



JOÃO FRANCISCO ROQUE SANTOS PINTO

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

VANTAGENS DA PRÉ-FABRICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESCADAS PRÉ-FABRICADAS E TRADICIONAIS COM O MÉTODO CHOO- SING BY ADVANTAGES

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

Universidade NOVA de Lisboa
dezembro, 2023

Vantagens da Pré-fabricação na Construção: Análise Comparativa entre Escadas Pré-fa- bricadas e Tradicionais com o Método Choo- sing By Advantages

JOÃO FRANCISCO ROQUE SANTOS PINTO

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Orientador: Luís Gonçalo Correia Baltazar,
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Coorientadores: André Pinto,
Engenheiro Civil, CNT Europe – Grupo Casais
João Reis Moreira,
Engenheiro Civil, CNT Europe – Grupo Casais

Júri:

Presidente: Professora Doutora Ana Catarina P. S. Cruz Lopes,
Professora Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Arguente: Professora Doutora Maria Paulina S. F. Faria Rodrigues,
Professora Associada, Universidade NOVA de Lisboa

Orientador: Professor Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar,
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Vantagens da Pré-fabricação na Construção: Análise Comparativa entre Escadas Pré-fabricadas e Tradicionais com o Método Choosing By Advantages

Copyright © João Francisco Roque Santos Pinto, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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

À minha família, que sempre me apoiou.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador, Professor Luís Baltazar, pelo interesse em trabalhar comigo e disponibilidade ao longo de todas as etapas do meu trabalho.

Ao Grupo Casais, em especial à CNT Europe e aos Engenheiros André Pinto e João Reis Moreira, meus Coorientadores, por me terem acompanhado ao longo deste percurso e tornarem esta Dissertação mais rica com o seu conhecimento. Ao Engenheiro Romeu Lopes, Engenheiro Ricardo Sousa e Engenheiro Tiago Galego pela colaboração na discussão de resultados.

À HILTI, na pessoa do Engenheiro José Gomes, por ter disponibilizado informações sobre as soluções de apoio da Empresa.

À Schöck, em particular à Monteiro Viana, Lda e ao Engenheiro Gonçalo Viana, pelo fornecimento de informações sobre as soluções de apoio da Empresa.

Aos meus pais, à minha irmã e irmão, que foram as minhas fundações ao longo destes anos, por nunca me terem deixado ceder e deixado de apoiar, pelos conselhos e por me mostrarem que o caminho é para a frente. O vosso apoio foi fundamental para mim.

À Constança, o meu pilar durante estes anos, pela ajuda, carinho e por ter sido um exemplo para mim.

Aos meus albicastrenses, por terem sido as minhas vigas de apoio nos momentos mais difíceis e a todos os meus colegas fctenses que me mostraram que um curso não se faz sozinho. Obrigado pelas memórias criadas.

Por fim, obrigado ao meu avô, que me passou o “bichinho” da construção civil desde pequeno.

*“Porque eu sou do tamanho do que vejo
E não do tamanho da minha altura...”*

(Alberto Caeiro, heterónimo de Fernando Pessoa).

RESUMO

A construção em Portugal atravessa um período no qual tem de se transformar, devido à falta de mão de obra qualificada que se regista, ao aumento dos custos dos materiais de construção e à necessidade urgente de reabilitação de edifícios e construção de novas habitações. Na orçamentação global do projeto, 30-50% dos custos são referentes à mão de obra, o que demonstra a sua importância na atualidade da construção. Os licenciamentos de obras chegam a demorar anos, a duração das obras acaba por atrasar e ocorrem prejuízos para as empresas construtoras e para os investidores. É necessário modernizar a construção em Portugal.

A construção industrial afigura-se como uma das melhores soluções para fazer face a estas problemáticas, já com resultados práticos otimistas nos mercados nórdicos e asiáticos. A pré-fabricação permite diminuir a necessidade de mão de obra qualificada, a redução da duração da construção, redução de custos, desperdícios e aumento do controlo da qualidade, para além de ser mais uma ferramenta a contribuir para atingir as metas impostas pela União Europeia para a redução dos Gases com Efeito de Estufa (GEE) até 2030 e, posteriormente, 2050. Outra problemática que se pretende resolver na construção em Portugal é a desarticulação entre as especialidades e documentação referente aos projetos e o conservadorismo relativamente à mudança da construção tradicional para a industrializada. Para tal, existem ferramentas como o Building Information Modeling (BIM) que permite organização de documentação e informação sobre o projeto e a obra.

A metodologia proposta na presente dissertação, Choosing By Advantages (CBA), é uma metodologia que permite criar consenso entre *stakeholders* e especialidades envolvidas na tomada de decisão. Com a aplicação desta metodologia, todas as partes envolvidas ficam a par das decisões tomadas, há conhecimento sobre as alternativas propostas e as suas vantagens, resolvendo, assim, o problema da falta de comunicação e do desconhecimento das decisões tomadas.

Os resultados desta Dissertação têm por objetivo evidenciar as vantagens da pré-fabricação e os efeitos da sua aplicação noutros países, de modo a replicar em Portugal e, em termos práticos, a aplicação da CBA à comparação de escadas tradicionais e pré-fabricadas numa primeira parte e, numa segunda parte, à comparação de soluções de apoio para escadas pré-fabricadas, algo nunca antes realizado.

Concluiu-se que a pré-fabricação apresenta várias vantagens e a CBA permitiu constatar que a melhor solução para o edifício em estudo são Escadas Pré-fabricadas apoiadas na solução de apoio Cast-In+Cantoneira, tanto pelos custos apresentados como pela avaliação de IoA.

Palavras chave: Portugal; Construção industrializada; Custos; BIM; JIT; GEE; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry in Portugal is undergoing a necessary transformation period due to the shortage of skilled labour, the escalating cost of construction materials and the urgent need to renovate building and build new housing. In the overall the labour accounts for 30-50% of the total project budget, emphasizing its significance in contemporary construction. Permits for construction projects can take years to obtain, causing delays and financial setbacks for contractors and investors. There is an urgent need to modernize the construction industry in Portugal.

Industrialized construction emerges as one of the most promising solutions to address these challenges, with optimistic practical outcomes already observed in Nordic and Asian markets. Prefabrication reduces the demand for skilled labour, shortens construction timelines, reduces costs, minimizes waste, and enhances quality control. Additionally, it serves as a valuable tool to help meet the European Union's Greenhouse Gas Emissions (GGE) reduction targets by 2030 and subsequently by 2050. Another issue to address in Portuguese construction industry is the lack of organization between specialized disciplines and project documentation, as well as the reluctance to move from conventional to industrialized construction techniques. To address these challenges, tools such as Building Information Modeling (BIM) are available to facilitate document and project information management.

The methodology proposed in this dissertation, Choosing By Advantages (CBA), aims to promote consensus among *stakeholders* and specialized professionals involved in decision-making processes. By applying this methodology, all parties gain insight into the decisions being made, as well as knowledge of the proposed alternatives and their advantages. This solves issues related to communication gaps and lack of awareness regarding decision outcomes.

The theoretical outcome of this dissertation for the Portuguese literature is to showcase the benefits of prefabrication and the results of its implementation abroad, with the intention of replicating these practices in Portugal. In practical terms, the CBA methodology is applied to compare traditional and prefabricated staircases in the first part, and in the second part, to evaluate support solutions for prefabricated staircases, something that has never been explored before.

It was concluded that prefabrication offers several advantages and the CBA revealed that the best solution for the studied building is Prefabricated Stairs supported by the Cast-In+Cantoneira support solution, both based on the costs presented and the IoA assessment.

Keywords: Portugal; Industrialised construction; Costs; BIM; JIT; GGE; Sustainability.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	IX
ABSTRACT.....	XI
ÍNDICE.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
SIGLAS	XXV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Metodologia de Investigação e Objetivos da Dissertação.....	2
1.3 Estrutura da Investigação	3
2 PRÉ-FABRICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO	5
2.1 O Conceito de Pré-Fabricação	5
2.2 Contexto Histórico da Pré-fabricação	6
2.3 A Construção e a Pré-Fabricação em Portugal	10
2.4 Porquê a Mudança.....	15
2.5 Pré-Fabricação vs. Construção Tradicional	18
2.5.1 Controlo da Qualidade.....	26
2.5.2 Sustentabilidade.....	27
2.5.3 Pegada de Carbono	31
2.5.4 Planeamento.....	36
2.5.5 Custos	41
2.6 Escadas Pré-Fabricadas.....	52
2.6.1 Definição dos elementos que compõem uma Escada	54

2.6.2	Legislação aplicada a Escadas	55
3	METODOLOGIA CHOOSING BY ADVANTAGES (CBA)	59
3.1	Porquê utilizar a CBA e em que situações	60
3.2	As Vantagens da CBA	60
3.3	Os 7 passos da CBA.....	61
3.4	Exemplo de aplicação do método CBA	63
4	APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	67
4.1	Caracterização do Grupo Casais/CNT Europe.....	67
4.2	Caraterização do Edifício em Estudo - Hotel BB Gaia.....	68
4.3	Dimensionamento das Escadas Pré-fabricadas	71
4.4	Produção das Escadas Pré-fabricadas	74
4.5	Colocação das Escadas Pré-fabricadas no Núcleo de Escadas	79
4.6	Soluções de Apoio para Escadas Pré-fabricadas.....	82
4.6.1	Alternativa 1: Cantoneira (Grupo Casais)	82
4.6.2	Alternativa 2: Cast-In + Cantoneira (HILTI).....	83
4.6.3	Alternativa 3: Tronsole Tipo P (Schöck).....	84
5	APLICAÇÃO DA CBA PARA A DETERMINAÇÃO DA SOLUÇÃO DE APOIO ÓTIMA	87
5.1	Comparação da Construção Tradicional <i>versus</i> Construção Pré-fabricada em Escadas.....	87
5.2	Comparação das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas	99
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	111
6.1	Resultados obtidos pela CBA na comparação das Escadas Tradicionais <i>versus</i> Escadas Pré-fabricadas	111
6.2	Resultados obtidos pela CBA na comparação das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas	117
6.3	Discussão dos resultados obtidos.....	123
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	127
7.1	Conclusões	127
7.2	Contribuições para a Comunidade Científica	129
7.3	Limitações do Estudo.....	129
7.4	Recomendações para Trabalhos Futuros.....	130
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

ANEXOS.....	142
--------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Esquema da metodologia de investigação.	2
Figura 2.1- "The Cornish Units", casas construídas com painéis de betão pré-fabricado [13].	7
Figura 2.2- Edifício Ronan Point, construído com materiais pré-fabricados, 1968 [15].....	8
Figura 2.3-As Casas Dominó, criadas por Le Corbusier, em 1915 [18].	9
Figura 2.4- Produção no setor da construção de fevereiro 2022 a 2023, 2015=100 [22].....	11
Figura 2.5- Índice de custos de construção de habitação nova (taxa de variação homóloga), janeiro 2021 a março, 2023, 2021=100 [23].	12
Figura 2.6- Contribuições para a formação da taxa de variação homóloga [23].	13
Figura 2.7- Dia 1 de montagem do Hotel B&B Guimarães [24].	14
Figura 2.8- Dia 8 de montagem do Hotel B&B Guimarães [24].	14
Figura 2.9- "Office of The Future", construído em 2016, no Dubai [39].....	18
Figura 2.10- Levantamento da literatura das vantagens da pré-fabricação, distribuídas por continente.	20
Figura 2.11- Levantamento da literatura das vantagens da pré-fabricação, distribuídas por ano de publicação.....	20
Figura 2.12- Levantamento da literatura dos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por continente.	22
Figura 2.13- Levantamento da literatura dos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por ano de publicação.....	22
Figura 2.14- Levantamento da literatura das soluções aos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por continente.	24
Figura 2.15- Levantamento da literatura das soluções aos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por ano de publicação.	24
Figura 2.16- Processo BIM generalizado para a construção pré-fabricada [58].	25
Figura 2.17- Ciclo de vida dos resíduos de cofragem num edifício de betão armado. Adaptado de [8]29	
Figura 2.18- Ciclo de vida de um edifício (S1-S10) com integração da pré-fabricação. Adaptado de [70].	32
Figura 2.19- As atuais 10 dimensões do BIM [73, 74].	33
Figura 2.20- Variação das emissões de GEE devido à alteração da distância de transporte na construção pré-fabricada. Adaptado de [74].	34

Figura 2.21- Variação das emissões totais de GEE com níveis de pré-fabricação diferentes. Adaptado de [74].	35
Figura 2.22- Mecanismo de ação entre o Governo, Consumidor e Empresas imobiliárias. Adaptado de [75].	36
Figura 2.23- Poupança de tempo na pré-fabricação. Adaptado de [78].	37
Figura 2.24- Redução da duração da obra, do custo e aumento da produtividade através do uso da pré-fabricação em vez da construção tradicional. Adaptado de [84].	40
Figura 2.25- Gráfico do tempo de pré-fabricação de uma casa com 120 m ² comparado com a construção tradicional. Adaptado de [80].	41
Figura 2.26- Índice de custos de construção na UE-28 entre 2010 e 2017 (2010=100). Adaptado de [53].	42
Figura 2.27- Curva de aprendizagem teórica com coordenadas logarítmicas. Adaptado de [85].	44
Figura 2.28- Gráfico de MacLeamy, criado por Patrick MacLeamy. Fornecido pela TopBIM.	48
Figura 2.29- Gráfico da gestão de projetos colaborativos para construção pré-fabricada, Caso C. Adaptado de [91].	49
Figura 2.30- Comparação de custos nos três Casos. Conversão de 1 yuan=0,13€ a 28/09/23. Adaptado de [91].	50
Figura 2.31- Comparação dos custos de produção de componentes pré-fabricados. Conversão de 1 yuan=0,13€ a 28/09/23. Adaptado de [91].	51
Figura 2.32- Escada de pedra no Templo de Tarxien, Malta (3600 - 2500 a.C.) [93].	52
Figura 2.33- Escadas Pré-fabricadas com recurso a máquina industrial, 2023.	53
Figura 2.34- Definição dos elementos que compõem uma escada.	55
Figura 3.1- Os 7 Passos para aplicação da CBA. Adaptado de [102].	62
Figura 3.2- Comparação pela CBA entre total de IoA e os custos iniciais. Adaptado de [112].	65
Figura 3.3- Comparação pela CBA entre total de IoA e os custos do ciclo de vida (50 anos). Adaptado de [112].	66
Figura 4.1- Setores de atividade do Grupo Casais [113].	67
Figura 4.2- Colaboradores e volume de negócios do Grupo Casais em 2022 [113].	68
Figura 4.3- Hotel B&B Gaia. Fornecida pelo Grupo Casais.	69
Figura 4.4- Localização do edifício em Estudo.	70
Figura 4.5- Modelo 3D do Hotel B&B Gaia. Fornecido pela TopBIM.	70
Figura 4.6- Localização dos núcleos de escadas 2 e 3, escala 1:50. Fornecido pela TopBIM.	71
Figura 4.7- Cotagem das escadas em planta e corte. Fornecido pela TopBIM.	72
Figura 4.8- Dimensionamento das armaduras das escadas. Fornecido pela TopBIM.	74
Figura 4.9- Máquina para produção das Escadas Pré-fabricadas.	74
Figura 4.10- Fase de colocação da armadura da Escada na cofragem.	75
Figura 4.11- Colocação das ancoragens que, mais tarde, permitem retirar a Escada da máquina, com recurso a grua.	76
Figura 4.12- Etiquetagem para controlo da qualidade.	77

Figura 4.13- Fluxograma da produção das Escadas Pré-fabricadas.	78
Figura 4.14- Levantamento das Escadas Pré-fabricadas com recurso a auto-grua.....	79
Figura 4.15- Verificação da horizontalidade da Escada e remoção das ancoragens.	80
Figura 4.16- Fluxograma da colocação das Escadas Pré-fabricadas.	81
Figura 4.17- Solução de apoio Cantoneira, onde as Escadas Pré-fabricadas vão apoiar.....	82
Figura 4.18- Solução de apoio Cast-in+Cantoneira, onde as Escadas Pré-fabricadas vão apoiar [121].	83
Figura 4.19- Solução de apoio Tronsole Tipo P, onde as Escadas Pré-fabricadas vão apoiar [122].....	84
Figura 6.1- Colocação das Escadas Pré-fabricadas no núcleo de escadas.....	113
Figura 6.2- Gráfico comparativo do peso no custo total dos Fatores monetários nas Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas.	116
Figura 6.3- Gráfico Custo-Benefício da aplicação da CBA à comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas.	117
Figura 6.4- Gráfico comparativo do peso no custo total dos Fatores monetários das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.	121
Figura 6.5- Gráfico para comparação do custo da solução de apoio, custo dos materiais exceto solução de apoio e peso do custo da solução de apoio nos materiais, para Escadas Pré-fabricadas.	122
Figura 6.6- Gráfico Custo-Benefício da aplicação da CBA à comparação das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.	123
Figura 6.7- Gráfico Custo-Benefício da aplicação da CBA à comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas com revestimentos.	126
Figura 0.1- Organigrama do Grupo Casais [114].	143
Figura 0.2- Corte do piso 7 e 8 e vista em planta do núcleo de escadas. Fornecido pela TopBIM.	144

ÍNDICE DE TABELAS

[Tabela 2.1- Vantagens da pré-fabricação em relação à construção tradicional.	19
Tabela 2.2- Obstáculos à pré-fabricação em comparação com a construção tradicional.	21
Tabela 2.3- Soluções para ultrapassar os obstáculos à pré-fabricação.	23
Tabela 2.4- Resultados dos estudos de caso onde se aplicou técnicas de pré-fabricação. Adaptado de [59].	28
Tabela 2.5- Resultados dos estudos de caso onde se aplicou construção convencional. Adaptado de [59].	28
Tabela 2.6- Análise do benefício quando utilizada a pré-fabricação <i>versus</i> construção tradicional. Conversão de 1\$NZD= 0,56€ a 28 de setembro. Adaptado de [84].	39
Tabela 2.7- Comparação de custos entre construção tradicional e pré-fabricação. Adaptado de [88]. ..	45
Tabela 2.8- Comparação entre Entrega Tradicional de Projetos e IPD. Adaptado de [90].	47
Tabela 2.9- Informação de projetos de pré-fabricação para os três Casos. Conversão de 1 yuan=0,13€ a 28/09/23. Adaptado de [91].	49
Tabela 2.10- Classificação para elementos com funções de suporte de carga [98].	56
Tabela 3.1- Glossário e conceitos para aplicação da CBA. Adaptado de [101].	61
Tabela 3.2- Avaliação de IoA pela CBA para três Alternativas de sistemas AVAC. Adaptado de [111].	64
Tabela 3.3- Custos para cada uma das Alternativas. Adaptado de [112].	65
Tabela 4.1- Betão armado utilizado para produção das Escadas Pré-fabricadas. Fornecido pela TopBIM.	73
Tabela 5.1- Alternativas em comparação na aplicação da CBA.	87
Tabela 5.2- Fatores e Critérios em comparação na aplicação da CBA.	88
Tabela 5.3- Características e Vantagens de cada Alternativa de Escadas.	92
Tabela 5.4- Avaliação de IoA para cada Alternativa de Escadas.	94
Tabela 5.5- Custo e peso no custo total dos materiais nas Escadas Tradicionais.	95
Tabela 5.6- Custo dos acabamentos para Escadas Tradicionais.	95
Tabela 5.7- Custo mão de obra por hora.	96
Tabela 5.8- Custo e peso no custo total da mão de obra nas Escadas Tradicionais.	96
Tabela 5.9- Custo e peso no custo total da logística nas Escadas Tradicionais.	96
Tabela 5.10- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais nas Escadas Tradicionais.	96

Tabela 5.11- Resumo dos custos totais e peso no custo total de cada Fator monetário para as Escadas Tradicionais.....	97
Tabela 5.12- Custo e peso no custo total dos materiais nas Escadas Pré-fabricadas.....	97
Tabela 5.13- Custo e peso no custo total da mão de obra nas Escadas Pré-fabricadas.	97
Tabela 5.14- Custo e peso no custo total da logística nas Escadas Pré-fabricadas.	98
Tabela 5.15- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais nas Escadas Pré-fabricadas. ..	98
Tabela 5.16- Resumo dos custos totais e peso no custo total de cada Fator monetário para as Escadas Pré-fabricadas.....	99
Tabela 5.17- Alternativas em comparação na aplicação da CBA para soluções de apoio às Escadas Pré-fabricadas.	99
Tabela 5.18- Fatores e Critérios em comparação na aplicação da CBA às soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.....	99
Tabela 5.19- Características e Vantagens das Alternativas para soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.	102
Tabela 5.20- Avaliação de IoA para cada Alternativa das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.	103
Tabela 5.21- Custo e peso no custo total dos materiais na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.	104
Tabela 5.22- Custo de mão de obra por hora.....	104
Tabela 5.23- Custo e peso no custo total da mão de obra na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.....	105
Tabela 5.24- Custo e peso no custo total da logística na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.	105
Tabela 5.25- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.	105
Tabela 5.26- Resumo dos custos e peso no custo total dos Fatores monetários na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.....	106
Tabela 5.27- Custo e peso no custo total dos materiais na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.....	106
Tabela 5.28- Custo e peso no custo total da mão de obra na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.....	107
Tabela 5.29- Custo e peso no custo total da logística na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.....	107
Tabela 5.30- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.	107
Tabela 5.31- Resumo dos custos e peso no custo total dos Fatores monetários na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.	108
Tabela 5.32- Custo e peso no custo total dos materiais na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.....	108

Tabela 5.33- Custo e peso no custo total da mão de obra na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.	109
Tabela 5.34- Custo e peso no custo total da logística na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.	109
Tabela 5.35- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.	109
Tabela 5.36- Resumo dos custos e peso no custo total dos Fatores monetários na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.	110
Tabela 6.1- Total de IoA para cada uma das Alternativas das Escadas.	114
Tabela 6.2- Resumo do custo dos materiais nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.	115
Tabela 6.3- Resumo do custo da mão de obra nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.	115
Tabela 6.4- Resumo do custo da logística nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.	115
Tabela 6.5- Resumo do custo do fornecimento de materiais nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.	116
Tabela 6.6- Resumo dos dados relativos às Escadas para elaboração do gráfico da CBA.	117
Tabela 6.7- Total de IoA para cada uma das Alternativas das soluções de apoio para Escadas.	119
Tabela 6.8- Resumo do custo dos materiais nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.	120
Tabela 6.9- Resumo do custo da mão de obra nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.	120
Tabela 6.10- Resumo do custo da logística nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.	120
Tabela 6.11- Resumo do custo do fornecimento de materiais nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.	121
Tabela 6.12- Resumo dos custos totais e peso no custo total de cada Fator monetário para Escadas Pré-fabricadas com revestimentos.	125

SIGLAS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIA	American Institute of Architects
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	Building Information Modeling
CBA	Choosing By Advantages
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CII	Construction Industry Institute
CIRIA	Construction Industry Research and Information Association
EPC	Engineering, Procurement and Construction
GEE	Gases de Efeito de Estufa
ICCHN	Índice de Custos de Construção de Habitação Nova
IoA	Importance of Advantage
IoT	Internet of Things
IPD	Integrated Project Delivery
JIT	Just-In-Time
L'n,w	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão medido <i>in situ</i> , em dB
MCDM	Multi Criteria Decision Making
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
NZE	Net Zero Energy
PPGRCD	Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição
RFID	Radio Frequency Identification

RGEU	Regulamento Geral das Edificações Urbanas
SCIE	Segurança Contra Incêndios em Edifícios
TLS	Terrestrial Laser Scanners
UE	União Europeia

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A indústria da construção é uma das maiores indústrias com impacto no desenvolvimento das sociedades e dá um contributo importante para o crescimento económico de um país [1]. Segundo o Relatório do Setor da Construção em Portugal [2], relativo ao 1º semestre de 2022, a atividade de construção é considerada um dos setores impulsionadores da economia nacional, não só pelo seu peso na criação de riqueza como também de emprego, sendo uma atividade fundamental para o crescimento da economia.

A construção pré-fabricada tem sido amplamente defendida em todo o mundo como uma estratégia de produção "limpa" que conduz a menos impactos ambientais no local de trabalho devido à redução dos resíduos de materiais, da poluição do ar e da água, das poeiras e do ruído, e dos custos globais de energia. A União Europeia (UE) impôs a redução até 2030 de 50% a 55% das emissões de gases de efeito de estufa (GEE), comparativamente aos níveis de 1990 e, até 2050, atingir a neutralidade climática [3]. A pré-fabricação afigura-se como uma das soluções para o setor da construção na redução de desperdícios e de GEE para a atmosfera. Em contraste com a construção *in situ*, a pré-fabricação envolve a pré-montagem de componentes de estruturas em fábricas ou outros locais de fabrico e o transporte de conjuntos completos ou subconjuntos para o local onde a estrutura vai ser construída [4].

A mão de obra é o esforço físico utilizado na produção de bens e serve para o desenvolvimento da economia, proporcionando facilidades para converter matérias-primas em produtos finais. Uma mão de obra eficiente explora eficazmente os escassos recursos naturais, atua como uma espinha dorsal da nação e ajuda o país a avançar para o desenvolvimento. Tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento, a parte do trabalho no rendimento nacional tem vindo a diminuir desde a década de 1980 [1]. No orçamento global do projeto, 30-50% refere-se ao custo da mão de obra, o que demonstra a sua importância não só na indústria da construção, mas também na estimativa do orçamento antes de se iniciar um projeto de construção. Assim, a indústria da construção é de mão de obra intensiva, pelo que, para obter resultados de qualidade e alcançar o sucesso do projeto, o papel dos trabalhadores não pode ser ignorado, sendo os trabalhadores qualificados essenciais para o sucesso do projeto. O sucesso do projeto está associado à sua conclusão dentro do prazo e do orçamento estabelecido. A maioria

dos projetos de construção ultrapassa o orçamento, principalmente devido a alterações na encomenda, à falta de medidas necessárias ou a alterações nos preços ao longo do tempo [1].

Assim, dada a escassez de mão de obra qualificada que se regista em Portugal, esta Dissertação tem como objetivo mostrar as vantagens da pré-fabricação relativamente à construção tradicional e aplicar a metodologia *Choosing By Advantages* (CBA) na comparação de escadas utilizando estes métodos construtivos. A CBA, como se poderá verificar adiante, aliada à pré-fabricação, têm potencial para resolver os problemas de mão de obra qualificada, a falta de comunicação que existe entre os *stakeholders* e, ainda, acabar com os custos que ultrapassam o orçamentado devido a alterações tardias. No final, ainda se realiza uma comparação de soluções de apoio inovadoras para escadas pré-fabricadas, através da metodologia CBA.

1.2 Metodologia de Investigação e Objetivos da Dissertação

O principal objetivo desta Dissertação é a aplicação da metodologia *Choosing By Advantages* (CBA), uma das metodologias utilizadas nos *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) que permite envolver os *stakeholders* no processo de decisão e criar consenso na tomada de decisão, de forma que as decisões tomadas sejam do conhecimento de todos. Desta forma, e em parceria com a CNT Europe, empresa do Grupo Casais, pretende-se comparar a construção de escadas tradicionais *versus* escadas pré-fabricadas, de modo a perceber qual a melhor solução para uma unidade hoteleira em Gaia. Após essa comparação, também se pretende comparar qual a melhor solução de apoio para as escadas pré-fabricadas para a mesma unidade hoteleira.

Esta Dissertação procura, também, apresentar o contexto histórico da pré-fabricação, o estado atual da construção em Portugal e, principalmente, mostrar as vantagens da pré-fabricação em relação à construção tradicional, de modo a ir de encontro às metas da União Europeia relativamente à sustentabilidade e a apelar à mudança de pensamento em relação à pré-fabricação podendo, assim, começar a implementar cada vez mais este método construtivo.

Na Figura 1.1 apresenta-se a síntese das 5 etapas da metodologia de investigação seguida nesta Dissertação.

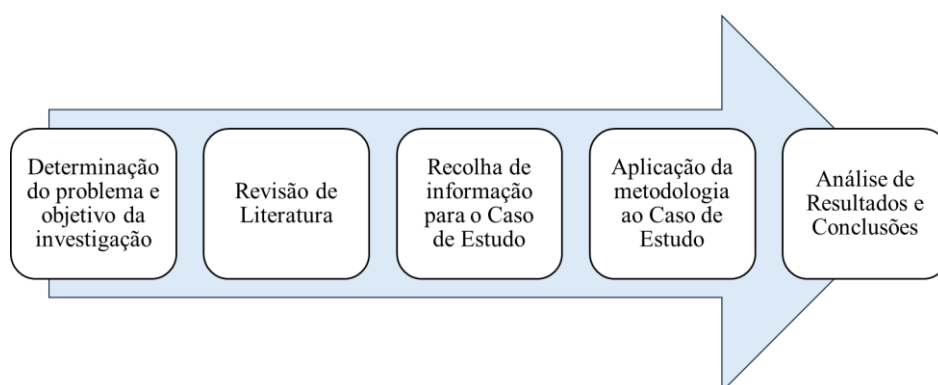


Figura 1.1- Esquema da metodologia de investigação.

A primeira etapa corresponde à determinação do objetivo desta investigação. Após identificação do problema, realizou-se, na segunda etapa, uma revisão da literatura referente ao tema desta dissertação, a pré-fabricação. Sempre que possível, tentou-se explorar apenas literatura a partir de 2017, de

forma a manter a informação o mais atualizada possível. Ao explorar este tema, pretende-se compreender o que é a pré-fabricação, o que esta implica e quais as suas vantagens relativamente à construção tradicional. Ainda dentro desta etapa, procurou-se uma metodologia que permitisse comparar alternativas construtivas para um projeto escolhido a montante. Note-se que muita da literatura provém do continente asiático. Isto deve-se ao facto de a pré-fabricação estar presente na cultura deste continente há muitas décadas, havendo, por isso, mais literatura disponível relativamente a este tema.

A terceira etapa contempla a informação recolhida para o Caso de Estudo, que levou à recolha de informação sobre o edifício em estudo, permitindo a compreensão do funcionamento da máquina que produz as escadas pré-fabricadas, o tipo de escadas que eram possíveis aplicar naquele projeto e que soluções de apoio havia disponíveis no mercado.

A quarta etapa consiste na aplicação da metodologia CBA à comparação das escadas construídas de forma tradicional e escadas construídas via pré-fabricação. De seguida, apresentaram-se as soluções de apoio que se pretendiam comparar e, recorrendo de novo à metodologia CBA, realizou-se a comparação dessas três soluções de apoio para escadas pré-fabricadas.

Por último, a quinta etapa resulta numa reflexão sobre a análise de resultados obtidos pela metodologia CBA e, conseqüentemente, apresentam-se as principais conclusões desta investigação.

1.3 Estrutura da Investigação

A presente dissertação está organizada em 6 Capítulos. O Capítulo 1 começa por fazer uma breve introdução ao tema em análise, contextualizando-o e delineando os seus propósitos. Além disso, descreve-se a abordagem metodológica adotada na pesquisa e a estruturação geral do documento é explicada.

O Capítulo 2 divide-se em cinco subcapítulos: no primeiro é dado uma breve explicação sobre o conceito de pré-fabricação e como, ao longo do tempo, o seu significado foi sofrendo adaptações. No segundo subcapítulo faz-se referência ao contexto histórico da pré-fabricação, quando este surgiu e por que motivo. No terceiro subcapítulo, começa-se por fornecer dados estatísticos relativos à construção em Portugal, passando para as problemáticas do aumento dos preços dos materiais de construção atualmente e, também, do aumento e carência de mão de obra, terminando com o contexto atual da pré-fabricação em Portugal, verificando ser ainda escassa em comparação com a Europa. No quarto subcapítulo, explica-se porque é necessário começar a adotar a pré-fabricação em Portugal, onde se faz uma apresentação breve de algumas das vantagens da pré-fabricação. Por fim, no quinto subcapítulo, realiza-se uma comparação da construção tradicional *versus* construção pré-fabricada, onde, através de um levantamento da literatura, se verificaram as maiores vantagens da pré-fabricação, os obstáculos à sua implementação e soluções para ultrapassar os mesmos.

O Capítulo 3 consiste na apresentação do Caso de Estudo. Este Capítulo apresenta, de forma breve, a Empresa onde foi desenvolvido o Estudo. De seguida, um enquadramento geográfico e uma caracterização do edifício em Estudo e, ainda, o dimensionamento, produção e colocação das escadas pré-fabricadas em obra.

No Capítulo 4 é exposta a aplicação da metodologia CBA ao Caso de Estudo, de forma pormenorizada e fundamentada, para comparar as escadas construídas pelo método tradicional *versus*

construídas recorrendo à pré-fabricação e, por fim, recorrendo de novo à metodologia CBA, comparação das três soluções de apoio para escadas.

O Capítulo 5 apresenta uma análise detalhada dos resultados obtidos no Capítulo 4, onde se conclui a melhor solução para as escadas e para os apoios, tendo em consideração as vantagens e custos de cada alternativa

Por fim, o Capítulo 6 encerra a Dissertação com a apresentação das várias conclusões deste Caso de Estudo. São ainda expostas as limitações do Estudo, as suas contribuições para a comunidade científica e, por último, sugestões para trabalhos futuros.

PRÉ-FABRICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

2.1 O Conceito de Pré-Fabricação

Até finais do século XX, muitos investigadores tentaram definir o fabrico fora do local da obra (*off-site*) para descrever os seus princípios básicos. Por exemplo, Tatum et al. [5] definiram a pré-fabricação da seguinte forma:

"A pré-fabricação é um processo de fabrico, geralmente realizado numa instalação especializada, em que vários materiais são unidos para formar uma componente da instalação final."

O termo "fabrico fora do local da obra" é utilizado para abranger tanto a pré-fabricação como a pré-montagem, tal como descrito pelo *Construction Industry Institute* (CII) e a *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA), e pode ser definido da seguinte forma [6]:

"O fabrico fora do local da obra é um processo que engloba a pré-fabricação e a pré-montagem. O processo envolve a conceção e o fabrico de unidades ou módulos, normalmente afastados do local de trabalho, e a sua instalação, para juntar as unidades ou módulos, no local de trabalho. No seu sentido mais lato, a produção fora do local requer uma estratégia de projeto que altere a orientação do processo de projeto da construção para o fabrico e instalação".

A CIRIA define a standardização como "a utilização extensiva de componentes, métodos ou processos em que existe regularidade, repetição e um historial de práticas bem-sucedidas" [6]. A CIRIA descobriu que, embora estes conceitos possam ser usados individualmente, a standardização e o fabrico fora do local oferecem maior benefício quando utilizados em conjunto [6]. Por outro lado, há quem argumente [6] que os benefícios das melhorias na indústria transformadora só podem ser refletidos na construção onde a padronização é aceite.

Ao longo do tempo, a pré-fabricação foi sofrendo alterações adaptando-se aos diferentes contextos. Mais tarde, Smith R. et al. [7] define a pré-fabricação da seguinte forma: *"A pré-fabricação é evolutiva, não revolucionária. À semelhança do que acontece com os avanços no domínio da medicina, as soluções para os problemas são descobertas através da prática e do fracasso. Cada fracasso leva a uma compreensão do que não funciona, aproximando-se do que funciona. Os avanços no fabrico fora do local foram atingidos através de uma série de experiências tentativa-erro, resultando em muitos fracassos e alguns sucessos. Cada exemplo destas tentativas oferece uma perspetiva sobre como o pré-fabrico deve ou não ser aproveitado para produzir arquitetura. Cada um é único no seu contexto, mas*

temas semelhantes sugerem formas de os arquitetos e profissionais da construção tirarem partido do pré-fabrico, deixando para trás as suas deficiências” [7].

Atualmente, a pré-fabricação, ao contrário da construção no local da obra, refere-se à tecnologia de construção que consiste em produzir vários elementos estruturais do edifício ou dos projetos civis em fábricas fora do local e, em seguida, transportar os elementos acabados para o local de construção, para montagem no local exato do projeto [8].

2.2 Contexto Histórico da Pré-fabricação

A Revolução Industrial surge com o início da produção em massa e a introdução da máquina a vapor na indústria têxtil britânica e termina durante a Segunda Guerra Mundial (1939- 1945) com vários avanços tecnológicos, entre os quais se destacam a utilização em maior escala da energia elétrica, o uso do motor a combustão, do petróleo, alumino, aço, entre outros [9].

O aprimoramento destas tecnologias conduziu à aceleração do ritmo industrial em diversas partes do mundo. Com isto, os donos de capital e meios de produção direcionaram os seus recursos para o desenvolvimento de tecnologias e melhoria dos processos produtivos, de forma a dinamizar e a aumentar a produtividade e os seus lucros [9].

Durante a Revolução Industrial, engenheiros como Frederick Taylor e Henry Ford desenvolveram abordagens diferentes para a organização do trabalho e gestão da produção, conhecidos como *Taylorismo* e *Fordismo*, respetivamente [9].

Taylor foi o precursor da Gestão Científica e, numa primeira fase, dedicou-se ao estudo da Organização Racional do Trabalho com o objetivo de analisar o trabalho do operário, estudar os tempos e movimentos, a fragmentação das tarefas e a especialização do trabalhador para, desta forma, substituir métodos empíricos e rudimentares pelos métodos científicos. Deste modo, pretendia-se eliminar a ociosidade dos operários e a redução dos custos de produção. Numa segunda fase, Taylor definiu princípios da Gestão Científica que visavam orientar o gestor na forma como devia proceder em determinadas situações. Por sua vez, Henry Ford, um dos mais conhecidos precursores da gestão moderna, procurou também o aperfeiçoamento constante de métodos, processos e produtos. Através da racionalização da produção, idealizou a linha de montagem, o que lhe permitiu a produção em série, ou seja, o fabrico de grandes quantidades de um determinado produto padronizado. Na produção em série ou em massa, o produto é padronizado, bem como a matéria-prima, a mão-de-obra e o projeto. Assim, passou a ser possível produzir grandes quantidades de produtos num curto espaço de tempo, reduzindo os custos unitários de produção. Logo, passou a ser possível fornecer produtos acessíveis a um maior número de pessoas. Estas abordagens, apesar de diferentes, estão interligadas, na medida em que o Fordismo pode ser visto como uma aplicação prática do Taylorismo, adaptando os seus princípios à produção em massa de automóveis e, posteriormente, a uma extensa variedade de produtos. Ambas as abordagens tiveram um impacto significativo no desenvolvimento da indústria e na organização do trabalho, moldando a forma como muitas empresas operam até hoje [10].

Foi durante a Revolução Industrial que surgiu a pré-fabricação moderna com a produção em massa de peças de metal. Em 1837, foi construída em Chicago, nos Estados Unidos, a primeira fábrica

de pré-fabricação de edifícios. Esta produzia componentes de edifícios, como vigas e pilares, que eram transportados para o local de construção e montados no local [11].

A construção pré-fabricada consolidou-se como a forma mais viável e difundida para se promover a industrialização da construção, tendo sido impulsionada sem precedentes no período do pós-guerra. A devastação de estruturas era bastante considerável após a 2ª Guerra Mundial e, como tal, houve uma grande necessidade de reconstruir e construir inúmeros edifícios públicos e residenciais, escolas e hospitais em grandes cidades - é neste contexto que ocorre a primeira onda de industrialização na construção civil. Por outro lado, devido à escassez de mão de obra qualificada na Europa, a necessidade de grandes construções levou ao deslocamento de um grande número de operações do estaleiro de obra para a indústria, surgindo assim a pré-fabricação de alguns elementos, como os painéis de parede e lajes [9].

A opção pelo "grande painel" pré-fabricado de betão, como resposta técnica e económica às necessidades de reconstrução da Europa após a 2ª Guerra Mundial, converteu esta tecnologia numa referência deste período. Por esse motivo, a construção de habitação, hospitais e escolas durante esta época e com recurso a elementos pré-fabricados originou um certo estigma que associou, durante muitos anos, a construção pré-fabricada à uniformidade, monotonia e rigidez na arquitetura [12]. Prova disso são os "The Cornish Units", construídos entre 1946-1956 com recurso a painéis de betão pré-fabricados, tendo sido construídos mais de 40.000 habitações e, como se pode ver pela Figura 2.1, há uma certa uniformidade e monotonia na sua construção [13]. Como tal, muitos projetistas ainda veem a pré-fabricação apenas como uma variante técnica das construções *in situ* [12].



Figura 2.1- "The Cornish Units", casas construídas com painéis de betão pré-fabricado [13].

Nesta época, a variedade e a qualidade na produção dos pré-fabricados era inexistente. Embora este tipo de edifícios satisfizesse as necessidades urgentes de alojamento, rapidamente revelaram deficiências significativas de construção, como o fraco isolamento aos agentes atmosféricos. Não havia avaliação prévia dos mesmos e só se dispunha de um fornecedor¹, por conseguinte as obras

¹ Ciclo fechado dispunha apenas um fornecedor que não permitia mudanças no projeto original. Já o ciclo aberto, com a proposta de juntar pré-fabricados standardizados a produtos provenientes de outros fabricantes, possibilita maior flexibilidade nas construções [9].

apresentavam uniformidade e monotonia arquitetônica, deterioração funcional levando a demolições em massa ao longo dos anos. Entre 1970 e 1980 ocorreram vários acidentes com alguns edifícios construídos com materiais pré-fabricados, como por exemplo, em 1968, o edifício “Ronan Point” (Figura 2.2) na zona Leste de Londres, feito com painéis pré-fabricados que, embora tenha colapsado devido a uma explosão de gás, apresentava problemas estruturais [9, 14].



Figura 2.2- Edifício Ronan Point, construído com materiais pré-fabricados, 1968 [15].

Esta série de eventos provocou uma rejeição da pré-fabricação por grande parte dos donos de obra e dos especialistas que passaram a ponderar a utilização deste método construtivo [16, 17].

Apesar da rejeição de edifícios pré-fabricados devido à “uniformidade, monotonia e rigidez da arquitetura”, no início do século XX, o Arquiteto Le Corbusier era a favor da industrialização, salientando que a indústria era o caminho para a solução dos problemas na construção. Já em 1914, Le Corbusier tinha desenvolvido um sistema estrutural para a construção de casas em série. As intituladas *Dominó Houses* ou Casas Dominó (Figura 2.3), eram constituídas por uma estrutura de pilares e lajes em betão armado² sem escoramento, fabricadas em série [18]. Esta estrutura pré-fabricada permitia diversos tipos de fachadas e, desta forma, mesmo a estrutura sendo realizada em série, cada casa podia ter a sua própria identidade. Neste sentido, a solução de Le Corbusier demonstrava que era possível fazer casas em série, sem serem monótonas [16].

² Joseph Monier (nascido em 1823, França) foi um jardineiro francês responsável por patentear o betão armado em 1867.

