grau de definição, coordenação e estabilidade do projeto	
Produtividade	Repetitividade	Grau de repetição das tipologias de instalações sanitárias	
Produtividade	Disponibilidade de mão de obra	Disponibilidade de mão de obra qualificada para execução tradicional	
Produtividade	Condições logísticas	Condições para transporte, armazenamento e instalação	

Consulte a folha 'Escalas' para os descritores completos das classificações de 1 a 5.

3. Resultados da avaliação

Critério	Pontuação	Peso AHP	Pontuação ponderada
Prazo		37.0%	
Custo		17.0%	
Qualidade		20.0%	
Produtividade		26.0%	

Índice de Viabilidade (IVP)		
Interpretação		**Preencher avaliação**

Nota: o IVP constitui um instrumento de apoio à decisão. A interpretação final deve considerar as pontuações individuais de cada critério e as particularidades da empreitada.

FAD-PF — Escalas de avaliação dos subcritérios

Critério	Subcritério	1 — Muito desfavorável	2 — Desfavorável	3 — Moderado	4 — Favorável	5 — Muito favorável
Prazo	**Pressão temporal**	Prazo confortável, com margem significativa para atrasos	Alguma pressão, mas exequível sem medidas especiais	Prazo exigente, requerendo planeamento rigoroso	Prazo muito exigente, com reduzida margem para desvios	Cumprimento do prazo crítico para o empreendimento
Prazo	**Impacto no cronograma**	Instalações sanitárias com impacto reduzido no cronograma global	Impacto limitado e absorvível pelo planeamento	Influência parcial na duração da obra	Execução condiciona significativamente o avanço da empreitada	Instalações sanitárias determinantes para o cumprimento do cronograma global
Custo	**Competitividade económica**	Solução com Pods apresenta custo significativamente superior	Custo moderadamente superior	Custos semelhantes entre as duas soluções	Custo moderadamente inferior	Custo significativamente inferior
Custo	**Custos indiretos**	Peso muito reduzido no custo da empreitada	Peso pouco significativo	Importância moderada	Parcela significativa do custo total	Custos indiretos muito elevados, cuja redução é determinante
Custo	**Risco de retrabalhos**	Risco muito reduzido de retrabalhos na solução tradicional	Risco reduzido	Risco moderado	Risco elevado	Risco muito elevado, com impacto significativo nos custos e no prazo
Qualidade	**Exigência de qualidade**	Exigências básicas de qualidade e acabamento	Exigências ligeiramente superiores ao habitual	Exigências moderadas de qualidade e desempenho	Elevadas exigências de qualidade, precisão e acabamento	Exigências muito elevadas, com tolerâncias reduzidas e controlo rigoroso
Qualidade	**Complexidade técnica**	Instalações simples, com poucas especialidades e reduzida complexidade	Baixa complexidade técnica	Complexidade moderada	Elevada complexidade técnica e forte coordenação entre especialidades	Complexidade muito elevada, com integração de múltiplas especialidades e requisitos exigentes
Qualidade	**Maturidade do projeto**	Projeto pouco desenvolvido, com informação incompleta e elevada probabilidade de alterações	Projeto parcialmente definido, com aspetos relevantes por consolidar	Projeto maioritariamente definido, podendo ocorrer alterações pontuais	Projeto bem definido e coordenado, com reduzida probabilidade de alterações	Projeto totalmente definido, coordenado e estabilizado
Produtividade	**Repetitividade**	Instalações sanitárias substancialmente diferentes entre si	Reduzido número de instalações semelhantes	Repetição moderada de tipologias	Maioria das instalações apresenta tipologias repetitivas	Instalações altamente repetitivas e padronizadas
Produtividade	**Disponibilidade de mão de obra**	Elevada disponibilidade de mão de obra qualificada para execução tradicional	Boa disponibilidade de mão de obra	Disponibilidade moderada	Dificuldade na contratação de mão de obra qualificada	Escassez significativa de mão de obra, condicionando a execução
Produtividade	**Condições logísticas**	Condições que inviabilizam ou dificultam significativamente a utilização dos módulos	Limitações logísticas importantes	Condições aceitáveis, embora exigindo planeamento adicional	Boas condições para transporte, armazenamento e instalação	Condições muito favoráveis, permitindo uma implementação eficiente

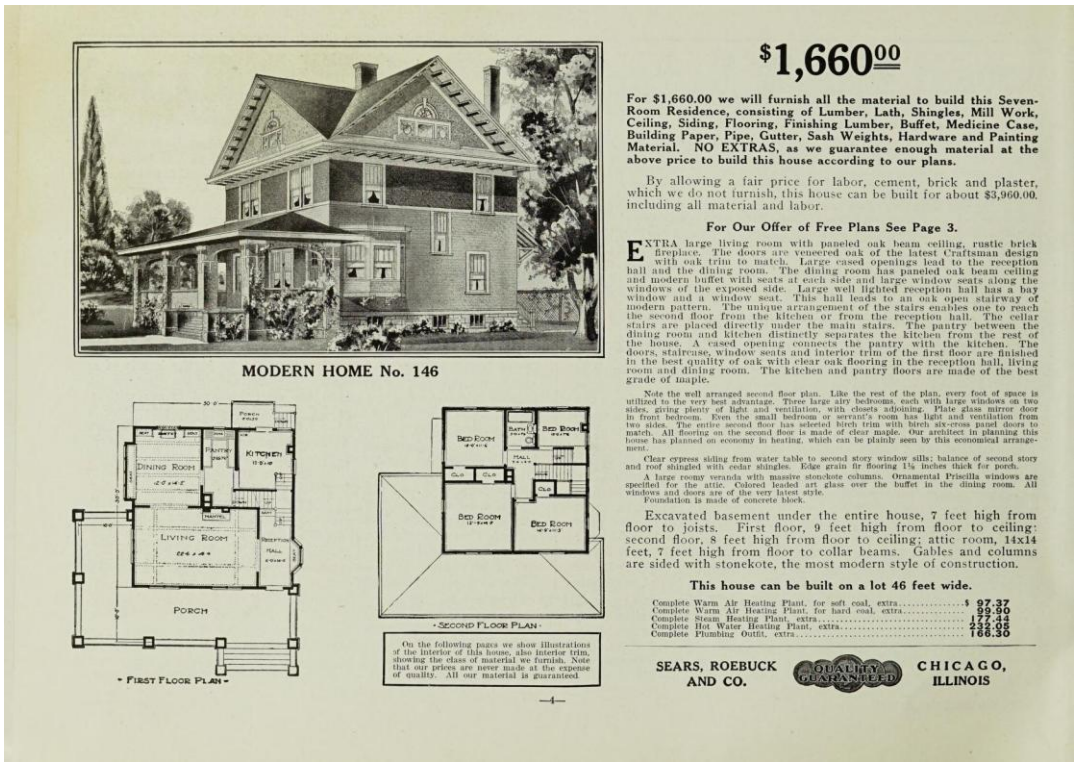
FAD-PF — Guia de utilização

Procedimento de aplicação

1. Insira os pesos dos quatro critérios obtidos através da análise AHP na folha 'FAD-PF'.
2. Confirme que a soma dos pesos é igual a 100%.
3. Consulte a folha 'Escalas' e classifique cada subcritério de 1 a 5.
4. Introduza as classificações na coluna azul da folha 'FAD-PF'.
5. Analise as pontuações por critério, o IVP e a interpretação automática.
6. Utilize o resultado como apoio à decisão, complementando-o com a apreciação técnica da equipa de obra.