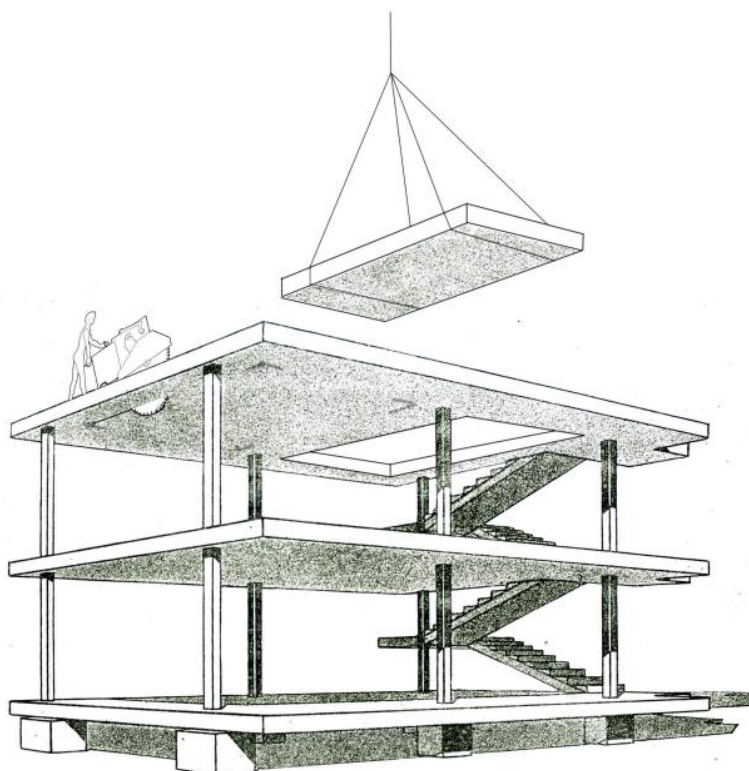


Figura 2.3-As Casas Dominó, criadas por Le Corbusier, em 1915 [18].

O sistema pré-fabricado voltou a crescer a partir de final do século XX na Europa. Em primeiro lugar, devido à demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificada pela rejeição social, arquitetônica e deterioração funcional. Em segundo lugar, pela consolidação da pré-fabricação, cujos elementos passaram a ser fornecidos por diversos fabricantes e abandona-se a ideia de um só fornecedor.

A consolidação da pré-fabricação assenta no princípio de que os elementos de construção são providenciados por diversos fornecedores e não um fornecedor apenas- designado de ciclo aberto. Como consequência, muitas indústrias especializaram-se em determinados elementos pré-fabricados que depois são transportados até estaleiros/obras e ligados entre si para construir edifícios pré-fabricados [16].

Com a implementação do ciclo aberto, surge uma nova problemática: a compatibilização entre elementos. Sendo os elementos de construção fornecidos por diversos fabricantes, os mesmos devem adequar-se uns aos outros. A solução encontrada foi a padronização dos elementos pré-fabricados, colocando-se a seguinte dúvida/questão: *"com esta padronização, ainda seria possível a construção dos elementos pré-fabricados e ter um bom resultado arquitetónico?"* [16].

Com o desenvolvimento tecnológico, os fornecedores perceberam que o conceito do ciclo aberto deveria compreender todas as fases do processo construtivo e não apenas os elementos pré-fabricados, para que a adequação a diferentes tipologias arquitetônicas se fizesse de maneira mais simples e fácil [16].

Neste contexto surge o ciclo flexível que agrupa características do ciclo fechado e do ciclo aberto. O ciclo flexibilizado estabelece que todo o sistema seja passível de compatibilização, de forma a adequar-se a qualquer estilo arquitetónico. A pré-fabricação pode ser utilizada em fundações, pilares, vigas, lajes e paredes [16, 9].

2.3 A Construção e a Pré-Fabricação em Portugal

O conceito de construção pré-fabricada tem sido adotado, cada vez mais ao longo dos anos, por pequenas e grandes construtoras. O aumento da procura por esta solução construtiva deve-se à evolução e melhoria dos materiais de construção e avanços tecnológicos no setor da construção civil, mas também às necessidades impostas pela União Europeia (UE) em reduzir as emissões de carbono [16]. De acordo com os objetivos da UE, Portugal tem de reduzir, até 2030, 50% a 55% das emissões de gases de efeito de estufa comparativamente aos níveis de 1990 e, até 2050, atingir a neutralidade climática [3].

A pré-fabricação também pode ter impacto na redução e otimização do uso de recursos naturais. A utilização crescente de *software* de modelação da informação da construção (BIM) e de pré-fabricação pode facilitar a adoção de práticas e tecnologias que reduzam a utilização de materiais. Em alguns países, a sua utilização é obrigatória na construção de edifícios de maior dimensão. Para que a eficiência dos materiais conduza à atenuação das alterações climáticas, é necessário que os objetivos políticos passem a incluir objetivos de redução das emissões de gases com efeito de estufa [19]. O novo Plano de Ação para a Economia Circular, adotado pela Comissão Europeia a 11 de março de 2020, apresenta o novo roteiro da Europa para o crescimento sustentável. No que toca à construção e edifícios, o novo Plano refere que *"O ambiente construído tem um impacto significativo em muitos setores da economia, no emprego a nível local e na qualidade de vida, necessitando de grandes quantidades de recursos e representando cerca de 50% dos materiais extraídos. O setor da construção é responsável por mais de 35 % da produção de resíduos na UE. Estima-se que 5 a 12% das emissões nacionais de gases com efeito de estufa sejam provenientes da extração de materiais, do fabrico de produtos de construção, da construção e da renovação de edifícios. Uma maior eficiência dos materiais pode reduzir estas emissões até 80 %. Para aproveitar este potencial ao nível do aumento da eficiência dos materiais e da redução dos impactos no clima, a Comissão lançará uma nova Estratégia para a Sustentabilidade do Ambiente Construído. A estratégia assegurará a coerência nos domínios de ação em causa, como o clima, a eficiência energética e a eficiência na utilização dos recursos, a gestão dos resíduos de construção e demolição, a acessibilidade, a digitalização e as competências, promovendo princípios de circularidade em todo o ciclo de vida dos edifícios."* [20]. Neste contexto, é proposto um conjunto de medidas cujos objetivos são [21]:

- Assegurar a sustentabilidade dos produtos;
- Capacitar os consumidores;
- Concentrar a ação nos setores mais intensivos na utilização de recursos e em que o potencial para a circularidade é elevado;
- Redução da produção de resíduos.

Caso o leitor tenha interesse em aprofundar a leitura sobre este tema, recomenda-se a leitura do "Plano de Ação para a Economia Circular" [20] e "Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future - Summary for Policymakers" [19].

Segundo o Relatório do Setor da Construção em Portugal [2], relativo ao 1º semestre de 2022, o Índice de Produção na Construção cresceu 1,6%, face ao período homólogo. Os dois segmentos que

compõem o índice, Engenharia Civil e Construção de Edifícios³, apresentaram um crescimento de 1,0% e 1,9%, respetivamente.

Já num relatório realizado pela Eurostat [22] de 19 de abril de 2023, foi comparada a produção entre fevereiro de 2015 e fevereiro de 2023. A taxa de crescimento registada entre 2022 e 2023 é equivalente à verificada entre 2015 e 2017, sendo que entre fevereiro 2022 e fevereiro 2023 a produção na construção aumentou 2,3% na zona euro e 2,0% na UE, mais 2,3% e 2,1%, respetivamente, como se pode observar na Figura 2.4. De notar o efeito da pandemia COVID-19 em março 2020, altura em que foi decretado o estado de emergência na UE e se regista uma quebra na produção, comparativamente ao crescimento que se tinha vindo a registar.

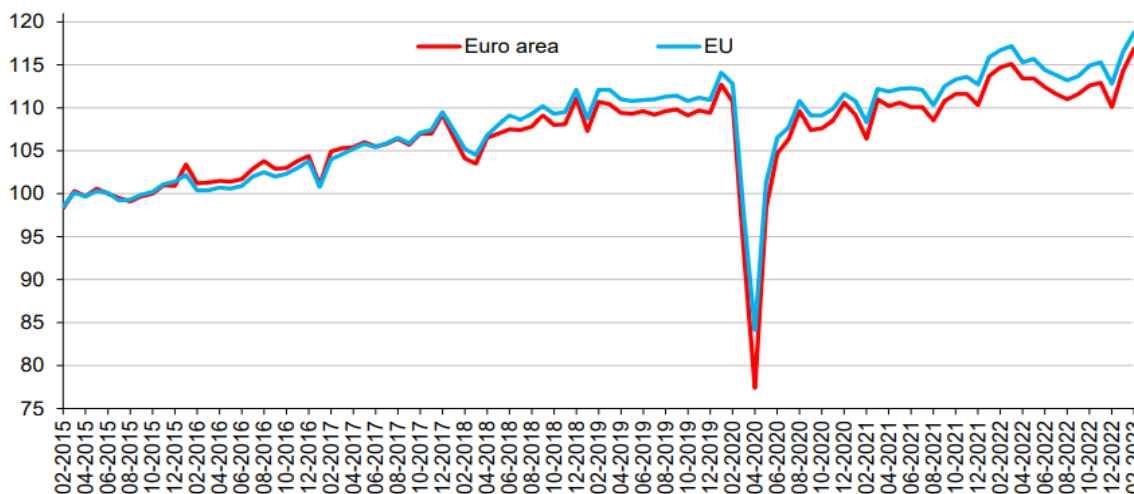


Figura 2.4- Produção no setor da construção de fevereiro 2022 a 2023, 2015=100 [22].

O relatório do Instituto Nacional de Estatística (INE) [23] estima que, em março de 2023, os custos de construção de habitação nova tenham aumentado 6,3% em termos homólogos, sendo que o preço dos materiais e o custo da mão de obra apresentam, respetivamente, variações homólogas de 4,6% e 8,5%. O gráfico da Figura 2.5 apresenta estas variações.

³ O setor de construção de edifícios está diretamente relacionado à construção de edifícios, ou seja, abrange todas as atividades envolvidas na construção de edifícios, tais como planeamento, projeto, construção, acabamentos e instalações. Já o setor de engenharia civil é mais amplo e abrange a conceção, projeto, construção e manutenção de infraestruturas, como estradas, pontes, viadutos, túneis, portos, aeroportos, sistemas de abastecimento de água e esgoto, entre outros.

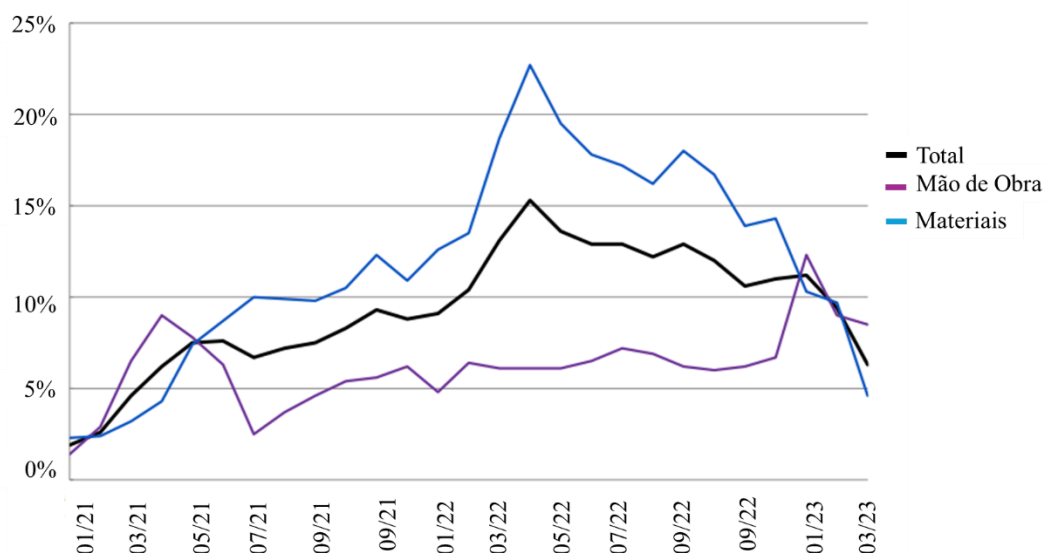


Figura 2.5- Índice de custos de construção de habitação nova (taxa de variação homóloga), janeiro 2021 a março, 2023, 2021=100 [23].

O custo dos materiais contribuiu com 2,7 p.p. para a formação da taxa de variação homóloga⁴ do Índice de Custos de Construção de Habitação Nova (ICCHN⁵), tendo sido 5,5 p.p. em fevereiro, e a componente mão de obra com 3,6 p.p. (3,9 p.p. no mês anterior). Entre os materiais que mais influenciaram a subida do preço estão o cimento, com um crescimento homólogo de cerca de 36%, o betão pronto, com um aumento de quase 20%, e as madeiras e derivados de madeira, com variações superiores a 18%. Em sentido oposto, o aço para betão e perfilados pesados e ligeiros e a chapa de aço macio e galvanizada apresentaram decréscimos perto dos 20% em termos homólogos. A Figura 2.6 ilustra a variação da mão de obra, materiais e do ICCHN [23].

⁴ Taxa de variação homóloga: A variação homóloga compara o nível do índice entre o mês corrente e o mesmo mês do ano anterior. A evolução desta taxa de variação está menos sujeita a oscilações de natureza sazonal podendo, no entanto, ser influenciada por este tipo de efeitos localizados num período específico [23].

⁵ O Índice de Custos de Construção de Habitação Nova (ICCHN) é uma estatística derivada que tem como objetivo medir o custo de construção de edifícios residenciais em Portugal. O ICCHN é uma estatística com relevância comunitária, estando abrangida pelo regulamento (UE) 2019/2152 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de novembro de 2019 relativo às estatísticas europeias das empresas [23].

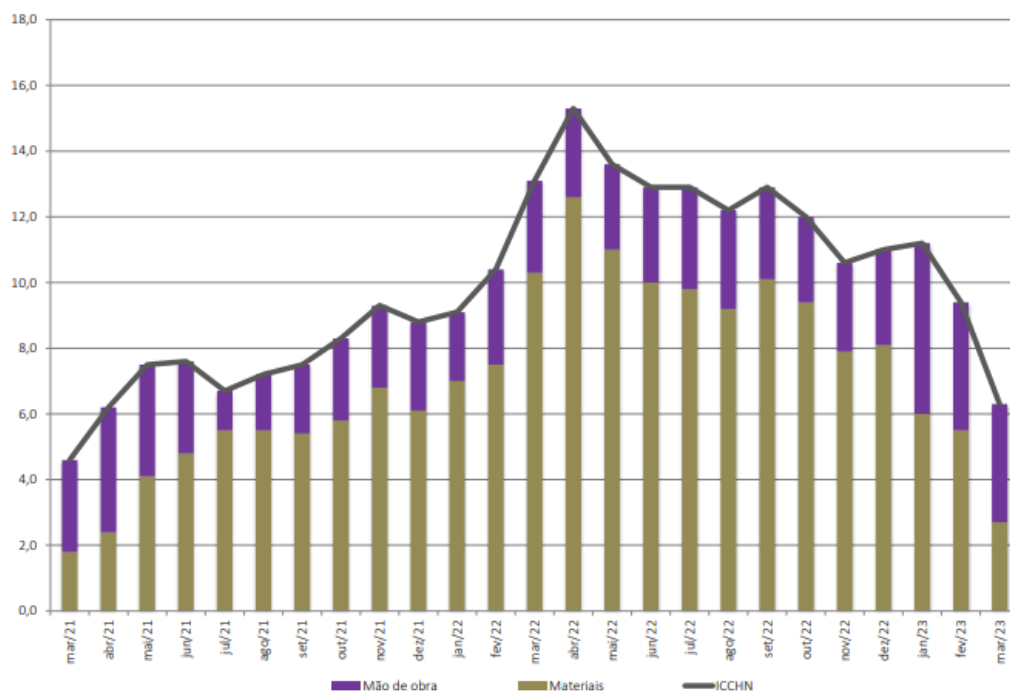


Figura 2.6- Contribuições para a formação da taxa de variação homóloga [23].

Diferentemente do que acontece na Europa, sabe-se que a pré-fabricação ainda não é muito utilizada como solução construtiva em Portugal. É possível encontrar elementos estruturais pré-fabricados em pontes, viadutos e vias de comunicação em Portugal. Já na construção de edifícios, este sistema construtivo ainda não é muito utilizado [16], apesar de se começar a observar a sua utilização em edifícios de serviços e industriais. No entanto, começam a aparecer os primeiros edifícios pré-fabricados em Portugal, como é o caso do Hotel B&B Guimarães. Trata-se do primeiro edifício de construção híbrida madeira e betão da Península Ibérica, construído pelo Grupo Casais e iniciado em 2022, com as seguintes características [24, 25]:

- Armazenamento de carbono, o que possibilita uma redução de 60% de emissões de gases para a atmosfera;
- 50% dos materiais utilizados podem ser reciclados no final do seu ciclo de vida;
- Possibilita a diminuição de resíduos em 70%;
- Minimiza a poluição sonora em mais de 50%;
- Os prazos de execução foram reduzidos em 50%, comparativamente à construção tradicional;
- Permite mitigar riscos, diminuindo o número de acidentes em obra.

A montagem dos vários pisos foi realizada em 8 dias, como se pode verificar nas Figura 2.7 e Figura 2.8.



Figura 2.7- Dia 1 de montagem do Hotel B&B Guimarães [24].



Figura 2.8- Dia 8 de montagem do Hotel B&B Guimarães [24].

2.4 Porquê a Mudança

Para que seja possível estabelecer um ciclo de melhoria contínua, é necessário responder à questão: “Porquê mudar?”. Em primeiro lugar, é necessário admitir que existem problemas que precisam de ser resolvidos e que são esses problemas que estão a impedir que o processo construtivo evolua [26].

No documento elaborado pelo Gabinete de Estratégia e Estudos [27] foram identificados os desafios que o setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) português enfrentou neste período:

- Os efeitos negativos da crise económica e financeira global, de 2008;
- A forte concorrência desigual de operadores não europeus;
- A digitalização crescente da economia, a adoção de práticas de circularidade na fileira da construção e a melhoria da eficiência energética das atividades do setor;
- Um quadro político e regulamentar adequado para responder às exigências da digitalização, das práticas ambientais e energéticas.

A estes desafios acresciam os problemas estruturais que o setor da AECO tem vindo a apresentar, nomeadamente a falta de mão-de-obra especializada em muitas empresas, a pouca atratividade para os jovens devido às condições de trabalho, a reduzida capacidade de inovação e o fenómeno do trabalho não declarado [27].

De forma a aumentar a produtividade e a tornar o mercado português mais competitivo destacam-se tendências tecnológicas a nível global, como a Construção 4.0 (digitalização do setor da construção), novos materiais e processos de construção e ainda a eficiência energética [27].

Apesar de ser uma das indústrias mais antigas, a prática da construção não registou inovações nem melhorias notáveis nos últimos 40 anos. Além disso, esta indústria é caracterizada como sendo de mão de obra intensiva, com elevado desperdício e ineficiente devido à sua abordagem convencional de construção no local. A melhoria da produtividade e do desempenho ambiental na indústria da construção exige a difusão de novos métodos de construção, como a produção otimizada (lean⁶) e a pré-fabricação.

A pré-fabricação é um método de construção alternativo à construção convencional. As suas tecnologias e processos de construção são diferentes dos do método convencional, sendo que uma das principais características diferenciadoras é a emissão de gases com efeito de estufa [28].

Num estudo realizado na China, comparou-se as emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera de um edifício semi pré-fabricado (i.e., em que alguns elementos do edifício eram pré-fabricados) com um edifício construído pela forma convencional. Os resultados demonstraram que o projeto com semi pré-fabricação reduziu cerca de 1,1 toneladas por 100 m² das emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera em comparação com o projeto de construção convencional [28].

A análise de um conjunto de dados quantitativos referentes a 114 projetos de construção na cidade de Hong Kong permitiu concluir que a pré-fabricação contribuiu para uma redução de 15,4% dos

⁶ O termo 'Lean' é utilizado na indústria transformadora para realçar a eliminação do desperdício e da incerteza no processo de produção. Os princípios lean são compatíveis com a ideia de gestão da construção pré-fabricada, que visa reduzir o desperdício e encurtar o ciclo do projeto. O modo de construção para a montagem de um edifício é semelhante ao utilizado na indústria transformadora e inclui a conceção, a produção, o transporte e a montagem no local de elementos pré-fabricados. O lean visa minimizar desperdícios e maximizar resultados para empresa e cliente [80, 83].

resíduos de construção, sendo que a pré-fabricação levou a uma redução de 17,6% dos resíduos em projetos de construção privada, 15,1% em projetos residenciais e 52,2% em projetos de construção comercial. Foi possível constatar que o nível de utilização da pré-fabricação (ou seja, se um edifício é parcial ou totalmente pré-fabricado) é mais importante do que os componentes pré-fabricados utilizados na minimização da produção de resíduos de construção e demolição [29].

Uma investigação realizada na Coreia do Sul comparou a produtividade e o custo dos pilares pré-fabricados de betão armado com grelha de forma e pilar de betão armado construído de forma tradicional, *in situ*. Em termos de produtividade, os pilares pré-fabricados de betão armado com grelha de forma foram 42,5% mais produtivos do que os pilares de betão armado tradicionais. A melhoria da produtividade reduziu a duração da construção em 97,5 h. Foram mais económicos em 1,3% do que os pilares convencionais devido à poupança de custos no processo de construção [30].

Relativamente a custos, o custo de construções pré-fabricadas é semelhante à construção convencional devido aos diferentes processos durante toda a fase de construção. Devem ser considerados custos especiais, nomeadamente, o fabrico e montagem de componentes pré-fabricadas juntamente com a integração logística no processo do projeto, a aquisição de um fornecedor de pré-fabricação e a instalação no local de produtos e módulos pré-fabricados. Se considerarmos os custos numa perspetiva de curto e longo prazo, o custo total pode ser reduzido. Estudos anteriores [31] baseados nas práticas dos países desenvolvidos mostraram que os custos mais elevados podem ser compensados pela poupança de tempo, pela poupança de trabalho por não ter de corrigir defeitos das peças produzidas, poupança de mão-de-obra e redução de recursos. O facto de a obra ser realizada através de elementos pré-fabricados diminui a duração do projeto, que acaba por se traduzir num benefício económico para os clientes, pois têm menores encargos com o estaleiro e redução de juros de empréstimos [32]. A pré-fabricação é uma prática comum nos projetos de habitação pública em Hong Kong. No entanto, só foi introduzida recentemente no sector privado. Isto deve-se principalmente ao estabelecimento de regimes de incentivo por parte do governo local. Os resultados do estudo mostraram que [33]:

- As componentes pré-fabricadas mais frequentemente utilizados foram a fachada pré-fabricada (51%), a escada pré-fabricada (22%), a laje semi pré-fabricada (9%) e a varanda semi pré-fabricada (7%);
- A repetição de componentes pré-fabricados é essencial para satisfazer a quantidade e a relação custo-eficácia;
- A adoção da pré-fabricação em comparação com a construção tradicional revelou vantagens significativas, como a melhoria do controlo de qualidade, a redução do tempo de construção (20%), dos resíduos de construção (56%), das poeiras e do ruído no local e da necessidade de mão-de-obra no local (9,5%).

O processo de controlo de qualidade é uma das mais importantes características distintivas da pré-fabricação devido aos requisitos cada vez mais rigorosos dos clientes, pois permite garantir que a durabilidade desejada das construções implementadas é alcançada [34], bem como reduzir os custos de manutenção ou reparação. O controlo de qualidade na pré-fabricação começa no estudo e preparação do projeto, e continua com a produção dos elementos e com a entrega e montagem no tempo e local planeados. O controlo de qualidade durante o processo de fabrico é baseado em quatro pilares fundamentais: pessoas, instalações e equipamentos, matérias-primas e processos de execução e, por último, controlo

de qualidade da execução. A maioria das empresas de pré-fabricação possui a certificação ISO-9001⁷. A betonagem e a vibração do betão, caso a estrutura pré-fabricada seja em betão armado, são realizadas com condições de trabalho e equipamentos ideais, o teor de água pode ser reduzido ao mínimo e a cura também ocorre em circunstâncias controladas. O projetista pode inspecionar e aceitar as peças pré-fabricadas antes de serem transportadas e fixadas no local final [35]. A segurança estrutural pode traduzir-se na possibilidade de usar ensaios não destrutivos de uma peça. A pré-fabricação permite ensaiar as peças antes da sua aplicação o que permitirá corrigir eventuais defeitos. Ensaios com ultrassons, ensaios de carga com leitura direta (fissuras e deformações), ou com leitura indireta (instrumentação das peças com extensómetros tanto nas armaduras como no betão), são alguns exemplos [12]. Estão a surgir novos métodos para avaliar e prever a qualidade dos elementos pré-fabricados, baseados em abordagens estatísticas e modulação 3D, permitindo reduzir o número de elementos pré-fabricados avaliados [34]. Devido à elevada precisão necessária para a inspeção da qualidade dimensional e superficial dos elementos de betão pré-fabricados, os scanners laser 3D são agora utilizados principalmente para a sua inspeção e têm sido capazes de inspecionar os principais tipos de componentes, tais como lajes de betão pré-fabricadas, vigas e pilares com uma precisão dos requisitos de tolerância padrão milimétrica [36].

A impressão 3D é considerada uma tecnologia disruptiva que atua sobre as cadeias de abastecimento e logística internacionais. Começando pela indústria transformadora, a adoção da impressão 3D nos processos da cadeia de abastecimento tem uma influência significativa nos custos de transporte, prazos de entrega, inventário, qualidade do produto, flexibilidade e fiabilidade, produtividade e sustentabilidade da cadeia de abastecimento, contribuindo para uma mudança da produção centralizada para uma produção distribuída de produtos mais próximos dos clientes [37].

A tecnologia de impressão 3D pode potencialmente revolucionar o sector da construção, reduzindo significativamente o tempo e a mão de obra necessários para construir estruturas. Uma das principais vantagens da impressão 3D na construção é a velocidade e a precisão do processo. Ao contrário dos métodos de construção tradicionais, que requerem trabalho manual, a tecnologia de impressão 3D pode criar formas complexas com uma velocidade e precisão incréveis. Isto pode resultar em tempos de construção mais rápidos, custos de mão de obra reduzidos e uma utilização mais eficiente dos recursos. A tecnologia de impressão 3D pode reduzir os resíduos gerados durante a construção e pode reduzir os resíduos ao produzir componentes de construção com maior precisão, utilizando apenas a quantidade necessária de material, tornando assim o processo mais sustentável. Além disso, a tecnologia de impressão 3D pode utilizar materiais sustentáveis, como plástico reciclado ou materiais biodegradáveis, o que pode reduzir a pegada de carbono da indústria da construção. Para além disso, a tecnologia de impressão 3D tem o potencial de revolucionar o projeto e a funcionalidade das estruturas. Com a impressão 3D, é possível criar projetos complexos que seriam difíceis ou impossíveis de alcançar usando métodos de construção tradicionais. A tecnologia de impressão 3D permite que Arquitetos e Engenheiros desenvolvam estratégias que incorporam curvas, ângulos e detalhes intrincados, conduzindo a estruturas visualmente deslumbrantes e funcionais [38].

⁷ A ISO 9001 é a norma de sistemas de gestão mais utilizada mundialmente, sendo referência internacional para a Certificação de Sistemas de Gestão da Qualidade.

Um exemplo de utilização desta tecnologia é o "Office of the Future" (Figura 2.9), o primeiro edifício impresso em 3D totalmente funcional e permanentemente ocupado do mundo. O edifício funciona como uma casa temporária para a Dubai Future Foundation, bem como um espaço de exposição e uma incubadora para futuras tecnologias emergentes na região. Toda a estrutura foi impressa em betão utilizando uma técnica de fabrico aditivo [39].



Figura 2.9- "Office of The Future", construído em 2016, no Dubai [39].

A impressora dispunha de um braço robótico automatizado para executar o processo de impressão, que durou 17 dias e foi instalado no local em 2 dias. Graças a esta técnica de construção inovadora, o custo da mão de obra foi reduzido em mais de 50% em comparação com os edifícios convencionais de dimensões semelhantes e o desperdício no local foi minimizado, o que ajudou a reduzir a pegada de carbono ambiental global do projeto [39].

A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas, maior controlo de qualidade e redução de desperdícios. O recurso à construção industrializada e consequente racionalização do processo de aprendizagem ajudarão a fazer face às atuais exigências produtivas, ambientais e energéticas que o sector da AECO enfrenta. A pré-fabricação oferece efetivamente ao sector da construção a possibilidade de se redefinir e afirmar enquanto indústria de produção e representa uma das mais positivas saídas para enfrentar os principais desafios e exigências com que o sector se depara [12]. A cooperação entre os vários atores do setor da construção nacional é considerada essencial no sentido de alavancar a atividade económica através da criação e do reforço de parcerias estratégicas, em particular no investimento e no estabelecimento de redes de colaboração lideradas pelas empresas do setor [27], assim como tornar o uso de ferramentas BIM mais generalizado, de forma a permitir a compatibilização das várias especialidades.

2.5 Pré-Fabricação vs. Construção Tradicional

Neste Capítulo, são apresentadas as vantagens da pré-fabricação em relação à construção tradicional, quais os desafios que dificultam a sua adoção e que ferramentas, tecnologias ou estratégias existem para ultrapassar esses mesmos obstáculos, os quais são detalhados ao longo dos subcapítulos seguintes. Através da revisão da literatura efetuada, realizou-se um levantamento das principais vantagens,

obstáculos e soluções apresentadas pelos autores e resultantes dos questionários e dos levantamentos realizados por estes em colaboração com Arquitetos, Projetistas, Engenheiros e outras pessoas envolvidas na área da construção civil.

As vantagens da pré-fabricação são inúmeras uma vez que se pode dividir a construção em duas partes: a construção *in situ* e a produção em fábrica dos elementos estruturais. Ao iniciar-se uma obra, pode ser paralelamente iniciada a produção dos elementos pré-fabricados de betão para essa obra, ou a aquisição de soluções pré-fabricadas de betão existentes já no mercado, o que permite que o plano de trabalhos possa antecipar situações que na construção tradicional seriam sempre dependentes de outras atividades [40]. Isto permite a aceleração da obra e, conseqüentemente, a redução dos prazos de execução da mesma, face à construção tradicional, uma vez que a obra em si pode decorrer sem ter interferência na produção dos elementos pré-fabricados de betão.

Na Tabela 2.1, é possível identificar os benefícios mais evidentes da pré-fabricação em relação à construção tradicional.

Tabela 2.1- Vantagens da pré-fabricação em relação à construção tradicional.

Vantagens	Referências na literatura	Referência bibliográfica
Controlo de Qualidade	14	[17, 40 - 52]
Sustentabilidade	13	[17, 40 - 48, 51, 53, 54]
Redução da Pegada de Carbono	8	[17, 42 - 45, 51, 53, 54]
Planeamento	14	[17, 40 - 50, 53, 54]
Redução de Custos	11	[41 - 46, 49 - 51, 53, 54]
Produtividade	6	[17, 49 - 51, 53, 54]

As Figura 2.10 e Figura 2.11 ilustram a distribuição das publicações científicas que mencionam algumas das vantagens associadas à pré-fabricação encontradas na literatura, por continentes e ano de publicação.

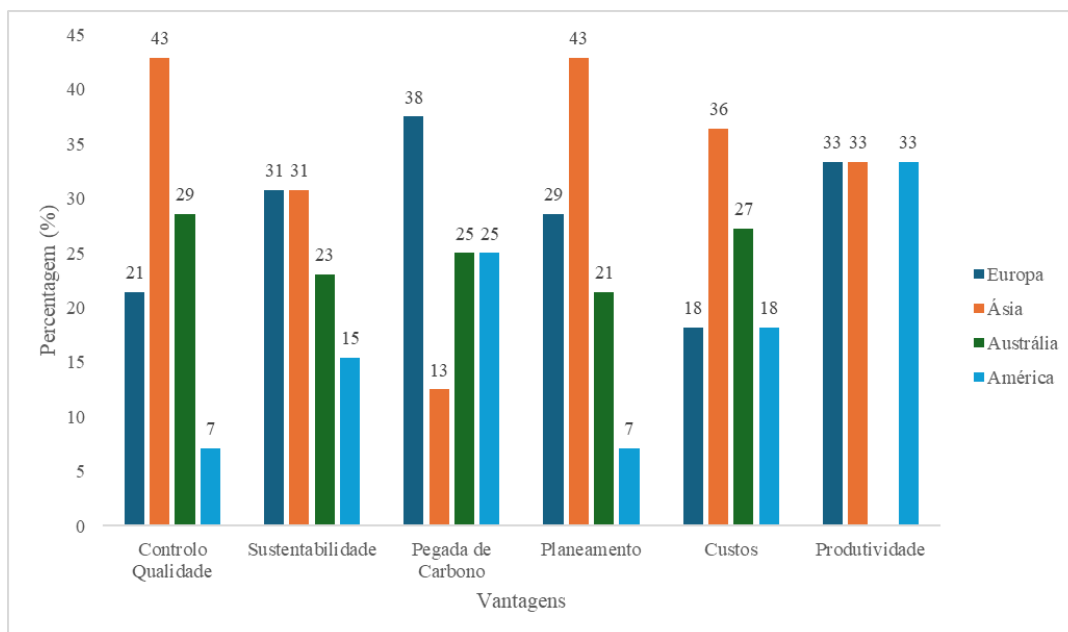


Figura 2.10- Levantamento da literatura das vantagens da pré-fabricação, distribuídas por continente.

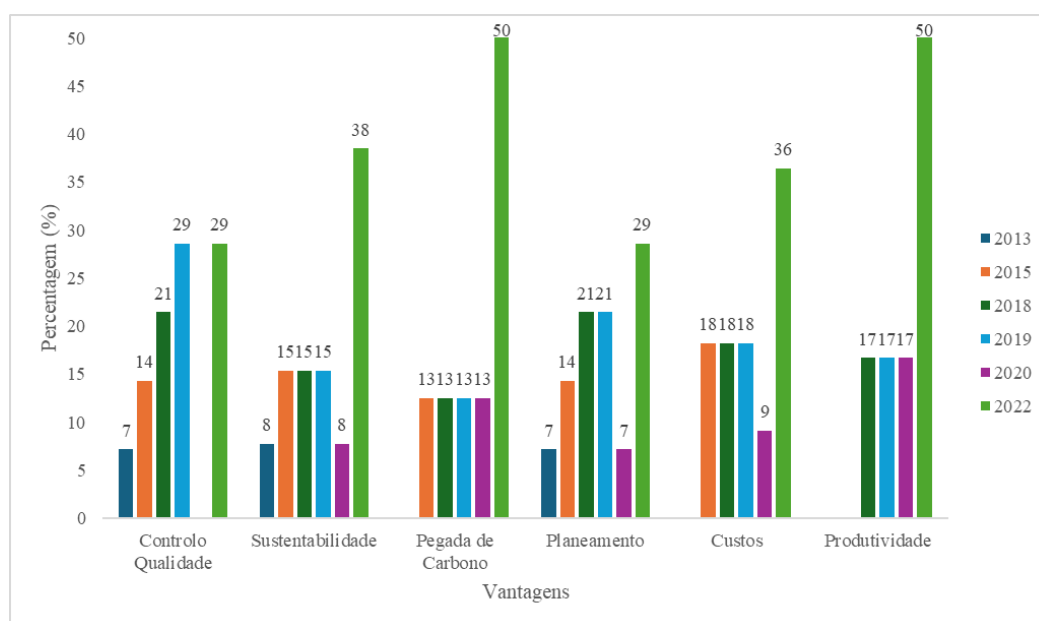


Figura 2.11- Levantamento da literatura das vantagens da pré-fabricação, distribuídas por ano de publicação.

Identificadas como principais vantagens, a Redução do Tempo de construção, visto que a produção ocorre em fábrica enquanto se realizam outras atividades em estaleiro, e o Controlo da Qualidade do produto final, dado que é possível inspecionar e testar o elemento pré-fabricado antes deste ser transportado para obra, para além de que o elemento é construído num ambiente controlado, sem influências exteriores, como o clima.

Dado que a produção é feita em fábrica, todas as quantidades de materiais usados são controladas e, consequentemente, existe uma redução de resíduos.

Como consequência da redução do tempo de construção e o facto da produção ser em massa, há uma diminuição dos Custos, comparativamente à construção tradicional.

As emissões de CO₂ para a atmosfera são reduzidas porque, mais uma vez, os elementos produzidos são realizados em fábrica, num ambiente controlado, permitindo uma utilização eficiente dos recursos energéticos e/ou fontes renováveis que a própria fábrica tenha nas suas instalações.

A Produtividade aumenta, dado que a organização é melhor, a segurança dos trabalhadores aumenta e estes não estão expostos a condições climáticas adversas, sendo a produção standardizada e em massa.

Os obstáculos estão relacionados com a cultura do sector da AECO. De facto, em comparação com a construção tradicional, a construção pré-fabricada é um processo colaborativo, que depende, em parte, de uma coordenação e comunicação eficientes ao longo de todo o projeto, incluindo o planeamento, o design, o fabrico, o transporte e a montagem, com o objetivo de reduzir o período de construção e, ao mesmo tempo, melhorar o desempenho do edifício. Quanto mais a pré-fabricação for aplicada, maior a sua adoção e as empresas melhorarão as competências desta forma construtiva, o que reduzirá os custos e os riscos [17]. Estudos anteriores revelaram que as partes interessadas (*stakeholders*) na construção fora do estaleiro podem desempenhar papéis importantes, tais como o Governo na formulação de políticas e regulamentos e o dos profissionais da indústria no estabelecimento de uma compreensão e conhecimento adequados da construção *off-site* [42].

De seguida, apresenta-se a Tabela 2.2 com as dificuldades à implementação da pré-fabricação.

Tabela 2.2- Obstáculos à pré-fabricação em comparação com a construção tradicional.

Obstáculos	Referências na literatura	Referência bibliográfica
Investimento elevado	12	[17, 42, 43, 45 – 47, 50, 51, 54 – 57]
Conservadorismo / Experiência	11	[17, 42, 44, 45, 47 – 50, 54, 55, 57]
Transporte / Logística	10	[43 - 45, 47 - 51, 56, 57]
Congelamento / Inflexibilidade do Projeto	7	[17, 42 – 45, 49, 56]
Falta de comunicação	7	[17, 46, 47, 49, 50, 55, 57]
Falta de Apoio Governamental	4	[45, 47, 48, 55]

As Figura 2.12 e Figura 2.13 mostram a distribuição das publicações científicas que mencionam alguns dos obstáculos associados à pré-fabricação encontrados na literatura, por continentes e ano de publicação.

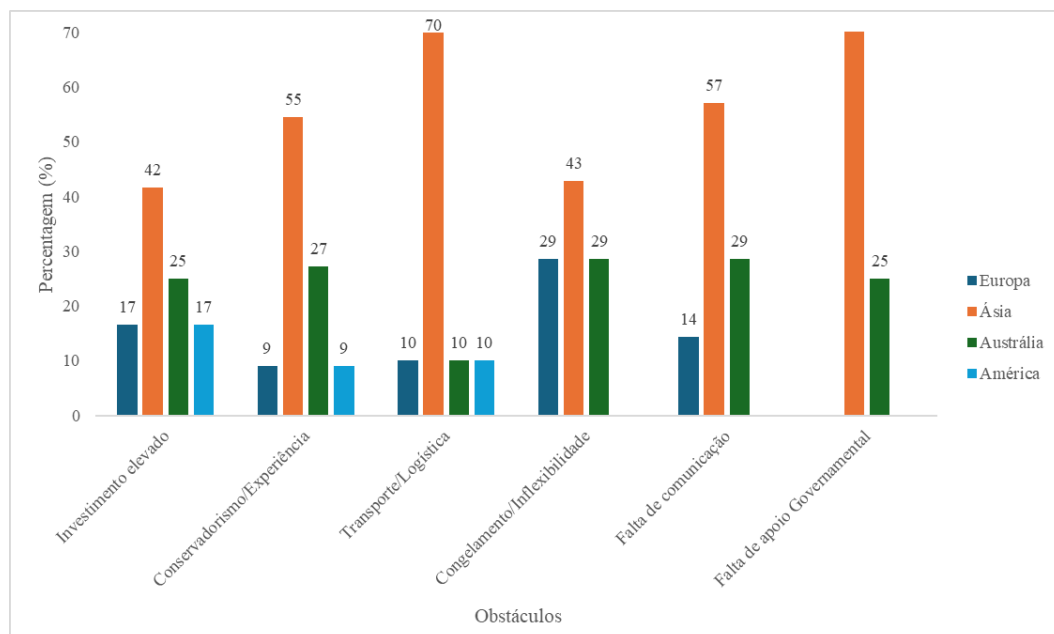


Figura 2.12- Levantamento da literatura dos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por continente.

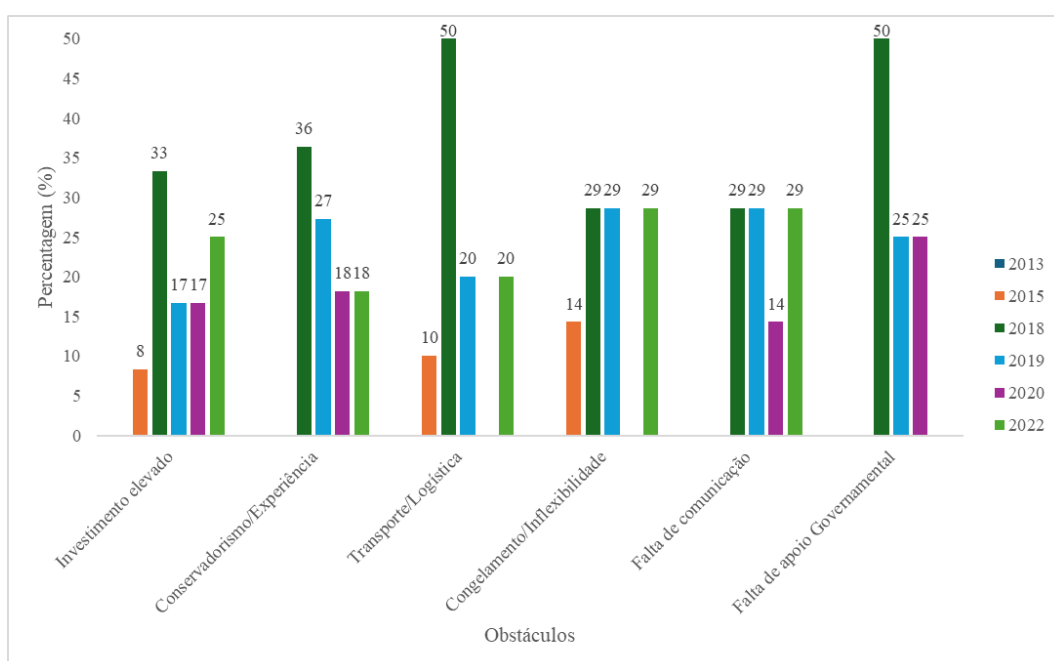


Figura 2.13- Levantamento da literatura dos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por ano de publicação.