ANEXOS

A.1 CATÁLOGO DA SEARS, ROEBUCK AND COMPANY COM ALGUNS MODELOS DE CASAS PRÉ-FABRICADAS POR ENCOMENDAS [12]



$1,660.00

For $1,660.00 we will furnish all the material to build this Seven-Room Residence, consisting of Lumber, Lath, Shingles, Mill Work, Ceiling, Siding, Flooring, Finishing Lumber, Buffet, Medicine Case, Building Paper, Pipe, Gutter, Sash Weights, Hardware and Painting Material. NO EXTRAS, as we guarantee enough material at the above price to build this house according to our plans.

By allowing a fair price for labor, cement, brick and plaster, which we do not furnish, this house can be built for about $3,960.00, including all material and labor.

For Our Offer of Free Plans See Page 3.

MODERN HOME No. 146

EXTRA large living room with paneled oak beam ceiling, rustic brick fireplace. The doors are veneered oak of the latest Craftsman design with oak trim to match. Large cased openings lead to the reception hall and the dining room. The dining room has paneled oak beam ceiling and modern buffet with seats at each side and large window seats along the windows of the exposed side. Large well lighted reception hall has a bay window and a window seat. This hall leads to an oak open stairway of modern pattern. The unique arrangement of the stairs enables one to reach the second floor from the kitchen or from the reception hall. The cellar stairs are placed directly under the main stairs. The pantry between the dining room and kitchen distinctly separates the kitchen from the rest of the house. A cased opening connects the pantry with the kitchen. The doors, staircase, window seats and interior trim of the first floor are finished in the best quality of oak with clear oak flooring in the reception hall, living room and dining room. The kitchen and pantry floors are made of the best grade of maple.

Note the well arranged second floor plan. Like the rest of the plan, every foot of space is utilized to the very best advantage. Three large airy bedrooms, each with large windows on two sides, giving plenty of light and ventilation, with closets adjoining. Plate glass mirror door in front bedroom. Even the small bedroom or servant's room has light and ventilation from two sides. The entire second floor has selected birch trim with birch six-cross panel doors to match. All flooring on the second floor is made of clear maple. Our architect in planning this house has planned on economy in heating, which can be plainly seen by this economical arrangement.

Clear cypress siding from water table to second story window sills; balance of second story and roof shingled with cedar shingles. Edge grain fir flooring 1¼ inches thick for porch.

A large roomy veranda with massive stonekote columns. Ornamental Priscilla windows are specified for the attic. Colored leaded art glass over the buffet in the dining room. All windows and doors are of the very latest style.

Foundation is made of concrete block.

Excavated basement under the entire house, 7 feet high from floor to joists. First floor, 9 feet high from floor to ceiling; second floor, 8 feet high from floor to ceiling; attic room, 14x14 feet, 7 feet high from floor to collar beams. Gables and columns are sided with stonekote, the most modern style of construction.

This house can be built on a lot 46 feet wide.

Complete Warm Air Heating Plant, for soft coal, extra	$ 97.37
Complete Warm Air Heating Plant, for hard coal, extra	99.90
Complete Steam Heating Plant, extra	177.44
Complete Hot Water Heating Plant, extra	232.05
Complete Plumbing Outfit, extra	166.30

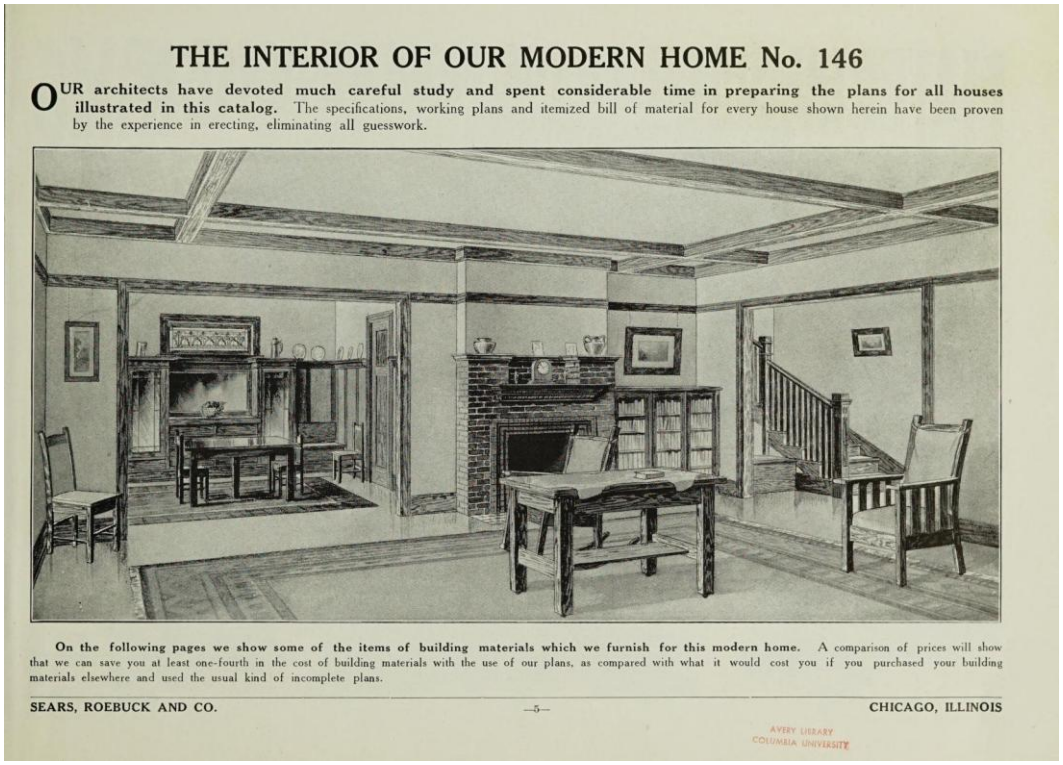
- FIRST FLOOR PLAN -

- SECOND FLOOR PLAN -

On the following pages we show illustrations of the interior of this house, also interior trim, showing the class of material we furnish. Note that our prices are never made at the expense of quality. All our material is guaranteed.