O Investimento Elevado para a construção pré-fabricada é o principal entrave à sua implementação. O investimento inicial em equipamento e terreno para a produção de elementos tem uma influência direta no aumento do custo de capital [55].

O Conservadorismo por parte da população devido a acontecimentos passados e a não quererem mudar algo a que já estão habituados e a Falta de Experiência e conhecimento sobre a pré-fabricação e construção em fábrica é um dos grandes obstáculos para a evolução da pré-fabricação.

O Transporte dos elementos desde a fábrica até ao estaleiro de obra e a Logística envolvente também são obstáculos à pré-fabricação. Grandes distâncias percorridas pelas transportadoras ou muitos dias de armazenamento de elementos pré-fabricados refletem-se em custos elevados.

Em quarto lugar encontram-se dois obstáculos que, de certa forma, estão ligados entre si. A Falta de Comunicação entre as partes interessadas pode resultar em custos elevados, atrasos na obra e incompatibilidade entre elementos. Em contraste com os métodos de construção tradicionais, a pré-fabricação envolve profissionais multidisciplinares que trabalham em paralelo e em colaboração em todas as fases do projeto, o que significa que é necessária uma coordenação extensiva entre os diferentes intervenientes no projeto para lidar com o *design*, o fabrico, o transporte e a instalação dos elementos pré-fabricados. Há necessidade de uma coordenação mais detalhada e eficaz entre os diferentes intervenientes no projeto em cada fase da construção [56].

A falta de apoios por parte do Governo, a falta de informação regulamentar e legislação relativamente a esta área de aplicação são alguns dos entraves à implementação da pré-fabricação. Enquanto modelo de construção com fortes potencialidades, deve promover-se, a par da investigação e desenvolvimentos tecnológicos, a elaboração de disposições legais e regulamentares sobre materiais, elementos e componentes, dimensionamento, características técnicas e estruturais, métodos construtivos, entre outros parâmetros. Desta forma seria mais simples incentivar o uso da pré-fabricação, em particular por parte dos Projetistas e Empreiteiros, dado existir mais informação disponível neste âmbito [58].

Para terminar, são apresentadas soluções que podem ser aplicadas de forma a ultrapassar os obstáculos que se apresentam à pré-fabricação (Tabela 2.3).

Tabela 2.3- Soluções para ultrapassar os obstáculos à pré-fabricação.

Soluções	Referências na literatura	Referência bibliográfica
BIM	7	[44, 45, 51, 54 - 56, 58]
Certificação	6	[42, 44, 46, 51, 55, 58]
Legislação	6	[42, 44 – 46, 51, 58]
Formação	4	[42, 54, 56, 57]
Colaboração entre <i>stakeholders</i>	3	[42, 46, 57]
JIT	2	[45, 51]

As Figura 2.14 e Figura 2.15 ilustram a distribuição das publicações científicas que mencionam algumas das soluções aos obstáculos associadas à pré-fabricação encontradas na literatura, por continentes e ano de publicação.

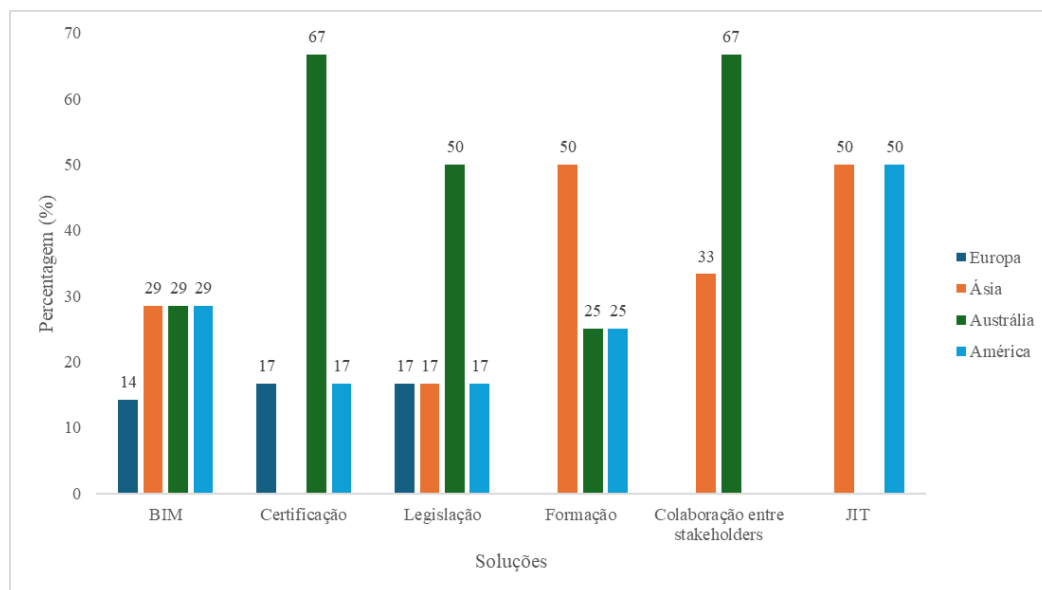


Figura 2.14- Levantamento da literatura das soluções aos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por continente.

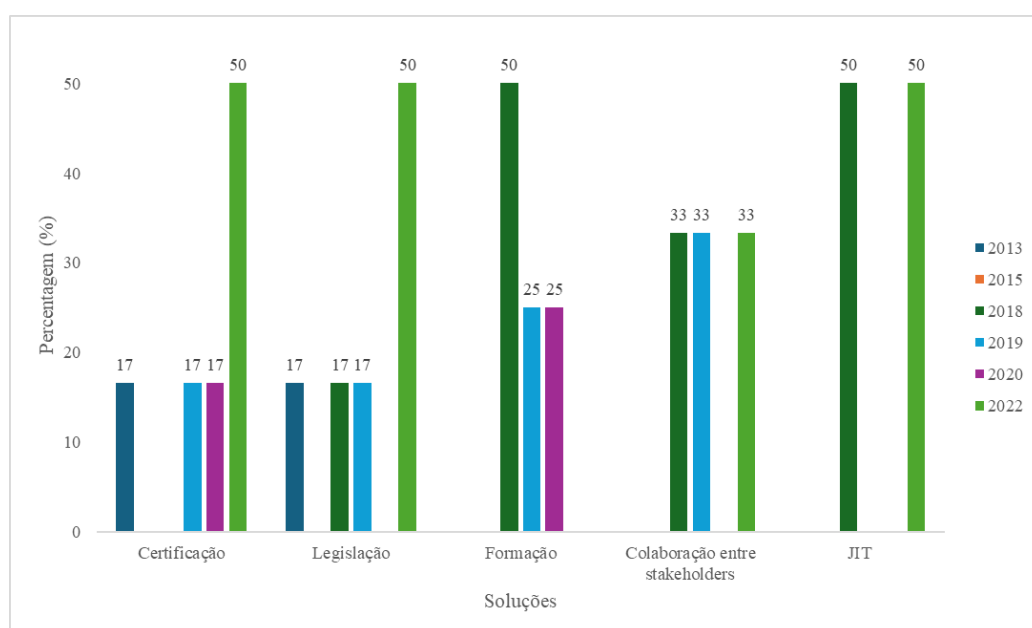


Figura 2.15- Levantamento da literatura das soluções aos obstáculos da pré-fabricação, distribuídas por ano de publicação.

É vantajoso melhorar o projeto de construção através da redução dos erros de coordenação do projeto. O Building Information Modeling (BIM), enquanto plataforma de partilha de informações em tempo real, contribui significativamente para a colaboração e coordenação multidisciplinares na construção, visto que a conceção paramétrica baseada no BIM tira o máximo partido deste *software*, para criar elementos pré-fabricados com atributos completos. O BIM tem um grande potencial para atuar como uma plataforma de comunicação durante a construção, o que constitui uma possível solução para a falta de coordenação e comunicação [58, 55].

Como se pode observar pela Figura 2.16, o BIM permite que a construção seja realizada de forma metódica, mais organizada e com o conhecimento de todas as partes envolvidas.

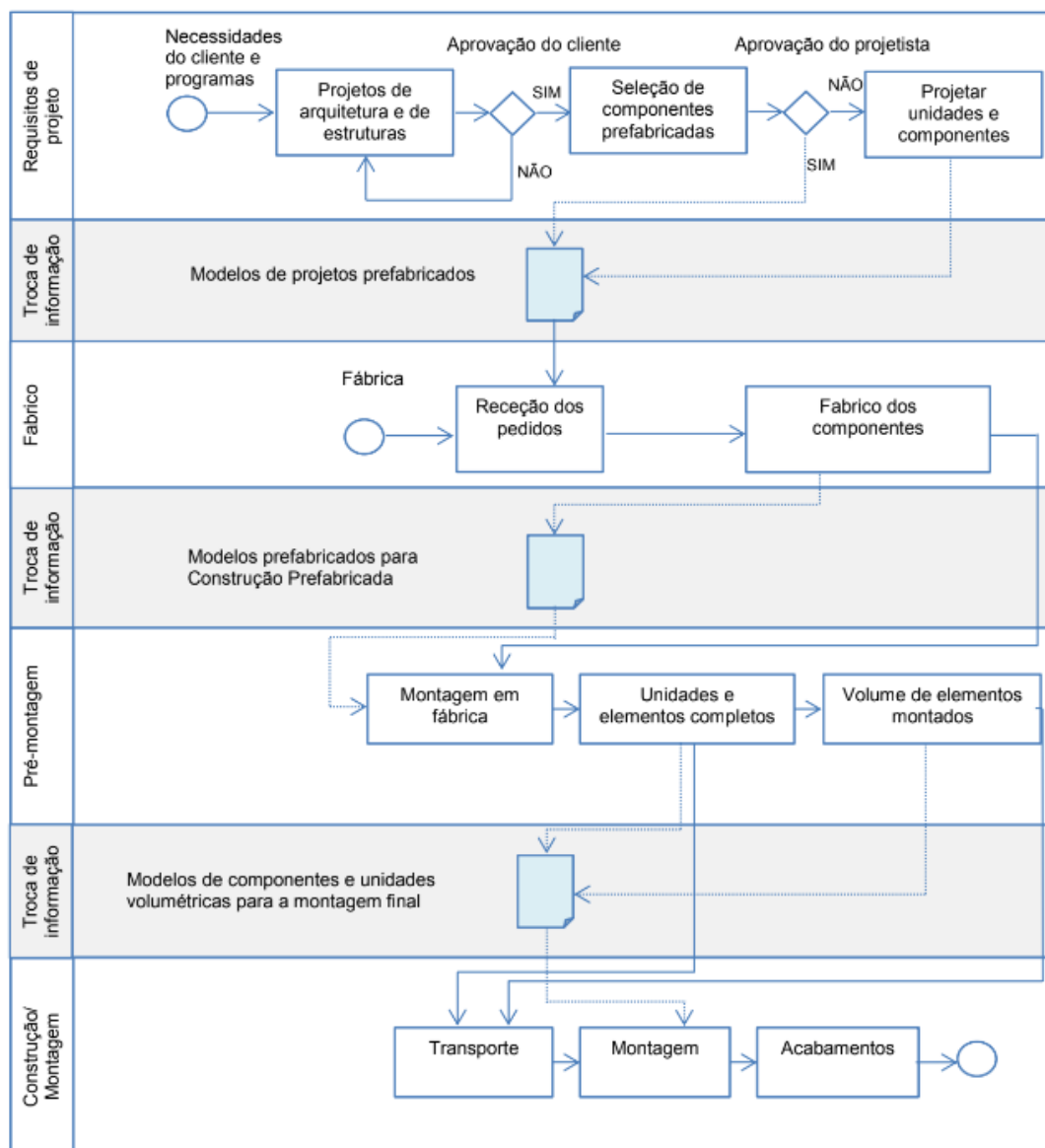


Figura 2.16- Processo BIM generalizado para a construção pré-fabricada [58].

A questão da Certificação e Legislação pode constituir um meio para aumentar a aceitação, por parte dos utilizadores e das próprias equipas de projeto, da construção pré-fabricada. Da mesma forma que já existe um sistema de certificação energética dos edifícios, devem construir-se sistemas semelhantes para outros parâmetros relacionados com a metodologia construtiva, como o desempenho estrutural, comportamento ao fogo, propriedades térmicas e acústicas, durabilidade, reparação e manutenção, instalações, sustentabilidade. Os processos de certificação devem basear-se num conjunto de resultados mensuráveis e permitir uma fácil análise por parte do cliente, tal como acontece com a certificação energética de equipamentos e edifícios. É importante que a entidade que faz a certificação seja acreditada e independente das empresas que querem obter a certificação [58, 55].

A filosofia *Just-in-Time* (JIT) permite que o fabricante e o empreiteiro coordenem a produção dos elementos pré-fabricados e que estes sejam entregues nas quantidades certas, à hora certa e no local certo, sem atrasos e custos adicionais para ambas as partes.

A Formação e educação dada aos trabalhadores, parcerias entre Universidades e empresas de forma a promover a pré-fabricação e a colaboração entre *stakeholders* são outras estratégias que permitem o avanço da pré-fabricação.

2.5.1 Controlo da Qualidade

A construção baseada em elementos de betão pré-fabricados é uma revolução na indústria da construção, na qual os princípios da industrialização são adotados no processo de construção. Em comparação com a construção *in situ*, os elementos de betão pré-fabricados oferecem um maior controlo de qualidade, benefícios ambientais, uma produção mais rápida e um custo mais baixo [59, 60 e 61]. Além disso, a utilização de elementos de betão pré-fabricados conduz a um ambiente de construção mais limpo e seguro. Estudos efetuados revelaram que o custo médio das obras de reparação causadas por defeitos de construção é de 5% dos custos totais de construção e que os custos dos defeitos representavam 4% do valor contratual da construção de novas habitações [62].

À medida que os elementos de betão pré-fabricados ganham proeminência, há uma procura crescente de controlo da sua qualidade dimensional durante as fases de fabrico e montagem. É de grande importância efetuar a avaliação da qualidade dos elementos de betão pré-fabricados antes de serem enviados para os locais de construção [61]. Atualmente, a avaliação da qualidade dos elementos de betão pré-fabricados baseia-se principalmente na inspeção manual, utilizando ferramentas tradicionais como fitas métricas e seguindo os códigos de projeto especificados. No entanto, a inspeção manual padece de três problemas. Em primeiro lugar, o resultado da inspeção manual é impreciso e pode não ser fiável [60]. Em segundo lugar, a inspeção manual é morosa e dispendiosa, especialmente no caso de estruturas complexas e de grandes dimensões. Em terceiro lugar, não existe um sistema de armazenamento e gestão de dados que seja necessário para uma partilha e gestão eficazes e eficientes da informação entre os participantes de um projeto de construção [62]. Estas condições problemáticas resultam principalmente da lenta integração dos avanços tecnológicos e dos princípios da industrialização, como a construção assistida por computador, a automação, a normalização e a standardização.

Assim, é necessário fornecer soluções capazes de realizar uma avaliação sistemática da qualidade dimensional e superficial dos elementos de betão pré-fabricados, de forma precisa, rápida e eficiente, numa fase inicial do processo de construção, de forma que a conclusão da obra seja bem-sucedida e atempada [62].

Nos últimos anos, os *Terrestrial Laser Scanners* (TLS) ganharam popularidade, uma vez que são capazes de adquirir dados de medição de alcance a alta velocidade e com elevada precisão. Devido a estas vantagens, o TLS tem sido utilizado para a avaliação da qualidade de estruturas civis, incluindo a medição da deformação da estrutura [63] e a identificação e quantificação de danos superficiais [60].

Alguns investigadores exploraram técnicas de deteção sem contacto para monitorizar as propriedades dimensionais das estruturas. A utilização de câmaras 2D é uma das abordagens mais comuns e populares para a deteção de anomalias dimensionais, uma vez que é rápida e pouco dispendiosa [61].

Ordóñez et al. [64] propuseram dois métodos diferentes baseados em imagens para a verificação de erros dimensionais de elementos de construção; Fathi H. et al. [65] apresentaram um método de recolha de dados para o fabrico digital de painéis metálicos para telhados utilizando uma série de dados de visão. No entanto, as abordagens de inspeção dimensional acima referidas indicam que são necessárias interações humanas significativas e, frequentemente, fontes de iluminação externas durante a aquisição e análise de dados [66]. Além disso, o desempenho destas abordagens baseadas na visão pode deteriorar-se devido à qualidade das fotografias e a más condições de iluminação. Por exemplo, as sombras existentes na superfície de um elemento de betão pré-fabricado podem causar dificuldades na extração de determinadas características das imagens [61].

2.5.2 Sustentabilidade

A gestão de resíduos nas atividades de construção é promovida para proteger o meio ambiente, de acordo com o reconhecimento de que os resíduos das obras de construção contribuem significativamente para a poluição do meio ambiente. Resíduos de construção não recolhidos tornaram-se um grande perigo para a saúde. A indústria da construção gera uma grande quantidade de resíduos todos os dias e utiliza demasiados recursos virgens, i.e., com pouca reutilização, sendo que essa quantidade chega a 40% do total de resíduos captados nas áreas de aterros sanitários [67].

Enormes quantidades de materiais excedentes indesejados, mas úteis, estão a deixar os aterros sem espaço, portanto, o método convencional não é eficaz no controlo de resíduos de construção em obras. Para o desenvolvimento sustentável e para conservar a capacidade dos aterros sanitários, há uma necessidade urgente de que a indústria adote novos métodos de construção ou tecnologias que possam reduzir o desperdício de forma eficaz. Assim, a pré-fabricação está a ser amplamente utilizada em países como o Japão, Singapura, e outros países europeus [67].

De acordo com os resultados sobre os níveis médios de desperdício para as principais atividades de construção realizadas no local, em Hong Kong, observa-se que a atividade com a redução de desperdício maior é o reboco, que pode ter 100% de redução de desperdício após a adoção da pré-fabricação. Pode-se explicar que a colocação de reboco pode ser evitada, pois a superfície de betonagem dos pré-fabricados é lisa e uniforme o suficiente para receber acabamentos posteriores, ou nem ser de todo necessária a colocação de acabamentos. Durante a entrevista, os empreiteiros argumentaram que o revestimento foi aplicado diretamente na superfície de betonagem após a descofragem, enquanto para a pintura é necessária apenas uma camada fina de regularização de 1 a 2 milímetros de espessura, em vez de reboco de 15 a 20 milímetros, dado que o suporte tem uma superfície mais regularizada [67, 68].

Relativamente a um outro estudo realizado em Hong Kong, os resultados demonstraram que a redução de desperdício foi significativa ao usar elementos pré-fabricados de betão. É interessante reparar que 35% dos entrevistados pensaram que, de acordo com sua experiência, a quantidade de redução de desperdício em obras usando construção pré-fabricada quando comparada à construção convencional foi de cerca de 10 a 20%, enquanto alguns entrevistados sentiram que a redução de desperdício nível ao usar técnicas de pré-fabricação seria superior a 30%. Dos estudos de caso (Tabela 2.4), também foi revelado que o nível geral de redução de desperdício foi de cerca de 52%. A disparidade entre os resultados mostrou a dificuldade dos profissionais em estimar o impacto da pré-fabricação na redução de

desperdícios. Conforme mostrado nas Tabela 2.4 e Tabela 2.5, a quantidade média de resíduos por área construída, foi de cerca de 0,3 ton/m² para projetos convencionais e 0,14 ton/m² para edifícios pré-fabricados [59].

Tabela 2.4- Resultados dos estudos de caso onde se aplicou técnicas de pré-fabricação. Adaptado de [59].

Construção Residencial	Ano	Tecnologia construtiva				Quantidade desperdiçada (ton/m ²)	Nível de redução de desperdícios (%)
		Cofragem de aço (%)	Cofragem de madeira (%)	Escadas pré-fabricadas (%)	Fachadas pré-fabricadas (%)	Outras pré-fabricações	
Público	2003	72	28	85	0 -	0,09	-70
Público	2002	56	44	60	33 a	0,14	-52
Público	2003	77	23	90	0 -	0,15	-50
Média		68	32	78	32	0,13	-57
Privado	2003	71	29	70	35 b	0,21	-29
Privado	2003	72	28	97	97 -	0,23	-24
Privado	2004	72	28	75	80 b	0,23	-23
Privado	2003	73	27	62	0 -	0,26	-14
Média		72	28	76	53	0,23	-23
Média total		70	30	77	37	0,14	-52

a- Laje semi pré-fabricada.

b- Cofragem perdida e varanda semi pré-fabricada.

Tabela 2.5- Resultados dos estudos de caso onde se aplicou construção convencional. Adaptado de [59].

Tipo de construção	Ano	Cofragem de madeira (%)	Quantidade desperdiçada (ton/m ²)	Média
Residencial	2003	100	0,22	0,30
	2002	100	0,29	
	2002	100	0,37	
	2003	100	0,58	
Escritórios e Comércio	2004	100	0,23	0,30
	2003	100	0,28	
	2003	100	0,47	

De acordo com um estudo anterior [59], que teve por base a recolha de testemunhos de especialistas em Hong Kong, foi evidenciado que a redução de desperdício e o melhor controlo de qualidade eram os benefícios mais importantes ao usar a pré-fabricação em comparação com a construção *in situ* tradicional. Além disso, os resultados mostraram que os entrevistados estavam predominantemente satisfeitos com a redução de desperdício ao usar elementos pré-fabricados em betão. A pré-fabricação também contribuiu para um ambiente de trabalho mais organizado e seguro no local em comparação com a construção convencional. Esses resultados devem-se ao facto de que os elementos fabricados em ambiente industrial permitem controlos de qualidade superiores em comparação com as condições *in situ* [59].

Em Hong Kong, os níveis de redução de desperdícios geralmente são maiores em projetos do setor público, com uma média de 57%. Em projetos de habitação pública, as técnicas de pré-fabricação são integradas com o uso de sistemas de cofragens e projetos de construção padronizados. Fatores como a implementação de planos de gestão de resíduos podem influenciar o nível de redução de resíduos no local [59]. A produção de resíduos em obras pode estar principalmente relacionada com a seleção do método de construção, a disponibilidade de instalações de triagem e reciclagem no local para resíduos de construção e ao nível de educação e formação dos trabalhadores. Os restos de materiais de corte

foram uma das principais causas de desperdício durante a fase de construção. O desperdício também surge como resultado de conceitos e decisões de projeto. Mudanças de última hora devido aos requisitos do cliente e mudanças de projeto são das principais causas de desperdício durante as fases de projeto. Perante isto, a pré-fabricação surge como uma solução vantajosa para combater as principais causas de desperdício durante as fases de construção [8]. A Figura 2.17 pretende comparar o ciclo de vida dos resíduos nas cofragens quando se usa construção *in situ* e quando se usa a pré-fabricação.

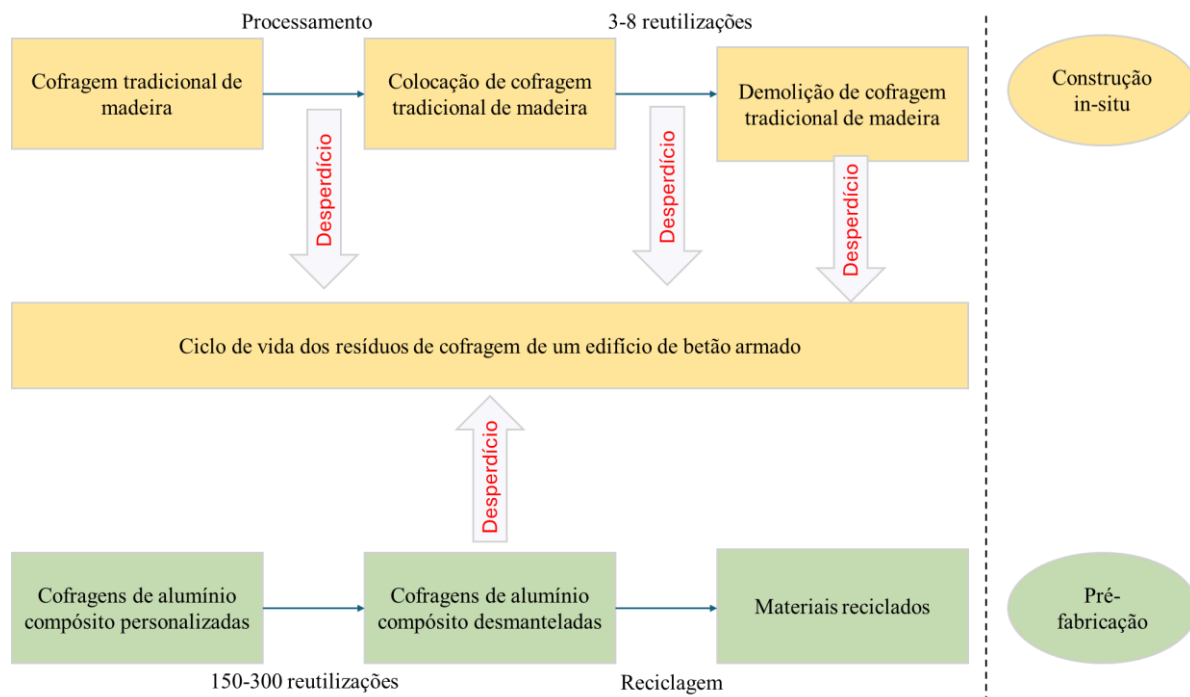


Figura 2.17- Ciclo de vida dos resíduos de cofragem num edifício de betão armado. Adaptado de [8]

Em elementos construtivos com geometrias mais complexas, como as escadas, as cofragens tradicionais de madeira são normalmente aplicadas nos métodos tradicionais de construção no local. Os construtores ou empreiteiros compram muitas vezes cofragens tradicionais de madeira normalizadas com dimensões fixas. Em seguida, estas cofragens normalizadas são transformadas no local ou fora do local em diferentes dimensões, de acordo com os desenhos originais do projeto e os requisitos de construção, antes de serem utilizadas. É inevitável gerar resíduos durante este processo devido aos restos de materiais resultantes de erros de planeamento e de operação. Uma vez que o desenvolvimento da resistência do betão requer tempo suficiente, é necessário preparar pelo menos dois conjuntos de cofragens tradicionais de madeira para um edifício, de modo a satisfazer os requisitos de construção repetitiva. Por vezes, para encurtar o período de construção, são acrescentados mais conjuntos de cofragens de madeira. Devido à vulnerabilidade dos materiais de madeira, é inevitável gerar desperdícios durante a construção no local. Além disso, as cofragens tradicionais de madeira têm uma vida útil curta. Depois de serem reutilizadas 3 a 8 vezes, estas cofragens têm de ser desmanteladas devido à sua grande deformação. Poucas cofragens tradicionais de madeira são recicladas devido ao seu baixo valor e às dificuldades de limpeza, o que faz com que quase todas sejam desperdiçadas [8].

Para a pré-fabricação, os elementos de betão são pré-fabricados utilizando cofragens de aço em fábricas fora do local, com um ambiente normalizado e controlado, enquanto na construção tradicional isto só acontece para grandes painéis, elementos muito repetitivos ou grandes áreas de betonagem. Durante a montagem no local, são normalmente utilizadas cofragens de alumínio compósito personalizadas com uma vida útil mais longa para algumas juntas entre componentes, em vez de cofragens de madeira. De acordo com os inquéritos no local e entrevistas com engenheiros da construção pré-fabricada, os tempos de reutilização das cofragens de aço são normalmente de 150 a 300 vezes. Mais importante ainda, o seu desperdício durante o processamento e a construção no local pode ser negligenciado. Não há necessidade de preparar vários conjuntos de cofragens. Devido à maior rigidez das cofragens de alumínio compósito, também não são necessárias madeiras quadradas. Para além disso, as cofragens de alumínio compósito usadas ainda têm um valor elevado e podem ser facilmente limpas e recicladas, podendo a taxa de reciclagem atingir mais de 40%. Por conseguinte, a pré-fabricação tem um elevado potencial de redução dos resíduos de cofragem [8].

Embora exista o Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (PPGRCD) em Portugal, na pré-fabricação a maior parte das atividades de produção de resíduos é realizada fora do local, o que reduz o desperdício no local e facilita o reaproveitamento e a reciclagem dos resíduos gerados na unidade industrial [59].

Uma redução considerável dos resíduos de construção pode ser conseguida se a gestão de resíduos for implementada como parte da gestão de projetos. De seguida, apresentam-se algumas medidas para promover um menor consumo de resíduos e de gestão dos mesmos:

- Embora a escolha dos métodos ideais de tratamento de resíduos deva ser determinado considerando as implicações de custo, qualquer prática que induza a redução de resíduos deve ser incentivada [67];
- Para uma melhor promoção da gestão ambiental e minimização de resíduos, deve ser fornecida formação e educação à construtora. A oferta de formação e educação dos funcionários e envolvendo a participação dos funcionários são abordagens mais eficazes na implementação da gestão de resíduos. No entanto, a participação dos funcionários só poderia ser efetiva com o apoio genuíno da administração [67];
- A aplicação de metodologia BIM permite representar as características físicas e funcionais e armazenar informações ricas de engenharia dos edifícios em formato digital. Ajuda a automatizar a análise do inventário e, assim, a abordar a acessibilidade dos dados na investigação sobre a avaliação do ciclo de vida dos projetos de construção [8];
- A promoção da pré-fabricação através de políticas de incentivo por parte dos governos. Uma vez que a transferência da construção convencional para a pré-fabricada requer um enorme investimento inicial e despesas intensivas, os governos devem promover ajuda através de políticas de pré-fabricação para reduzir os custos/riscos das empresas relacionados com a construção pré-fabricada. Apenas políticas de pré-fabricação de apoio corretamente concebidas serão eficazes na promoção do método de construção pré-fabricado e as políticas precisam de ter esquemas de incentivo quantitativos detalhados e medidas de execução, ao invés de apenas princípios e orientações diretivas [69].

2.5.3 Pegada de Carbono

O Acordo de Paris, em 2015, apela a uma ação global para atingir o "pico" dos GEE o mais rapidamente possível e alcançar a "neutralidade carbónica" a partir de 2050. Em todo o mundo, os edifícios contribuem, em média, com mais de um terço do consumo total de energia e das emissões de carbono. Por conseguinte, a redução das emissões de carbono dos edifícios tornou-se uma estratégia fundamental para combater as alterações climáticas e alcançar a sustentabilidade [70].

Embora a construção seja amplamente considerada como uma indústria pilar para muitas economias, é também uma das principais responsáveis pela contribuição para a degradação ambiental. Entre muitos fatores, como as poeiras, as emissões de GEE, a poluição sonora e o consumo de recursos naturais não renováveis, os resíduos de construção são um dos principais culpados [71]. Em 2017, os edifícios e a construção representam, em conjunto, 36% da utilização final de energia a nível mundial, geram um quarto dos resíduos sólidos depositados em aterro e induzem uma grande quantidade de gases com efeito de estufa em todo o mundo. Por conseguinte, é de importância vital que o setor da construção participe plenamente no movimento mundial para alcançar o objetivo de uma economia com baixas emissões de carbono [72]. Já a nível da UE, segundo dados de 2020, o setor da construção é responsável por mais de 35 % da produção de resíduos na EU e estima-se que 5 a 12 % das emissões nacionais de gases com efeito de estufa sejam provenientes da extração de materiais, do fabrico de produtos de construção, da construção e da renovação de edifícios [20]. Os edifícios produzem efetivamente emissões de carbono ao longo de todas as fases do seu ciclo de vida, e a pré-fabricação tem sido promovida como uma estratégia para reduzir o carbono do ciclo de vida dos edifícios. No Reino Unido, o governo afirma que a sua estratégia de pré-fabricação melhorou o desempenho global da construção, de tal forma que, atualmente, 99% dos projetos realizados com recurso à pré-fabricação são realizados dentro do prazo e do orçamento [70].

Os processos produtivos em fábrica são mais suscetíveis de possibilitarem um maior controlo no que diz respeito à poluição. A utilização da pré-fabricação num determinado empreendimento permite reduzir o tempo de trabalho em estaleiro, ou seja, o impacto do mesmo no meio ambiente também ocorre durante menos tempo. O impacto de um edifício na ecologia local e nas espécies é fortemente influenciado pela configuração do mesmo e pelo paisagismo, independente do método construtivo. Na pré-fabricação, ao aliar um controlo de qualidade rigoroso com uma redução dos desperdícios produzidos, é possível reduzir os GEE prejudiciais ao meio ambiente [58].

A análise do ciclo de vida (ACV) é uma técnica que tem sido amplamente utilizada para avaliar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição de matérias-primas, passando pelas fases de produção e utilização, até à eliminação final dos resíduos. A ACV é assim considerada uma abordagem ideal para avaliar de forma integral o potencial de redução de resíduos ao longo de todo o processo de pré-fabricação. De acordo com as normas ISO 14040 e 14044, a ACV é realizada em quatro fases distintas [71]:

- Definição do objetivo e do âmbito;
- Análise do inventário do ciclo de vida;
- Avaliação do impacto;
- Interpretação.

A ACV de um edifício pré-fabricado pode ser dividido em 10 fases (Figura 2.18): extração de matérias-primas (S1), transporte do local de extração para a fábrica (S2), fabrico (S3), pré-fabricação (S4), transporte para o local de construção (S5), construção e instalação (S6), funcionamento (S7), manutenção e renovação (S8), desconstrução (S9) e reciclagem ou deposição em aterro (S10). Um estudo com uma amostra de 25 edifícios espalhados por várias partes do mundo concluiu que, analisando o ciclo de vida nas suas 10 fases, os edifícios pré-fabricados têm, em geral, emissões de carbono incorporadas e operacionais mais baixas do que a construção tradicional. Uma média de 15,6% de redução de carbono incorporado e 3,2% de redução de carbono operacional, no entanto, também é influenciada pelas variáveis identificadas (tempo de vida, fase do ciclo de vida, âmbito geográfico, zona climática, método de Análise do Ciclo de Vida (ACV), método de investigação, unidade de análise, fonte de emissões, tipologia do edifício, limite de densidade, material de construção e taxa de pré-fabricação). Este resultado demonstra claramente a redução de carbono através da abordagem de pré-fabricação [70].

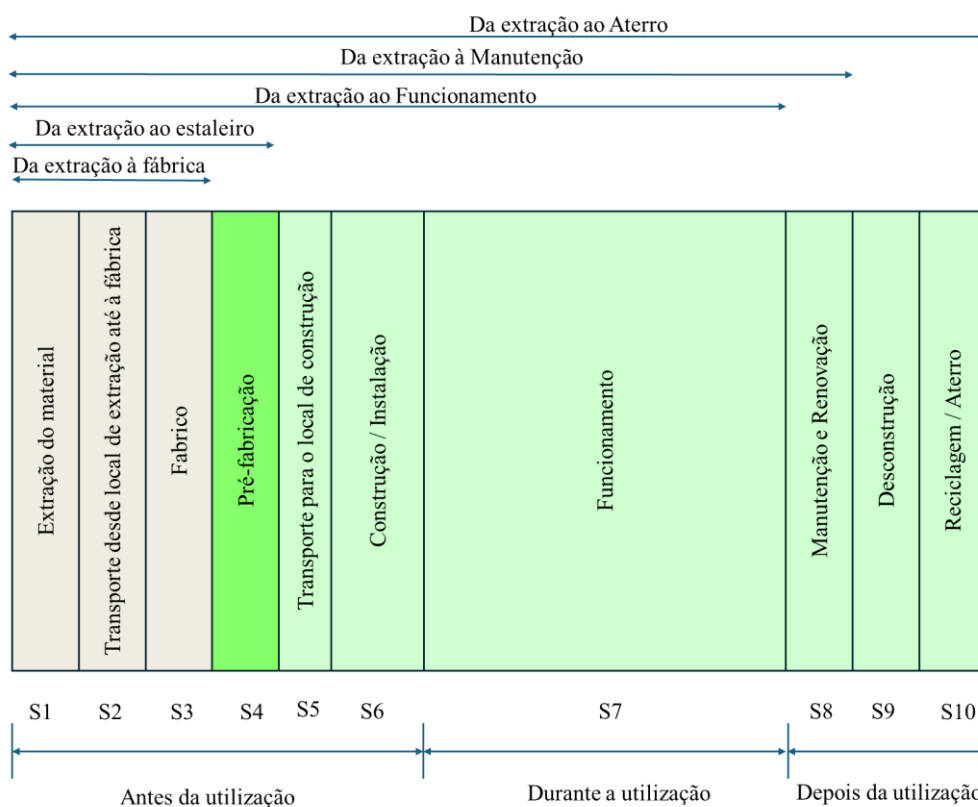


Figura 2.18- Ciclo de vida de um edifício (S1-S10) com integração da pré-fabricação. Adaptado de [70].

Com base numa comparação entre os métodos de construção pré-fabricados e construção *in situ*, foi utilizada metodologia BIM para avaliações mais específicas do projeto e simplificação do processo de cálculo do consumo de materiais e energias. Concluiu-se que os edifícios pré-fabricados podem reduzir significativamente as emissões de carbono através de uma produção quantitativa mais precisa e de menos resíduos gerados durante a fase de materialização de um projeto de construção, o que é consistente com estudos anteriores. Uma taxa de adoção de 50% de componentes pré-fabricados recomendada pelo governo da província de Jiangsu proporcionou uma redução das emissões de carbono em cerca de

15% ao longo da fase de materialização [72]. Atualmente, o BIM tem 10 dimensões, como se pode observar na Figura 2.19.



Figura 2.19- As atuais 10 dimensões do BIM [73, 74].

Um estudo realizado na China, em 2019, teve em conta as emissões resultantes do transporte destes elementos [74]. Os resultados demonstraram que a construção fora do estaleiro pode permitir uma poupança de emissões de GEE de 41,05 kgCO₂eq/m² ⁸ com uma redução de 8,4% em comparação com a construção tradicional. À semelhança da construção tradicional, as emissões de GEE da construção fora do estaleiro foram determinadas pelos materiais, com cerca de 85%, em comparação com as emissões do equipamento e do transporte. No entanto, observou-se uma redução considerável de 11,4% nas emissões associadas aos materiais devido à melhoria do processo de produção. Além disso, as emissões do transporte e do equipamento aumentaram devido ao aumento dos ciclos de manuseamento e transporte. Foram ainda realizadas observações críticas em termos da distância de transporte entre a fábrica fora do estaleiro e o local de construção. Com base nos pressupostos, uma distância até 112 km entre a fábrica fora do estaleiro e o local de construção pode proporcionar uma redução das emissões de GEE. Abaixo de 112 km, a adoção da pré-fabricação terá menos emissões de GEE em comparação com a construção *in situ* (Figura 2.20). Esta distância limite varia em função da distância de transporte entre a central de betão e o local de construção [74].

⁸ Os gases com efeito de estufa são compostos principalmente por dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), hexafluoreto de enxofre (SF₆), perfluorocarbonetos (PFC), hidrofluorocarbonetos (HFC) e óxido nitroso (N₂O). O equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq) é uma norma internacional para medir as emissões de carbono. Outros gases com efeito de estufa são convertidos em CO₂eq. O peso do gás emitido é multiplicado pelo seu valor de Global Warming Potential (GWP), para um horizonte temporal de 100 anos, para converter para a unidade normalizada de CO₂eq. [126], [96].

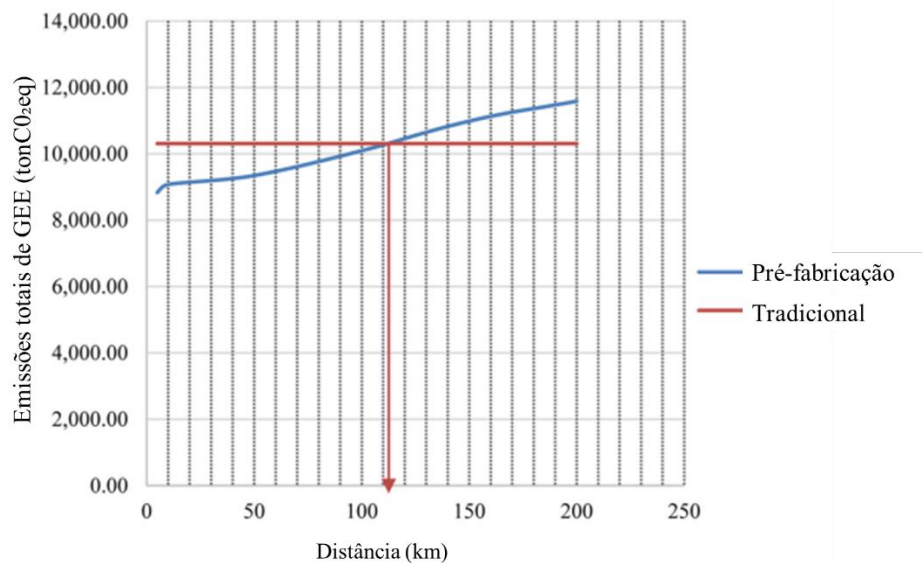


Figura 2.20- Variação das emissões de GEE devido à alteração da distância de transporte na construção pré-fabricada. Adaptado de [74].

Uma solução para mitigar o efeito do transporte é considerar a metodologia de construção *in situ* pré-fabricada. Isto reduzirá consideravelmente as emissões do transporte entre a fábrica fora do local e o local de construção. No entanto, os encargos ambientais e económicos decorrentes da montagem e desmontagem contínuas das instalações de pré-fabricação devem ser tidos em consideração e comparados com as instalações de construção fora do local para identificar a sua sustentabilidade. Isto significa que fatores como a disponibilidade local de materiais e a distância ideal de transporte são fatores críticos na definição da sustentabilidade ambiental da construção fora do local. Assim, uma estratégia de reduzir a emissão de GEE é dar preferência à utilização de materiais de origem regional, seja em pré-fabricação ou construção tradicional [74].

Na Figura 2.21 é possível observar o nível ótimo de pré-fabricação e a distância de transporte para minimizar as emissões de GEE. Para uma distância de transporte de 50 km, é necessário um mínimo de cerca de 40% de pré-fabricação para alcançar a redução das emissões de GEE. Estes resultados variam em função da distância entre a central de betão e o local de construção. Apesar de se tratar de um resultado específico de um caso, a metodologia sugerida na análise fornece uma ótima plataforma de tomada de decisões para a avaliação comparativa da construção fora do local de construção como uma técnica de construção sustentável [74].