SEARS, ROEBUCK AND CO. — QUALITY GUARANTEED — CHICAGO, ILLINOIS

—4—



THE INTERIOR OF OUR MODERN HOME No. 146

OUR architects have devoted much careful study and spent considerable time in preparing the plans for all houses illustrated in this catalog. The specifications, working plans and itemized bill of material for every house shown herein have been proven by the experience in erecting, eliminating all guesswork.

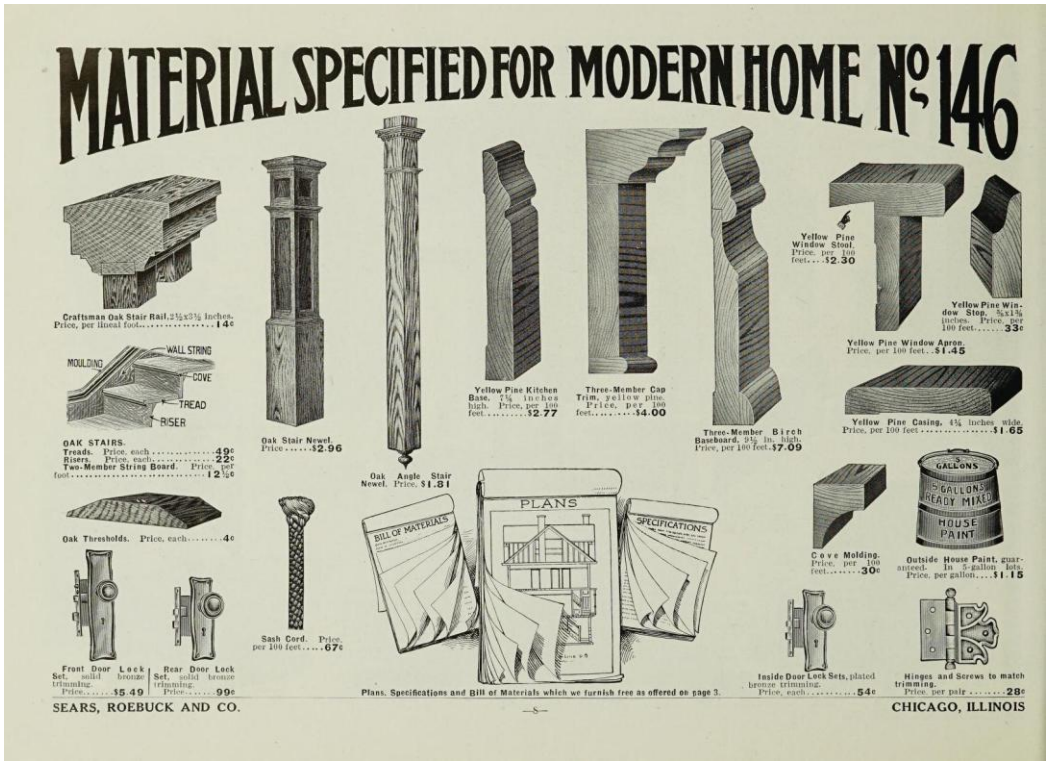
On the following pages we show some of the items of building materials which we furnish for this modern home. A comparison of prices will show that we can save you at least one-fourth in the cost of building materials with the use of our plans, as compared with what it would cost you if you purchased your building materials elsewhere and used the usual kind of incomplete plans.

SEARS, ROEBUCK AND CO. —5— CHICAGO, ILLINOIS

AVERY LIBRARY COLUMBIA UNIVERSITY


MATERIAL SPECIFIED FOR MODERN HOME No 146
Birch Interior Door, 2 feet 6 inches by 7 feet, 1¾ inches thick. Price...$3.18
Craftsman Oak Interior Door, 2 feet 8 inches by 7 feet, 1¾ inches thick. Price...$5.65
Closet Door for front chamber, birch, 2ft 6in x 7ft., with beautiful full length plate glass mirror. Price...$17.15
Rear Outside Door, 3x7 feet, 1¾ inches thick, glazed. Price...$4.80
Craftsman Oak Front Door, glazed plate glass; 3x7 feet, 1¾ inches thick. Price...$8.25
Two-Light Check Rail Window, 2 feet by 4 feet 6 inches, with glass. Price...71c
Craftsman Oak Buffet, bevel plate glass mirror, doors glazed with leaded glass. Price...$46.00
All the doors, buffet and other materials shown on this page represent a few of the items we furnish for Modern Home No. 146 shown on page 4.
QUALITY GUARANTEED
Note our low prices. All our material is guaranteed. We furnish the very latest designs at half regular prices. For complete line see our Building Material Catalog.
QUALITY GUARANTEED
Inside Door Jambs. Yellow pine...10.45 Oak...78 Birch...1.02
SEARS, ROEBUCK AND CO.
—6—
CHICAGO, ILLINOIS


MATERIAL SPECIFIED FOR MODERN HOME No 146
Colored Art Nouveau Leaded Glass over buffet. Price, per foot...$1.65
Craftsman Oak Band Picture Mold. Price, per 100 feet...$3.25
Craftsman Oak Plate Rail, five members. Price, per foot...18½c
Craftsman Oak Three-Member Base. Price, per 100 feet...$6.40
Craftsman Oak Window Stool. Price, per 100 feet...$4.75
Craftsman Oak Window Apron. Price, per 100 feet...$2.50
Craftsman Oak Picture Molding. Price, per 100 feet...$1.60
Craftsman Oak Two-Member Casing. Price per 100 feet...$3.30
Outside Window Frame, 2 feet by 4 feet 6 inches, with pulleys. Price...$1.62
Outside Door Frame, 1¼-inch outside casing, 1¾-inch thick oak sill. Price...$1.90
Clear Oak Flooring, 13-16x 2¼-inch face. Price, per 1,000 feet...$59.50
We specify the highest class of materials; strictly up to date designs. Our low prices explain why you can build a $5,000.00 house for $3,960.00 when you trade with us.
QUALITY GUARANTEED
Cupboard Door, 1 foot 6 inches by 2 feet 6 inches, 1¾ inches thick. Price...56c
The interior of a home finished with materials such as shown on this page is sure to please. There are none better made at any price. We guarantee to please our customers.
QUALITY GUARANTEED
Clear Yellow Pine Flooring. 3x2¼-inch face. Price, per 1,000 feet...$26.80
SEARS, ROEBUCK AND CO.
—7—
CHICAGO, ILLINOIS