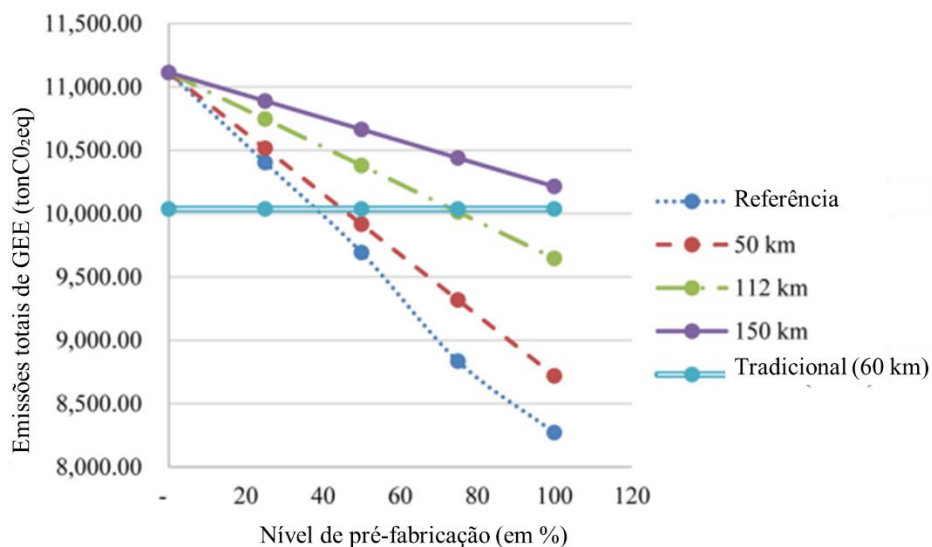


Figura 2.21- Variação das emissões totais de GEE com níveis de pré-fabricação diferentes. Adaptado de [74].

É necessário formular uma combinação de políticas de incentivos financeiros, incentivos à reputação e sanções para que o governo promova a implementação da pré-fabricação nas empresas. Com base nos resultados de várias investigações, foram obtidas as seguintes conclusões [75]:

- As empresas devem adotar práticas de baixo carbono (como alavancar tecnologia de fabricação avançada, fortalecer o gerenciamento de produção e melhorar os processos de entrega de componentes) para reduzir as emissões de carbono durante a sua produção, de forma a estabelecer uma reputação de proteção ambiental e aumentar a receita incremental do mercado. Mesmo no estágio inicial de desenvolvimento da pré-fabricação, há oportunidades de reduzir lucrativamente as emissões de carbono para todas as empresas [76];
- O governo deve planejar políticas de baixo carbono estrategicamente. Na fase de desenvolvimento dos edifícios pré-fabricados, as empresas estão sob maior pressão para sobreviver e carecem de poder para prestar mais atenção à mitigação das emissões de carbono [76]. As medidas de incentivo do governo devem ser reforçadas em termos de partilha ou compensação dos custos de construção adicionais causados pela adoção da pré-fabricação. O aumento dos subsídios financeiros aos fabricantes pode reduzir o preço de venda de um componente pré-fabricado. Se a produção dos componentes pré-fabricados atingir uma determinada escala, a depreciação do equipamento, o custo amortizado da cofragem e os custos de produção dos componentes diminuirão drasticamente, reduzindo ainda mais os custos adicionais de construção da pré-fabricação. Este mecanismo pode encorajar outras empresas a implementar a pré-fabricação [75];
- O governo deve utilizar corretamente as sanções. Por um lado, o governo precisa de punir rigorosamente a adoção superficial da pré-fabricação para regular todo o mercado e a indústria, por outro lado, o governo precisa de fornecer alguns apoios para ajudar estas empresas a ultrapassar as dificuldades. Por exemplo, o governo pode organizar regularmente exposições de pré-fabricação para ajudar as empresas da cadeia de fornecimento a estabelecer relações de colaboração e atrair mais atenção social e consumos de edifícios ecológicos [75];
- O governo deve melhorar a educação do público. Deste modo, a percepção negativa do público em geral será melhorada e a sua confiança nos edifícios residenciais pré-fabricados

reforçada. O governo deve aumentar os subsídios económicos para os consumidores que comprem os edifícios residenciais pré-fabricados [75];

- O governo deve prestar grande atenção aos incentivos para melhorar o nível tecnológico das empresas de construção. O método de construção de pré-fabricação pode, teoricamente, aumentar a produtividade da construção e melhorar os benefícios económicos indiretos. No entanto, as empresas carecem de confiança, especialmente na fase inicial de melhoria da pré-fabricação, em que ainda persiste uma qualidade de recuperação na tecnologia de construção pré-fabricada, no trabalho qualificado e no nível de gestão para garantir o aumento substancial da produtividade da construção. O governo deve apoiar as empresas de construção na formação de trabalhadores especializados através da cooperação universidade-empresa, da formação em linha e da criação de bases de ensino profissional. Além disso, devem ser concedidos subsídios às empresas de construção, tais como fundos para a investigação e desenvolvimento de tecnologias de construção de montagem, formação de trabalhadores e inovação na gestão [75].

O mecanismo de ação entre o governo e as empresas imobiliárias sob a influência da vontade compra dos consumidores está resumido na Figura 2.22.

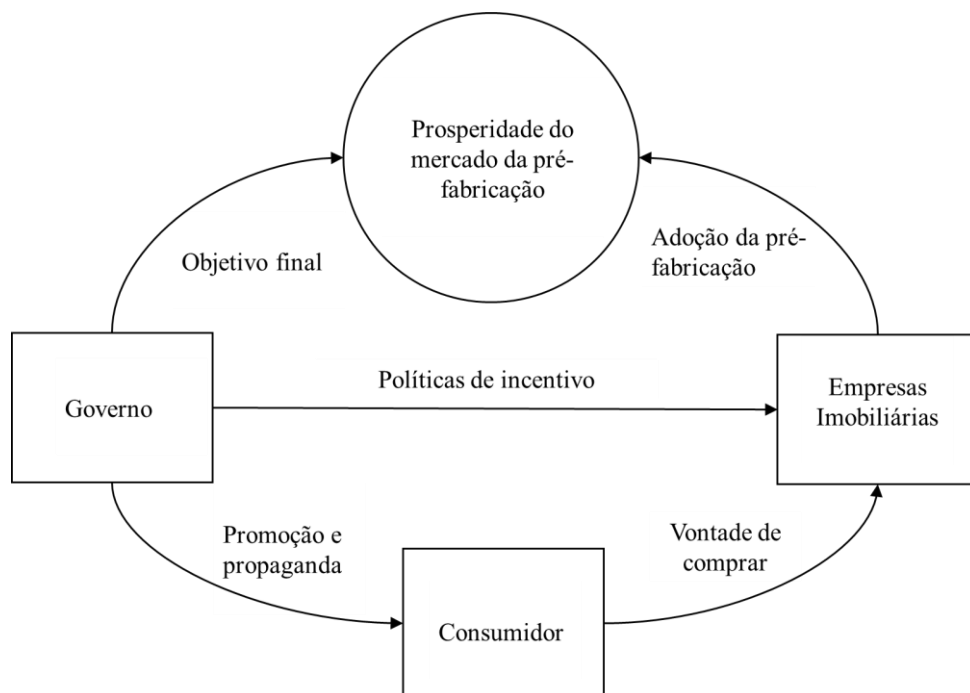


Figura 2.22- Mecanismo de ação entre o Governo, Consumidor e Empresas imobiliárias. Adaptado de [75].

2.5.4 Planeamento

Planear é um exercício de ponderação de alternativas centrado no propósito de maximizar a eficiência e a eficácia de uma organização. A inexistência de planeamento acarretaria a inexistência de linhas orientadoras para o desenrolar das ações a implementar e as funções Organização e Direção ficam diminuídas em termos de conteúdo e de aplicação. O planeamento, ainda que comporte sempre risco, minimiza-o. Se o risco for entendido enquanto possibilidade de perda então o planeamento prepara as

organizações para a escolha mais racional, ou seja, ajuda a reduzir o risco na medida em que se ponderam antecipadamente ações alternativas e corretivas [77].

A construção pré-fabricada é definida como o processo de conceção e fabrico de módulos de construção em fábricas de pré-fabricação e, em seguida, o transporte e a instalação desses módulos com um maior grau de acabamento nos locais de construção, o que pode reduzir o tempo de construção e aumentar a produtividade da construção. Além disso, devido à sua rápida velocidade de construção, a construção pré-fabricada surgiu como um método de construção fundamental para a construção de hospitais de emergência. Por exemplo, durante a pandemia de COVID-19, a China utilizou este método para construir dois hospitais de emergência (o hospital Huoshenshan e o hospital Leishenshan) no espaço de dez dias, o que salvou milhares de vidas dos doentes infetados pela COVID-19. O papel importante dos métodos de construção pré-fabricados neste exemplo indica que têm uma vasta perspetiva de aplicação na construção rápida [78]. A construção modular pode ser uma opção fundamental para os casos em que os prazos de construção são inflexíveis, como no sector da educação, ou para projetos em locais ativos (por exemplo, uma extensão de um complexo hospitalar com a construção de um novo edifício) [79].

Uma das grandes vantagens da construção pré-fabricada é permitir que o projeto e subsequente fabrico decorram em simultâneo e em paralelo com outras atividades [58]. Por outras palavras, a construção do edifício e as atividades de preparação do local decorrem em simultâneo [78], como mostra a Figura 2.23.

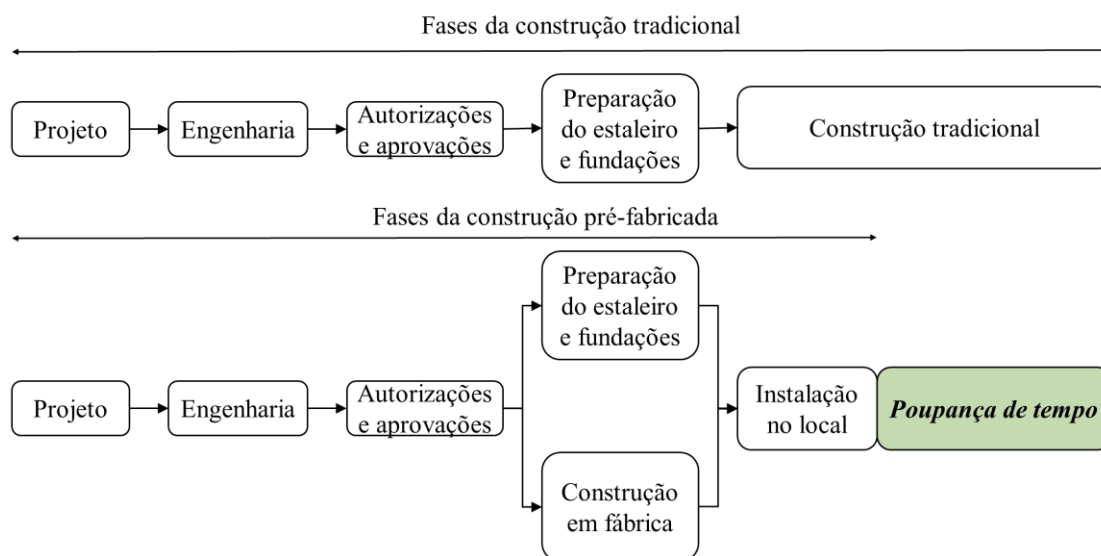


Figura 2.23- Poupança de tempo na pré-fabricação. Adaptado de [78].

Sendo o trabalho em estaleiro tradicionalmente vulnerável a atrasos devidos às condições atmosféricas, que constituem um dos parâmetros mais variáveis do planeamento construtivo e um dos fatores que mais afeta as atividades de construção no local, a utilização de elementos pré-fabricados permite reduzir o risco de atrasos e assegurar as exigências do projeto [58, 78]. Na construção modular, o risco de atrasos devido a condições climáticas extremas, vandalismo e roubo no local é mínimo [79], reduzindo também as perturbações, como poeiras ou ruído, para quem reside ou trabalha nas imediações

da obra. Sem as condições climatéricas e com um conjunto concentrado de trabalhadores qualificados com todas as ferramentas e materiais necessários no local, a produção em fábrica é mais rápida do que a produção no local. O intervalo de poupança de tempo sugerido para a construção pré-fabricada para aplicações residenciais a nível internacional situa-se entre 30% e 60% em comparação com a construção no local [80]. Um prazo de execução mais rápido significa menos juros sobre os empréstimos e/ou retornos do investimento mais rápidos para o dono de obra, tanto para os construtores como para os clientes, e menos tempo significa espaço para mais trabalhos e lucros para os construtores. Uma construção mais rápida permite aos construtores obter lucros de forma mais célere. Para os clientes, o tempo de pagamento do alojamento provisório é reduzido, assim como os custos dos empréstimos sobre os pagamentos progressivos. No entanto, *"a inclusão do custo da mão de obra no produto pré-fabricado pode exigir pagamentos mais elevados no início do processo de construção do que na construção tradicional"* [80].

Reduzir a duração da obra é um dos maiores benefícios da construção pré-fabricada. A redução do tempo de construção no local tem um grande impacto na duração global de todo o projeto [58]. A construção modular pode poupar cerca de 40% do tempo de construção em comparação com a construção tradicional. Num estudo de caso, o tempo necessário para a conclusão de uma casa modular normal foi de apenas quatro meses, enquanto uma casa semelhante construída tradicionalmente precisou de 14 meses. Além disso, foram necessários 10 meses para a conceção, engenharia e licenciamento do projeto modular e 21 meses para o projeto tradicional. Como a construção no local é trabalhosa, esta poupança de tempo pode reduzir consideravelmente o custo final de um projeto [79].

A filosofia Just-in-Time (JIT), também usualmente conhecida como “Toyota Production System”, teve origem no Japão, sendo a Toyota a primeira empresa a aplicar esta filosofia [58]. Entrega JIT significa que o número necessário de componentes pré-fabricados é entregue no local de montagem para instalação no momento necessário, é também amplamente aplicada no domínio da construção pré-fabricada [81]. Com os objetivos otimizados, os pré-fabricados devem ser entregues JIT, ou seja, o material certo chega na quantidade certa, no momento certo e no local certo [41]. Na filosofia JIT o desperdício é definido como qualquer coisa que não acrescenta valor ao produto final. Excesso de stock é encarado como desperdício pois não acrescenta valor e ocupa espaço, incorrendo em custos de armazenamento, segurança e aumentando o risco de danos durante o armazenamento. Esta filosofia tem como objetivo a inexistência de stock. Os trabalhadores devem ser envolvidos nesta filosofia, de modo que se possa conseguir uma melhoria continua nos métodos e processos produtivos [58].

Na logística de pré-fabricados, as incertezas do processo existem no escalão de produção, expedição e montagem [41]. A aplicação da estratégia de entrega JIT pode permitir que os projetos sejam concluídos a tempo, mas para que seja aplicada com sucesso, são essenciais operações de colaboração entre a produção de pré-fabricados e o transporte. As atividades de montagem de elementos pré-fabricados são realizadas após a produção e o transporte, pelo que se encontram no final da cadeia de abastecimento da pré-fabricação. A entrega antecipada ou tardia de componentes pré-fabricados leva ao insucesso do trabalho de montagem no local e a montagem influencia a programação da produção na fábrica de pré-fabricação. A sequência de produção de elementos pré-fabricados na fábrica é afetada pela sequência de instalação no local de construção. Assim, é necessário estabelecer um mecanismo de programação colaborativa entre o local de construção e a fábrica de produção para aumentar a eficiência

do projeto [81]. A entrega JIT pode ajudar a obter melhores serviços ao cliente e a reduzir os custos de detenção de inventário [82].

A inovação digital está a mudar a indústria da construção, e as tecnologias de ponta podem fornecer a garantia e o apoio necessários para uma construção otimizada. Os processos de construção pré-fabricados são diferentes dos processos normais de construção no local, uma vez que o local de construção se estende até à fábrica. Assim, a gestão do calendário pode ser alcançada mais rapidamente e melhor sob a coordenação de tecnologias de informação [83]. A Radio Frequency Identification (RFID) e o BIM são tecnologias de informação comuns que foram adotadas em estudos anteriores sobre o acompanhamento da produção de elementos pré-fabricados e gestão de riscos. Entretanto, a combinação de várias tecnologias da informação, como a Internet of Things (IoT) e a blockchain, demonstrou ser adequada para aplicação em sistemas de produção de pré-fabricados [81].

Comparado com as tecnologias construtivas tradicionais na Holanda, a construção pré-fabricada pode reduzir o tempo de construção de 21 para 12 meses, permitindo mais 33% de área útil. Outro estudo realizado no Reino Unido mostra que a Construção Modular pode reduzir para metade o tempo de trabalho em estaleiro [58].

A Tabela 2.6 apresenta um exemplo típico da análise do benefício marginal para os projetos de edifícios de escritórios ou comerciais. Esta categoria de edifícios incluía 18 projetos de estudos de caso [84].

Tabela 2.6- Análise do benefício quando utilizada a pré-fabricação *versus* construção tradicional. Conversão de 1\$NZD= 0,56€ a 28 de setembro. Adaptado de [84].

Projeto	Área bruta (m ²)	Pisos	Custo pré-fabricados (€)	custo de construção tradicional equivalente (€)	% de poupança de custos	Duração pré-fabricação (semanas)	duração da construção tradicional equivalente (semanas)	% de poupança de tempo	Mellhoria de produtividade
1	5900	6	3 360 000,00 €	8 149 680,00 €	58,77	72	84	14,29	8,40
3	1290	2	840 000,00 €	1 769 880,00 €	52,54	24	52	53,85	28,29
4	2850	2	3 080 000,00 €	3 910 200,00 €	21,23	32	64	50,00	10,62
6	5400	2	3 920 000,00 €	5 972 400,00 €	34,36	48	72	33,33	11,45
7	4082	1	3 920 000,00 €	4 514 692,00 €	13,17	32	66	51,52	6,79
8	1001	1	1 120 000,00 €	1 938 160,00 €	42,21	36	50	28,00	11,82
9	9000	1	4 480 000,00 €	7 887 600,00 €	43,20	32	84	61,90	26,74
10	150	2	89 600,00 €	105 840,00 €	15,34	4	10	60,00	9,21
11	100	1	123 200,00 €	136 080,00 €	9,47	16	18	11,11	1,05
12	10000	8	16 800 000,00 €	19 824 000,00 €	15,25	80	100	20,00	3,05
13	2100	2	1 792 000,00 €	2 145 416,00 €	16,47	30	52	42,31	6,97
14	10000	4	10 640 000,00 €	11 473 280,00 €	7,26	60	90	33,33	2,42
15	23000	6	58 800 000,00 €	62 790 000,00 €	6,35	112	130	13,85	0,88
16	5240	4	5 376 000,00 €	7 057 232,00 €	23,82	40	76	47,37	11,28
17	2100	1	3 640 000,00 €	3 704 400,00 €	1,74	40	60	33,33	0,58
18	1547	5	4 368 000,00 €	4 461 548,00 €	2,10	44	64	31,25	0,66
Média					22,71			36,59	8,76

Os resultados foram resumidos para todos os tipos de edifícios e apresentados na Figura 2.24 para uma melhor apreciação visual [84]. A poupança de tempo marginal média alcançada pré-fabricação nos projetos foi de 34%. A maior poupança de tempo, 50%, foi conseguida nos projetos de casas. Estas casas prestam-se facilmente a componentes normalizados, que permitem um fabrico e uma instalação mais rápidos, aumentando assim a rapidez da construção. Além disso, em termos de custos, verificou-se que este método de aquisição de habitações é 15% mais barato do que as habitações de conceção

única. A melhoria da produtividade marginal global oferecida pelo sistema pré-fabricado foi de 7%, com os projetos de casas a registarem o maior ganho de produtividade (11%) [84].

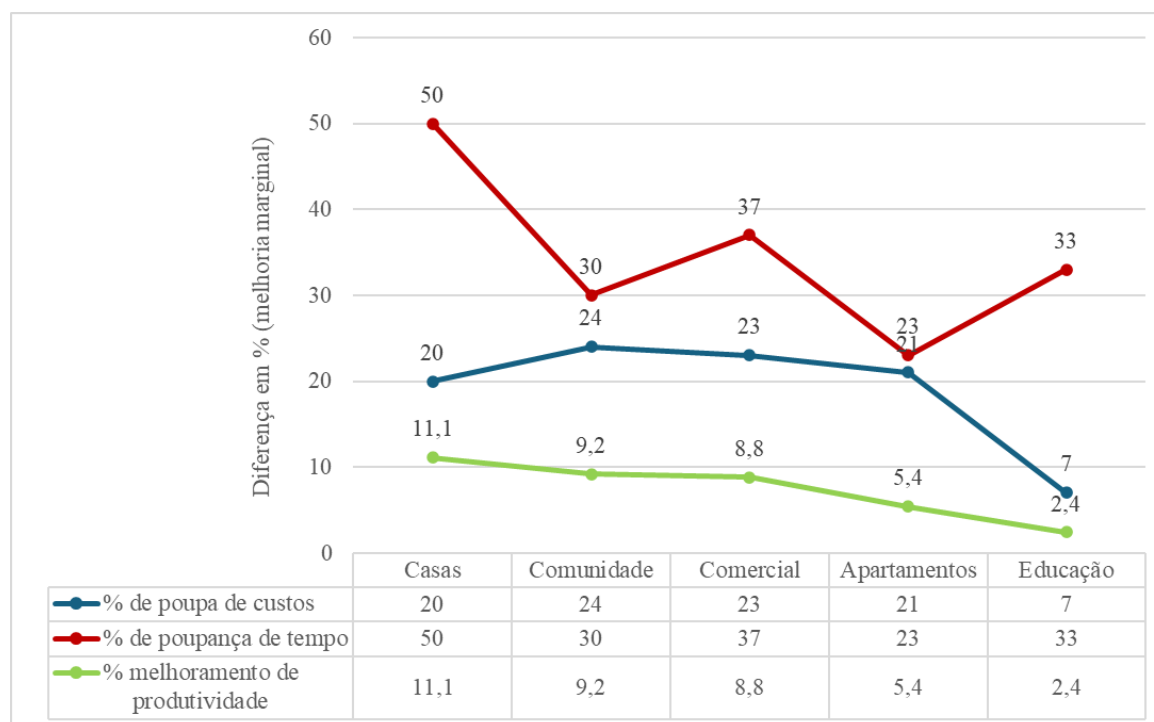


Figura 2.24- Redução da duração da obra, do custo e aumento da produtividade através do uso da pré-fabricação em vez da construção tradicional. Adaptado de [84].

Em geral, as conclusões deste estudo em relação ao custo marginal da pré-fabricação, tempo e melhorias de produtividade estavam de acordo com as conclusões alcançadas em estudos anteriores no estrangeiro. A utilização da construção pré-fabricada tem muitas vantagens, incluindo a rapidez de construção, o custo mais baixo, a necessidade reduzida de mão de obra qualificada e a obtenção de zero defeitos, o que pode ter um impacto significativo (cerca de 30% a 40% de melhoria) no nível de produtividade no local [84].

A utilização da construção pré-fabricada pode resultar em tempos de conclusão de edifícios mais curtos do que a construção tradicional, dependendo do tipo de edifício, enquanto os benefícios de melhoria de custo e produtividade não são influenciados pelo tipo de edifício e são suscetíveis de serem consistentes em todos os tipos de edifícios. Assim, as afirmações sobre os benefícios superiores da construção pré-fabricada só podem ser generalizadas no que respeita às melhorias de custo e produtividade em todos os tipos de edifícios, enquanto as afirmações sobre a poupança de tempo devem ser aplicadas com cuidado a tipos de edifícios específicos. Burgess et al.[80] afirmaram que "*a poupança de tempo na construção pré-fabricada para aplicações residenciais situa-se entre 30% e 60%*". A declaração feita por Burgess et al. [80] é, por conseguinte, digna de encorajamento quando se trata de relatar os benefícios de poupança de tempo do sistema pré-fabricado [84].

A Comissão de Produtividade da Nova Zelândia concluiu que a forma mais rápida de reduzir os custos de construção é através da redução do tempo de produção, e não através da concentração nos

custos em si. Um tempo mais curto implica também períodos de empréstimo de capital mais curtos e, por sua vez, custos de empréstimo reduzidos [80].

Quase metade do tempo gasto pela mão de obra em projetos de construção tradicionais é gasto em "atividades supérfluas". Isto deve-se a atrasos de subempreiteiros, atrasos de fornecedores, atrasos climáticos, retrabalho, lesões e pausas não programadas. *"Quando os processos são estudados em termos de desperdício, é comum constatar-se que menos de 5% de todas as atividades acrescentam efetivamente valor, enquanto cerca de 35% são necessárias, mas não acrescentam valor, e o resto, 60%, é desperdício"*. O desperdício é muitas vezes considerado como um algo tangível. No entanto, uma grande parte do valor do desperdício nos projetos de construção está relacionada com a utilização ineficiente do tempo. Consequentemente, existe um enorme potencial de melhoria da produtividade simplesmente através da redução do tempo desperdiçado [80].

O tempo de duração da construção no local em comparação com os métodos de construção pré-fabricados foi estimado para uma casa na Nova Zelândia e é apresentado na Figura 2.25. Neste caso, para uma casa de 120 m², prevê-se que a construção no local demore 14 semanas, em comparação com a construção híbrida, que deverá demorar apenas cinco semanas quando se replicam vários módulos. As habitações transportáveis deverão demorar dez semanas e a construção em painéis sete semanas [80].

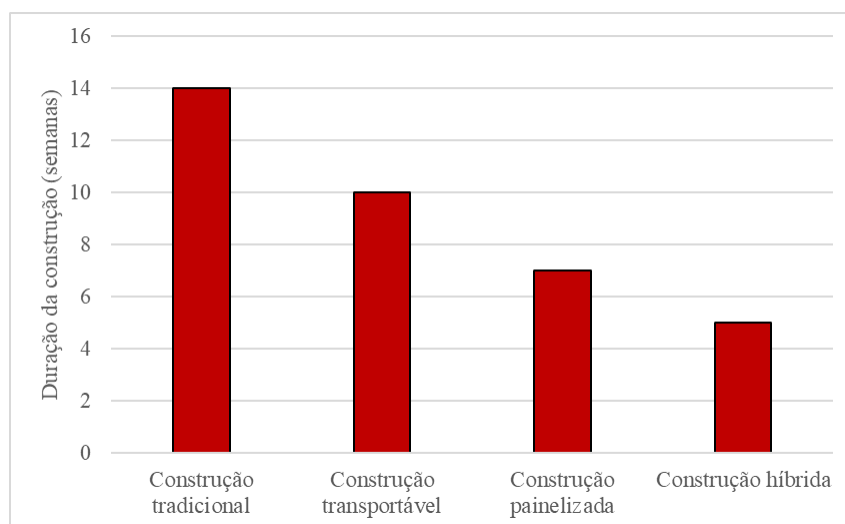


Figura 2.25- Gráfico do tempo de pré-fabricação de uma casa com 120 m² comparado com a construção tradicional. Adaptado de [80].

2.5.5 Custos

De acordo com o Observatório Europeu do Sector da Construção, baseado em dados da Eurostat, o número total de pessoas empregadas no sector da construção na UE-28 atingiu 21,1 milhões em 2015. O mesmo observatório revela ainda que duas em cada cinco empresas do sector da construção afirmam ter dificuldade em recrutar trabalhadores com as competências necessárias para as vagas existentes [53].

Globalmente, esta tendência reflete o facto de o desajustamento entre a oferta e a procura de mão de obra no mercado estar a aumentar, tornando cada vez mais difícil para as empresas encontrar

trabalhadores com as competências necessárias para as vagas existentes. Do mesmo modo, uma das preocupações do sector da construção é a sua produtividade laboral. Para além da baixa produtividade da mão de obra, o sector da construção tem também de lidar com o aumento exponencial dos custos de construção, sobretudo em consequência da conjuntura recente. Como se pode ver na Figura 2.26, entre todos os custos de construção, o custo da mão de obra foi o que mais aumentou [53].

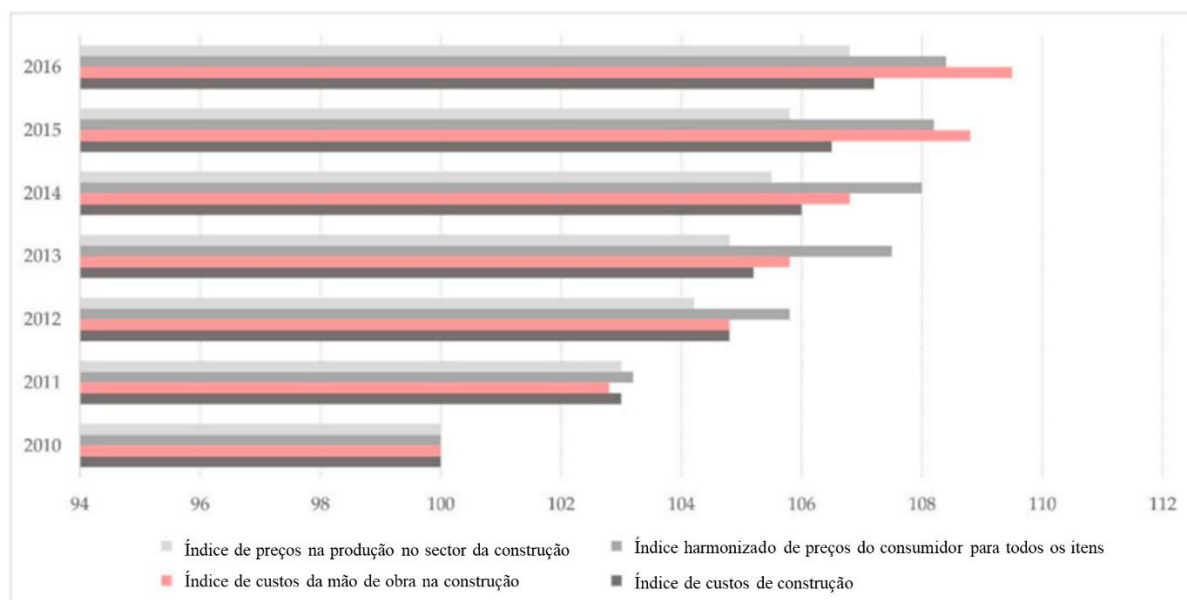


Figura 2.26- Índice de custos de construção na UE-28 entre 2010 e 2017 (2010=100). Adaptado de [53].

A taxa de acidentes mortais no sector da construção não se alterou nos últimos anos, mesmo com o abrandamento geral da construção. Devido à natureza em constante mudança do trabalho no local, a segurança na construção pré-fabricada é mais elevada, uma vez que cerca de 85% do trabalho é efetuado fora do local de construção. Os acidentes de trabalho, o trabalho em altura, o congestionamento, o mau tempo, as atividades perigosas e as operações de construção vizinhas podem ser reduzidos através da transferência do trabalho de construção principal para fábricas com operações mais fáceis e altamente repetitivas no local. Quando se utiliza a construção fora do estaleiro de obras, os acidentes registados no local podem ser reduzidos em 80% em comparação com a construção no local [79].

Com efeito, entende-se que a aposta na pré-fabricação garantirá um maior rigor e controlo dos aspetos económicos, não só através da redução dos custos e impactos gerais, mas também, no caso do controlo laboral, através mão de obra especializada e da melhoria das condições de segurança e de trabalho (maior controlo e redução dos riscos) [53].

A pré-fabricação permite aliviar problemas da falta de mão-de-obra qualificada. A economia cíclica da construção afeta a disponibilidade de mão de obra na construção, mas torna a pré-fabricação permanente uma oportunidade excecional para a indústria poder lidar com a disponibilidade volátil de mão de obra qualificada. Além disso, a produtividade da construção e da mão de obra pode ser significativamente melhorada, resolvendo um problema de longa data deste sector [68]. Comparada com a construção tradicional, a construção pré-fabricada necessita de menor quantidade de mão-de-obra em estaleiro, devido ao conteúdo mais reduzido e simplificado, em certos casos, de trabalho. Para além

disso, a mão-de-obra utilizada na montagem é geralmente mais qualificada, com outro tipo de comportamento e mais eficiente. Importa ainda referir que é possível aumentar a produtividade sem que isso corresponda a um aumento de mão-de-obra, utilizando a pré-fabricação [58].

A otimização da programação da produção de elementos pré-fabricados centra-se, principalmente, e relativamente aos trabalhadores, em dois pontos: a estratégia de afetação dos trabalhadores e a competência dos trabalhadores. Relativamente à estratégia de afetação dos trabalhadores, os elementos pré-fabricados são produzidos através de vários processos de produção e de vários postos de trabalho que exigem um elevado grau de coordenação entre os postos de trabalho. Se os trabalhadores de um posto de trabalho não conseguirem corresponder à carga de trabalho correspondente, isso conduzirá a estrangulamentos em todo o fluxo de produção, o que, por sua vez, afeta a produtividade. Quanto à competência dos trabalhadores, na indústria da construção, afeta significativamente a produtividade do projeto. Ao mesmo tempo, a experiência, a competência e a taxa de aprendizagem de cada trabalhador diferem significativamente. A formação transversal⁹ dos trabalhadores da produção pode garantir a produtividade dos trabalhadores e reduzir a heterogeneidade entre eles [81].

O processo produtivo assume especial importância, desempenhando a aprendizagem dos intervenientes um papel decisivo. De facto, nos últimos anos, grandes empresas industriais criaram e desenvolveram processos produtivos que facilitam o efeito de aprendizagem. Verifica-se que este é tanto mais sensível quanto maior for o empenho dos gestores de produção e das equipas de trabalho, a eficiência do processo global de produção e o suporte assegurado pelo resto da empresa, a adequação dos sistemas de organização, entre outros fatores. O sector da construção insere-se, naturalmente, cada vez mais, nesta lógica, e é por isso importante que as empresas de construção tirem partido do efeito de aprendizagem com vista à melhoria da produtividade, fator essencial no atual ambiente de competitividade [85].

A standardização constitui também um fator económico importante no processo de pré-fabricação, na medida em que o fabrico em série e a redução de trabalho por unidade produzida propiciam um processo industrializado com alta produtividade. É normalmente admitido que, executando sucessivamente e nas mesmas condições determinada tarefa, o seu tempo de execução vai diminuindo nas repetições, pelo menos, até certo ponto. A representação gráfica do tempo, custo ou número de horas-Homem de execução de cada unidade de construção repetitiva permite obter a chamada Curva de Aprendizagem, que tem subjacente um decréscimo daqueles parâmetros em cada repetição de acordo com a taxa de aprendizagem previsível [85].

Graficamente, a Curva de Aprendizagem pode ser representada por uma reta num sistema de eixos logarítmicos ($\log x$, $\log y$) em que x é a quantidade produzida acumulada e y o tempo de produção correspondente (Figura 2.27). Teoricamente, uma curva de aprendizagem pode ser dividida em 3 partes: Na parte inicial, poder-se-á considerar que a experiência anterior permite um modesto melhoramento de produtividade. Porém, à medida que os trabalhadores se vão familiarizando com os processos construtivos, materiais e envolvente, a curva de aprendizagem sofre um declive mais acentuado, representando desta forma uma melhoria da produtividade. A esta fase segue-se um patamar que traduz a

⁹ A formação transversal refere-se à formação de trabalhadores com competências e aptidões múltiplas para lhes permitir serem afetados quando e onde forem necessários [81].

impossibilidade de qualquer melhoria adicional. Uma vez atingida esta fase, a melhoria da produtividade só se poderia conseguir com a introdução de processos produtivos mais eficientes [86, 87].

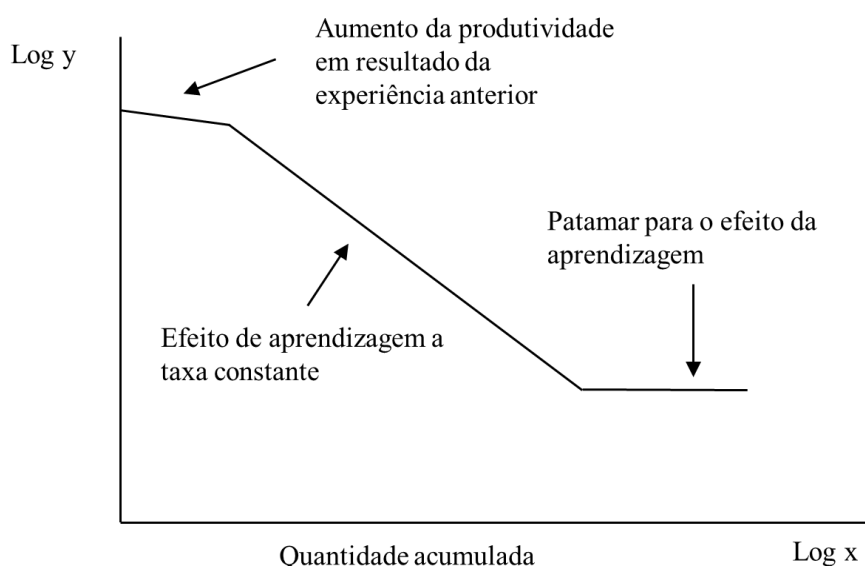


Figura 2.27- Curva de aprendizagem teórica com coordenadas logarítmicas. Adaptado de [85].

É importante que as empresas de construção retirem o máximo partido do Efeito de Aprendizagem com o intuito de melhorarem a sua produtividade. Os fabricantes devem elaborar e desenvolver manuais com rotinas de projeto, de forma a auxiliar os projetistas na elaboração e organização dos mesmos [58].

Quanto mais mecanizada for a fábrica, maior será o nível de competências dos trabalhadores e menor será o número de efetivos. Quanto maior for a automatização, maior será a necessidade de engenheiros para controlar o equipamento e menor será a necessidade de mão de obra física. De acordo com a análise de estudos de caso de estaleiros de construção no Reino Unido, na Alemanha e nos Países Baixos, níveis mais elevados de competências e de mecanização promovem uma maior rapidez e produtividade do trabalho, embora com um número mais reduzido de trabalhadores. Em tempos de escassez de competências, a mecanização é capaz de aumentar a capacidade do sector da construção, reduzir a necessidade de trabalhadores e, assim, aumentar a base de competências das empresas e fornecer um produto consistente e de qualidade aos clientes [80].

A experiência do Reino Unido indica que a criação de colaborações entre as universidades e a indústria é uma abordagem eficaz para melhorar as competências e a aplicação do desenvolvimento no local de trabalho, como o desenvolvimento de conteúdos de formação de competências para satisfazer os requisitos da indústria da construção fora do local de obra [42].

A construção fora estaleiro pode resultar num custo global do projeto mais baixo devido a muitos fatores. De acordo com um estudo do CII, em alguns projetos de construção pré-fabricada, houve uma poupança de até 10% no custo global e de até 25% no custo da mão de obra no local. O fabrico de vários elementos em simultâneo pode poupar custos porque os materiais podem ser encomendados a granel e a mão de obra e o transporte de máquinas podem ser reduzidos. Além disso, a pré-fabricação

diminui o número de trabalhadores no estaleiro de obra, o que resulta num menor congestionamento de mão de obra, levando a uma maior produtividade da mão de obra. As reduções de custos podem ainda ser conseguidas por outros fatores, tais como a redução das despesas gerais no local, a prevenção de condições climáticas extremas, a normalização do design, o elevado nível de eficiência energética e a maior eficiência na instalação [79].

Um estudo realizado em Hong Kong apresentou a Tabela 2.7 relativa às poupanças de custos que são possíveis alcançar em termos de utilização de materiais, mão de obra no estaleiro, benefícios decorrentes do aumento da área bruta para construção e de trabalhos adicionais durante a fase de construção. É evidente que a construção pré-fabricada é mais económica do que a construção tradicional. A poupança de custos pode atingir os 100% no caso dos andaimes exteriores, uma vez que não são necessários na construção pré-fabricada. Em média, mais de metade dos custos de utilização de materiais podem ser poupados, 30% de redução da mão de obra no local, 4-6% de poupança adicional da isenção da área bruta de pavimento e até 100% de poupança em trabalhos adicionais para a construção pré-fabricada do que a construção tradicional [88].

Tabela 2.7- Comparação de custos entre construção tradicional e pré-fabricação. Adaptado de [88]

	Construção tradicional	Construção pré-fabricada
Utilização de materiais		
Desperdício de azulejos	A	40% de A
Aço	B	75% de B
Betão	C	65% de C
Acabamentos interiores	30 mm espessura	10-15 mm espessura
Mão de obra (Homens.dia)		
Niveladores	4	4
Armadores de ferro	15	5
Oficial betonagem	6	6
Cofragem e cimbragem	27	14
Fixação de serviços de construção	15	15
Gangers	19	15
Total	86	59
Benefícios decorrentes do aumento de área bruta (por área bruta m2 para um piso típico)	Betonagem no local, + cofragem de madeira, + reboco grosso de paredes	Construção pré-fabricada, + cofragem de aço, +reboco de paredes
Percentagem de desvio de custos com construção tradicional	100%	104%
Aumento de área bruta ganha pela construção pré-fabricada	0%	6%
Trabalhos adicionais		
Trabalhos de retoque	A	10% de A
Andaimes exteriores	100%	0
Andaimes móveis	0	100%

Uma equipa de projeto é constituída pelos principais intervenientes no projeto, a saber: proprietários, arquitetos, engenheiros, empreiteiros gerais, principais subempreiteiros, fornecedores e fabricantes. Numa fase muito precoce (desenvolvimento do projeto, fase de pré-elaboração), todo o planeamento (conceção) é realizado por uma equipa que envolve não só um arquiteto e um engenheiro de estruturas, mas também consultores nas áreas da gestão da construção, engenharia *Mechanical, Electrical and Plumbing* (MEP), tecnologia energética, física de edifícios, acústica, construção de fachadas e, dependendo do tipo de projeto, outros especialistas. Tendo em conta o grande número de participantes no projeto, torna-se muito importante otimizar a cooperação entre eles. Os problemas de comunicação levam à divisão do processo de construção em fases, a um número significativo de alterações e custos não operacionais e, conseqüentemente, a um aumento da duração do projeto e dos custos. O setor da conceção e construção de edifícios precisa de avançar para uma melhor coordenação dos participantes e para abordagens mais colaborativas para ultrapassar os problemas [89].

Os autores [89] sugerem que o problema pode ser resolvido se a equipa de construção for vista como um grupo integrado de participantes numa rede, e não como um grupo de participantes. A equipa deve ser constituída por uma rede coesa em que os membros se concentram na construção de relações a longo prazo que são transferidas de atividade para atividade.

O Integrated Project Delivery (IPD) é um método de gestão de projetos de construção e desenvolvimento em grande escala. Trata-se de uma colaboração formal que ocorre ao longo das fases de conceção, planeamento e execução de um projeto. Os objetivos do IPD são ajudar os proprietários, os projetistas e os construtores a reduzir o desperdício, a cortar custos e a melhorar a produtividade [90].