MATERIAL SPECIFIED FOR MODERN HOME No. 146

Craftsman Oak Stair Rail, 2½x3½ inches. Price, per lineal foot.....14¢

WALL STRING
MOULDING
COVE
TREAD
RISER

OAK STAIRS.
Treads. Price, each.....49¢
Risers. Price, each.....22¢
Two-Member String Board. Price, per foot.....12½¢

Oak Thresholds. Price, each.....4¢

Front Door Lock Set, solid bronze trimming. Price.....$5.49

Rear Door Lock Set, solid bronze trimming. Price.....99¢

Oak Stair Newel. Price.....$2.96

Oak Angle Stair Newel. Price, $1.81

Sash Cord. Price, per 100 feet.....67¢

Yellow Pine Kitchen Base, 7½ inches high. Price, per 100 feet.....$2.77

Three-Member Cap Trim, yellow pine. Price, per 100 feet.....$4.00

Three-Member Birch Baseboard, 9½ in. high. Price, per 100 feet.$7.09

Yellow Pine Window Stool. Price, per 100 feet...$2.30

Yellow Pine Window Stop, 5x1⅝ inches. Price, per 100 feet.....33¢

Yellow Pine Window Apron. Price, per 100 feet..$1.45

Yellow Pine Casing, 4¾ inches wide. Price, per 100 feet.....$1.65

Cove Molding. Price, per 100 feet.....30¢

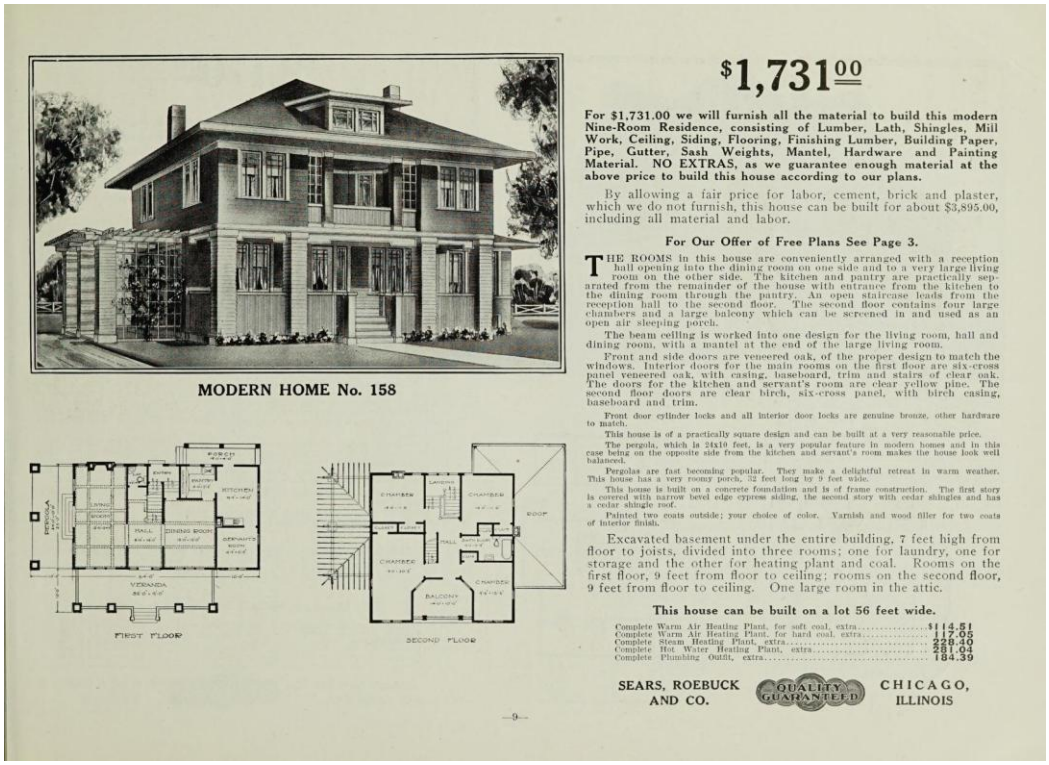
Outside House Paint, guaranteed. In 5-gallon lots. Price, per gallon...$1.15

Inside Door Lock Sets, plated bronze trimming. Price, each.....54¢

Hinges and Screws to match trimming. Price, per pair.....28¢

Plans, Specifications and Bill of Materials which we furnish free as offered on page 3.

SEARS, ROEBUCK AND CO. —5— CHICAGO, ILLINOIS



MODERN HOME No. 158

FIRST FLOOR

SECOND FLOOR

$1,731.00

For $1,731.00 we will furnish all the material to build this modern Nine-Room Residence, consisting of Lumber, Lath, Shingles, Mill Work, Ceiling, Siding, Flooring, Finishing Lumber, Building Paper, Pipe, Gutter, Sash Weights, Mantel, Hardware and Painting Material. NO EXTRAS, as we guarantee enough material at the above price to build this house according to our plans.

By allowing a fair price for labor, cement, brick and plaster, which we do not furnish, this house can be built for about $3,895.00, including all material and labor.

For Our Offer of Free Plans See Page 3.

THE ROOMS in this house are conveniently arranged with a reception hall opening into the dining room on one side and to a very large living room on the other side. The kitchen and pantry are practically separated from the remainder of the house with entrance from the kitchen to the dining room through the pantry. An open staircase leads from the reception hall to the second floor. The second floor contains four large chambers and a large balcony which can be screened in and used as an open air sleeping porch.

The beam ceiling is worked into one design for the living room, hall and dining room, with a mantel at the end of the large living room.

Front and side doors are veneered oak, of the proper design to match the windows. Interior doors for the main rooms on the first floor are six-cross panel veneered oak, with casing, baseboard, trim and stairs of clear oak. The doors for the kitchen and servant's room are clear yellow pine. The second floor doors are clear birch, six-cross panel, with birch casing, baseboard and trim.

Front door cylinder locks and all interior door locks are genuine bronze, other hardware to match.

This house is of a practically square design and can be built at a very reasonable price.

The pergola, which is 24x10 feet, is a very popular feature in modern homes and in this case being on the opposite side from the kitchen and servant's room makes the house look well balanced.

Pergolas are fast becoming popular. They make a delightful retreat in warm weather. This house has a very roomy porch, 32 feet long by 9 feet wide.

This house is built on a concrete foundation and is of frame construction. The first story is covered with narrow bevel edge cypress siding, the second story with cedar shingles and has a cedar shingle roof.

Painted two coats outside; your choice of color. Varnish and wood filler for two coats of interior finish.

Excavated basement under the entire building, 7 feet high from floor to joists, divided into three rooms; one for laundry, one for storage and the other for heating plant and coal. Rooms on the first floor, 9 feet from floor to ceiling; rooms on the second floor, 9 feet from floor to ceiling. One large room in the attic.

This house can be built on a lot 56 feet wide.