Os princípios que incorporam a ideia de envolvimento precoce das várias partes responsáveis pelo projeto são: envolvimento precoce, definição precoce de objetivos, planeamento intensificado, organização e liderança. Embora seja bastante autoexplicativo, este é o princípio mais importante da IPD. O envolvimento precoce refere-se ao facto de, no IPD puro, todas as disciplinas envolvidas no processo estarem envolvidas e tomarem decisões desde o início do projeto. Isto passa diretamente para a definição antecipada dos objetivos. Se os objetivos do projeto forem definidos desde o início, todos estarão na mesma página e saberão o que se espera deles ao longo de todo o projeto [89].

A complexidade do projeto nos últimos tempos aumentou a importância do envolvimento precoce dos principais participantes. O American Institute of Architects (AIA) sublinhou a sua importância da seguinte forma: "*Com base nas contribuições iniciais de conhecimentos individuais, estas equipas são orientadas por princípios de confiança, processos transparentes, colaboração eficaz, partilha aberta de informações, sucesso da equipa associado ao sucesso do projeto, partilha de riscos e recompensas, tomada de decisões com base no valor e utilização de todas as capacidades e apoios tecnológicos. O resultado é a oportunidade de projetar, construir e operar da forma mais eficiente possível*" [89]. Especificamente, o IPD consiste numa equipa multidisciplinar de profissionais de conceção e construção reunidos para concluir um projeto, que estão ligados por formas alternativas que exigem que os membros da equipa partilhem os riscos e as recompensas, contribuam de forma igual e utilizem processos e tecnologias alternativos, tudo para apoiar a redução dos custos, do tempo, das perdas e dos desperdícios. A diferença mais marcante entre o IPD e os métodos de entrega mais tradicionais é a utilização de um único acordo multipartes em que todas as principais partes do projeto executam o mesmo acordo e partilham o risco e as potenciais recompensas [90].

A implementação do IPD exige que os participantes no projeto sigam novos protocolos inovadores e guiões de interação resultantes do método e dos seus parâmetros incorporados de compensação, processo, risco, trabalho em equipa e contratuais. O IPD requer comportamentos específicos entre os proprietários, construtores e profissionais de projeto [90]. A comparação entre a entrega tradicional de um projeto e o método IPD é apresentado na Tabela 2.8.

Tabela 2.8- Comparação entre Entrega Tradicional de Projetos e IPD. Adaptado de [90].

Entrega Tradicional de Projetos	Caraterística	Integrated Project Delivery (IPD)
Disperso, reunido numa base de "apenas o necessário" ou "mínimo necessário", fortemente hierárquico, controlado	Equipas	Uma equipa integrada composta pelos principais intervenientes no projeto, reunida no início do processo, aberta e colaborativa
Linear, distinto, segregado.		Simultânea e a vários níveis.
Conhecimentos recolhidos "à medida das necessidades". Informação acumulada; silos de conhecimento e especialização	Processo	Contribuições iniciais de conhecimento e experiência. Informação partilhada abertamente. Confiança e respeito das partes interessadas
Gestão individualizada, transferida na medida do possível	Risco	Gerido coletivamente, partilhado de forma adequada
Individualmente procurado. Esforço mínimo para um retorno máximo. (normalmente) baseado no primeiro custo	Compensação/Prémio	O sucesso da equipa está ligado ao sucesso do projeto. Baseado no valor
Em papel, bidimensional. Analógico	Comunicação/Tecnologia	De base digital, virtual. Modelação da Informação da Construção (3, 4 e 5 dimensões)
Incentivar o esforço unilateral. Atribuir e transferir os riscos. Não partilhar	Acordos	Incentivar, fomentar, promover e apoiar a partilha aberta e a colaboração multilateral. Partilha de riscos

A questão do envolvimento precoce das partes interessadas durante o processo de entrega foi uma grande preocupação dos cientistas durante muito tempo. O nível de influência é elevado durante as fases iniciais da construção e diminui gradualmente ao longo da vida do projeto. Patrick MacLeamy, CEO da HOK, fez uma proposta semelhante para ilustrar as vantagens do IPD. A curva de MacLeamy (Figura 2.28) traça a correlação entre o custo de fazer alterações quando se utilizam os métodos tradicionais de entrega de projetos e a IPD ao longo da sucessiva linha temporal de um projeto. Esta hipótese foi testada e provou ser verdadeira várias vezes por diversos investigadores ao longo de vários anos. A entrega de projetos em colaboração dá aos proprietários a vantagem de terem os principais intervenientes nos projetos envolvidos nas fases iniciais de conceção e construção. Os processos integrados reduzem, assim, os atrasos, o desperdício de movimento, de material e de mão de obra e poupam dinheiro, uma vez que são impulsionados pela colaboração e pelo trabalho de equipa [89].

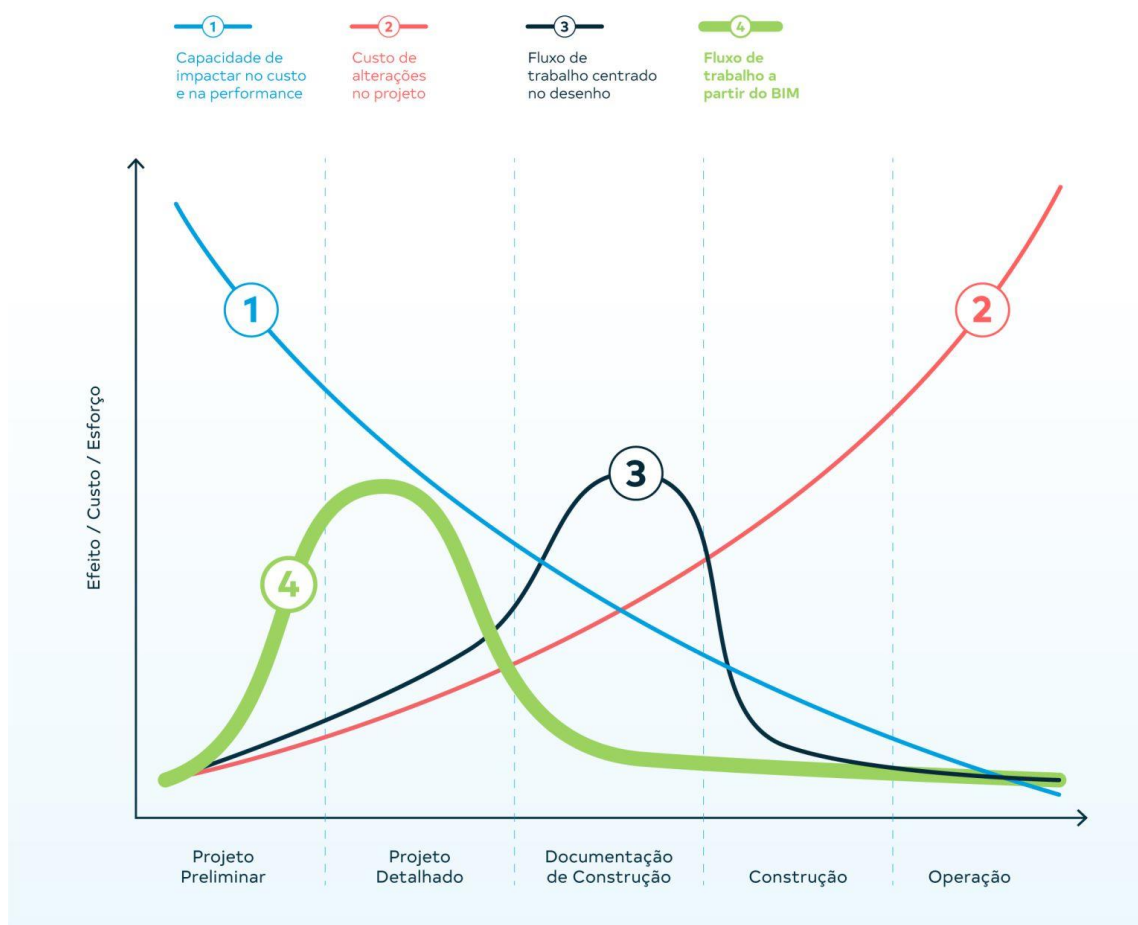


Figura 2.28- Gráfico de MacLeamy, criado por Patrick MacLeamy. Fornecido pela TopBIM.

O dono da obra pode reduzir os custos e aumentar a qualidade de um projeto, em comparação com a entrega tradicional de projetos. As vantagens da curva da MacLeamy destinam-se especificamente a proprietários de projetos complexos e inovadores com exigências imediatas, ou a proprietários que não tenham definido claramente um programa e/ou os seus termos. Com a introdução de um construtor na fase concetual de um projeto inicial, o empreiteiro pode colaborar com o projetista para adotar métodos eficientes [89].

Consequentemente, uma das principais vantagens da IPD em relação aos métodos tradicionais de entrega de projetos é o envolvimento precoce das partes interessadas. Permite identificar antecipadamente os conflitos e os erros e introduzir as alterações ao projeto nas fases iniciais da sua entrega [89].

O processo da pré-fabricação é semelhante a uma cadeia industrial. Neste processo, as decisões a montante (clientes e projetistas) afetam as decisões a jusante (fabricantes de elementos pré-fabricados e empreiteiros), e a procura a jusante (fase de instalação no local) também afeta a oferta a montante (fabricantes de elementos pré-fabricados). A cooperação entre a montante e a jusante conduz à otimização da gestão do projeto. Os intervenientes podem melhorar a gestão colaborativa da gestão dos custos através da criação de uma rede de relações. Por conseguinte, a relação de rede tem um efeito importante na gestão do projeto de construção fora do local da obra. A partilha de informações, recursos e

tecnologias entre as partes interessadas contribui para a gestão dos custos da construção. *Stakeholders* (i.e., as partes interessadas) podem ser vistos como uma organização temporária para uma gestão eficaz do projeto na construção, e formam uma rede social através da colaboração [91]. Na China, foi realizada uma investigação que pretendia estudar as relações entre *stakeholders*. As características de cada Caso são apresentadas na Tabela 2.9.

Tabela 2.9- Informação de projetos de pré-fabricação para os três Casos. Conversão de 1 yuan=0,13€ a 28/09/23. Adaptado de [91].

Projeto	Caso A	Caso B	Caso C
Tipo	Edifício residencial	Edifício residencial	Edifício residencial
Localização	Shanghai	Shangai	Shangai
Área (m ²)	29632	31820	30173
Sistema estrutural	Frame-shear wall structure	Frame-shear wall structure	Frame-shear wall structure
Altura (m)	53,65	52,2	58
Pisos	18,5	18	20
Nível de pré-fabricação (% por volume)	24	20	26
Tipo de Contrato	Tradicional	Projeto e Produção	EPC
Tipo de componentes pré-fabricados	Fachada pré-fabricada, escada pré-fabricada, degraus pré-fabricados, laje de varanda pré-fabricada	Fachada pré-fabricada, escada pré-fabricada, degraus pré-fabricados, laje de varanda pré-fabricada	Fachada pré-fabricada, escada pré-fabricada, degraus pré-fabricados, laje pré-fabricada
Ano de início	2015	2015	2016
Custo unilateral (€/m ²)	497,77	482,95	456,56
Custo de produção dos pré-fabricados			
Fachada pré-fabricada (€/m ³)	443,26	432,66	418,54
Escadas pré-fabricadas (€/m ³)	361,57	325,21	272,77
Degraus pré-fabricados (€/m ³)	413,38	391,63	336,80
Laje de varanda pré-fabricada (€/m ³)	371,03	364,16	343,88

O modo EPC (Engineering, Procurement and Construction), que foi aplicado no Caso C, aumentou a troca de informações, a partilha de recursos e a ligação de benefícios entre o empreiteiro geral, os fabricantes de elementos pré-fabricados e os projetistas. A relação da rede tornou-se mais próxima entre *stakeholders* no Caso C (Figura 2.29). Os resultados revelaram que a gestão colaborativa das partes interessadas afetou positivamente a relação da rede [91].

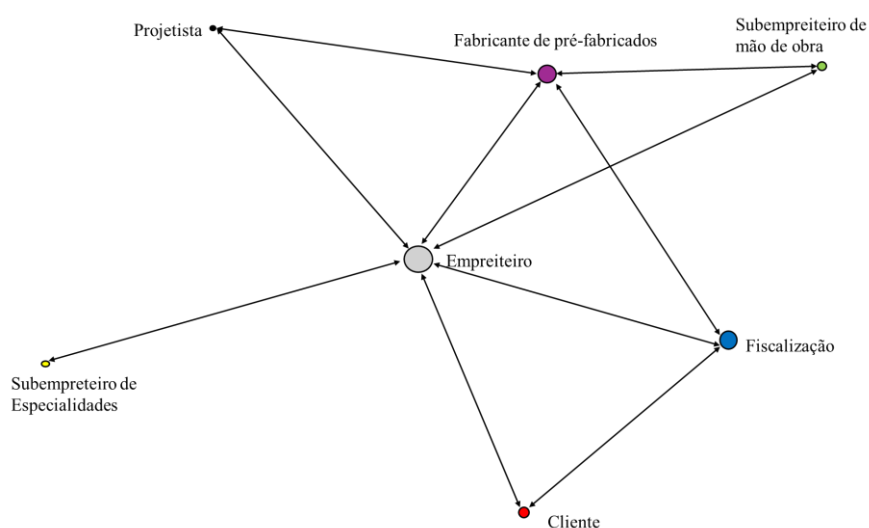


Figura 2.29- Gráfico da gestão de projetos colaborativos para construção pré-fabricada, Caso C. Adaptado de [91]

O modo EPC aumentou a troca de informações, a partilha de recursos e a ligação de benefícios entre o empreiteiro geral, os fabricantes de elementos pré-fabricados e os projetistas. A poupança de custos no caso C incluiu: o custo unilateral foi poupado em 8,3%; o custo de produção foi reduzido em 5,6% quando o modo EPC foi adotado em projetos de construção fora do local de obra; o custo da mão de obra dos trabalhadores da produção diminuiu em 17,8% devido à maturidade da tecnologia, à redução da formação e à produção em massa; o custo da cofragem foi poupado em 14,5% devido à standardização do projeto, à redução das alterações ao projeto e à produção em massa; os impostos diminuíram 12,3%; o custo de instalação foi reduzido em 15,3% devido à alteração do projeto, à redução da racionalidade da junção entre os elementos pré-fabricados no local e fora do local e ao aumento da experiência dos trabalhadores; e o custo do tratamento das juntas foi reduzido em 14,3% (Figura 2.30). A colaboração entre projetistas, empreiteiros gerais e fabricantes de elementos pré-fabricados foi semelhante, formando uma cadeia industrial sistemática de montante a jusante. A gestão colaborativa das partes interessadas aumentou o desempenho dos custos de construção fora do estaleiro [91].

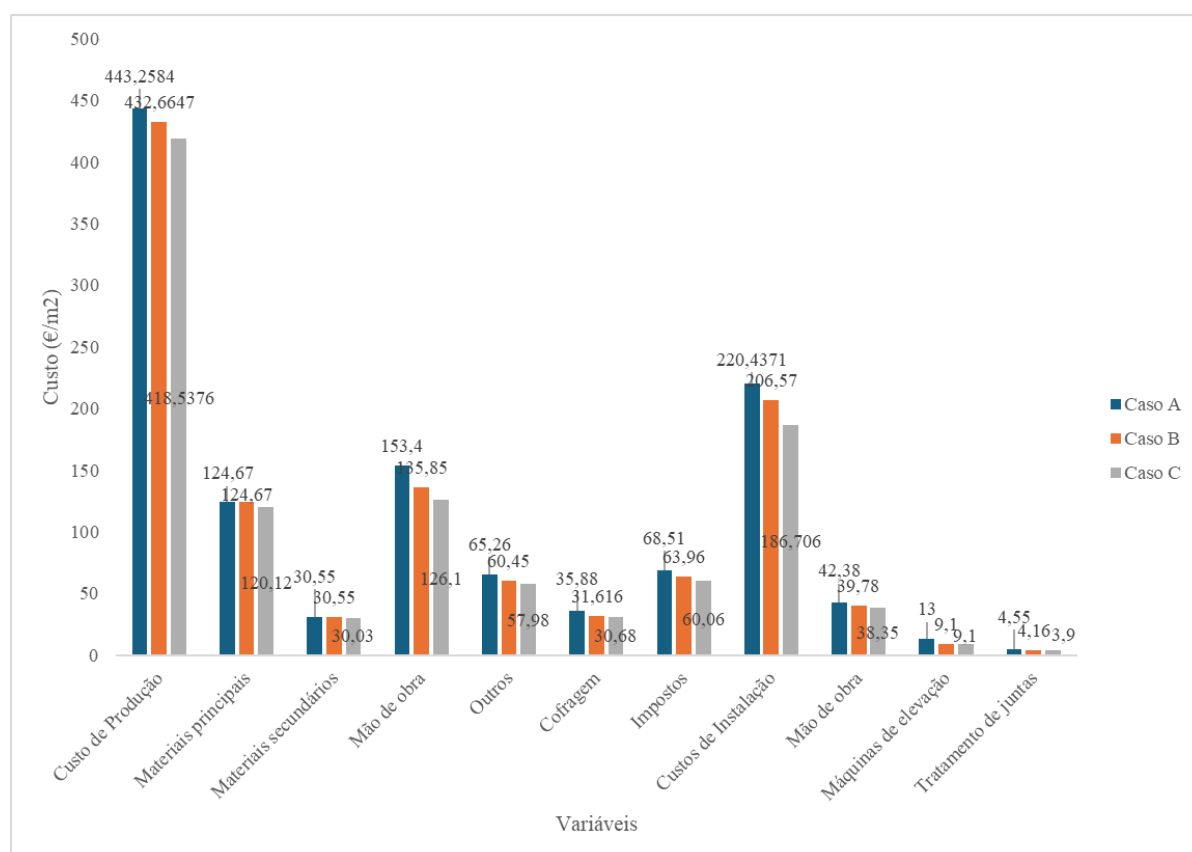


Figura 2.30- Comparação de custos nos três Casos. Conversão de 1 yuan=0,13€ a 28/09/23. Adaptado de [91].

Para diferentes tipos de elementos pré-fabricados, os benefícios da colaboração foram diferentes. Para a fachada pré-fabricada, o custo foi poupado em 5,6%, mas para a laje de varanda pré-fabricada, escada pré-fabricada e degraus de escada pré-fabricados, o custo foi reduzido em 7,3%, 24,6% e 18,5%, respetivamente (Figura 2.31) [91].

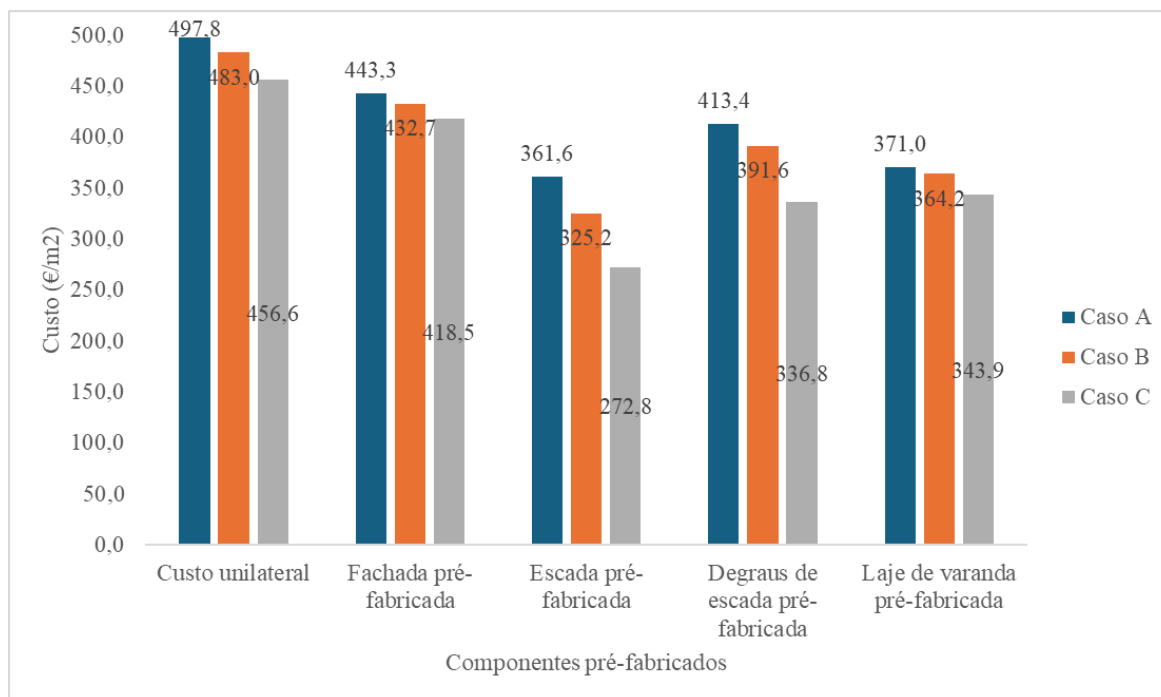


Figura 2.31- Comparação dos custos de produção de componentes pré-fabricados. Conversão de 1 yuan=0,13€ a 28/09/23. Adaptado de [91].

Este estudo mostrou que os empreiteiros gerais desempenharam um papel de central na gestão do projeto de construção fora do local de obra devido à sua posição especial. Os empreiteiros gerais atuaram como uma ponte na transmissão de informações e na partilha de recursos na rede social, especialmente no caso C. Os empreiteiros gerais foram os verdadeiros intervenientes da gestão do projeto de construção no local. No entanto, em comparação com a construção tradicional no local, o poder do empreiteiro na gestão dos custos diminuiu. Este fenómeno foi atribuído à transferência de poder dos empreiteiros gerais para os fabricantes de elementos pré-fabricados. O Custo de Instalação era controlado pelos empreiteiros gerais, enquanto o Custo de Produção era controlado pelos fabricantes de elementos pré-fabricados. A descentralização do poder pode levar a uma menor eficácia da gestão dos custos. No entanto, os empreiteiros gerais podem controlar os elementos pré-fabricados e o Custo de Instalação no modo EPC e reduzir efetivamente o custo da construção fora do local. Este resultado sugere que a relação de rede tem uma influência positiva no desempenho dos custos. Para os fabricantes de elementos pré-fabricados, o fluxo de informações e a partilha de recursos com os projetistas podem reduzir o Custo de Produção e aumentar a sua competitividade no mercado. Para os empreiteiros, o fluxo de informações e a partilha de recursos entre os projetistas e os fabricantes de elementos pré-fabricados podem reduzir a alteração do projeto e resolver o problema das incompatibilidades de ligações. No entanto, as partes interessadas tendem para o objetivo comum (benefícios económicos). A gestão colaborativa pode concretizar os benefícios económicos da construção pré-fabricada e concretizar os interesses de cada parte interessada em diferentes graus. Por conseguinte, as partes interessadas tendem a estabelecer uma colaboração para o desempenho dos custos [91].

Em resumo, a concessão de apoio financeiro para a implementação da pré-fabricação, a melhoria da maturidade do mercado da construção pré-fabricada, a adoção de sistemas de controlo baseados

em computadores ou ferramentas [92], o envolvimento precoce das partes interessadas de forma a definir o projeto no estágio inicial para melhorar adoção da pré-fabricação [67] e a colaboração entre as partes interessadas, resulta num maior desenvolvimento da pré-fabricação e numa redução dos custos de construção.

A vontade de trocar ideias também é um fator que ajuda ao desenvolvimento da indústria da construção. Denota-se uma aprendizagem intersectorial com a indústria automóvel, particularmente no que diz respeito a design, engenharia, pesquisa e desenvolvimento, coordenação da cadeia de fornecimento, sistemas de entrega JIT, ciclos de qualidade e automatização do transporte e armazenamento dos elementos. A utilização corrente de modelos informatizados dos produtos e processos permite obter designs distintos [58].

2.6 Escadas Pré-Fabricadas

As escadas são um dos elementos estruturais mais antigos. Tradicionalmente, as escadas eram construídas em madeira, pedra ou mármore, sendo a madeira o material dominante entre os três. No entanto, após 1945, devido à destruição ocorrida durante a Segunda Guerra Mundial, novos materiais não inflamáveis, como o aço e as estruturas de betão armado, tornaram-se mais convenientes e atrativos. Apesar da sua longa história, o projeto básico das escadas não sofreu alterações substanciais. No entanto, os desenvolvimentos nas ciências da computação e nas tecnologias dos materiais durante as últimas duas décadas permitiram aos projetistas e engenheiros imaginar para além destes conceitos tradicionais. As Figura 2.32 e Figura 2.33 demonstram a evolução das escadas na história [93].



Figura 2.32- Escada de pedra no Templo de Tarxien, Malta (3600 - 2500 a.C.) [93].



Figura 2.33- Escadas Pré-fabricadas com recurso a máquina industrial, 2023.

A principal função de uma escada é transportar pessoas ou objetos entre pisos, dividindo a altura diferencial em trajetórias verticais mais pequenas e mais confortáveis, designadas por degraus. As escadas são construídas em diferentes tipos, formas, configurações e materiais. Ao planear um edifício, o projetista deve procurar soluções para criar uma escada eficiente, confortável e segura. Uma das decisões mais críticas é a colocação da escada no interior da estrutura, devido ao facto de o espaço que ocupa ter uma enorme influência na conceção geral do edifício. Outros fatores que influenciam fortemente o dimensionamento da escada são a disponibilidade e a acomodação do espaço, bem como o orçamento. Sendo uma parte importante dos edifícios, a escada deve ser projetada para acomodar o fluxo esperado de pessoas em qualquer tipo de situação de emergência, especialmente durante um incêndio ou sismo [93, 94]. A escada serve como elemento fundamental do tráfego vertical na maioria dos cenários de emergência em que os utilizadores têm de subir ou descer pisos verticais para chegar ao solo, como em estações de metro, edifícios residenciais e outros edifícios públicos [95].

As escadas de betão são pré-fabricadas ou produzidas no local. Devido ao maior controlo das condições de moldagem e cura, as escadas de betão pré-fabricadas oferecem vantagens significativas em comparação com o fabrico convencional [93]. Uma escada pré-fabricada é um elemento estrutural de um edifício constituído pela montagem, ligação e etapas parciais de moldagem no local, permitindo uma produção industrial eficiente e normalizada com um controlo de qualidade eficaz. Reduz o pó e o ruído no local e tem um bom desempenho em termos de proteção ambiental. As escadas pré-fabricadas têm uma boa qualidade de conformação e não necessitam de acabamentos secundários. Permitem um fabrico rápido, aumentam a velocidade de construção e reduzem os custos totais. A taxa geral de poupança de material pode atingir cerca de 20%, especialmente argamassa e madeira, e uma taxa de poupança de água superior a 60%. Para além de um controlo de qualidade eficaz, é fundamental para encurtar o período de construção e evitar a poluição ambiental causada pelo processo de construção *in situ* [96].

As escadas pré-fabricadas, embora não possam induzir quaisquer incentivos em termos de área bruta para os promotores privados, continuam a ser adotadas no sector privado. Isto deve-se ao facto de a fixação da cofragem, a fixação das armaduras e a colocação do betão serem difíceis de realizar em escadas tradicionais [53].

2.6.1 Definição dos elementos que compõem uma Escada

As escadas são estruturas fortemente dependentes do espaço, o que muitas vezes resulta em projetos únicos com necessidades específicas de personalização, criando uma grande variedade de projetos de escadas. No entanto, os principais componentes constitutivos de qualquer escadaria, ilustrados na Figura 2.34, são semelhantes em todos os tipos de escadarias e são conforme se segue [93]:

- Degrau: A parte da escada que contribui para o objetivo de qualquer escada e que é constituída por um cobertor e um espelho é designada por degrau. Uma escada é composta por vários degraus;
- Cobertor: A parte horizontal de um degrau que facilita o passo durante a subida ou descida dos utilizadores. Todas as escadas são construídas com um degrau a menos do que o número de patamares;
- Espelho: A parte vertical de um degrau, que atua como suporte e ligação de dois degraus consecutivos, é designada por montante. A altura do espelho é um parâmetro importante na fase de cálculo para determinar o número de degraus necessários numa determinada distância vertical;
- Patamar: A plataforma horizontal, que serve principalmente para mudar a orientação da escada e, adicionalmente, dá ao utilizador a oportunidade de fazer uma pausa. A largura mínima de um patamar deve ser, pelo menos, três vezes maior do que a largura de um degrau na mesma escada;
- Lance: A série de degraus contínuos que estão ligados entre si sem a intervenção de qualquer pausa ou patamar é designada por lance.

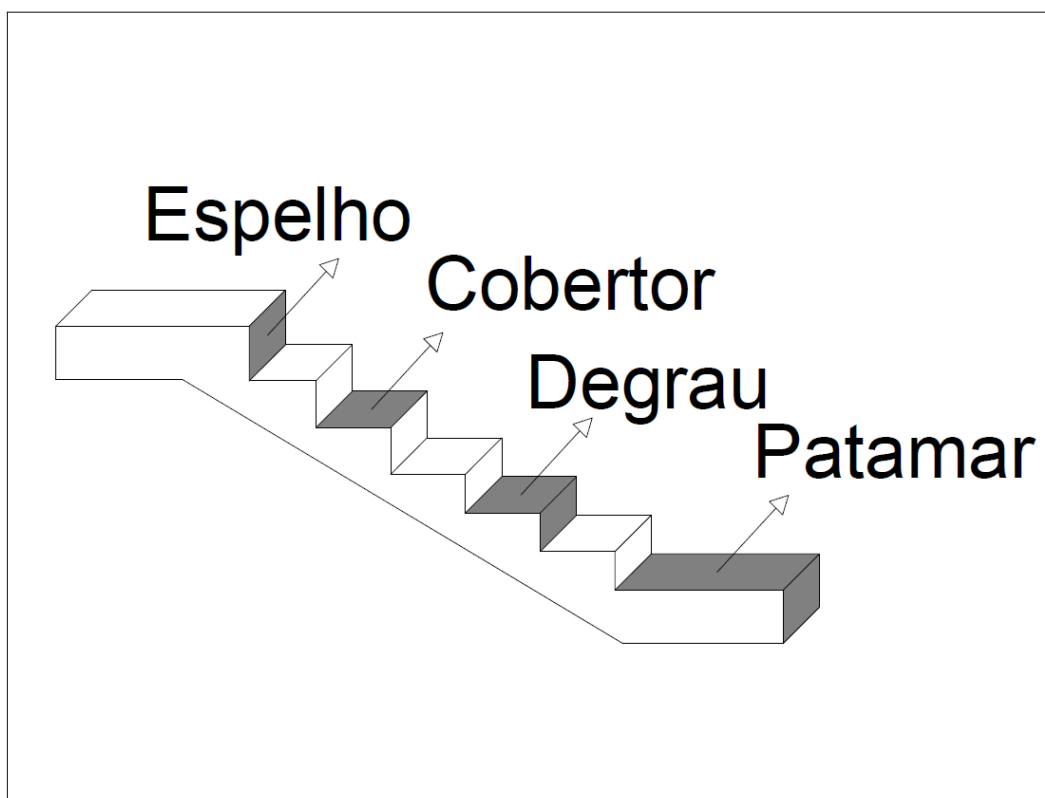


Figura 2.34- Definição dos elementos que compõem uma escada.

2.6.2 Legislação aplicada a Escadas

Segundo o Artigo 46º do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) [97], as dimensões das comunicações verticais devem obedecer aos seguintes pontos:

- "1- A largura dos lanços das escadas nas moradias unifamiliares será, no mínimo, de 0,80m.
- 2- Nas edificações para habitação coletiva até dois pisos ou quatro habitações, servidas pela mesma escada, os lanços desta terão a largura mínima de 0,90 m.
- 3- Nas edificações para habitação coletiva com mais de dois pisos ou com mais de quatro habitações, servidas pela mesma escada, os lanços terão a largura mínima de 1,10 m.
- 4- Nas edificações para habitação coletiva, quando os lanços se situem entre paredes, a sua largura mínima será, nos casos referidos no n.º 2, de 1,10m e, nos casos do n.º 3, de 1,20 m.
- 5- Para edifícios que integrem um corpo de altura superior a 30 m, a largura mínima admissível das escadas é de 1,40m.
- 6- As larguras mínimas dos patamares para onde se abrem as portas de acesso às habitações serão de 1,10 m, nos casos contemplados no n.º 2, de 1,40 m, nos casos referidos no n.º 3, e de 1,50m, nos casos do n.º 5.
- 7- Os degraus das escadas das edificações para habitação coletiva terão a largura (cobertor) mínima de 0,25 m e a altura (espelho) máxima de 0,193 m. No entanto, nos edifícios de três, quatro ou cinco pisos e sempre que não seja instalado ascensor, a largura (cobertor) mínima será de 0,280m e a

altura (espelho) máxima será de 0,175m. As dimensões adotadas manter-se-ão constantes nos lanços entre pisos consecutivos."

Já o Capítulo 2 do Anexo do Decreto-Lei nº 163/2006 [98], referente a normas técnicas para melhoria da acessibilidade das pessoas com mobilidade condicionada, destacam-se as Secções 2.4.1 a 2.4.3:

“2.4.1 - A largura dos lanços, patins e patamares das escadas não deve ser inferior a 1,2 m.

2.4.2 - As escadas devem possuir:

1) Patamares superiores e inferiores com uma profundidade, medida no sentido do movimento, não inferior a 1,2 m;

2) Patins intermédios com uma profundidade, medida no sentido do movimento, não inferior a 0,7 m, se os desníveis a vencer, medidos na vertical entre o pavimento imediatamente anterior ao primeiro degrau e o cobertor do degrau superior, forem superiores a 2,4 m.

2.4.3 - Os degraus das escadas devem ter:

1) Uma profundidade (cobertor) não inferior a 0,28 m;

2) Uma altura (espelho) não superior a 0,18 m;

3) As dimensões do cobertor e do espelho constantes ao longo de cada lanço;

4) A aresta do focinho boleada com um raio de curvatura compreendido entre 0,005 m e 0,01 m;

5) Faixas antiderrapantes e de sinalização visual com uma largura não inferior a 0,04 m e encastradas junto ao focinho dos degraus.”

Relativamente à Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE), em Portugal temos o Decreto-Lei nº 220/2008 de 12 de novembro de 2008 [99], fazendo referência a escadas no Anexo II. A classificação de desempenho de resistência ao fogo padrão para produtos de construção para escadas é a alínea “ a) R – capacidade de suporte de carga” e, ao consultar o Quadro I do Anexo II do SCIE, é possível verificar a duração, em minutos, que a classe R abrange. A Tabela 2.10 apresenta a classificação para elementos com funções de suporte de carga e sem função de compartimentação resistente ao fogo.

Tabela 2.10- Classificação para elementos com funções de suporte de carga [98].

Aplicação: paredes, pavimentos, cobertura, vigas, pilares, varandas, escadas, passagens										
Normas EN 13501-2; EN 1365-1, 2, 3, 4, 5, 6; EN 1992-1.2; EN 1993-1.2; EN 1994-1.2; EN 1995-1.2; EN 1996-1.2; EN 1999-1.2										
Classificação	Duração «em minuto»									
R.	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360

Por exemplo, uma escada que tenha a classificação R30 significa que a escada tem resistência ao fogo por um período de 30 minutos, antes de começar a perder a sua integridade ou permitir que o fogo se propague através dela.

Por último, recomenda-se a leitura da Norma Europeia “BS EN 14843:2007”, referente a escadas pré-fabricadas em betão armado.

METODOLOGIA CHOOSING BY ADVANTAGES (CBA)

Tradicionalmente, no sector da construção, considera-se que as decisões são tomadas de forma subconsciente e com base em algumas vozes influentes. Faz parte da cultura tomar decisões rapidamente e com confiança. Por enquanto, a tomada de decisão é prejudicada por não haver as pessoas certas na sala, por falta de comunicação e partilha de informação e por um mal-entendido de perspetivas diferentes durante e após as tomadas de decisões, o que causa problemas na compreensão do resultado das decisões. Tradicionalmente, as equipas têm dificuldade em tomar decisões em conjunto e os projetos são frequentemente afetados devido à falta de clareza sobre como avançar [100]. A estrutura lógica e a documentação transparente através do processo acordado ajudam a equipa a evitar o pensamento de grupo e a criar segurança psicológica, porque a equipa toma consciência da interação e do seu efeito nas decisões [101].

Os proprietários apreciam uma equipa de conceção e construção que os aconselhe na tomada de decisões. Ao disporem de um processo estruturado e reconhecido, os responsáveis pela decisão podem resistir à urgência de tomar a decisão no local para cumprir um prazo. Isto também permite que as disciplinas preparem argumentos, o que dá a oportunidade de discordar sobre o resultado mais vantajoso da decisão e ainda chegar a uma recomendação partilhada [100].

Os métodos de tomada de decisão multicritério (Multi-criteria decision making (MCDM)) são utilizados para ajudar indivíduos ou equipas de projeto a escolher a melhor alternativa tendo em conta múltiplos fatores. Tradicionalmente, os métodos MCDM baseiam-se no método da soma ponderada (por exemplo, ponderação, classificação e cálculo) ou pressupõem soluções de compromisso lineares entre critérios de decisão. Estes métodos têm sido aplicados a vários tipos de decisões de conceção em projetos de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) [102].

A análise de custo-benefício é um método promissor para avaliar possíveis impactos da pré-fabricação em projetos. No entanto, como todos os fatores de impacto não são facilmente convertidos em impactos de custo (por exemplo, efeitos ambientais, conclusão no prazo, qualidade), há necessidade de um método de avaliação que combine impactos monetários e não monetários. Pode-se até argumentar que alguns fatores de impacto, como o tempo, devem ser considerados em alguns casos tanto como impacto monetário, reduzindo os custos gerais do empreiteiro, quanto não monetário, reduzindo assim o cronograma da obra [103].

Para medir o impacto da pré-fabricação com múltiplas dimensões, vários autores [103] apresentaram os fatores que são essenciais para a medição do impacto da pré-fabricação. O custo foi considerado como fator preponderante seguido da qualidade, tempo e segurança. Além disso, apresentaram

ainda outros componentes de valor para medição de impacto de pré-fabricados, como tempo, desperdício, qualidade e ergonomia.

3.1 Porquê utilizar a CBA e em que situações

A Choosing By Advantages (CBA) é um método MCDM colaborativo desenvolvido por Jim Suhr, em 1999, que visa obter um consenso entre as partes interessadas relativamente à alternativa mais vantajosa quando as alternativas incorporam vários fatores [100, 102].

A CBA cria um processo de decisão aberto, transparente e auditável para trabalhos de conceção e construção que reconhece a complexidade da maioria dos projetos e dos clientes que os encomendam. Esta metodologia permite trabalhar com dados objetivos e subjetivos num único processo de decisão [104].

A CBA oferece uma forma sistemática em como gerir o processo de tomada de decisão entre um grande número de alternativas, garantindo que não são limitados artificialmente o número de alternativas consideradas nas decisões complexas que são enfrentados na conceção do ambiente construído [104].

A CBA pode ser aplicada em inúmeras situações, como por exemplo:

- Na decisão de apresentação (ou não) de uma proposta ou aceitação de um contrato;
- Seleção e gestão de projetos e programas;
- Na escolha entre soluções concorrentes para projetos rodoviários e ferroviários;
- Seleção de consultores, empreiteiros e fornecedores;
- Seleção e compra de materiais, equipamento e outros produtos;
- Na escolha de a combinação de alternativas de projeto.

A CBA pode ser aplicada a qualquer decisão. Uma boa maneira de a aprender é utilizá-la mesmo para as decisões instantâneas mais simples, formadas mentalmente. Os princípios básicos da CBA estão a ser ensinados nas escolas primárias e secundárias dos EUA [104].

3.2 As Vantagens da CBA

A CBA é um tipo particular de método MCDM que se baseia na diferenciação das alternativas através da síntese das suas vantagens e da introdução da parte subjetiva da decisão no final do processo, através da ponderação da importância das vantagens [102]. O elevado grau de transparência que a CBA proporciona permite que as equipas compreendam as perspetivas e preferências umas das outras, o que facilita a obtenção de consenso durante a tomada de decisões com base na perceção global do valor e não na sub-otimização, o que se alinha com a ideia lean de tomar decisões lentamente por consenso e implementá-las rapidamente. Diferentes estudos já demonstraram que a CBA conduz a conversas construtivas, menos frustração durante a tomada de decisão, confiança no resultado da decisão e é rastreável para uma parte não envolvida. Além disso, a documentação transparente da decisão ajuda a criar um entendimento partilhado e um ambiente de confiança [101]. Por último, a CBA demonstrou reduzir o tempo de decisão em grupo [102].

De acordo com Arroyo [100], a CBA é o melhor método de tomada de decisão multicritério, em comparação com os métodos tradicionais de cálculo da classificação por ponderação Weighting Rating Calculating (WRC), Analytic Hierarchy Process (AHP) e otimização linear, quando se trata de [100]:

- Proporcionar transparência através da criação de uma lógica partilhada para a decisão e diferenciar o "valor" do custo;
- Criar consenso, com foco na otimização do todo e não apenas das partes e evitar conflitos desnecessários;
- Aprendizagem contínua, este método ajuda a documentar as decisões de uma forma transparente e pode orientar futuras iterações à medida que mais informações são recolhidas;
- Este método baseia-se apenas nas vantagens relativas das alternativas e não inclui as desvantagens.

A CBA ajuda as partes interessadas a compreenderem o valor das alternativas a partir de fatores sociais, ambientais e técnicos antes de avaliarem o custo. Deste modo, as características de sustentabilidade são abordadas corretamente e a decisão não se baseia apenas no custo. Finalmente, o método CBA utiliza uma análise de custo vs. valor para encontrar a melhor alternativa que se enquadra no orçamento do projeto. Este método separa o valor do custo, o que é recomendado quando a equipa de conceção tem de avaliar os aspetos ambientais e sociais [105].

3.3 Os 7 passos da CBA

O método de decisão CBA fornece uma forma estruturada e transparente de tomar decisões e utiliza um vocabulário definido para que um grupo possa formular e discutir com base numa compreensão partilhada [100]. A Tabela 3.1 apresenta um glossário de termos relevantes para compreensão do método de decisão CBA [102].

Tabela 3.1- Glossário e conceitos para aplicação da CBA. Adaptado de [101].

Glossário	Definição
Alternativa	Opções a considerar pelo método. São necessárias pelo menos duas Alternativas para que seja necessário tomar uma decisão.
Fator	Uma propriedade de uma Alternativa que é importante para a decisão. Os Fatores podem ser sociais (por exemplo, a forma como uma Alternativa promove a colaboração) ou ambientais (por exemplo, a pegada de carbono da Alternativa). No entanto, a CBA não inclui o custo como Fator de decisão, uma vez que este é incluído na etapa final do método CBA.
Critério	O Critério de "procura" que define um determinado valor ou conjunto de valores que são preferidos para um Fator. O critério "Deve ter" especifica os valores que um Fator deve ter para que essa alternativa seja considerada viável.
Caraterística	Qualidade ou Caraterística que pertence a uma Alternativa.
Vantagem	A diferença entre duas Alternativas quando as suas Caraterísticas são comparadas.