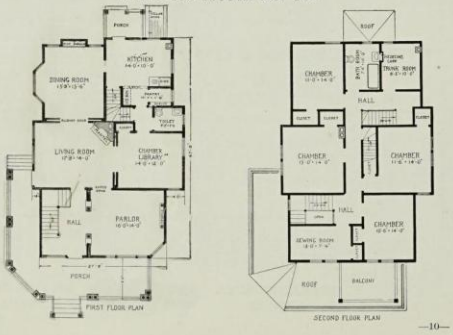
Complete Warm Air Heating Plant, for soft coal, extra	$114.51
Complete Warm Air Heating Plant, for hard coal, extra	117.05
Complete Steam Heating Plant, extra	229.10
Complete Hot Water Heating Plant, extra	281.04
Complete Plumbing Outfit, extra	184.39

SEARS, ROEBUCK AND CO. QUALITY GUARANTEED CHICAGO, ILLINOIS

—9—



MODERN HOME No. 132



—10—

$2,170.00

For $2,170.00 we will furnish all the material to build this Twelve-Room House, consisting of Lumber, Lath, Shingles, Mill Work, Flooring, Ceiling, Siding, Finishing Lumber, Building Paper, Pipe, Gutter, Sash Weights, Mantel, Medicine Case, China Closet, Console, Hardware and Painting Material. NO EXTRAS, as we guarantee enough material at the above price to build this house according to our plans.

By allowing a fair price for labor, cement, brick and plaster, which we do not furnish, this house can be built for about $4,480.00, including all material and labor.

For Our Offer of Free Plans See Page 3.

A LARGE, roomy house, well designed and suitable for a corner lot, having large front porch 42x9 feet, and large bay window in the dining room, with an outside door opening from the porch into the living room, front door opens into the reception hall. Large colonnade between the hall and parlor. Well designed oak open stairway. The hall leads to the living room, parlor or second floor. Cased opening between the living room and parlor. Sliding doors between the living room and library; sliding doors between the living room and dining room. China closet or sideboard set into the wall of the dining room. Colored leaded art glass sash on each side of sideboard above plate rail. Rear stairway leading to the second floor from the kitchen with cellar stairs directly underneath. Toilet on the first floor. On the second floor there are four large bedrooms, sewing room, storeroom or trunk room, and bathroom which has medicine case built into the wall.

Two front doors of veneered oak, glazed with bevel plate glass. Two-panel veneered oak inside doors and clear oak casing, baseboard and molding throughout the entire house. Quarter sawed oak flooring for the main rooms on the first floor and clear yellow pine flooring for the second floor and porches. Mantel in living room, and console with large mirror in parlor.

Painted two coats outside. Varnish and wood filler for two coats of interior finish.

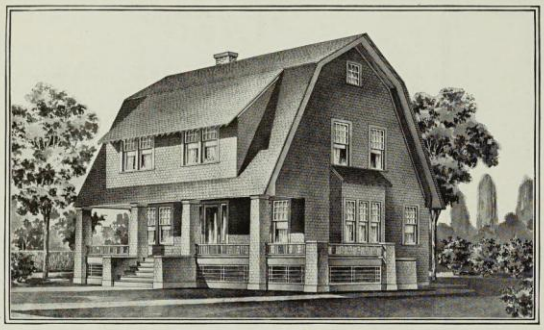
Built on a concrete block foundation, frame construction, sided with narrow bevel edge siding of clear cypress and has cedar shingle roof.

Excavated basement under the entire house, 7 feet from floor to joists, with cement floor. First floor, 10 feet from floor to ceiling; second floor, 9 feet from floor to ceiling.

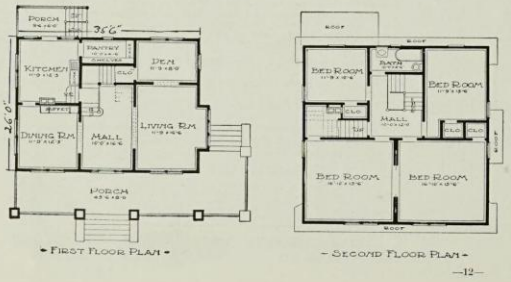
This house can be built on a lot 50 feet wide.

Complete Warm Air Heating Plant, for soft coal, extra	$112.86
Complete Warm Air Heating Plant, for hard coal, extra	115.40
Complete Steam Heating Plant, extra	296.70
Complete Hot Water Heating Plant, extra	336.00
Complete Plumbing Outfit, extra	180.71

SEARS, ROEBUCK AND CO. QUALITY GUARANTEED CHICAGO, ILLINOIS



MODERN HOME No. 164



—12—

$1,446.00

For $1,446.00 we will furnish all the material to build this Nine-Room House, consisting of Lumber, Lath, Shingles, Mill Work, Ceiling, Flooring, Finishing Lumber, Buffet, Medicine Case, Building Paper, Pipe, Gutter, Sash Weights, Hardware and Painting Material. NO EXTRAS, as we guarantee enough material at the above price to build this house according to our plans.

By allowing a fair price for labor, cement, brick and plaster, which we do not furnish, this house can be built for about $2,730.00 including all material and labor.

For Our Offer of Free Plans See Page 3.

A COLONIAL two-story house with a gambrel roof. Large front porch, 45 feet 6 inches long by 8 feet wide, on the same level with which is an open porch or terrace, 12x10 feet. Large square porch columns, sided with shingles. Paneled lattice work under the porch, constructed with square porch balusters. Queen Anne windows. Reception hall, 10 feet wide by 16 feet 6 inches long, with large cased opening leading to the living room and cased opening leading to the dining room. Cased opening between the living room and den which can be used as a library. Oak open staircase to the landing, giving access to hall and kitchen. Large pantry. Two large bedrooms across the front on the second floor; double sliding doors between them. Two bedrooms in the rear; bathroom; and four closets.

Beauty oak veneered front door, 3x7 feet, 1¾ inches thick, glazed with bevel plate glass with side lights on each side, glazed with bevel plate glass. Two-panel veneered oak inside doors for the first floor; Craftsman design oak trim. Second floor, clear solid yellow pine five-cross panel doors and yellow pine trim. Clear oak flooring for the hall and main rooms on the first floor; clear maple flooring for the kitchen, pantry, entire second floor and porches of clear yellow pine. Plenty of large size windows make this house light and allow good ventilation.

Built on a concrete foundation, frame construction, sided and roofed with cedar shingles.

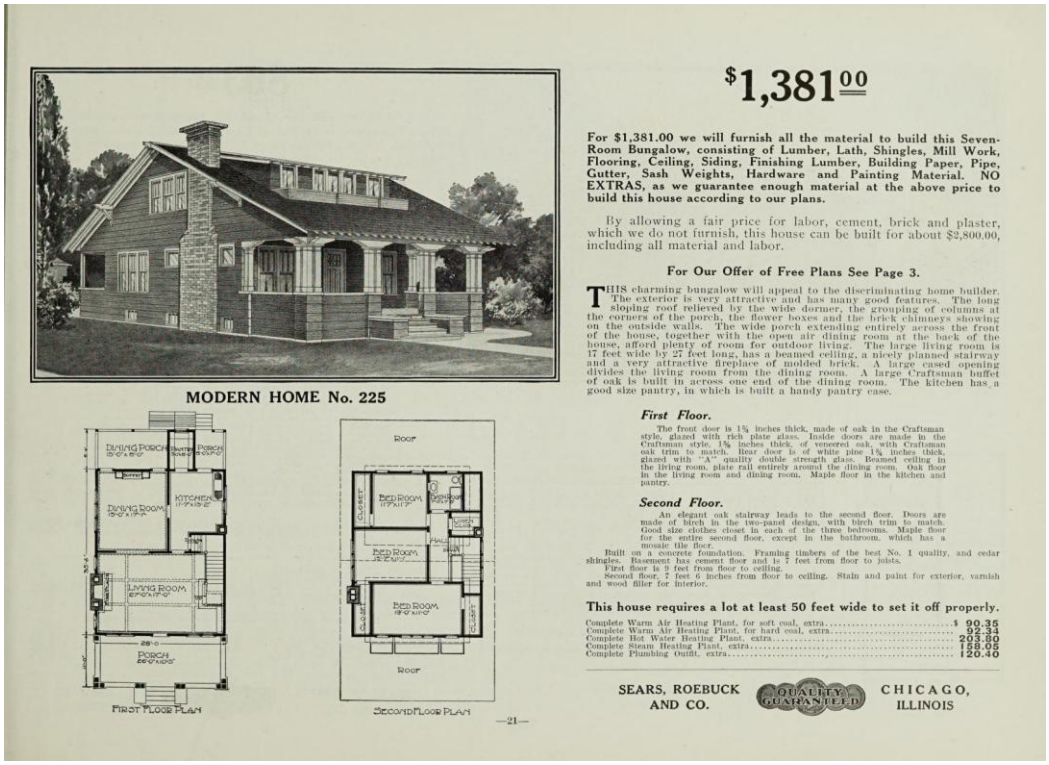
Painted two coats on all outside work except shingles, which are stained with creosote stain, color to suit owner. Varnish and wood filler for two coats of interior finish.

Excavated basement under the entire house, 7 feet from floor to joists, with cement floor. First floor, 9 feet from floor to ceiling; second floor, 8 feet 6 inches from floor to ceiling.

This house can be built on a lot 50 feet wide.

Complete Warm Air Heating Plant, for soft coal, extra	$103.51
Complete Warm Air Heating Plant, for hard coal, extra	105.72
Complete Hot Water Heating Plant, extra	256.94
Complete Steam Heating Plant, extra	218.10
Complete Plumbing Outfit, extra	120.29

SEARS, ROEBUCK AND CO. QUALITY GUARANTEED CHICAGO, ILLINOIS



MODERN HOME No. 225

FIRST FLOOR PLAN

SECOND FLOOR PLAN

—21—

$1,381.00

For $1,381.00 we will furnish all the material to build this Seven-Room Bungalow, consisting of Lumber, Lath, Shingles, Mill Work, Flooring, Ceiling, Siding, Finishing Lumber, Building Paper, Pipe, Gutter, Sash Weights, Hardware and Painting Material. NO EXTRAS, as we guarantee enough material at the above price to build this house according to our plans.

By allowing a fair price for labor, cement, brick and plaster, which we do not furnish, this house can be built for about $2,800.00, including all material and labor.

For Our Offer of Free Plans See Page 3.

THIS charming bungalow will appeal to the discriminating home builder. The exterior is very attractive and has many good features. The long sloping roof relieved by the wide dormer, the grouping of columns at the corners of the porch, the flower boxes and the brick chimneys showing on the outside walls. The wide porch extending entirely across the front of the house, together with the open air dining room at the back of the house, afford plenty of room for outdoor living. The large living room is 12 feet wide by 27 feet long, has a beamed ceiling, a nicely planned stairway and a very attractive fireplace of molded brick. A large cased opening divides the living room from the dining room. A large Craftsman buffet of oak is built in across one end of the dining room. The kitchen has a good size pantry, in which is built a handy pantry case.

First Floor.

The front door is 1⅝ inches thick, made of oak in the Craftsman style, glazed with rich plate glass. Inside doors are made in the Craftsman style, 1⅜ inches thick, of veneered oak, with Craftsman oak trim to match. Rear door is of white pine 1⅜ inches thick, glazed with "A" quality double strength glass. Beamed ceiling in the living room, plate rail entirely around the dining room. Oak floor in the living room and dining room. Maple floor in the kitchen and pantry.

Second Floor.

An elegant oak stairway leads to the second floor. Doors are made of birch in the two-panel design, with birch trim to match. Good size clothes closet in each of the three bedrooms. Maple floor for the entire second floor, except in the bathroom, which has a mosaic tile floor.

Built on a concrete foundation. Framing timbers of the best No. 1 quality, and cedar shingles. Basement has cement floor and is 7 feet from floor to joists.

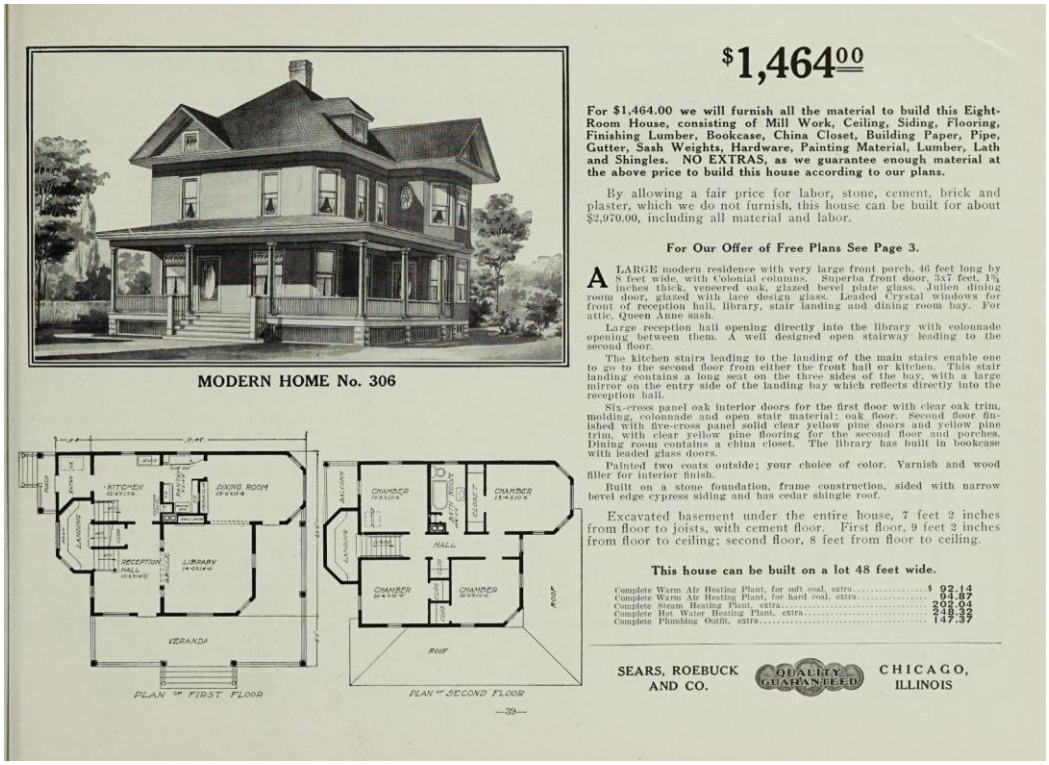
First floor is 9 feet from floor to ceiling.