Com base no glossário e tendo sempre em mente os seus conceitos, é possível desenvolver os 7 Passos que compõem a aplicação da metodologia CBA [102, 105 – 112]:

- **Passo 1:** Identificar as Alternativas que serão consideradas no processo de decisão;
- **Passo 2:** Definir os Fatores que vão ser avaliados. Um Fator deve ser uma caraterística das alternativas consideradas. O custo não é incluído como um fator na CBA porque é tratado como uma restrição à decisão e é incorporado na última etapa do método;
- **Passo 3:** Definir o Critério que fornece as regras de avaliação dos fatores;

- **Passo 4:** Descrever as Características das alternativas. Cada alternativa tem uma Característica que corresponde a cada fator. As Características são inerentes a uma alternativa e são imutáveis;
- **Passo 5:** Decidir as Vantagens de cada alternativa. Os intervenientes escolhem a alternativa menos preferida para cada opção e, em seguida, indicam a vantagem de cada alternativa em comparação com a escolha menos preferida;
- **Passo 6:** Os intervenientes decidem, em colaboração, a Importance of Advantages (IoA). Em primeiro lugar, identificam a vantagem mais importante para cada fator e, em seguida, selecionam a vantagem principal. A vantagem principal é pontuada numa escala de 0-100 com o valor máximo (100) e as vantagens dos outros fatores são pontuadas de forma decrescente ao longo da mesma escala. Devido à subjetividade da IoA, esta é a parte mais desafiadora do processo, então recomenda-se aderir a três princípios ao determinar a IoA:
 - Nada tem vantagem 0, então fatores sem importância não são classificados como tendo vantagem 0;
 - A escala de IoA para todas as alternativas deve ser a mesma;
 - A tomada de decisão não é um ramo da matemática ou um cálculo. Assim, as decisões devem ser tomadas usando as próprias suposições. No entanto, essas suposições devem ser baseadas no propósito e nas circunstâncias da decisão, nas necessidades e preferências dos clientes e demais *stakeholders*, na magnitude da vantagem e na magnitude de cada característica.

Besiktepe, D. et al. [110] sugere que seja adotada uma escala de IoA de quartis (0, 25, 50 e 100) para distinguir melhor as Características de nível médio (50 e 75). Podem ser utilizadas diferentes escalas ou intervalos na determinação dos IoAs no método CBA, tendo em conta o facto de o consenso dos decisores ser fundamental para a atribuição de valores de IoA. Uma vez avaliados todos os fatores para cada alternativa, as IoA são somadas para cada alternativa. Quanto mais elevada for a pontuação, mais vantajosa é a alternativa;

- **Passo 7:** Avaliar os dados relativos aos custos, se aplicável. Para completar esta tarefa, é desenvolvido um gráfico que inclui o IoA no eixo Y e o Custo no eixo X. As partes interessadas decidem sobre a alternativa preferida considerando a IoA decidida anteriormente e o orçamento financeiro disponível. Ao utilizar a CBA, os intervenientes podem optar por uma alternativa com uma pontuação de IoA ligeiramente inferior se for significativamente menos dispendiosa do que outras alternativas.

Os 7 Passos para aplicação da metodologia CBA encontram-se resumidos na Figura 3.1.



Figura 3.1- Os 7 Passos para aplicação da CBA. Adaptado de [102].

Numa investigação realizada numa cidade do Canadá, com o intuito de aplicar a CBA num processo de conceção de um programa de gestão de resíduos, concluiu-se que a CBA ajudou a aumentar os níveis de satisfação à medida que o processo avançava e ajudou a alcançar níveis elevados de satisfação com os resultados das decisões. Os resultados revelaram que 75% dos profissionais têm preferência ou forte preferência pela utilização da CBA para obter consenso e transparência durante o processo de tomada de decisões. Em termos de tempo, apenas 27% deles têm preferência ou forte preferência por utilizar a CBA para tomar decisões mais rapidamente, com base no tempo despendido. No entanto, noutra pergunta do inquérito, 79% dos profissionais consideraram que a eficiência da CBA aumentaria (ou seja, levaria muito menos tempo e frustração) se a utilizassem novamente para uma decisão

importante, uma vez que não teriam de aprender a aplicar a CBA. Todo o tempo despendido no desenvolvimento do processo de tomada de decisão, na definição dos fatores e no preenchimento das características de cada alternativa ajudou a abordar o problema de uma melhor forma, incluindo aspetos que facilitam uma conceção para a sustentabilidade. A equipa expressou que a CBA ajuda a chegar a um consenso quando existem diferentes pontos de vista, facilita a avaliação de diferentes aspetos em decisões complexas, promove o trabalho colaborativo e ajuda a gerir as preferências das partes interessadas, a fim de proporcionar valor a todas elas [105].

3.4 Exemplo de aplicação do método CBA

De forma a ilustrar a aplicação da metodologia, segue-se um estudo [112] realizado com o intuito de avaliar qual o melhor sistema AVAC para um museu Net Zero Energy (NZE). Apesar de sistemas AVAC não estar diretamente relacionado com a temática deste estudo, este exemplo tem três alternativas e ilustra bem a sua aplicação. Caso o leitor tenha curiosidade em explorar mais exemplos, aconselha-se o artigo [107], que compara casas de banho construídas *in situ* e casas de banho modulares, tendo só estas duas alternativas. A Tabela 3.2 mostra a aplicação da metodologia CBA, os vários fatores comparados e as três alternativas em avaliação. No final, a IoA foi somada para cada alternativa.

Tabela 3.2- Avaliação de IoA pela CBA para três Alternativas de sistemas AVAC. Adaptado de [111].

Fator	Alternativa 1:	Alternativa 2:	Alternativa 3:
	Caldeira a gás e sistema de refrigeração com uma torre de arrefecimento	Bomba de calor elétrica fornecida pela empresa de serviços públicos com água da baía	Bomba de calor elétrica alimentada por um sistema de painéis fotovoltaicos com água da baía
(Critério)			
Experiência na utilização do sistema AVAC	<u>Caraterística:</u> Normalmente utilizado em edifícios comerciais. Esta é a forma normalizada	<u>Caraterística:</u> Não é muito comum utilizar água da baía para sistemas AVAC, pelo que podem surgir problemas imprevistos	<u>Caraterística:</u> Não é muito comum utilizar água da baía para sistemas AVAC, pelo que podem surgir problemas imprevistos
(Quanto mais fiável for o sistema, melhor)	<u>Vantagem:</u> É mais fiável do que as alternativas 2 e 3	<u>Vantagem:</u> -	<u>Vantagem:</u> -
Requisitos de espaço	<u>Caraterística:</u> A torre de arrefecimento ocupa muito espaço, 34 m2, aproximadamente	<u>Caraterística:</u> O condensador ocupa pouco espaço	<u>Caraterística:</u> O condensador ocupa pouco espaço
(Quanto menos espaço o sistema AVAC utilizar, melhor)	<u>Vantagem:</u> -	<u>Vantagem:</u> Poupa cerca de 34 m2	<u>Vantagem:</u> Poupa cerca de 34 m2
Contribuição para o objetivo da NZE	<u>Caraterística:</u> Necessita de energia externa, utilizando gás natural e eletricidade da rede. Não permite a utilização de NZE	<u>Caraterística:</u> Menor consumo de energia do que os sistemas arrefecidos a ar, especialmente em picos de carga. Requer energia externa, utilizando eletricidade natural da rede. Não permite a utilização de NZE	<u>Caraterística:</u> Menor consumo de energia do que os sistemas arrefecidos a ar, especialmente em picos de carga. Permite que o edifício produza a mesma quantidade de energia que consome
(Quanto mais a alternativa contribuir, melhor)	<u>Vantagem:</u> -	<u>Vantagem:</u> Ligeiramente melhor que a alternativa 1	<u>Vantagem:</u> Significativamente melhor que a alternativa 1. Autorização de NZE
Utilização de água	<u>Caraterística:</u> Requer torres de arrefecimento por evaporação, que utilizam cerca de 7570 m3 de água doce por ano	<u>Caraterística:</u> A água utilizada é devolvida à baía	<u>Caraterística:</u> A água utilizada é devolvida à baía
(Quanto menos água o sistema utilizar, melhor)	<u>Vantagem:</u> -	<u>Vantagem:</u> Poupa 7570 m3 de água doce por ano.	<u>Vantagem:</u> Poupa 7570 m3 de água doce por ano.
Manutenção	<u>Caraterística:</u> Manutenção standard fácil	<u>Caraterística:</u> Manutenção difícil. Produz-se bioincrustação	<u>Caraterística:</u> Manutenção difícil. Produz-se bioincrustação
(Quanto mais fácil de manter, melhor)	<u>Vantagem:</u> A manutenção é mais fácil e menos frequente que nas alternativas 2 e 3	<u>Vantagem:</u> -	<u>Vantagem:</u> -
Emissões de CO2	<u>Caraterística:</u> 260,697 kg de CO2 por ano.	<u>Caraterística:</u> 164,744 kg de CO2 por ano.	<u>Caraterística:</u> 0 kg CO2 por ano.
(Quanto mais baixas forem as emissões de CO2, melhor)	<u>Vantagem:</u> -	<u>Vantagem:</u> Evita 95,954 kg de CO2 por ano	<u>Vantagem:</u> Evita 260,697 kg de CO2 por ano
Ruído	<u>Caraterística:</u> Pode causar problemas de ruído associados ao elevado caudal de ar necessário para os sistemas arrefecidos a ar	<u>Caraterística:</u> É um sistema silencioso	<u>Caraterística:</u> É um sistema silencioso
(Quanto menos ruído, melhor)	<u>Vantagem:</u> -	<u>Vantagem:</u> Menor ruído do que a alternativa 1	<u>Vantagem:</u> Menor ruído do que a alternativa 1
Total de IoA	110	125	245

De seguida, os custos foram calculados para um custo inicial e para um CCV, para cada alternativa. Os valores obtidos encontram-se resumidos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3- Custos para cada uma das Alternativas. Adaptado de [112].

	Alternativa 1: Caldeira a gás e sistema de refrigeração com uma torre de arrefecimento		Alternativa 2: Bomba de calor elétrica fornecida pela empresa de serviços públicos com água da baía		Alternativa 3: Bomba de calor elétrica alimentada por um sistema de painéis fotovoltaicos com água da baía	
Custo inicial	\$	1 343 085	\$	1 924 885	\$	7 183 367
Custo anual de funcionamento da energia	\$	313 887	\$	285 251	\$	-
Custos anuais de manutenção	\$	1 745	\$	6 982	\$	6 982
Custos de substituição de AVAC (a cada 40 anos)	\$	1 061 785	\$	693 797	\$	693 797
Custo do ciclo de vida (50 anos)	\$	18 186 473	\$	17 230 331	\$	8 226 244

Por fim, foram obtidos os gráficos que relacionam a IoA com o Custo Inicial (Figura 3.2) e a IoA com o CCV (Figura 3.3). Neste caso, o autor comparou o Custo Inicial e o CCV, no entanto, a metodologia CBA não prevê que tal seja necessário. A metodologia deve ser adaptada ao contexto que se pretende avaliar.

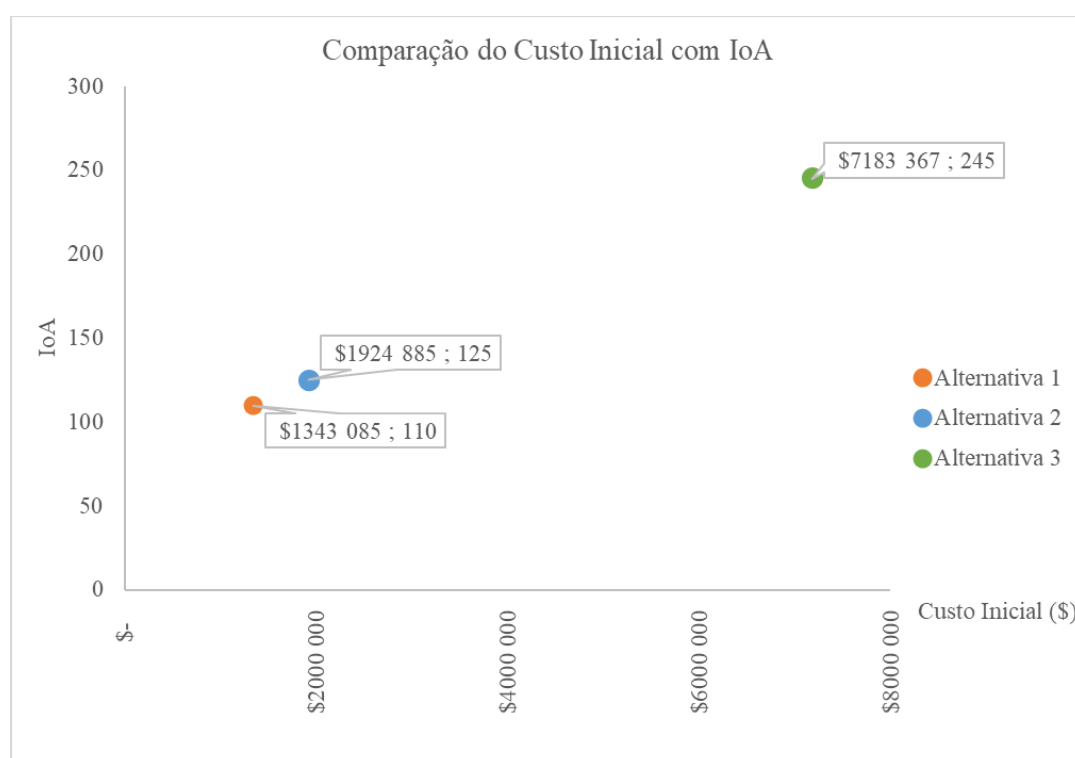


Figura 3.2- Comparação pela CBA entre total de IoA e os custos iniciais. Adaptado de [112].

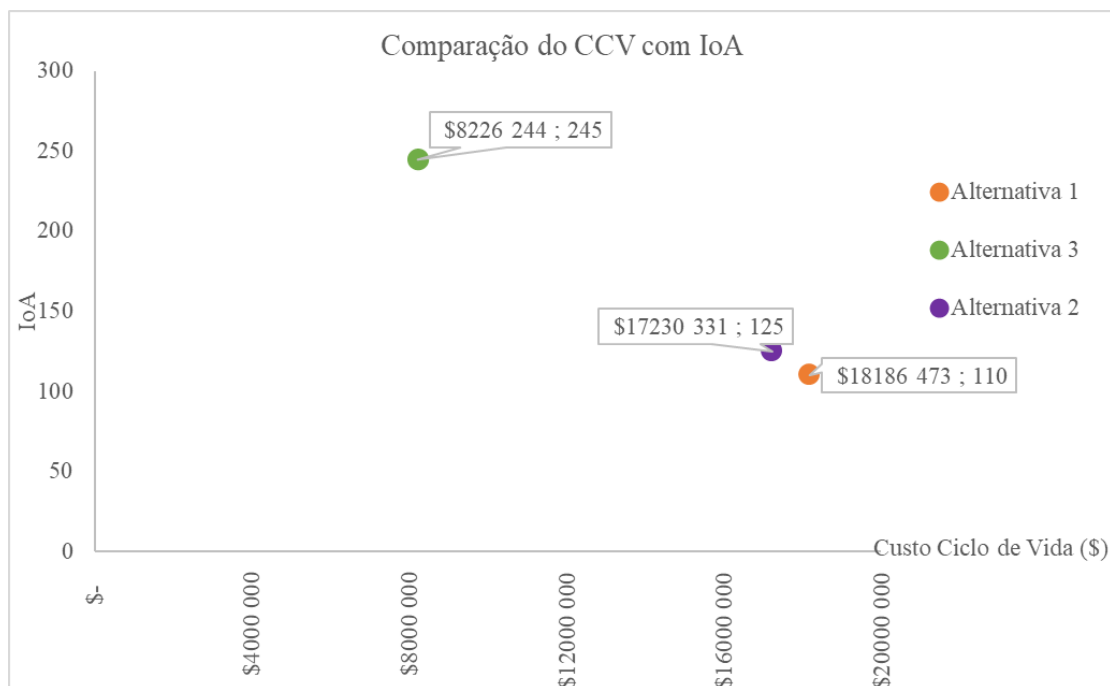


Figura 3.3- Comparação pela CBA entre total de IoA e os custos do ciclo de vida (50 anos). Adaptado de [112].

A decisão que a equipa de projeto tomou (escolher a alternativa 3 para o sistema AVAC do museu) é congruente com a análise CBA apresentada. A alternativa 3 forneceu mais IoA e o menor CCV em comparação com as alternativas 1 e 2. No entanto, este resultado só é válido para este contexto específico, tendo em conta a informação disponível [112].

Este caso mostra como a CBA pode ser utilizada para organizar a informação de uma forma que seja fácil para a equipa de conceção fazer avaliações objetivas e subjetivas e, em seguida, apresentar soluções de compromisso de custo vs. "valor". A CBA ajuda a documentar a lógica subjacente ao processo de tomada de decisão. Isto pode ajudar os projetistas a aprender com as experiências passadas e a melhorar os projetos para projetos futuros. O método CBA cria um quadro transparente e ajuda a criar consensos no seio de uma equipa de projeto que inclui partes interessadas com múltiplas perspetivas. Podem ser discutidas diferentes perspetivas, utilizando fatores, critérios, características e compreensão das vantagens antes de estimar os IoAs. Um grande desafio na obtenção de consenso surge quando a equipa de projeto tem de chegar a acordo sobre os IoAs. A CBA ajuda a equipa de conceção a evitar basear as suas decisões em pressupostos ou experiências anteriores. Em vez disso, a equipa de conceção tem de compreender as diferenças entre as alternativas no contexto de decisão específico, decidir qual a alternativa que tem vantagens para cada fator, compreender a importância dessas vantagens em comparação umas com as outras e, finalmente, decidir sobre a importância das vantagens [112].

APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1 Caracterização do Grupo Casais/CNT Europe

De acordo com o *website* do Grupo Casais, a Empresa foi fundada a 23 de maio de 1958 com a designação de “António Fernandes da Silva & Irmãos, Lda”. Mais tarde, em 1991, adotou, como marca, a alcunha de família do Mestre António Casais, transformando-se em “Empreiteiros Casais de António Fernandes da Silva S.A”. Atualmente, a organização é amplamente conhecida por Grupo Casais e conta com a administração e gestão dos membros da 2ª e 3ª geração da família [113].

A Casais atua há mais de 65 anos no setor da Engenharia e Construção, tendo vindo a ampliar a sua área de atuação nos últimos anos. Hoje, para além da Engenharia e Construção, o Grupo está presente nos setores das Especialidades e Indústria bem como Promoção e Gestão de Ativos, como se pode ver na Figura 4.1 [113].



Figura 4.1- Setores de atividade do Grupo Casais [113].

O processo de internacionalização da Casais começou em 1994, com a entrada na Alemanha, sendo este um pilar da estratégia de crescimento orgânico, sustentado em alianças e parcerias locais. Atualmente, a internacionalização é a chave do desenvolvimento do Grupo, representando mais de 80% do volume de negócios global. Assente na adaptação à cultura local e privilegiando as parcerias estratégicas para uma presença sólida, a atuação do Grupo Casais estende-se a 17 mercados: Portugal, Alemanha, Angola, Argélia, Bélgica, Brasil, Emirados Árabes Unidos (Abu Dhabi e Dubai), Espanha, Estados Unidos da América (Texas), França, Gana, Gibraltar, Países Baixos, Marrocos, Moçambique, Qatar e

Reino Unido. No entanto, da história da internacionalização do Grupo, constam outros países como a Rússia, o Cazaquistão, a China e Cabo Verde [113].

Considerada pelos Prémios Construir, pela 5ª vez, a Melhor Construtora em Portugal, a Casais conta com um *know-how* desenvolvido com mestria e rigor no mercado nacional e internacional. Mantém o cariz familiar, o que se traduz em mais de 60 anos de princípios estratégicos, éticos e profissionais que ditam o seu sucesso ao longo do tempo e nas diversas áreas de mercado [113].

Em 2022, o Grupo Casais conta com aproximadamente 6000 colaboradores e com um volume de negócios de 682.000.000€. Do total volume de negócios, 35% corresponde a negócios realizados no território nacional e 65% corresponde a negócios realizados fora de Portugal, como se pode consultar no *website* [113] e na Figura 4.2.

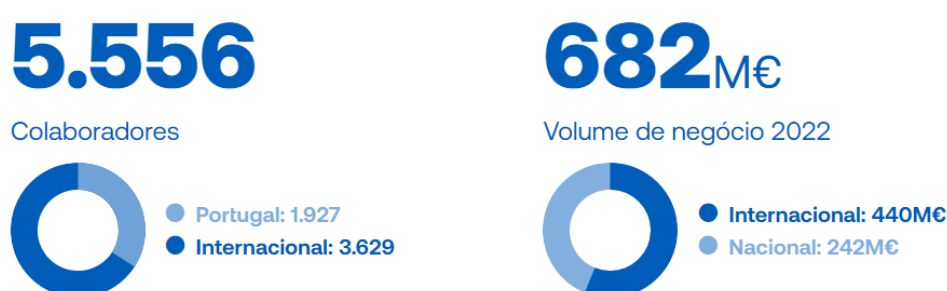


Figura 4.2- Colaboradores e volume de negócios do Grupo Casais em 2022 [113].

O Grupo Casais é composto por várias empresas que atuam nos mais variados campos, como a Construção, Carpintaria, Comércio, Indústria e Serviços, tal como se pode observar no organograma da empresa, nos Anexos, Figura 0.1 [114].

A CNT Europe é uma das várias empresas do Grupo Casais no setor da Engenharia e Construção. Constituída por 350 colaboradores e considerada especialista no ramo da cofragem, atualmente tem atividade em vários países da Europa, como Alemanha, Bélgica, Países Baixos e, claro, Portugal, como se pode ver no *website* [115].

A CNT desenvolve projetos de engenharia complexos e de grande dimensão, marcando a diferença em qualidade, segurança e cumprimento de prazos tendo por base a mão de obra qualificada, equipas especializadas, equipamento próprio e capacidade logística e financeira [115].

4.2 Caraterização do Edifício em Estudo - Hotel BB Gaia

De acordo com o *website* da B&B HOTELS, a empresa do setor hoteleiro está presente em 15 países e com mais de 723 hotéis [116]. A B&B Hotels é uma empresa que se preocupa com o ambiente, com as pessoas, e com a governação, comprometida com o progresso contínuo em torno do desenvolvimento sustentável e do respeito pelo planeta [117]. Prova disso é o Hotel B&B Guimarães, desenvolvido com construção híbrida (betão armado e madeira) pelo Grupo Casais e, mais recentemente, o Hotel

B&B Gaia (Figura 4.3), com escadas pré-fabricadas em betão armado, sendo este último o edifício em estudo na presente Dissertação.

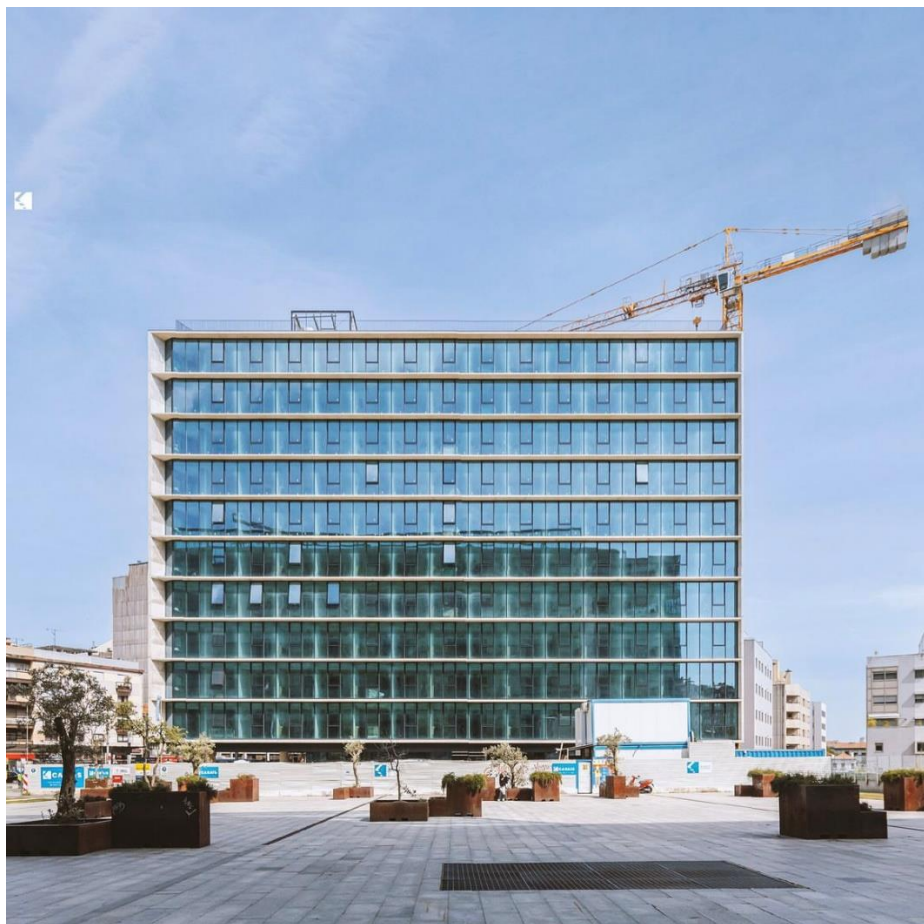


Figura 4.3- Hotel B&B Gaia. Fornecida pelo Grupo Casais.

O Hotel B&B Gaia localiza-se na Avenida da República, Mafamude, Vila Nova de Gaia (Figura 4.4), e a sua construção iniciou-se em 2022. É um edifício de betão armado com 3 pisos enterrados e 10 pisos para quartos de hotel e escritórios. A estrutura é materializada com lajes fungiformes apoiada em paredes e pilares (sem capitéis). A estabilidade global do edifício é possível graças à rigidez das caixas de elevador e escadas, juntamente com a rigidez das várias paredes.



Figura 4.4- Localização do edifício em Estudo.

As características métricas do edifício são as seguintes:

- Área aproximada do piso de estacionamento = 1100 m²;
- Área aproximada do piso para quartos de hotel = 625 m²;
- Área aproximada do piso para escritórios = 300 m²;
- Cércea do edifício (altura do edifício) = 50 m;
- Altura enterrada = 10 m.

A planta 3D do edifício encontra-se na Figura 4.5.

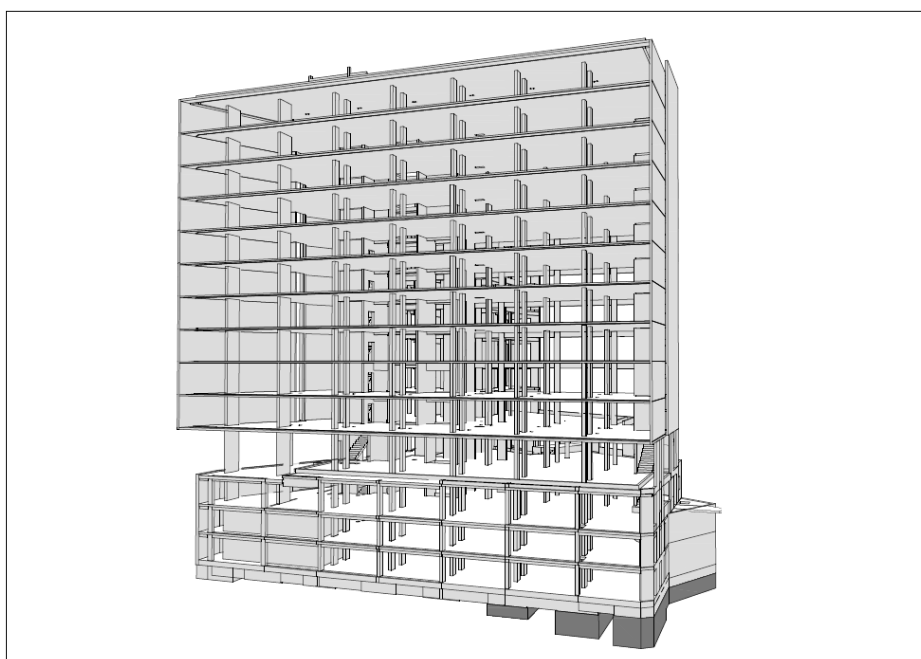


Figura 4.5- Modelo 3D do Hotel B&B Gaia. Fornecido pela TopBIM.

4.3 Dimensionamento das Escadas Pré-fabricadas

Alinhado com a visão tanto da B&B HOTELS e Grupo Casais, promovendo a sustentabilidade e a industrialização da construção, identificou-se como melhor solução para as escadas do núcleo 2 e 3 (Figura 4.6) a opção de escadas pré-fabricadas em betão armado. A planta do núcleo de escadas e um corte de dois pisos do edifício em estudo encontram-se nos Anexos, Figura 0.2.

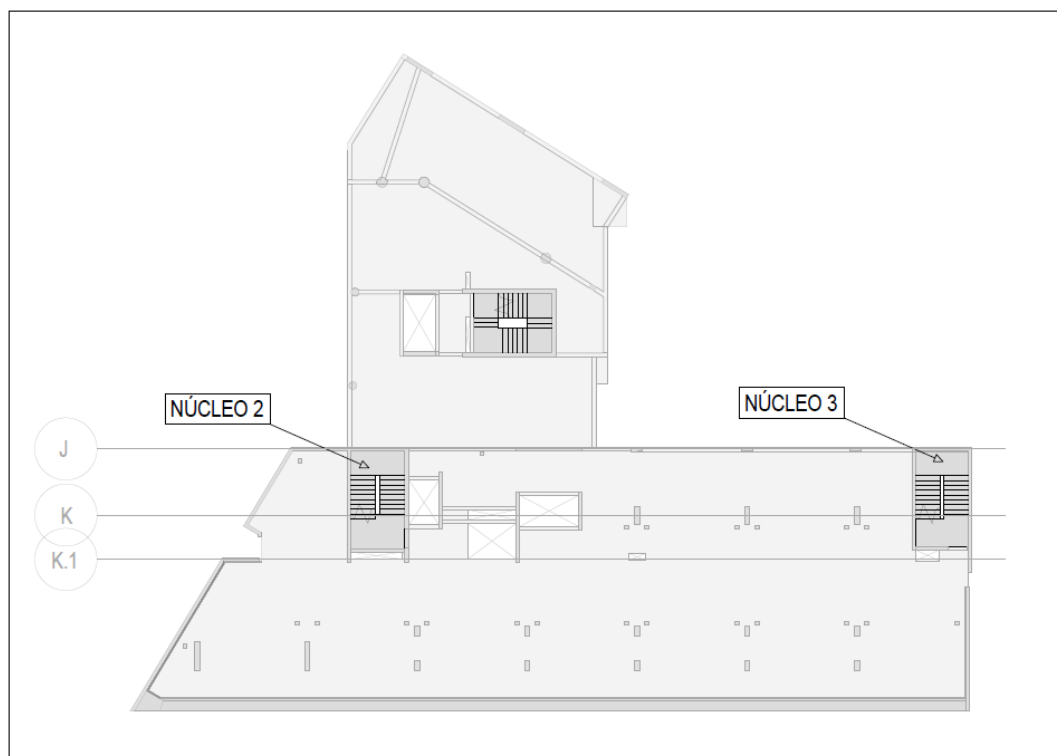


Figura 4.6- Localização dos núcleos de escadas 2 e 3, escala 1:50. Fornecido pela TopBIM.

Como se pode observar nas Figura 4.7, as medidas, impostas pelo RGEU, dos patamares, espelhos e cobertores utilizadas no projeto do edifício em estudo, foram respeitadas. De forma a simplificar os cálculos dos custos de construção (calculados no Capítulo 4), foi considerado que todas as escadas tinham 9 degraus. Apresenta-se, também, na Figura 4.7, a cotagem das escadas com 9 degraus.

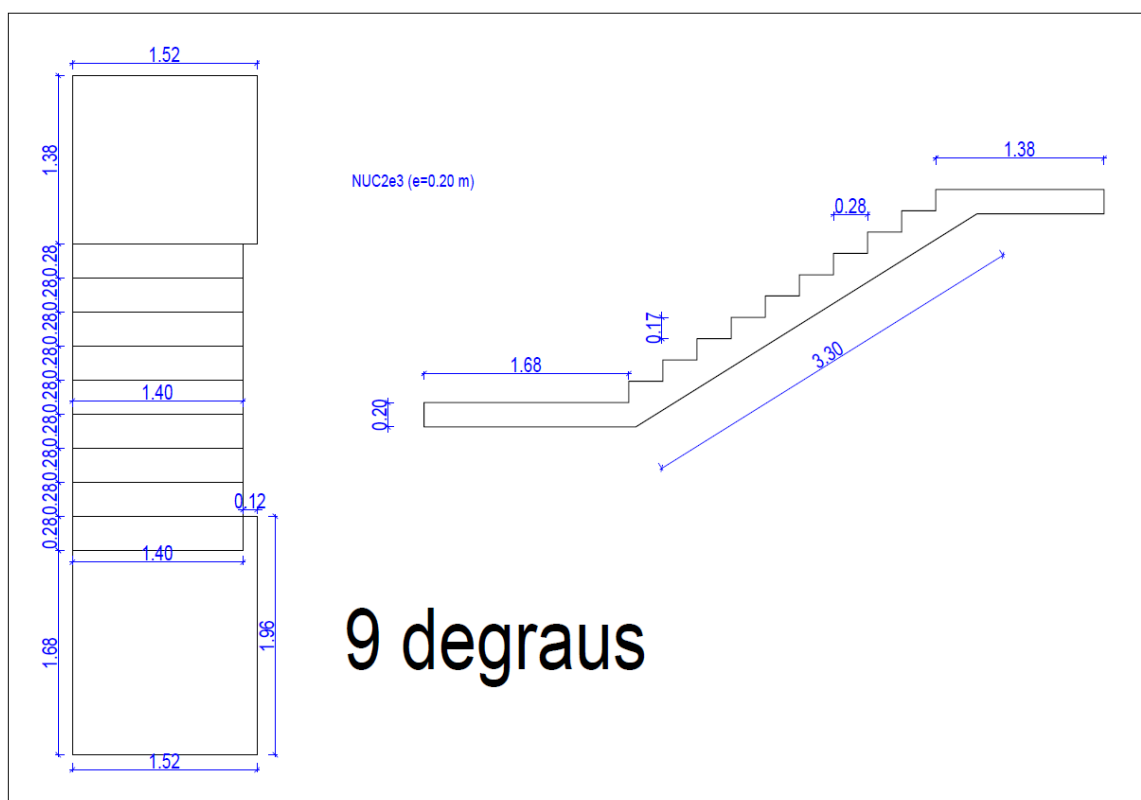


Figura 4.7- Cotagem das escadas em planta e corte. Fornecido pela TopBIM.

Relativamente aos materiais utilizados nas escadas pré-fabricadas do Hotel B&B Gaia, a Tabela 4.1 descreve as características do betão armado para cada elemento estrutural. De acordo com a Tabela 4.1, a exposição ambiental é a XC3 (P), enquadrando-se em ambientes moderadamente húmidos e aplicável a edifícios afastados da linha costeira com a estrutura protegida do contato com água das chuvas.

Para assegurar a durabilidade das escadas e como se trata de um betão com classe de exposição XC3, deve ter, no mínimo, recobrimento nominal igual a 35 milímetros e a classe de resistência não deve ser inferior a C30/37. A presença de cloretos no betão é um fator indesejado, uma vez que se trata de um agente químico que promove a corrosão das armaduras e de outras peças metálicas embebidas. Como tal, a especificação da classe de teor de cloretos deve ter em conta a classe de exposição ambiental e a solução estrutural. Assim, dado que o betão tem armaduras de aço ou outros materiais embebidos, a classe de teor de cloretos correspondente a uma classe de exposição ambiental XC3 é Cl 0,40, ou seja, o teor de cloretos não deve exceder os 0,40.

Por fim, a consistência é uma característica da trabalhabilidade do betão. Deve ser definida tendo em conta as características da estrutura, a resistência do betão, as condições climáticas, os tempos de transporte e de descarga e os meios de colocação em obra e é determinante para assegurar uma adequada aplicação e compactação do betão. Uma menor consistência resulta numa movimentação mais difícil do betão através das armaduras, podendo conduzir à perda de compacidade do betão. A maior consistência do betão permite maximizar a homogeneidade estrutural e aderência entre o betão e as armaduras, condições necessárias para assegurar a durabilidade e a desempenho mecânico desejado para

a estrutura. Assim, foi definido pelo projetista que a classe de consistência, resultante do ensaio de abaixamento, deve ser S3, isto é, o abaixamento do betão deve estar entre os 100 e 150 milímetros [118].

Tabela 4.1- Betão armado utilizado para produção das Escadas Pré-fabricadas. Fornecido pela TopBIM.

MATERIAIS - ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO							
BETÃO							
Elementos Estruturais	Classe de Resistência	Classe de Exposição Ambiental	Recobrimento nominal ¹ (mm)		Classe de Teor de Cloretos	D _{max} (mm)	Classe de Consistência (Abaixamento)
			Armaduras Passivas	Armaduras Pré-Esforço			
Betão de Limpeza	C12/15	X0 (P)	-	-	Cl 1.00	20	S2
Pavimento Térreo	C30/37	XC2 (P)	50 / 35	-	Cl 0.40	20	S3
Fundações	C30/37	XC2 (P)	50	-	Cl 0.40	20	S2
Muros de Contenção	C30/37	XC2 (P)	50 / 35	-	Cl 0.40	20	S3
Reservatórios	C30/37	XC4* (P)	50 / 35	-	Cl 0.40	20	S3
Paredes	C30/37	XC3 (P)	35	-	Cl 0.40	20	S3
Pilares	C30/37	XC3 (P)	35	-	Cl 0.40	20	S3
Vigas	C30/37	XC3 (P)	35	-	Cl 0.40	20	S3
Lajes	C30/37	XC3 (P)	35	-	Cl 0.40	20	S3
Escadas	C30/37	XC3 (P)	35	-	Cl 0.40	20	S3
NOTAS: 1. O betão deverá ser hidrófugo em elementos enterrados e em contacto permanente com água. 2. Todos os betões deverão ser compostos por agregados de quartzo. 3. Enchimentos executados com betonilhas ($\gamma \leq 20 \text{ kN/m}^3$) ou betão leve de classe de massa volumica máxima D2.0. * Betão em reservatórios prever pintura SikaTop®-209 Réservoir.							
AÇO							
Armaduras Ordinárias	A500 NR SD						
Redes Electrossoldadas	A500 EL						
Tempo de Vida Útil:	50 anos						
Classe de Inspeção:	Classe de Execução 2						
Em conformidade com o estipulado nas normas e especificações:	- NP EN 206-1:2013+A1:2017 - NP EN 13670-1:2011 - LNEC E464-2007						

Foram realizados os cálculos para determinação das armaduras das escadas, apresentando-se, na Figura 4.8, a pormenorização das armaduras para as escadas pré-fabricadas.

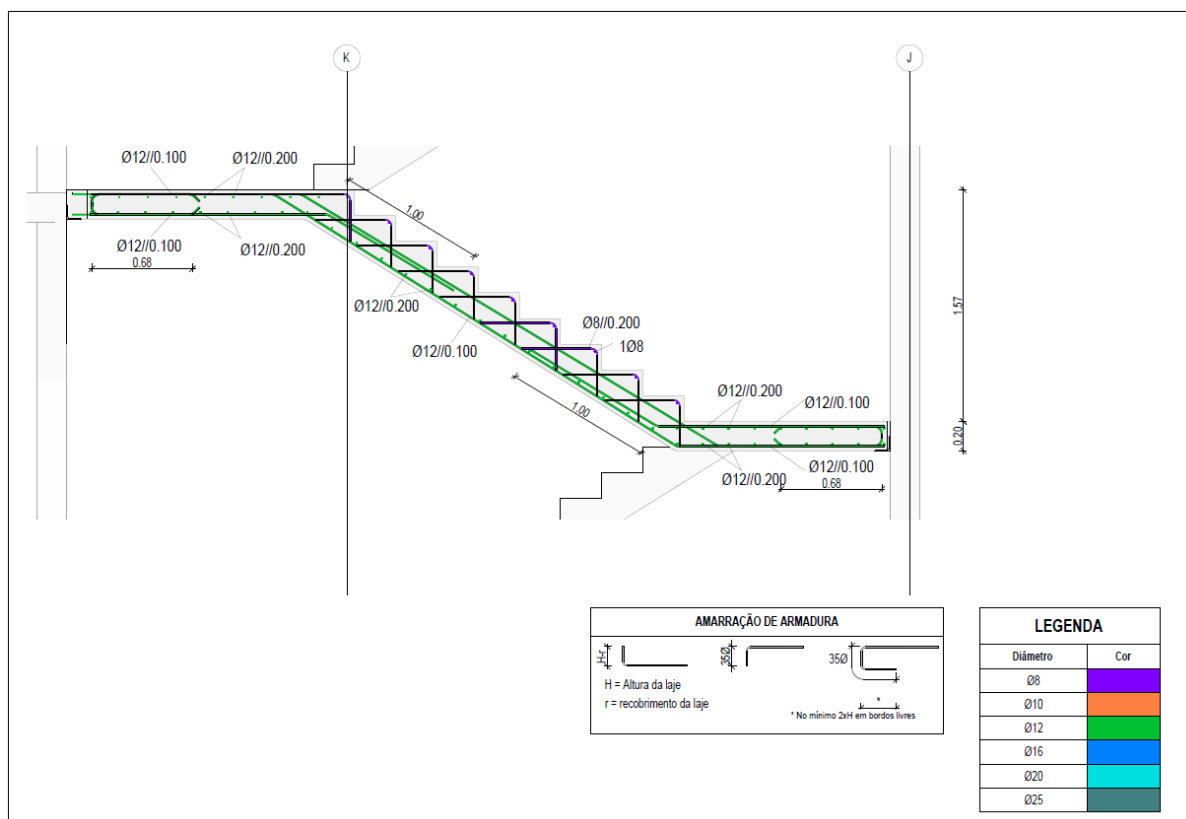


Figura 4.8- Dimensionamento das armaduras das escadas. Fornecido pela TopBIM.