Second floor, 7 feet 6 inches from floor to ceiling. Stain and paint for exterior, varnish and wood filler for interior.

This house requires a lot at least 50 feet wide to set it off properly.

Complete Warm Air Heating Plant, for soft coal, extra	$ 90.35
Complete Warm Air Heating Plant, for hard coal, extra	92.34
Complete Hot Water Heating Plant, extra	203.80
Complete Steam Heating Plant, extra	158.05
Complete Plumbing Outfit, extra	120.40

SEARS, ROEBUCK AND CO. QUALITY GUARANTEED CHICAGO, ILLINOIS



MODERN HOME No. 306

PLAN OF FIRST FLOOR

PLAN OF SECOND FLOOR

—39—

$1,464.00

For $1,464.00 we will furnish all the material to build this Eight-Room House, consisting of Mill Work, Ceiling, Siding, Flooring, Finishing Lumber, Bookcase, China Closet, Building Paper, Pipe, Gutter, Sash Weights, Hardware, Painting Material, Lumber, Lath and Shingles. NO EXTRAS, as we guarantee enough material at the above price to build this house according to our plans.

By allowing a fair price for labor, stone, cement, brick and plaster, which we do not furnish, this house can be built for about $2,970.00, including all material and labor.

For Our Offer of Free Plans See Page 3.

A LARGE modern residence with very large front porch, 46 feet long by 8 feet wide, with Colonial columns. Superba front door, 3x7 feet, 1¾ inches thick, veneered oak, glazed bevel plate glass. Julien dining room door, glazed with lace design glass. Leaded Crystal windows for front of reception hall, library, stair landing and dining room bay. For attic, Queen Anne sash.

Large reception hall opening directly into the library with colonnade opening between them. A well designed open stairway leading to the second floor.

The kitchen stairs leading to the landing of the main stairs enable one to go to the second floor from either the front hall or kitchen. This stair landing contains a long seat on the three sides of the bay, with a large mirror on the entry side of the landing bay which reflects directly into the reception hall.

Six-cross panel oak interior doors for the first floor with clear oak trim, molding, colonnade and open stair material; oak floor. Second floor finished with five-cross panel solid clear yellow pine doors and yellow pine trim, with clear yellow pine flooring for the second floor and porches. Dining room contains a china closet. The library has built in bookcase with leaded glass doors.

Painted two coats outside; your choice of color. Varnish and wood filler for interior finish.

Built on a stone foundation, frame construction, sided with narrow bevel edge cypress siding and has cedar shingle roof.

Excavated basement under the entire house, 7 feet 2 inches from floor to joists, with cement floor. First floor, 9 feet 2 inches from floor to ceiling; second floor, 8 feet from floor to ceiling.

This house can be built on a lot 48 feet wide.

Complete Warm Air Heating Plant, for soft coal, extra	$ 92.14
Complete Warm Air Heating Plant, for hard coal, extra	94.87
Complete Steam Heating Plant, extra	202.04
Complete Hot Water Heating Plant, extra	238.32
Complete Plumbing Outfit, extra	147.37

SEARS, ROEBUCK AND CO. QUALITY GUARANTEED CHICAGO, ILLINOIS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] IMPIC, "Relatório do Setor da Construção em Portugal 2025 – 1º Semestre," Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção, 2025.

[2] I. P. Instituto Nacional de Estatística. *Boletim Mensal de Estatística – abril 2026*.

[3] F. B. a. M. K. Ralph Tayeh, "Advancing the Industrialization of Construction: Overcoming Barriers and Unlocking Benefits for a Sustainable Future," The International Association for Automation and Robotics in Construction, 2025.

[4] R. D. W. ROBERT AGREN, "Five moments in the history of industrialized building," 2013, doi: http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2013.825374.

[5] I. Katz, "Mobile Colonial Architecture: Facilitating Settler Colonialism'sExpansions, Expulsions, Resistance, and Decolonisation," 2021, doi: https://doi.org/10.1080/17450101.2021.2000838.

[6] G. Herbert, "The Portable Colonial Cottage," *Journal of the Society of Architectural Historians,* vol. 31, 1972.

[7] Wikipedia, "The Crystal Palace." [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/The_Crystal_Palace.

[8] "The illustrated London news v.17 1850 Jul-Dec," vol. 17, 1850 Jul-Dec ed, p. 453.

[9] *Consumers Guide*, Spring ed., 104, 1897. [Online]. Available: https://archive.org/details/sears-roebuck-catalog-104-spring-1897/mode/2up.

[10] M. o. M. A. (MoMA). "American System-Built Houses for The Richards Company project, Milwaukee, Wisconsin 1915-17." https://www.moma.org/collection/works/84847 (accessed 14/07/2026.

[11] C. A. Liccese-Torres, "DISCOVERING MAIL-ORDER DREAMS: HOW TO IDENTIFY SEARS, ROEBUCK & COMPANY," Master, Arts in Historic Preservation, Welch Center for Graduate and Professional Studies

Goucher College, 2003.

[12] *Modern homes*, Internet Archive, 1911. [Online]. Available: https://archive.org/details/modernhomes00sear/mode/2up. Accessed: 14/07/2026.

[13] L. H. Marcelo Gardinetti, "Le Corbusier, Dom-ino," ed.

[14] archdaily, "Clássicos da Arquitetura: Casa Dymaxion 4D / Buckminster Fuller." [Online]. Available: https://www.archdaily.com/pt//01-130267/classicos-da-arquitetura-casa-dymaxion-4d-slash-buckminster-fuller/51dee1f6e8e44eb808000010-ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller-image.

[15] A. c. branca, "Konrad Wachsmann, Patent Drawing of universal joint for General Panel System (with Walter Gropius), 5/27/47 (filed 8/10/45) (via Google Patent Search)," ed.

[16] M. G. Hana Begic, "A Systematic Review of Construction 4.0 in the Context of the BIM 4.0 Premise," Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek, 2021.

[17] S. V. I. P. Ltd. "BIM Fabrication Services." https://www.siliconinfo.com/building-information-modelling/bim-fabrication-prefabrication.html (accessed.

[18] S. P. Buddhini Ginigaddara, Yingbin Feng and Payam Rahnamayiezekavat, "Development of an Offsite Construction Typology:

A Delphi Study," 2021, doi: https://doi.org/10.3390/buildings12010020.

[19] *Prefabricated bathroom pods and kitchen units*. [Online]. Available: https://www.bathsystem.com/en-uk/.

[20] M. F. P. SOUSA, "COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES DE CASAS DE BANHO PRÉ-FABRICADAS E CONSTRUÇÃO TRADICIONAL: Análise Custo/Benefício," Mestrado, Departamento de Engenharia CIvil, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2025.
[21] E. L.-H. Ivana Kuzmanovska, Mark Romei, Darcy Zelenko, Mohaimeen Islam, Siddhesh Godbole, Marcel Gono and Clevo Wilson, "DEMISTIFYING VOLUMETRIC CONSTRUCTION: A STUDY OF THE BATHROOM POD," Monash University, 2022.
[22] T. Corporation, "60th anniversary of the birth of the industry's first “unit bathroom”," ed, 2024.
[23] B. a. C. Planning, "Insights into the increasing demand for bathroom pods," 2019. [Online]. Available: https://www.pbctoday.co.uk/news/mmc-news/bathroom-pods-demand/64821/.
[24] B&T. "Building Innovation: How B&T Manufacturing Created a First-of-Its-Kind Floorless Bathroom Pod Solution." https://www.bandtmfg.com/building-innovation-how-bt-manufacturing-created-a-first-of-its-kind-floorless-bathroom-pod-solution/ (accessed.
[25] HOWICK. "Bathroom Pods." https://www.howickltd.com/applications/modular-construction/bathroom-pods (accessed.
[26] FRAMEMAC. "How Bathroom Pods may benefit your traditional build." https://en.framemac.com/article/detail/57 (accessed.
[27] D. Dubai Industrial City, UAE, "Dupod." [Online]. Available: https://housinginnovation.co/factory/dupod/
[28] DuraPods, "Why Choose Modular Construction for Your Bathroom Needs." [Online]. Available: https://durapods.com/self-contained-bathroom-pods/
[29] S. Homes, "BATHROOM PODS." [Online]. Available: https://sparkhomes.com.au/wp-content/uploads/2021/03/SPARK-Bathroom-Pods-for-Commercial-Projects.pdf
[30] C. Group, "Bathroom Pod - Factory Manufacturing Process." [Online]. Available: https://youtu.be/JEifBhH7TfI?si=lVE1DRELUTXDXQJw
[31] P. Scotland, "Practical tips for specifying bathroom pods." [Online]. Available: https://projectscot.com/2022/05/practical-tips-for-specifying-bathroom-pods/
[32] Interpod. "7 Ways Modular Bathroom Construction Saves You Time." https://interpod.com/7-ways-modular-bathroom-construction-saves-you-time/ (accessed.
[33] EcoReadyBath. "Pods installed as a planned operation." https://erb-pods.com/bathroom-pod-delivery-installation/ (accessed.
[34] M. P. Yi Yang, Wei Pan, "Integrated Offsite Logistics Scheduling Approach for High-Rise Modular Building Projects," *Journal of Construction Engineering and Management,* 2022, doi: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002280.
[35] BluMEP. "Residências Académicas de Valença." https://blumep.pt/portefolio/ru-valenca/ (accessed.
[36] E. I. A. M. R. M. W. Gregor, "A Value-Based Cost-Benefit Analysis of Prefabrication Processes in the Healthcare Sector: A Case Study," presented at the Industrialisation, prefabrication, assembly and open building, 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/282778094_A_Value-Based_Cost-Benefit_Analysis_of_Prefabrication_Processes_in_the_Healthcare_Sector_A_Case_Study.

[37] M. A. a. A. Lee, "A systematic review and meta-synthesis of the barriers of offsite constructionprojects," *INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSTRUCTION MANAGEMENT,* vol. 25, 2025, doi: https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2397287.

[38] A. d. P. L. S. Eduardo Werneck Senger, "Banheiros pré-fabricados: seus benefícios e como criam valor para consumidores," *Ambiente Construído,* vol. 20, 2019, doi: https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300446.

[39] A. B. Ayda AGHLMAND AZARIAN, Mohamed AL-HUSSEIN, SeyedReza RAZAVIALAVI, Jun AHN, Amirhossein MEHDIPOOR, Aryan HOJJATI, Joon Ha HWANG, Dena SHAMSOLLAHI and Osama MOSELHI, "Barriers and Potential Solutions to the Adoption of Modular and Offsite Construction: A Review," 2025, doi: https://doi.org/10.29173/mocs317.

[40] D. Z. Yongsheng Jiang , Dedong Wang and Yudong Xing, "Sustainable Performance of Buildings through Modular Prefabrication in the Construction Phase: A Comparative Study," 2019, doi: https://doi.org/10.3390/su11205658.

[41] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," vol. 1, 2008, doi: https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590.

[42] E. C.-L. Daniel Jato-Espino, Jorge Rodriguez-Hernandez, Juan Carlos Canteras-Jordana, "A review of application of multi-criteria decision making methods in construction," *Automation in Construction,* 2014. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction.

[43] J. M. k. Thomas L. Saaty, "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process," *European jpournal of Operational Research,* vol. 48, doi: https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I.

[44] A. K. Sangeeta Pant, Mangey Ram, Yury Klochkov and Hitesh Kumar Sharma, "Consistency Indices in Analytic Hierarchy Process: A Review," *Mathematics,* 2022.

[45] D. K. Virendra Rajput, Arun Sharma, Shubham Singh, Rambhagat "A Literature Review on Ahp (Analytic Hierarchy Process)," *IAETSD JOURNAL FOR ADVANCED RESEARCH IN APPLIED SCIENCES,* vol. 5, 2018.

[46] W. C. Wedley, "FEWER COMPARISONS – EFFICIENCY VIA SUFFICIENT REDUNDANCY," 2009. [Online]. Available: http://www.isahp.org/uploads/94_wedley_fewer_comparisons_rev_fin.pdf.