4.4 Produção das Escadas Pré-fabricadas

A produção das escadas pré-fabricadas inicia-se com o ajuste dos parafusos e da esquadria da máquina (Figura 4.9) que as fabrica, às dimensões desejadas. Isto significa: colocação de barrote para o número de degraus pretendido, altura e largura do espelho dos degraus, largura e profundidade do cobertor dos degraus e, por fim, comprimento e largura dos patamares.



Figura 4.9- Máquina para produção das Escadas Pré-fabricadas.

Afinada a esquadria da máquina, colocam-se os quebra cantos nas extremidades de cada degrau. Assim, é possível proteger os cantos dos degraus contra o desgaste excessivo, devido a impactos e danos ocorridos, prolongando o tempo de vida útil das escadas e permitindo a melhoria das condições de segurança das mesmas, pois desta forma os degraus tornam-se mais visíveis, reduzindo o risco de acidentes.

De seguida, é aplicado o descofrante na superfície interior da cofragem para garantir que o betão não agarra à superfície e facilitar a descofragem das escadas.

É colocada a armadura da escada entre a cofragem da máquina, como se pode observar na Figura 4.10, que já vem dobrada e armada de fábrica, e colocam-se as ancoragens, que permitem içar, mais tarde, a escada para dentro do núcleo de escadas, através da auto-grua. Fecha-se a máquina. De seguida, realiza-se o controlo de qualidade do posicionamento das ancoragens e a esquadria da máquina. Caso as ancoragens e a esquadria não estejam conformes, é necessário reiniciar o processo de ajuste.

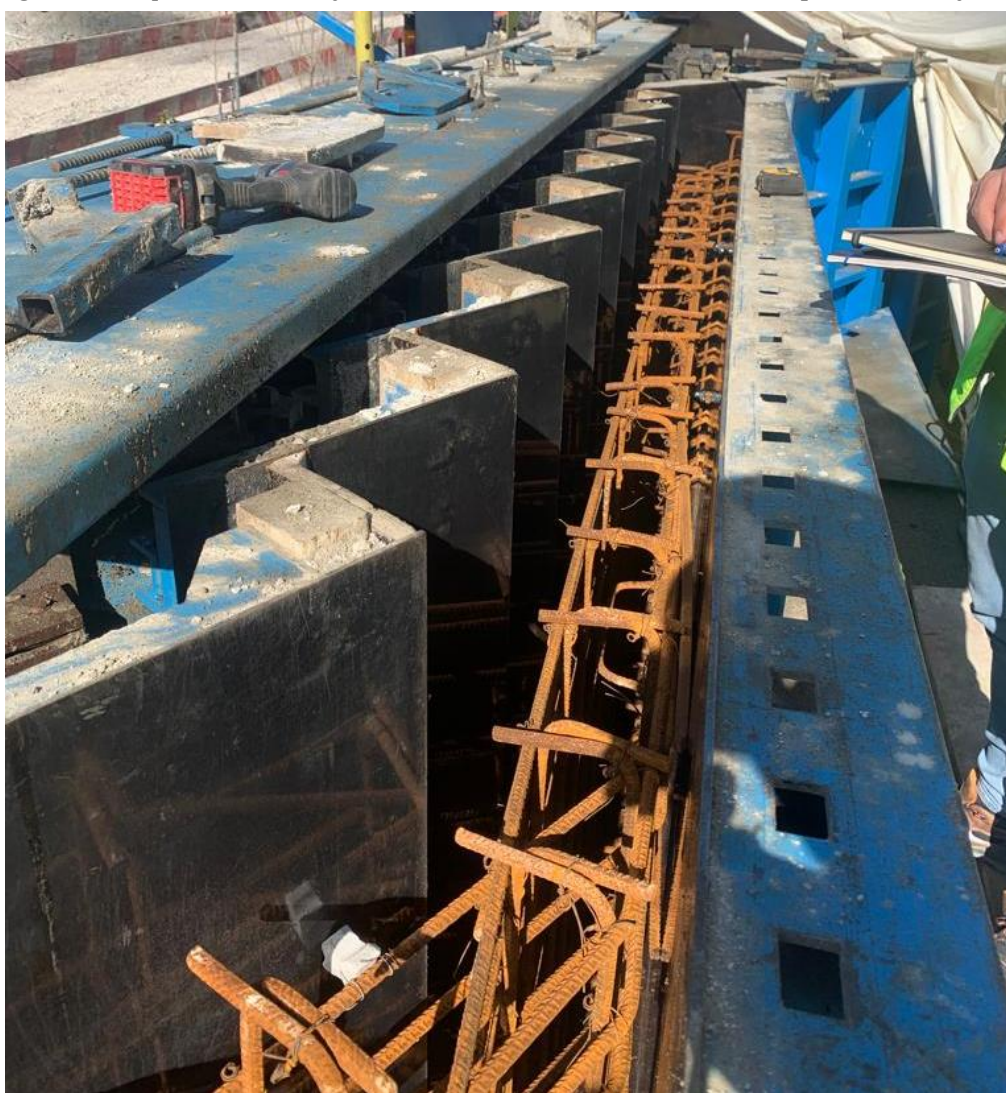


Figura 4.10- Fase de colocação da armadura da Escada na cofragem.

Confirmado o posicionamento correto das ancoragens e da esquadria, são calafetadas as juntas da cofragem para garantir a estanquidade da máquina.

De seguida inicia-se a betonagem da escada por meio de grua-torre e balde, a colocação das ancoragens (Figura 4.11) que permitem retirar a escada, com recurso a grua, após ser descofrada, e a vibração do betão.



Figura 4.11- Colocação das ancoragens que, mais tarde, permitem retirar a Escada da máquina, com recurso a grua.

A vibração do betão é feita degrau a degrau. A vibração de cada degrau termina quando as bolhas de ar presas no interior do betão ascendem à superfície e rebentam, de forma a garantir que o betão ocupa e adere uniformemente (minimizando a segregação dos materiais que compõem o betão) todos os espaços existentes entre a cofragem e a armadura. Esta etapa é crítica pois a vibração do betão permite que o mesmo adquira resistência e durabilidade pré-dimensionadas, assim como um acabamento mais liso da superfície exterior.

Para assegurar uma superfície lisa da escada, regulariza-se a superfície exterior com recurso a uma talocha. Este passo é muito importante em elementos pré-fabricados porque permite deixar o betão à vista, após descofragem.

Depois segue-se o processo de cura do betão. A cura do betão é fundamental para assegurar que o betão tenha o desempenho desejado em termos de resistência mecânica e durabilidade. Com efeito, a cura húmida é essencial para se garantir adequadas condições de hidratação do cimento (processo em que o betão endurece e se torna sólido) e, também, para prevenir o aparecimento de fissuras. Neste caso, apesar da produção não ter sido, ainda, realizada em fábrica (onde é possível controlar condições como

temperatura, humidade e vento), o local de fabricação dispunha de uma manga plástica que permitia cobrir a face que fica exposta, protegendo-a dos agentes atmosféricos. Apesar de não serem as condições desejadas na pré-fabricação, é uma melhoria comparativamente à construção *in situ*, onde é maior a probabilidade de ocorrerem anomalias nas peças de betão por perda de água precoce.

A descofragem das escadas realiza-se com o auxílio da grua-torre, retira-se a escada da máquina e coloca-se no local de armazenamento designado. É realizada a inspeção de qualidade da peça betonada para verificar que não existem inconformidades (por exemplo, imperfeições como falhas na betonagem) nas escadas e se poderá ser feito o retrabalho das mesmas. Caso existam e seja possível corrigir as não-conformidades, procede-se ao retrabalho da peça e nova inspeção; caso contrário, a escada deve ser demolida e os materiais que a compõem reutilizados.

Por fim, após inspeção final da escada, esta é armazenada no respetivo local e etiquetada de modo a identificar os materiais utilizados e qual o piso e lanço correspondente, como se pode verificar na Figura 4.12.



Figura 4.12- Etiquetagem para controlo da qualidade.

O processo repete-se para a produção das restantes escadas, iniciando o processo com a limpeza da cofragem. O fluxograma (Figura 4.13) representa o processo de produção das escadas aplicado ao Caso de Estudo.

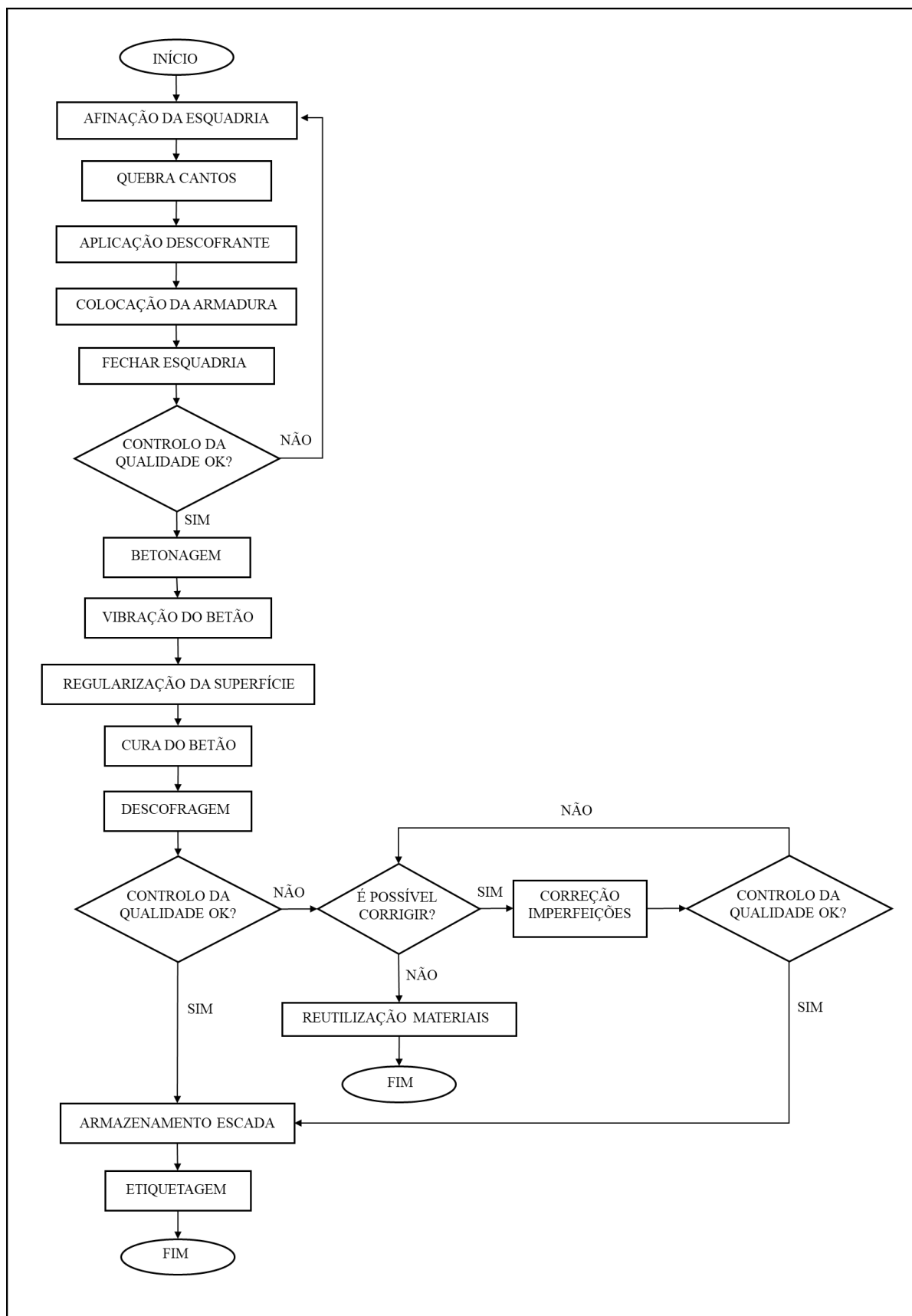


Figura 4.13- Fluxograma da produção das Escadas Pré-fabricadas.

4.5 Colocação das Escadas Pré-fabricadas no Núcleo de Escadas

Neste Estudo, as escadas encontram-se em armazém ou em estaleiro e são levadas para a obra, para serem colocadas no núcleo de escadas, no dia e horas exatas, como sugere a metodologia JIT, de forma a evitar custos adicionais e trânsito na obra. Estas são levadas com recurso a camião, que consegue levar entre 4 e 5 escadas por viagem e, posteriormente, são descarregadas pela auto-grua, que as coloca em obra.

A preparação da escada é iniciada apertando as ancoragens nos negativos e prendendo as correntes da auto-grua aos cabos. É necessário verificar se os cabos estão bem seguros, assim como as correntes. Caso estes estejam bem apertados, o gruísta inicia a manobra de colocação da escada dentro do núcleo de escadas. A Figura 4.14 mostra o momento em que as escadas são deslocadas do solo para colocação no núcleo de escadas.



Figura 4.14- Levantamento das Escadas Pré-fabricadas com recurso a auto-grua.

A auto-grua possui uma câmara no topo que ajuda a mover a escada dentro do núcleo e o gruísta está também em constante comunicação com o Encarregado de Obra, que se encontra dentro do espaço do núcleo de escadas.

A movimentação da escada é feita para o local exato, onde a escada ficará apoiada no(s) respectivo(s) apoio(s). Uma vez mais, é necessário averiguar se a escada fica bem apoiada porque, caso não fique, será necessário colocar, por exemplo, calços de plástico para corrigir algum declive existente, sendo que também é colocado neoprene para ajudar a um assentamento perfeito.

Em consonância com a verificação anterior, afere-se a horizontalidade da escada com um nívelador, dando assim garantias totais da colocação correta e horizontal da escada. Reunidas todas as condições de segurança, libertam-se as ancoragens da escada e o processo repete-se até o núcleo de escadas ficar concluído. A Figura 4.15 demonstra este momento, onde é confirmada a horizontalidade da escada e é possível remover as ancoragens.



Figura 4.15- Verificação da horizontalidade da Escada e remoção das ancoragens.

O fluxograma (Figura 4.16) representa o processo de colocação das escadas em obra aplicado ao Caso de Estudo.

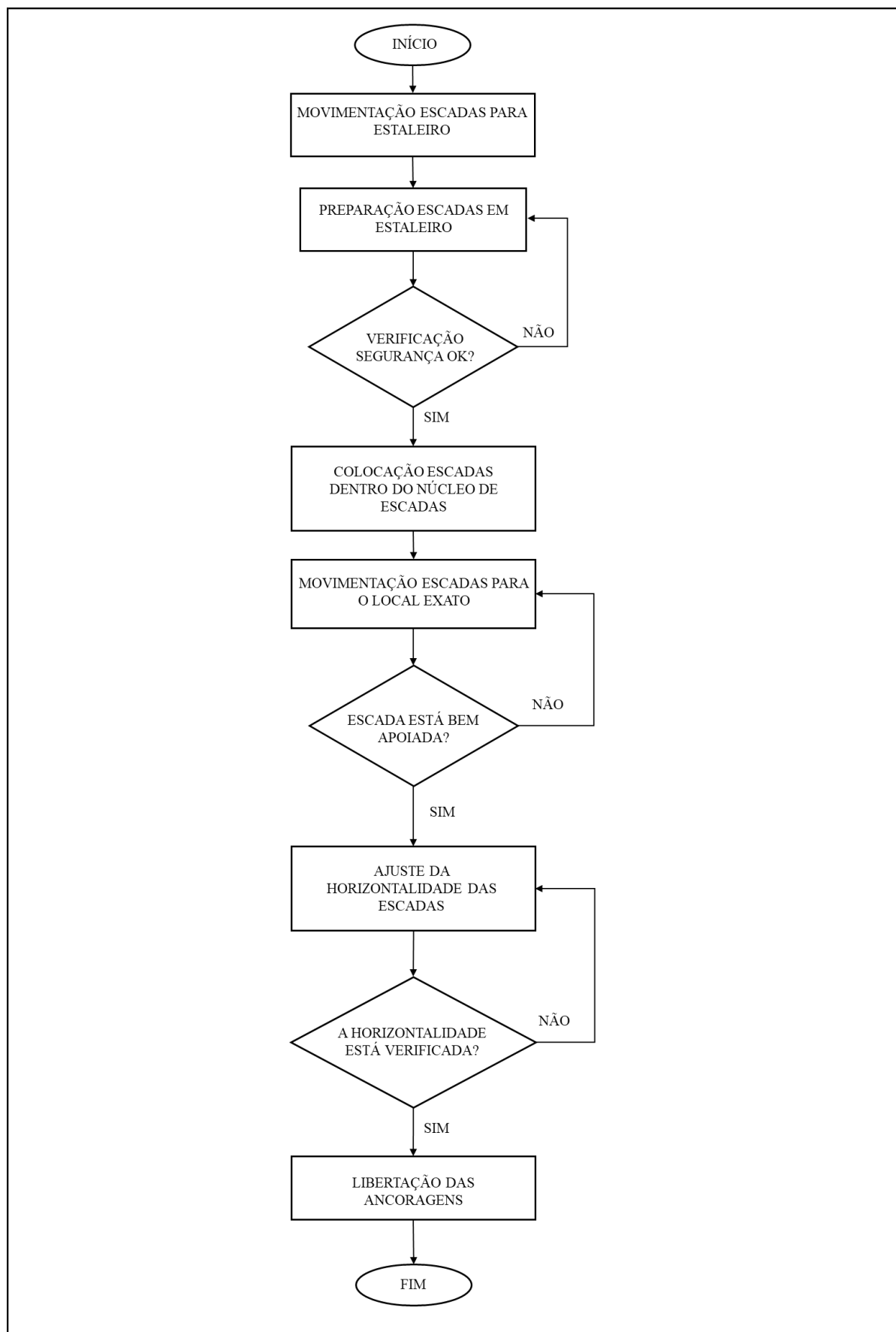


Figura 4.16- Fluxograma da colocação das Escadas Pré-fabricadas.

4.6 Soluções de Apoio para Escadas Pré-fabricadas

4.6.1 Alternativa 1: Cantoneira (Grupo Casais)

A primeira solução de apoio é uma cantoneira (Figura 4.17), onde a solução de apoio é do Grupo Casais e os parafusos mais a bucha química são dimensionados pela HILTI. De forma a fixar a cantoneira à parede do núcleo de escadas, é necessário fazer furações na parede recorrendo a carotadora (número de furações é determinado pelo projetista) que, mais tarde, são preenchidas com bucha química, quando se coloca a cantoneira e os respetivos parafusos. Após fixação da cantoneira à parede, é possível apoiar cada um dos patamares.

Esta solução tem como principais características:

- É uma solução que, em caso de ainda não se ter decidido qual solução de apoio usar, permite que a obra avance, dado que é uma solução versátil à maioria dos projetos;
- Tem margem de erro, isto é, permite corrigir declives;
- Permite a colocação de isolamento acústico;
- Proporcionam uma proteção máxima de 120 minutos contra fogos¹⁰, através de um revestimento intumescente¹¹.



Figura 4.17- Solução de apoio Cantoneira, onde as Escadas Pré-fabricadas vão apoiar.

¹⁰ Fogos celulósicos, equivalente a incêndios de Classe A: incêndio envolve materiais sólidos que queimam com brasas, tais como materiais combustíveis que contêm celulose, como a madeira e papel.

¹¹ Revestimento retardante de fogo, proteção passiva contra incêndios. O material expande quando exposto a altas temperaturas.

4.6.2 Alternativa 2: Cast-In + Cantoneira (HILTI)

A solução de apoio Cast-In+cantoneira (Figura 4.18) é uma solução que permite colocar a calha de fixação embutida na parede do núcleo de escadas e, conseqüentemente, apoiar a escada na cantoneira, através dos parafusos em T.

A calha de fixação é colocada na vertical, quando se está a cofrar as paredes do núcleo de escadas. Após cofragem, segue-se a betonagem das paredes, ficando a calha embutida. De seguida, coloca-se o parafuso em T na calha e, por fim, apoia-se a cantoneira nos parafusos. Colocada a solução de apoio, é possível apoiar o patamar das escadas na cantoneira.

Estas são algumas das características desta solução [119, 120]:

- Solução de elevado desempenho e mais segura – concebida para aplicações 3D exigentes;
- Homologadas para carga estática, de esforço, sísmica e incendiária;
- Resistência ao fogo R60, ou seja, a solução pode resistir ao fogo até 60 minutos sem colapso;
- Fabricadas com baixo consumo energético – as calhas embebidas em betão podem contribuir para a certificação ambiental dos projetos de construção;
- Personalizáveis – opções disponíveis para praticamente todas as especificações;
- Os parafusos em T são concebidos para serem simples e rápidos de instalar nas calhas de fixação – não é preciso perfurar;
- Disponíveis em aço inoxidável e galvanizado a quente – contribuindo com a proteção necessária contra a corrosão em condições ambientais específicas;
- Dado que a calha de fixação é colocada na vertical, esta solução permite ajustar a altura a que fica a cantoneira, podendo assim corrigir algum erro feito a montante;
- Elimina a necessidade de perfurações.

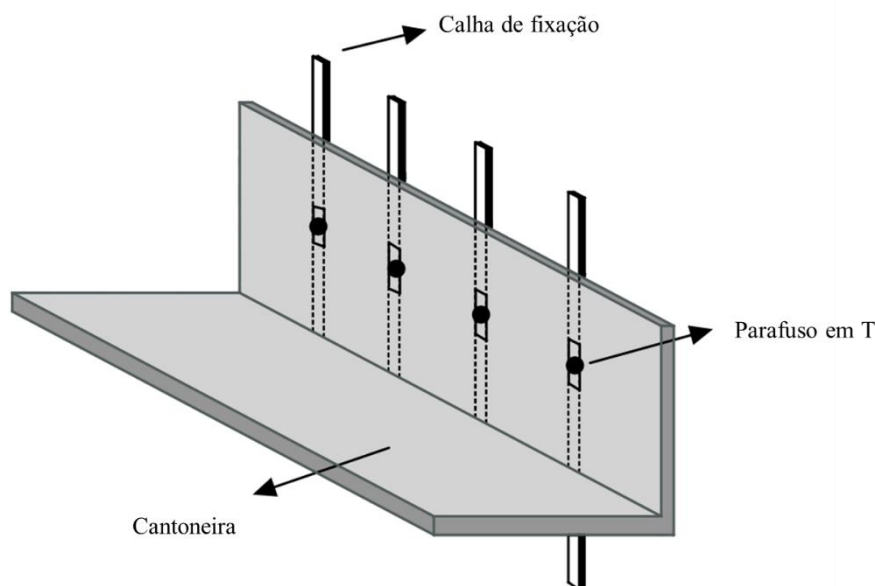


Figura 4.18- Solução de apoio Cast-in+Cantoneira, onde as Escadas Pré-fabricadas vão apoiar [121].

Esta solução é aplicada pela HILTI em fachadas, sendo esta solução ainda teórica. A calha de fixação que se encontra na Figura 4.18 está na horizontal, no entanto, para este projeto, a calha de fixação é colocada na vertical.

4.6.3 Alternativa 3: Tronsole Tipo P (Schöck)

A solução de apoio Tronsole® Tipo P (Figura 4.19) é uma solução que permite a ligação dos patamares (betão pré-fabricado ou *in situ*) às paredes do núcleo de escadas. Os patamares pré-fabricados podem ser projetados sem consolas de betão, o que otimiza o processo de construção e, além disso, não é necessária betonilha. É composto por três elementos separados: Elemento de parede, elemento de suporte de carga e manga deslizante com estribo de suspensão integrado.



Figura 4.19- Solução de apoio Tronsole Tipo P, onde as Escadas Pré-fabricadas vão apoiar [122].

No momento de cofragem das paredes do núcleo de escadas, é deixado um negativo que, após betonagem das paredes, servirá para colocar a escada e respetivo apoio. Após colocação da escada, o negativo é preenchido com grout¹².

A Sociedade Alemã de Acústica (Deutsche Gesellschaft für Akustik, DEGA) definiu várias classes de isolamento acústico para os requisitos de ruído de impacto (sons de percussão) em escadas. As escadas isoladas com Schöck Tronsole® são classificadas na classe B ou mesmo A da DEGA, como é o caso da solução de apoio Tronsole® Tipo P, que tem $L'_{n,w} \leq 39$ dB.

Segundo o ponto 1.e) do Artigo 5º do Decreto-Lei nº 96/2008 [123], “No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{n,w}$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte: $L'_{n,w} \leq 60$ dB”. Assim, como o $L'_{n,w} \leq 39$ dB é inferior ao exigido pelo Decreto-Lei nº 96/2008, a solução de apoio cumpre os valores normativos exigidos.

¹² Grout é uma calda composta por cimento, água e, por vezes, adições, utilizada para preencher espaços vazios entre elementos construtivos.

¹³ Índice de isolamento sonoro a sons de percussão medido *in-situ*, em dB [123]. Quanto mais baixo for o seu valor, melhor.

Estas são algumas das suas características [124]:

- É de fácil instalação;
- Permite uma instalação profissional com cargas aprovadas. Capacidade de carga até 65 kN;
- Forças de elevação e forças horizontais até 15 kN;
- Até R90 em combinação com o conjunto de proteção contra incêndios (dependendo da espessura do patamar). Adequado para saídas de emergência, confirmado no certificado de proteção contra incêndios;
- Aplicação flexível, pode ser utilizado a partir de uma espessura de patamar de 180 mm;
- Campo de aplicação alargado, pode ser utilizado para juntas até 50 mm;
- Permite que seja fiscalizado (se foi bem instalado). A cor azul permite verificar se está bem instalado em todas as zonas de contato;
- Acusticamente, não transmite as vibrações de uma estrutura para a outra, isto é, das escadas para as paredes do núcleo;
- O sistema é totalmente oculto;
- Esta solução permite corrigir a altura a que fica a escada, colocando perfis de aço na parte inferior da solução de apoio, junto ao negativo da parede.

APLICAÇÃO DA CBA PARA A DETERMINAÇÃO DA SOLUÇÃO DE APOIO ÓTIMA

A metodologia Choosing by Advantages (CBA) já foi aplicada na escolha de sistemas AVAC, na comparação de casas de banho construídas *in situ* e modulares, na comparação de lâmpadas, mas nunca foi aplicada na comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas e em soluções de apoio para Escadas. Este Capítulo pretende explicar e aplicar a CBA à comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas e, após escolhido o melhor método construtivo para as Escadas do projeto em Estudo, comparar três soluções de apoio para as Escadas.

A análise aos resultados obtidos será realizada posteriormente, no Capítulo

Análise e Discussão de Resultados 6.

5.1 Comparação da Construção Tradicional *versus* Construção Pré-fabricada em Escadas

Conforme referido na revisão da literatura do Capítulo 2, escadas pré-fabricadas são escadas que são produzidas fora do local de obra, seja em estaleiro ou em fábrica. Já escadas construídas tradicionalmente, são aquelas que são produzidas em obra, no local exato.

De forma a perceber qual seria a melhor forma de construir as escadas para o edifício em estudo no âmbito desta Dissertação, foi aplicada a metodologia CBA, que permite comparar a solução tradicional com a solução pré-fabricada. A metodologia tem em conta as vantagens de cada alternativa e também os custos de produção de cada uma. No fim, é elaborado o gráfico que permite comparar ambas as alternativas e são retiradas as conclusões sobre qual a melhor alternativa, neste caso em específico.

Assim, foram seguidos os 7 passos que a metodologia sugere. Em primeiro lugar, identificou-se as Alternativas que serão consideradas no processo de decisão (Passo 1), presentes na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Alternativas em comparação na aplicação da CBA.

Alternativa 1:	Alternativa 2:
Escada Tradicional	Escada Pré-Fabricada

De seguida, definiram-se os Fatores que serão avaliados, conforme sugerido pelo Passo 2 da metodologia. Os Fatores considerados pretendem comparar as vantagens de cada Alternativa, de forma imparcial, considerando apenas e só o edifício em estudo. Como tal, seguem-se os vários Fatores que se pretendem comparar entre as Alternativas:

- Coordenação de trabalho;
- Mão de Obra Especializada;
- Condições de Trabalho;
- Segurança;
- Flexibilidade do Projeto;
- Planeamento;
- Produção;
- Controlo da betonagem;
- Controlo de Qualidade;
- Acabamentos;
- Sustentabilidade;
- Transporte.

Estes Fatores foram escolhidos com base na revisão de literatura feita e nas características de cada Alternativa.

O Passo 3 pretende estabelecer as regras de avaliação para cada Fator. Aqui, é habitual utilizaram-se Critérios como “Quanto mais ..., melhor” (ou o inverso). Assim, foram determinados os Critérios que avaliam cada Fator, apresentados na Tabela 5.2 que se segue. Os Critérios apresentam-se entre parêntesis curvos.

Tabela 5.2- Fatores e Critérios em comparação na aplicação da CBA.

Fator	(Critério)
Coordenação de trabalho	(Fluxo de trabalho é melhor)
Mão de Obra Especializada	(Quanto menos necessário for, melhor)
Condições de Trabalho	(Quanto melhores as condições, melhor)
Segurança	(Quanto mais seguro, melhor)
Flexibilidade do Projeto	(Quanto mais flexível, melhor)
Planeamento	(Quanto mais rápido, melhor)
Produção	(Quanto mais rápido, melhor)
Controlo da betonagem	(Quanto maior o controlo, melhor)
Controlo de Qualidade	(Mais controlo é melhor)
Acabamentos	(Quanto menos trabalho, melhor)
Sustentabilidade	(Quanto menores os desperdícios, melhor)
Transporte	(Quanto mais próximo do local da obra, melhor)

Chegados ao Passo 4, é necessário descrever as Características de cada Alternativa. Aqui, as partes interessadas na tomada de decisão indicam qual é a Característica de cada Alternativa, correspondente a cada um dos Fatores mencionados anteriormente. Terminado o Passo 4, é possível deliberar qual

a Alternativa que apresenta a melhor Caraterística e, consequentemente, justificar a sua Vantagem relativamente à Alternativa menos preferida para cada Fator (Passo 5).

Relativamente à “Coordenação de trabalho (Fluxo de trabalho é melhor)”, a Alternativa 1 tem como Caraterística mais mão de obra no mesmo local, ou seja, há mais trabalhos a ocorrer ao mesmo tempo, no mesmo local. Ao produzir uma escada no local de obra, estão presentes um Oficial e um Servente a preparar a cofragem da escada. Terminada a cofragem, os armadores de ferro colocam a armadura entre a cofragem e, de seguida, a equipa de betonagem betona a escada. Como se pode perceber, há trabalhos de natureza diferente a ocorrer. Quanto à Alternativa 2, há menos mão de obra no mesmo local de trabalho, dado que todo o processo de produção das escadas pré-fabricadas é realizado por um Oficial, que tem como única responsabilidade produzir a escada do início ao fim, sendo que a cofragem utilizada é a mesma para todas as escadas e a armadura já vem moldada de fábrica. Dado que a Alternativa 2 tem menos trabalhos de natureza diferente a ocorrer na produção da escada e que existe uma minimização na necessidade de coordenar os diferentes tipos de trabalhos, o fluxo de trabalho é mais eficiente e, por isso, esta Alternativa é mais vantajosa.

No que diz respeito à “Mão de Obra Especializada (Quanto menos necessário for, melhor)”, a Escada Tradicional tem como Caraterística necessitar de mão de obra especializada, dado que saber cofrar uma escada tradicional é considerado uma arte, que poucos sabem fazer com rigor. Na Pré-fabricação, continua a ser necessário mão de obra especializada, mas, no entanto, o Oficial tem a sua “Curva de Aprendizagem” (ver Figura 2.27) facilitada, dado se tratar de trabalhar com uma máquina. Ao início pode encontrar algumas adversidades na produção das escadas, mas rapidamente percebe o seu funcionamento e o processo torna-se mais simples e repetitivo. Assim, e dado que atualmente existe uma escassez de mão de obra qualificada e especializada nas diversas artes da construção, a Alternativa 2 acaba por ser a mais vantajosa, dado que necessita de menos mão de obra especializada para produção de escadas pré-fabricadas.

Passando às “Condições de Trabalho (Quanto melhores as condições, melhor)”, na Alternativa 1 os trabalhadores estão sujeitos às condições climáticas, não sendo estas controláveis. Já na Alternativa 2, os trabalhadores estão dentro de uma fábrica, não estão sujeitos às condições climáticas exteriores e, assim, estão num ambiente controlado. Daqui, conclui-se que a Alternativa 2 tem como Vantagem a possibilidade dos trabalhadores não estarem expostos à chuva, ao frio, ao calor, ao vento e até mesmo a humidades indesejadas, podendo assim exercer a sua função num ambiente controlado.

No que se refere à “Segurança (Quanto mais seguro, melhor)”, na construção de escadas pela forma tradicional o perigo é constante porque, ao decorrerem vários trabalhos ao mesmo tempo e no mesmo local, a probabilidade haver um acidente é maior. Após a colocação da cofragem, as escadas (ainda não betonadas) começam a servir para passagem de trabalhadores e materiais de um piso para o outro e, dado se tratar de uma superfície irregular, há mais suscetibilidade para a ocorrência de acidentes. Já na Pré-fabricação, apesar de não ser possível eliminar a 100% o perigo, a produção das escadas é realizada em fábrica, num ambiente e local de trabalho controlado e mais seguro, havendo assim menos exposição a perigos constantes. Por isso, a construção de escadas via pré-fabricação permite mitigar os riscos porque a escada é produzida em fábrica, num ambiente controlado, havendo menos trabalhos em altura e perigos constantes.

A “Flexibilidade do Projeto (Quanto mais flexível, melhor)”, a Alternativa 1 tem como Característica o projeto não estar terminado na sua totalidade no início da obra, o que permite que este seja flexível e passível a alterações. Pelo contrário, na Alternativa 2, o projeto tem de estar terminado e definido no início da obra, não permitindo alterações futuras, dado que a produção em fábrica inicia antes de se iniciarem as obras em estaleiro. Assim sendo, fica claro que a Alternativa 1 tem como Vantagem o projeto poder ser alterado ao longo do tempo, caso haja necessidade para tal devido a imprevistos ou escolhas do cliente, ao contrário da Alternativa 2, que limita as alterações após a definição final do projeto.

Relativamente ao “Planeamento (Quanto mais rápido, melhor)”, a Escada Tradicional tem como Característica a construção em obra ser mais lenta, dada a movimentação de trabalhadores no local de obra, a área útil onde é possível trabalhar, os conjuntos de cofragens serem limitados e ter de usar os mesmos conjuntos para as várias escadas (não é possível construir as escadas do piso superior sem antes terminar as escadas do piso atual, por exemplo). Na Escada Pré-fabricada, é possível produzi-la *off-site*, o que permite que a sua construção seja mais rápida do que na Escada Tradicional. Assim, a pré-fabricação de escadas tem como vantagem, relativamente ao Planeamento, a construção mais rápida do que a tradicional, permitindo um planeamento mais preciso e antecipação de trabalhos, dado que a obra é independente da produção *off-site*.

No que toca à “Produção (Quanto mais rápido, melhor)”, a Escada Tradicional só pode ser produzida após o início da construção do piso superior, ou seja, a produção da escada está dependente da construção do piso superior a que esta dá acesso. Já na Escada Pré-fabricada, esta é produzida em fábrica enquanto decorrem outras atividades em obra, por outras palavras, a produção da Escada Pré-fabricada e a construção no local de obra ocorrem em simultâneo, sem conflitos, são atividades independentes uma da outra. Pode dar-se o exemplo de se terminar a construção estrutural do edifício e, só após essa tarefa estar concluída, colocar as escadas pré-fabricadas dentro do núcleo de escadas. Assim, fica claro que a Vantagem da Escada Pré-fabricada é o facto da produção ser em massa, otimizando assim o planeamento e reduzindo a possibilidade dos atrasos em obra.

No caso do “Controlo de Betonagem (Quanto maior o controlo, melhor)”, a betonagem na Alternativa 1 está dependente das condições climáticas, não podendo ocorrer se estas forem adversas, e é considerado um processo crítico para a qualidade da peça, dado que o gruísta não tem visão dentro do núcleo de escadas, estando dependente das comunicações que lhe sejam transmitidas. Na Alternativa 2, a betonagem ocorre em condições mais controladas do que na Alternativa 1, dado que a produção das escadas é feita em fábrica, sendo possível betonar à temperatura e humidade desejada, podendo esta ocorrer independentemente das condições meteorológicas que se registem no exterior. Por este motivo, a Alternativa 2 é uma Vantagem, no que toca ao Controlo de Betonagem.

Chegados ao “Controlo de Qualidade (Mais controlo é melhor)”, sabe-se que o Controlo de Qualidade é realizado em ambas as Alternativas. No entanto, na Alternativa 2, este é mais fácil e eficaz de realizar do que na Alternativa 1. Apesar do Controlo de Qualidade ser realizado na Alternativa 1, não é possível saber com exatidão qual foi, por exemplo, o tipo de aço e de betão que foi utilizado para a produção de cada elemento. Ao contrário do que acontece na Alternativa 1, na Alternativa 2 é possível realizar este registo de forma eficaz, dado que cada elemento betonado é etiquetado com o material que foi utilizado e o dia em que o elemento foi produzido. Para além disso, caso haja esse desejo, é possível

ensaiar a Alternativa 2 em laboratório para testar se a resistência da escada é aquela para a qual foi dimensionada, antes desta seguir para obra, não sendo isso possível na Alternativa 1. Assim, percebe-se que a Alternativa 2 é mais vantajosa quando se refere a Controle de Qualidade.

Em relação aos “Acabamentos (Quanto menos trabalho, melhor)”, a Escada Tradicional, após betonagem, precisa de betonilha para regularizar os degraus e patamares, revestimento cerâmico, reboco nas faces expostas e, ainda, pintura. Já na Escada Pré-fabricada, esta não necessita de acabamentos, sendo estes facultativos, ao gosto do cliente. É uma clara Vantagem para a pré-fabricação porque, ao descobrir a Escada Pré-fabricada, esta tem um acabamento “liso”, permitindo que as suas faces fiquem em betão à vista, eliminando, assim, a necessidade de trabalhos adicionais com camadas de regularização.

Numa altura em que se fala da sustentabilidade na construção, não era possível comparar estas duas vertentes da construção sem falar de desperdícios. Ao falar em “Sustentabilidade (Quanto menos desperdícios, melhor)”, na Alternativa 1 há desperdícios de cofragem de madeira, dado que cada conjunto de cofragem dá até 3 utilizações, há desperdícios no corte da armadura, há desperdício na betonagem, desperdícios nas betonilhas, colas e revestimentos cerâmicos. Já na Alternativa 2, os desperdícios são menores que na Alternativa 1. A pré-fabricação das escadas tem como Vantagem a produção ser com recurso a cofragem em aço reutilizável, ser standardizada e a quantidade de betão é a quantidade exata para a betonagem da escada.

Por fim, o “Transporte (Quanto mais próximo do local da obra, melhor)” tem como Caraterística da Escada Tradicional ser produzida *on-site*, isto é, no local exato, não havendo necessidade de transportes adicionais, como acontece na Escada Pré-fabricada. Nesta, a escada é produzida em fábrica, que pode encontrar-se a uma distância considerável do local de obra, necessitando de, após a sua produção, ser ainda transportada para obra. Isto pode resultar em custos avultados e emissões poluentes. Por isso, a Escada Tradicional tem como Vantagem não precisar de transportes adicionais.

De seguida, encontra-se a Tabela 5.3, que resume todos os Fatores e respetivas Caraterísticas e Vantagens, para cada Alternativa apresentada.

Tabela 5.3- Características e Vantagens de cada Alternativa de Escadas.

Fator (Critério)	Alternativa 1: Escada Tradicional	IoA	Alternativa 2: Escada Pré-Fabricada	IoA
Coordenação de trabalho (Fluxo de trabalho é melhor)	<u>Caraterística:</u> Mais trabalhadores no mesmo local. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Menos trabalhos de natureza diferente, minimiza a necessidade de coordenar diferentes tipos de trabalhadores. <u>Vantagem:</u> Menos trabalhadores no mesmo local. Fluxo de trabalho mais eficiente.	
Mão de Obra Especializada (Quanto menos necessário for, melhor)	<u>Caraterística:</u> Necessita de mão de obra especializada. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Reduz a dependência de mão de obra especializada, a execução das escadas requer trabalhos mais simples e repetitivos. <u>Vantagem:</u> Necessita de menos mão de obra especializada para produção de escadas pré-fabricadas.	
Condições de Trabalho (Quanto melhores as condições, melhor)	<u>Caraterística:</u> Os trabalhadores estão expostos a condições climáticas não controláveis. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Os trabalhadores estão dentro de uma fábrica, não estão expostos às condições climáticas exteriores. <u>Vantagem:</u> Os trabalhadores não estão expostos à chuva, frio, calor, vento e humidade indesejada.	
Segurança (Quanto mais seguro, melhor)	<u>Caraterística:</u> A cofragem é inclinada e há trabalhos a decorrer sobre a cofragem (colocação de aço, movimentação de pessoas). Perigo constante. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> As atividades são realizadas de forma diferente, há mais segurança e menos exposição a riscos constantes. <u>Vantagem:</u> Os riscos são mitigados porque a escada é produzida em fábrica e em ambientes controlados, há menos trabalhos em altura e menos atividades com perigo constante.	
Flexibilidade do Projeto (Quanto mais flexível, melhor)	<u>Caraterística:</u> O projeto não está 100% fechado no início da obra e é flexível a alterações. <u>Vantagem:</u> O projeto pode ser alterado ao longo do tempo, enquanto a Alternativa 2 limita alterações após a definição final do projeto.		<u>Caraterística:</u> O projeto tem de estar definido no início da obra e não permite alterações. <u>Vantagem:</u> -	
Planeamento (Quanto mais rápido, melhor)	<u>Caraterística:</u> Construção em obra é mais lenta. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Construção off-site é mais rápida. <u>Vantagem:</u> Mais rápido do que a Alternativa 1, permite um planeamento mais preciso e antecipação de trabalhos.	
Produção (Quanto mais rápido, melhor)	<u>Caraterística:</u> Só é possível produzir o elemento após início do piso superior. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A produção e a construção no local ocorrem em simultâneo, sem conflitos. <u>Vantagem:</u> A produção é em massa, otimização do planeamento e reduz a possibilidade de atrasos em obra.	
Controlo da betonagem (Quanto maior o controlo, melhor)	<u>Caraterística:</u> A betonagem está dependente das condições climáticas e é um momento de perigo dado que o gruita não tem visão dentro do núcleo das escadas. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Em fábrica, a betonagem ocorre à temperatura desejada e ocorre independentemente das condições meteorológicas exteriores. <u>Vantagem:</u> A betonagem ocorre em condições mais controladas do que a Alternativa 1.	
Controlo de Qualidade (Mais controlo é melhor)	<u>Caraterística:</u> O controlo de qualidade é realizado. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Em fábrica, sabe-se exatamente o tipo de betão e aço utilizado em cada elemento (etiquetagem). Capacidade em manter um registo eficaz. <u>Vantagem:</u> O controlo de qualidade é mais fácil e eficaz do que a Alternativa 1.	
Acabamentos (Quanto menos trabalho, melhor)	<u>Caraterística:</u> A escada precisa de betão, revestimento cerâmico, reboco nas faces expostas e pintura. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A escada não necessita de acabamentos, são facultativos. <u>Vantagem:</u> Após descofragem, o acabamento da escada fica "liso", permite um acabamento com betão à vista, eliminando a necessidade de trabalhos adicionais.	
Sustentabilidade (Quanto menores os desperdícios, melhor)	<u>Caraterística:</u> Há desperdícios de cofragem de madeira, betão, aço, betonilhas, colas e revestimento cerâmico. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A cofragem é reutilizável e produz-se a quantidade exata. <u>Vantagem:</u> Os desperdícios são menores que na Alternativa 1.	
Transporte (Quanto mais próximo do local da obra, melhor)	<u>Caraterística:</u> A escada é produzida e apoiada on-site, no local exato. <u>Vantagem:</u> Não necessita de transportes adicionais.		<u>Caraterística:</u> A escada é produzida off-site, necessita de transporte para a obra. <u>Vantagem:</u> -	
Total de IoA:				

Após a elaboração da Tabela 5.3, chega-se ao Passo 6, onde as partes interessadas na tomada de decisão sobre qual a melhor Alternativa para este projeto decidem qual a *Importance of Advantage* (IoA) para cada Fator. Como referido na literatura, em primeiro lugar tem de se identificar qual a Vantagem “principal”, ou seja, aquele que se considera a mais importante de todas as Vantagens presentes na Tabela. Esta Vantagem recebe o valor máximo da IoA (no presente caso de estudo esse valor é 100) e, de seguida, as Vantagens dos outros Fatores são pontuadas de forma decrescente, não podendo repetir a pontuação 100. Uma vez avaliados todos os Fatores para cada Alternativa, as IoA são somadas para cada Alternativa. Concluído o Passo 6, apresenta-se a Tabela 5.4 que pontua cada Fator com a IoA decidida pelas partes interessadas. A análise dos resultados encontra-se no Capítulo seguinte, onde será descrito o porquê destas avaliações de IoA.

Tabela 5.4- Avaliação de IoA para cada Alternativa de Escadas.

Fator (Critério)	Alternativa 1: Escada Tradicional	IoA	Alternativa 2: Escada Pré-Fabricada	IoA
Coordenação de trabalho (Fluxo de trabalho é melhor)	<u>Caraterística:</u> Mais trabalhadores no mesmo local. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Menos trabalhos de natureza diferente, minimiza a necessidade de coordenar diferentes tipos de trabalhadores. <u>Vantagem:</u> Menos trabalhadores no mesmo local. Fluxo de trabalho mais eficiente.	75
Mão de Obra Especializada (Quanto menos necessário for, melhor)	<u>Caraterística:</u> Necessita de mão de obra especializada. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Reduz a dependência de mão de obra especializada, a execução das escadas requer trabalhos mais simples e repetitivos. <u>Vantagem:</u> Necessita de menos mão de obra especializada para produção de escadas pré-fabricadas.	75
Condições de Trabalho (Quanto melhores as condições, melhor)	<u>Caraterística:</u> Os trabalhadores estão expostos a condições climáticas não controláveis. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Os trabalhadores estão dentro de uma fábrica, não estão expostos às condições climáticas exteriores. <u>Vantagem:</u> Os trabalhadores não estão expostos à chuva, frio, calor, vento e humidade indesejada.	25
Segurança (Quanto mais seguro, melhor)	<u>Caraterística:</u> A cofragem é inclinada e há trabalhos a decorrer sobre a cofragem (colocação de aço, movimentação de pessoas). Perigo constante. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> As atividades são realizadas de forma diferente, há mais segurança e menos exposição a riscos constantes. <u>Vantagem:</u> Os riscos são mitigados porque a escada é produzida em fábrica e em ambientes controlados, há menos trabalhos em altura e menos atividades com perigo constante.	25
Flexibilidade do Projeto (Quanto mais flexível, melhor)	<u>Caraterística:</u> O projeto não está 100% fechado no início da obra e é flexível a alterações. <u>Vantagem:</u> O projeto pode ser alterado ao longo do tempo, enquanto a Alternativa 2 limita alterações após a definição final do projeto.	50	<u>Caraterística:</u> O projeto tem de estar definido no início da obra e não permite alterações. <u>Vantagem:</u> -	
Planeamento (Quanto mais rápido, melhor)	<u>Caraterística:</u> Construção em obra é mais lenta. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Construção off-site é mais rápida. <u>Vantagem:</u> Mais rápido do que a Alternativa 1, permite um planeamento mais preciso e antecipação de trabalhos.	100
Produção (Quanto mais rápido, melhor)	<u>Caraterística:</u> Só é possível produzir o elemento após início do piso superior. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A produção e a construção no local ocorrem em simultâneo, sem conflitos. <u>Vantagem:</u> A produção é em massa, otimização do planeamento e reduz a possibilidade de atrasos em obra.	50
Controlo da betonagem (Quanto maior o controlo, melhor)	<u>Caraterística:</u> A betonagem está dependente das condições climáticas e é um momento de perigo dado que o gruita não tem visão dentro do núcleo das escadas. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Em fábrica, a betonagem ocorre à temperatura desejada e ocorre independentemente das condições meteorológicas exteriores. <u>Vantagem:</u> A betonagem ocorre em condições mais controladas do que a Alternativa 1.	75
Controlo de Qualidade (Mais controlo é melhor)	<u>Caraterística:</u> O controlo de qualidade é realizado. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Em fábrica, sabe-se exatamente o tipo de betão e aço utilizado em cada elemento (etiquetagem). Capacidade em manter um registo eficaz. <u>Vantagem:</u> O controlo de qualidade é mais fácil e eficaz do que a Alternativa 1.	75
Acabamentos (Quanto menos trabalho, melhor)	<u>Caraterística:</u> A escada precisa de betonilha, revestimento cerâmico, reboco nas faces expostas e pintura. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A escada não necessita de acabamentos, são facultativos. <u>Vantagem:</u> Após descofragem, o acabamento da escada fica "liso", permite um acabamento com betão à vista, eliminando a necessidade de trabalhos adicionais.	75
Sustentabilidade (Quanto menores os desperdícios, melhor)	<u>Caraterística:</u> Há desperdícios de cofragem de madeira, betão, aço, betonilhas, colas e revestimento cerâmico. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A cofragem é reutilizável e produz-se a quantidade exata. <u>Vantagem:</u> Os desperdícios são menores que na Alternativa 1.	75
Transporte (Quanto mais próximo do local da obra, melhor)	<u>Caraterística:</u> A escada é produzida e apoiada on-site, no local exato. <u>Vantagem:</u> Não necessita de transportes adicionais.	75	<u>Caraterística:</u> A escada é produzida off-site, necessita de transporte para a obra. <u>Vantagem:</u> -	
Total de IoA:		125		650

Por fim, os custos são calculados no Passo 7, como referido pela metodologia. De forma a avaliar os custos de ambas as Alternativas, foram fornecidos custos pela CNT Europe para calcular o custo total de cada Alternativa. Todos os custos apresentados são para o total dos 42 lanços de escadas, cada uma com 9 degraus e 2 patamares.

Assim, os custos para as Escadas Tradicionais e Escadas Pré-fabricadas estão divididos em quatro Fatores monetários, sendo estes materiais, mão de obra, logística e fornecimento de materiais. A descrição dos custos será analisada, mais em detalhe, no Capítulo da Análise de Resultados.

Em primeiro lugar, apresentam-se os custos para as Escadas Tradicionais. Na Tabela 5.5 estão descritos os Fatores monetários tidos em consideração para o cálculo do custo total dos materiais, o seu custo e o peso no custo total de cada Fator monetário. Foram considerados desperdícios na ordem dos 5% para o reboco e revestimentos.

Tabela 5.5- Custo e peso no custo total dos materiais nas Escadas Tradicionais.

Escadas Tradicionais		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Cofragem	8 966 €	15
Reboco (5% desperdício)	8 744 €	14
Betonilha, cola, e revestimento cerâmico (5% desperdício)	43 133 €	71
Cera descofrante	81 €	0,1
TOTAL Material	60 924 €	100

De forma a determinar os custos do reboco e betonilha, cola e revestimentos cerâmicos, determinou-se a área dos patamares, cobertores, espelhos e faces laterais dos lanços de escadas e, através dos custos fornecidos pela CNT Europe, calculou-se o custo destes Fatores, que estão apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6- Custo dos acabamentos para Escadas Tradicionais.

Escadas Tradicionais (42 lanços de Escadas)			
Fatores monetários	Área total (m ²)	Custo Unitário (€/m ²)	Custo (€)
Reboco (5% desperdício)	757	11	8 744 €
Betonilha, cola, e revestimento cerâmico (5% desperdício)	410,79	100	43 133 €
TOTAL			51 877 €

De seguida, determinou-se o custo dos Fatores monetários relacionados com a mão de obra. Para tal, o custo de mão de obra por hora é apresentado na Tabela 5.7 e o custo total da mão de obra, bem como as suas atividades, estão presentes na Tabela 5.8.

Tabela 5.7- Custo mão de obra por hora.

Mão de obra	€/hora
Servente	10 €
Oficial	12 €
Encarregado Geral	19 €

Tabela 5.8- Custo e peso no custo total da mão de obra nas Escadas Tradicionais.

Escadas Tradicionais		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Colocação cofragem	8 316 €	54
Montagem de armadura	2 772 €	18
Trabalhos de reparações	4 294 €	28
TOTAL Mão de Obra	15 382 €	100

Quanto aos custos a que a logística obriga, apenas há a salientar o acompanhamento pelo Departamento Técnico, estando os custos presentes na Tabela 5.9.

Tabela 5.9- Custo e peso no custo total da logística nas Escadas Tradicionais.

Escadas Tradicionais		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Acompanhamento Departamento Técnico	2 310 €	100
TOTAL Logística	2 310 €	100

Por fim, na Tabela 5.10, estão demonstrados os Fatores monetários tidos em conta para o cálculo dos custos de fornecimento de materiais. Foram considerados desperdícios na ordem dos 5% para o aço e betão.

Tabela 5.10- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais nas Escadas Tradicionais.

Escadas Tradicionais		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Espaçadores	1 190 €	4
Armadura (5% desperdício)	16 067 €	56
Betão (5% desperdício)	11 624 €	40
TOTAL Fornecimento	28 880 €	100

A Tabela 5.11 que se segue resume as quatro categorias dos Fatores monetários descritos anteriormente e conclui o peso de cada Fator monetário no custo final das Escadas Tradicionais.

Tabela 5.11- Resumo dos custos totais e peso no custo total de cada Fator monetário para as Escadas Tradicionais.

Escadas Tradicionais		
Fatores monetários	Custo Total (€)	Peso no Custo Total (%)
Material	60 924 €	57
Mão de obra	15 382 €	14
Logística	2 310 €	2
Fornecimentos	28 880 €	27
TOTAL	107 496 €	100

De forma a poder terminar a comparação entre as Escadas Tradicionais e Escadas Pré-fabricadas, falta determinar os custos das Escadas Pré-fabricadas. O raciocínio para determinar estes custos foi o mesmo para as Escadas Tradicionais, dividindo os custos, de novo, em quatro categorias.

Primeiramente, determinou-se os custos dos Fatores monetários relacionados com os materiais, presentes na Tabela 5.12, para as Escadas Pré-fabricadas.

Tabela 5.12- Custo e peso no custo total dos materiais nas Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Quebra arestas	87 €	4
Ancoragem	1 220 €	62
Cera descofrante	81 €	4
Madeiras para execução da Escada	578 €	29
TOTAL Material	1 965 €	100

De seguida, utilizou-se os custos da mão de obra por hora, apresentados na Tabela 5.7, para determinar os Fatores monetários relativos ao cálculo dos custos de mão de obra, presentes na Tabela 5.13 que se segue.

Tabela 5.13- Custo e peso no custo total da mão de obra nas Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Montagem de armadura	2 772 €	13
Produção Escadas	9 030 €	42
Manutenção e alteração de setup da máquina / limpeza integral	2 380 €	11
Colocação Escadas	2 814 €	13
Trabalhos de reparações	4 294 €	20
TOTAL Mão de Obra	21 290 €	100

Para orçamentar os custos totais afetos à logística, foram calculados os custos dos Fatores monetários presentes na Tabela 5.14.

Tabela 5.14- Custo e peso no custo total da logística nas Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Equipamentos	9 559 €	63
Gestão de stock	21 €	0
Amortização da máquina	3 297 €	22
Acompanhamento Departamento Técnico	2 310 €	15
TOTAL Logística	15 187 €	100

Finalmente, a Tabela 5.15 expressa os Fatores monetários tidos em conta no fornecimento de materiais. Para o betão, considerou-se que havia desperdícios entre 0 e 2% na produção de Escadas Pré-fabricadas, majoração feita por segurança quando se encomendava o betão. Isto significa que, em 100 m³ de betão produzidos, apenas 0 a 2 m³ são desperdiçados. No entanto, esta majoração da quantidade de betão encomendado permite realizar os provetes para controlo da resistência mecânica e, dado que as Escadas estavam a ser produzidas em estaleiro, o betão remanescente foi aproveitado para outros elementos, como pilares, vigas ou lajes, dado que o betão tem as mesmas características, como se pode observar na Tabela 4.1. Quando a fábrica de elementos pré-fabricados estiver construída, será possível ter desperdícios de betão muito próximos de 0%, dado que a colocação do betão é realizada com recurso a máquinas que têm programado o volume exato de betão a colocar. Para efeitos de cálculo, foi definido o valor de 1%.

Tabela 5.15- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais nas Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Espaçadores	1 190 €	4
Armadura	15 301 €	56
Betão	10 932 €	40
TOTAL Fornecimento	27 424 €	100

Em suma, apresenta-se a Tabela 5.16 que reúne os custos totais de cada categoria dos Fatores monetários, bem como o somatório do custo final e o peso que cada Fator tem no custo final.

Tabela 5.16- Resumo dos custos totais e peso no custo total de cada Fator monetário para as Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Fatores monetários	Custo Total (€)	Peso no Custo Total (%)
Material	1 965 €	3
Mão de obra	21 290 €	32
Logística	15 187 €	23
Fornecimentos	27 424 €	42
TOTAL	65 866 €	100

5.2 Comparação das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas

De forma análoga à utilizada na comparação das Escadas Tradicionais *versus* Escadas Pré-fabricadas, realizou-se a comparação das três Alternativas para soluções de apoio. Dado que, neste projeto, segundo os resultados da metodologia, as Escadas Pré-fabricadas são as mais vantajosas na análise Custo-Benefício, as três Alternativas em comparação são aplicadas a Escadas Pré-fabricadas.

As Alternativas a considerar são as três já referidas anteriormente, apresentadas na Tabela 5.17 abaixo.

Tabela 5.17- Alternativas em comparação na aplicação da CBA para soluções de apoio às Escadas Pré-fabricadas.

Alternativa 1:	Alternativa 2:	Alternativa 3:
Cantoneira	Cast-In+Cantoneira	Tronsole Tipo P

Os Fatores e Critérios considerados são idênticos aos utilizados na comparação anterior. De seguida, apresenta-se a Tabela 5.18 com os Fatores e Critérios.

Tabela 5.18- Fatores e Critérios em comparação na aplicação da CBA às soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.

Fator	(Critério)
Coordenação de trabalho	(Fluxo de trabalho é melhor)
Segurança	(Quanto mais seguro, melhor)
Sustentabilidade	(Quanto menos desperdício, melhor)
Complexidade Técnica	(Quanto menos exigente, melhor)
Acabamentos	(Quanto menos trabalho, melhor)
Planeamento	(Quanto mais rápido, melhor)
Estética	(Quanto menos à vista, melhor)
Isolamento acústico	(Quanto mais resistente ao ruído, melhor)
Resistência ao fogo	(Quanto mais resistente, melhor)

Assim, segue-se a descrição da Característica e Vantagem (caso exista) de cada Alternativa, para o Fator correspondente. No caso da “Coordenação de Trabalho (Fluxo de trabalho é melhor)” as partes interessadas na tomada de decisão consideraram que, na Alternativa 3, a colocação do negativo na cofragem exige que fique nas cotas exatas para posterior colocação da escada, não havendo Vantagem. Já a Alternativa 1, apesar de ter trabalhos de natureza diferente como a furação com caroteadora, colocação do cartucho e cantoneira, tem como Vantagem a possibilidade de maior margem de erro do que a Alternativa 3. A Alternativa 2 elimina, em relação à Alternativa 1, as furações e a colocação do cartucho, tendo esta solução a possibilidade de ajustar a cota da escada pela calha de fixação, posicionada na vertical. Assim, a Alternativa 2 tem maior margem de erro do que a Alternativa 1 e 3, sendo, por isso, a mais vantajosa.

Segue-se a “Segurança (Quanto mais seguro, melhor)”, onde a Alternativa 1, dado se tratar de trabalhos em altura, necessita de andaimes para realização das furações, considerando-se, assim, um momento de risco. A Alternativa 3, de forma que a escada entre com o apoio dentro do negativo, precisa que esta entre inclinada devido ao espaço disponível. Esta manobra exige mais tempo de preparação e colocação da escada, aumentando a exposição dos trabalhadores ao perigo. A Alternativa 2, dado ser idêntica à Alternativa 1, elimina a necessidade dos trabalhos em altura, não sendo necessário a colocação de andaimes, dado que o negativo para o apoio se encontra no núcleo de escadas. Assim, a Alternativa 2 tem a Vantagem neste Fator.

Quanto à “Sustentabilidade (Quanto menos desperdício, melhor)”, a solução da Cantoneira é a menos preferida, visto que existe o desperdício do cartucho da bucha química, o corte de aço, de parafusos e coroas da caroteadora, dado que estas partem com facilidade. Em termos de Sustentabilidade, a solução do Cast-In+Cantoneira e a solução Tronsole Tipo P são equivalentes, dado que, comparativamente à Cantoneira, não necessitam de furações nem corte de materiais. Por isso, ambas têm a Vantagem de produzirem menos desperdícios que a solução da Cantoneira.

No que diz respeito à “Complexidade Técnica (Quanto menos exigente, melhor)”, a Alternativa 3 requer que seja colocado um negativo nas paredes do núcleo de escadas para a solução de apoio poder ficar apoiada nesse negativo. A realização deste negativo obriga a que a marcação das suas cotas e a realização da cofragem para o negativo seja complexa e exigente, apesar desta Alternativa ser passível de correção de cotas através de perfis de aço que podem ser colocados no negativo. A Alternativa 2 tem a calha de fixação colocada na vertical na cofragem, o que permite corrigir as cotas das escadas mais facilmente, caso surja algum declive ou falha na marcação das cotas a montante, é uma solução mais flexível. Para além disso, a Alternativa 2 também não requer furações, dado que a Cantoneira fica apoiada nos parafusos que estão na calha de fixação. Por isso, a Alternativa 2 tem como Vantagem ser menos complexa do que a Alternativa 3. Por fim, a Alternativa 1 é a que tem a maior Vantagem das três Alternativas, é a menos complexa, porque esta solução permite que a marcação das cotas seja alterada no decorrer da obra, antes ou depois, caso seja necessário corrigir a posição, das furações serem realizadas.

No que se refere aos “Acabamentos (Quanto menos trabalho, melhor)”, a solução Tronsole Tipo P é apoiada num negativo do núcleo. Após a escada ficar apoiada no negativo, este precisa de ser preenchido com grout para não ficar à vista. Já a solução da Cantoneira e do Cast-In+Cantoneira, não precisa de acabamentos após a escada ser colocada no seu apoio. Por isso, tanto a solução da Cantoneira

como a do Cast-In+Cantoneira têm como Vantagem serem soluções que exigem menos trabalho do que a solução Tronsole Tipo P.

Em relação ao “Planeamento (Quanto mais rápido, melhor)”, a Alternativa 1, apesar das atividades serem simples de realizar, são atividades que demoram a completar porque é necessário preparar e colocar os andaimes para depois poder efetuar as furações nas paredes do núcleo. No entanto, a Alternativa 2 e 3 são similares, dado que tanto a calha de fixação da Alternativa 2 como o negativo para a Alternativa 3 são colocados na cofragem e betonados juntamente com as paredes. Assim, ambas as Alternativas têm a Vantagem de exigir menos tempo de preparação do que a Alternativa 1.

No caso da “Estética (Quanto menos à vista, melhor)”, dado que a solução da Cantoneira e a solução do Cast-In+Cantoneira fica com a Cantoneira visível na face inferior do patamar, estas não apresentam Vantagem. A solução Tronsole Tipo P, que fica na face lateral do patamar, não é visível.

Relativamente ao “Isolamento Acústico (Quanto mais atenuar, melhor)”, tanto a Alternativa 1 como a Alternativa 2 não têm nenhuma camada de isolamento acústico no apoio, não tendo, por isso, qualquer Vantagem. Pelo contrário, a Alternativa 3 possui uma camada de isolamento acústico, que garante isolamento sonoro a sons de percussão ($L'_{n,w}$), com $L'_{n,w} \leq 39$ dB, reduzindo a transmissão do ruído.

Por fim, a “Resistência ao fogo (Quanto mais resistente, melhor)”, a Cantoneira possui um revestimento intumescente que proporciona uma proteção máxima de 120 minutos contra fogos celulósicos, a solução do Cast-In+Cantoneira garante uma capacidade de resistência ao fogo durante 60 minutos (R60) e, por último, a solução Tronsole Tipo P garante a sua capacidade resistente, mesmo que exposto ao fogo, durante 90 minutos (R90). Assim, a Vantagem acaba por ser da última solução, por garantir a maior capacidade resistente das três soluções.

Concluída a descrição das Características e Vantagens de cada Alternativa, segue-se a Tabela 5.19 que resume as comparações efetuadas.

Tabela 5.19- Características e Vantagens das Alternativas para soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.

Fator (Critério)	Alternativa 1: Cantoneira	IoA	Alternativa 2: Cast-In+Cantoneira	IoA	Alternativa 3: Tronsole Tipo P	IoA
Coordenação de trabalho (Fluxo de trabalho é melhor)	<u>Caraterística:</u> Mais trabalhos de natureza diferente, como a furação, colocação do cartucho e colocação da cantoneira. <u>Vantagem:</u> Maior margem de erro do que a Alternativa 3.		<u>Caraterística:</u> Colocação das calhas de fixação na cofragem, que permitem ajuste das cotas caso haja erros na colocação. <u>Vantagem:</u> Maior margem de erro do que a Alternativa 1 e 3.		<u>Caraterística:</u> A colocação do negativo na cofragem exige que este fique na cota exata para posterior colocação da escada. <u>Vantagem:</u> -	
Segurança (Quanto mais seguro, melhor)	<u>Caraterística:</u> Necessita de andaimes para realizar as furações, trabalhos em altura. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Não necessita de andaimes. <u>Vantagem:</u> O negativo para o apoio está no núcleo das escadas.		<u>Caraterística:</u> O apoio, para entrar no negativo, obriga a que a escada entre inclinada. Esta manobra exige mais tempo e perigo no momento da colocação. <u>Vantagem:</u> -	
Sustentabilidade (Quanto menos desperdício, melhor)	<u>Caraterística:</u> Há desperdícios do cartucho da bucha química, corte de ferro, parafusos e coroa da caroteadora partem com facilidade. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Há menos desperdícios porque não são necessárias furações nem corte de materiais. <u>Vantagem:</u> Os desperdícios são menores que a Alternativa 1.		<u>Caraterística:</u> Há menos desperdícios porque não são necessárias furações nem corte de materiais. <u>Vantagem:</u> Os desperdícios são menores que a Alternativa 1.	
Complexidade Técnica (Quanto menos exigente, melhor)	<u>Caraterística:</u> A marcação das cotas pode ser alterada facilmente. <u>Vantagem:</u> Menos complexa que a Alternativa 2 e 3.		<u>Caraterística:</u> A marcação de cotas permite ajustes pela calha de fixação vertical. <u>Vantagem:</u> Menos complexa que a Alternativa 3.		<u>Caraterística:</u> A marcação das cotas e a construção da cofragem tem de ser precisa. <u>Vantagem:</u> -	
Acabamentos (Quanto menos trabalho, melhor)	<u>Caraterística:</u> Depois de colocada a escada, não precisa de acabamentos. <u>Vantagem:</u> Menos trabalho que a Alternativa 3.		<u>Caraterística:</u> Depois de colocada a escada, não precisa de acabamentos. <u>Vantagem:</u> Menos trabalho que a Alternativa 3.		<u>Caraterística:</u> O negativo precisa de ser preenchido com grout. <u>Vantagem:</u> -	
Planeamento (Quanto mais rápido, melhor)	<u>Caraterística:</u> Exige tempo para preparação dos andaimes e furações. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Os negativos são colocados na cofragem do núcleo das escadas e ficam embutidos na parede. <u>Vantagem:</u> Exige menos tempo de preparação do que a Alternativa 1.		<u>Caraterística:</u> Os negativos são colocados na cofragem do núcleo das escadas e ficam embutidos na parede. <u>Vantagem:</u> Exige menos tempo de preparação do que a Alternativa 1.	
Estética (Quanto menos à vista, melhor)	<u>Caraterística:</u> A cantoneira fica visível na face inferior da escada. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A cantoneira fica visível na face inferior da escada. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> O apoio não é visível. <u>Vantagem:</u> Melhor que a Alternativa 1 e 2.	
Isolamento acústico (Quanto mais resistente ao ruído, melhor)	<u>Caraterística:</u> O apoio não tem isolamento acústico. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> O apoio não tem isolamento acústico. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> O apoio possui isolamento acústico. <u>Vantagem:</u> O apoio tem resistência acústica com $L'_{n,w} \leq 39$ dB, reduzindo a transmissão do ruído.	
Resistência ao fogo (Quanto mais atenuante, melhor)	<u>Caraterística:</u> Através de um revestimento intumescente, proporciona uma proteção máxima de 120 minutos contra fogos celulósicos. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Garante a sua capacidade resistente, mesmo que exposto ao fogo, durante 60 minutos (R60). <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Garante a sua capacidade resistente, mesmo que exposto ao fogo, durante 90 minutos (R90). <u>Vantagem:</u> Mais capacidade resistente do que Alternativa 1 e 2.	
Total de IoA:						

Findado o Passo 5 da metodologia CBA, as partes interessadas na tomada de decisão voltam a reunir-se para atribuir a IoA a cada um dos Fatores. Relembra-se que só uma das Vantagens pode apresentar a IoA igual a 100, a Vantagem “principal”. Avaliados todos os Fatores, apresenta-se a Tabela 5.20 que termina o Passo 6 da CBA. A análise dos resultados obtidos também se encontra no Capítulo da Análise de Resultados.

Tabela 5.20- Avaliação de IoA para cada Alternativa das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.

Fator (Critério)	Alternativa 1: Cantoneira	IoA	Alternativa 2: Cast-In+Cantoneira	IoA	Alternativa 3: Tronsole Tipo P	IoA
Coordenação de trabalho (Fluxo de trabalho é melhor)	<u>Caraterística:</u> Mais trabalhos de natureza diferente, como a furação, colocação do cartucho e colocação da cantoneira. <u>Vantagem:</u> Maior margem de erro do que a Alternativa 3.	50	<u>Caraterística:</u> Colocação das calhas de fixação na cofragem, que permitem ajuste das cotas caso haja erros na colocação. <u>Vantagem:</u> Maior margem de erro do que a Alternativa 1 e 3.	100	<u>Caraterística:</u> A colocação do negativo na cofragem exige que este fique na cota exata para posterior colocação da escada. <u>Vantagem:</u> -	
Segurança (Quanto mais seguro, melhor)	<u>Caraterística:</u> Necessita de andaimes para realizar as furações, trabalhos em altura. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Não necessita de andaimes. <u>Vantagem:</u> O negativo para o apoio está no núcleo das escadas.	50	<u>Caraterística:</u> O apoio, para entrar no negativo, obriga a que a escada entre inclinada. Esta manobra exige mais tempo e perigo no momento da colocação. <u>Vantagem:</u> -	
Sustentabilidade (Quanto menos desperdício, melhor)	<u>Caraterística:</u> Há desperdícios do cartucho da bucha química, corte de ferro, parafusos e coroa da caroteadora partem com facilidade. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Há menos desperdícios porque não são necessárias furações nem corte de materiais. <u>Vantagem:</u> Os desperdícios são menores que a Alternativa 1.	50	<u>Caraterística:</u> Há menos desperdícios porque não são necessárias furações nem corte de materiais. <u>Vantagem:</u> Os desperdícios são menores que a Alternativa 1.	50
Complexidade Técnica (Quanto menos exigente, melhor)	<u>Caraterística:</u> A marcação das cotas pode ser alterada facilmente. <u>Vantagem:</u> Menos complexa que a Alternativa 2 e 3.	50	<u>Caraterística:</u> A marcação de cotas permite ajustes pela calha de fixação vertical. <u>Vantagem:</u> Menos complexa que a Alternativa 3.	25	<u>Caraterística:</u> A marcação das cotas e a construção da cofragem tem de ser precisa. <u>Vantagem:</u> -	
Acabamentos (Quanto menos trabalho, melhor)	<u>Caraterística:</u> Depois de colocada a escada, não precisa de acabamentos. <u>Vantagem:</u> Menos trabalho que a Alternativa 3.	50	<u>Caraterística:</u> Depois de colocada a escada, não precisa de acabamentos. <u>Vantagem:</u> Menos trabalho que a Alternativa 3.	50	<u>Caraterística:</u> O negativo precisa de ser preenchido com grout. <u>Vantagem:</u> -	
Planeamento (Quanto mais rápido, melhor)	<u>Caraterística:</u> Exige tempo para preparação dos andaimes e furações. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Os negativos são colocados na cofragem do núcleo das escadas e ficam embutidos na parede. <u>Vantagem:</u> Exige menos tempo de preparação do que a Alternativa 1.	50	<u>Caraterística:</u> Os negativos são colocados na cofragem do núcleo das escadas e ficam embutidos na parede. <u>Vantagem:</u> Exige menos tempo de preparação do que a Alternativa 1.	50
Estética (Quanto menos à vista, melhor)	<u>Caraterística:</u> A cantoneira fica visível na face inferior da escada. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> A cantoneira fica visível na face inferior da escada. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> O apoio não é visível. <u>Vantagem:</u> Melhor que a Alternativa 1 e 2.	25
Isolamento acústico (Quanto mais resistente ao ruído, melhor)	<u>Caraterística:</u> O apoio não tem isolamento acústico. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> O apoio não tem isolamento acústico. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> O apoio possui isolamento acústico. <u>Vantagem:</u> O apoio tem resistência acústica com L'n,w ≤ 39 dB, reduzindo a transmissão do ruído.	50
Resistência ao fogo (Quanto mais atenuante, melhor)	<u>Caraterística:</u> Através de um revestimento intumescente, proporciona uma proteção máxima de 120 minutos contra fogos celulósicos. <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Garante a sua capacidade resistente, mesmo que exposto ao fogo, durante 60 minutos (R60). <u>Vantagem:</u> -		<u>Caraterística:</u> Garante a sua capacidade resistente, mesmo que exposto ao fogo, durante 90 minutos (R90). <u>Vantagem:</u> Mais capacidade resistente do que Alternativa 1 e 2.	75
Total de IoA:		150		325		250

Para terminar a aplicação da metodologia CBA, é fundamental avaliar os custos de cada Alternativa (Passo 7). Assim, foi recolhida informação relativa aos custos de cada solução de apoio e, no fim, calculado o custo final de cada solução. Os custos, para as soluções de apoio, foram divididos em quatro categorias, sendo estas os custos relativos a material, mão de obra, logística e fornecimentos. De notar que o custo final inclui o custo da Escada Pré-fabricada mais o custo da Alternativa em questão. A descrição dos custos e das avaliações de IoA será analisada, mais em detalhe, no Capítulo da Análise de Resultados.

Em primeiro lugar, apresentam-se os custos da Alternativa 1. Na Tabela 5.21 estão descritos os Fatores monetários tidos em consideração para o cálculo do custo total dos materiais, o seu custo e o peso no custo total de cada Fator monetário.

Tabela 5.21- Custo e peso no custo total dos materiais na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Quebra arestas	87 €	1
Ancoragem	1 220 €	9
Cantoneira	5 265 €	39
Parafusos e porcas	253 €	2
Bucha química	1 099 €	8
Pintura intumescente	752 €	6
Cera descofrante	81 €	1
Endurecedor	300 €	2
Madeiras para execução da Escada	578 €	4
Neoprene	271 €	2
Carotes	3 528 €	26
TOTAL Material	13 433 €	100

Continuando na Alternativa 1, a Tabela 5.22 considera os custos por hora de mão de obra para um Servente, Oficial e Encarregado Geral.

Tabela 5.22- Custo de mão de obra por hora.

Mão de obra	€/hora
Servente	10 €
Oficial	12 €
Encarregado Geral	19 €

Assim, os custos com mão de obra são apresentados na Tabela 5.23, onde se descreve as várias atividades que compõem o seu cálculo.

Tabela 5.23- Custo e peso no custo total da mão de obra na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Montagem de armadura	2 772 €	12
Colocação da cantoneira, parafusos e bucha química	903 €	4
Tratamento de cantoneiras	1 008 €	4
Produção Escadas	9 030 €	39
Manutenção e alteração de setup da máquina / limpeza integral	2 380 €	10
Colocação Escadas	2 814 €	12
Trabalhos de reparações	4 294 €	19
TOTAL Mão de Obra	23 201 €	100

Quanto aos custos da logística da Alternativa 1, a Tabela 5.24 resume-os.

Tabela 5.24- Custo e peso no custo total da logística na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Equipamentos	9 559 €	63
Gestão de stock	21 €	0,1
Amortização da máquina	3 297 €	22
Acompanhamento Departamento Técnico	2 310 €	15
TOTAL Logística	15 187 €	100

Por fim, os custos relativos ao fornecimento de materiais são apresentados na Tabela 5.25. Para o betão, foi considerado um desperdício de 1%, pelos motivos referidos anteriormente.

Tabela 5.25- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Espaçadores	1 190 €	4
Armadura	15 301 €	56
Betão	10 932 €	40
TOTAL Fornecimento	27 424 €	100

Descritos todos os custos referentes às Escadas Pré-fabricadas apoiadas em Cantoneira, é apresentada a Tabela 5.26 que pretende resumir os custos globais de cada Fator monetário e o seu peso no custo final.

Tabela 5.26- Resumo dos custos e peso no custo total dos Fatores monetários na solução de apoio Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cantoneira		
Fatores monetários	Custo Total (€)	Peso no Custo Total (%)
Material	13 433 €	17
Mão de obra	23 201 €	29
Logística	15 187 €	19
Fornecimentos	27 424 €	35
TOTAL	79 245 €	100

Na Alternativa 2, seguiu-se o mesmo raciocínio da Alternativa 1 e determinaram-se os custos dos materiais, mão de obra, logística e fornecimento. Como tal, apresenta-se a Tabela 5.27, que se refere aos Fatores monetários dos materiais.

Tabela 5.27- Custo e peso no custo total dos materiais na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cast-In+Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Quebra arestas	87 €	1
Ancoragem	1 220 €	10
Cantoneira	5 265 €	44
Pintura intumescente	752 €	6
Cera descofrante	81 €	1
Endurecedor	300 €	2
Madeira para execução da Escada	578 €	5
Cast-In	3 785 €	31
TOTAL Material	12 067 €	100

No que diz respeito aos custos de mão de obra, o custo por hora do Servente, Oficial e Encarregado Geral é exatamente igual ao aplicado na Alternativa 1, que consta na Tabela 5.22. Assim, os custos afetos aos Fatores monetários da mão de obra são apresentados na Tabela 5.28.

Tabela 5.28- Custo e peso no custo total da mão de obra na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cast-In+Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Montagem armadura	2 772 €	12
Colocação da cantoneira, parafusos e calha de fixação	903 €	4
Tratamento de cantoneiras	1 008 €	4
Produção Escadas	9 030 €	39
Manutenção e alteração de setup da máquina / limpeza integral	2 380 €	10
Colocação Escadas	2 814 €	12
Trabalhos de reparações	4 294 €	19
TOTAL Mão de Obra	23 201 €	100

Relativamente aos custos de logística, os custos obtidos para cada Fator monetário encontram-se na Tabela 5.29.

Tabela 5.29- Custo e peso no custo total da logística na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cast-In+Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Equipamentos	9 559 €	63
Gestão de stock	21 €	0,1
Amortização da máquina	3 297 €	22
Acompanhamento Departamento Técnico	2 310 €	15
TOTAL Logística	15 187 €	100

Por último, os custos relativos ao fornecimento de materiais para a Alternativa 2 são apresentados na Tabela 5.30. Para o betão, uma vez mais, foi considerado um desperdício de 1%.

Tabela 5.30- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cast-In+Cantoneira		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Espaçadores	1 190 €	4
Armadura	15 301 €	56
Betão	10 932 €	40
TOTAL Fornecimento	27 424 €	100

A Tabela 5.31 resume os custos totais calculados para a Alternativa 2, o peso de cada Fator monetário no custo final e o custo final da Escada Pré-fabricada mais o apoio Cast-In+Cantoneira.

Tabela 5.31- Resumo dos custos e peso no custo total dos Fatores monetários na solução de apoio Cast-in+Cantoneira, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Cast-In+Cantoneira		
Fatores monetários	Custo Total (€)	Peso no Custo Total (%)
Material	12 067 €	15
Mão de obra	23 201 €	30
Logística	15 187 €	20
Fornecimentos	27 424 €	35
TOTAL	77 879 €	100

Passando para a última solução de apoio, a Alternativa 3 replica o raciocínio aplicado nas Alternativas anteriores. Com base nisto, apresentam-se os Fatores monetários que entraram para o cálculo do custo dos materiais, descritos na Tabela 5.32.

Tabela 5.32- Custo e peso no custo total dos materiais na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Tronsole Tipo P		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Quebra arestas	87 €	0,3
Ancoragem	1 220 €	5
Cera descofrante	81 €	0,3
Madeiras para execução da escada	578 €	2
Tronsole Tipo P	22 154 €	88
Grout	1 121 €	4
TOTAL Material	25 240 €	100

Para o cálculo do custo da mão de obra, uma vez mais, o custo por hora da mão de obra é igual ao da Tabela 5.22. Assim, apresenta-se a Tabela 5.33 que mostra os Fatores monetários tidos em conta no cálculo dos custos de mão de obra da Alternativa 3.

Tabela 5.33- Custo e peso no custo total da mão de obra na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Tronsole Tipo P		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Montagem armadura	2 772 €	12
Colocação apoios	504 €	2
Colocação grout	2 184 €	9
Produção Escadas	9 030 €	38
Manutenção e alteração de setup da máquina / limpeza integral	2 380 €	10
Colocação Escadas	2 814 €	12
Trabalhos de reparações	4 294 €	18
TOTAL Mão de Obra	23 978 €	100

No que se refere ao cálculo do custo dos Fatores monetários da logística, estes estão explanados na Tabela 5.34.

Tabela 5.34- Custo e peso no custo total da logística na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Tronsole Tipo P		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Equipamentos	9 559 €	63
Gestão de stock	21 €	0,1
Amortização da máquina	3 297 €	22
Acompanhamento Departamento Técnico	2 310 €	15
TOTAL Logística	15 187 €	100

Para terminar a descrição dos custos da Alternativa 3, falta apresentar a Tabela 5.35, que diz respeito aos custos de fornecimento de materiais. Considerou-se, de novo, um desperdício de betão igual a 1%.

Tabela 5.35- Custo e peso no custo total do fornecimento de materiais na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Tronsole Tipo P		
Fatores monetários	Custo (€)	Peso no Custo Total (%)
Espaçadores	1 190 €	4
Armadura	15 301 €	56
Betão	10 932 €	40
TOTAL Fornecimento	27 424 €	100

Por fim, apresenta-se a Tabela 5.36 que junta os custos dos materiais, mão de obra, logística e fornecimentos, o seu peso no custo total da Escada Pré-fabricada apoiada na solução Tronsole Tipo P e o custo final desta solução.

Tabela 5.36- Resumo dos custos e peso no custo total dos Fatores monetários na solução de apoio Tronsole Tipo P, em Escadas Pré-fabricadas.

Escadas Pré-fabricadas		
Solução de Apoio: Tronsole Tipo P		
Fatores monetários	Custo Total (€)	Peso no Custo Total (%)
Material	25 240 €	27
Mão de obra	23 978 €	26
Logística	15 187 €	17
Fornecimentos	27 424 €	30
TOTAL	91 829 €	100

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste Capítulo pretende avaliar-se os resultados obtidos na comparação realizada através da metodologia CBA à comparação, numa primeira fase, das Escadas Tradicionais com as Escadas Pré-fabricadas e, depois, à comparação das três soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.

A IoA atribuída a cada uma das Tabela 5.4 e Tabela 5.20 foi realizada com base na experiência e conhecimento empírico de cinco Engenheiros, pertencentes ao Grupo Casais e CNT Europe e, no início da discussão, foi decidido que se adotaria a escala de IoA de quartis (0, 25, 50 e 100), dado que existiam alguns Fatores em consideração e para garantir que se distinguam as Características de nível médio (50 e 75), como sugere Besiktepe, D. et al. [110].

No fim de cada comparação (Passo 6), calcularam-se os custos (Passo 7) das Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas e, depois, os custos das soluções de apoio, que englobam o custo das Escadas. De modo a facilitar o cálculo dos custos, considerou-se que todas as escadas tinham 9 degraus e que o total de lanços de escadas correspondia a 42 (21 no núcleo dois e 21 no núcleo três).

6.1 Resultados obtidos pela CBA na comparação das Escadas Tradicionais *versus* Escadas Pré-fabricadas

De forma a analisar detalhadamente os resultados da metodologia CBA na comparação das Escadas Tradicionais com as Escadas Pré-fabricadas, inicialmente serão analisados os resultados apresentados na Tabela 5.4, que compara ambas as Alternativas e corresponde aos Passos 1-6 da metodologia e, de seguida, realizar-se-á uma comparação dos custos obtidos para, finalmente, elaborar o gráfico que relaciona a IoA com os custos obtidos podendo, assim, concluir o Passo 7 da metodologia e decidir qual a melhor Alternativa neste Estudo para o Hotel B&B Gaia.

Assim, em primeiro lugar, foi decidido que a Vantagem principal e que recebia a IoA igual a 100 era a Alternativa das Escadas Pré-fabricadas, no Fator “Planeamento (Quanto mais rápido melhor)”, sendo a sua Vantagem “Mais rápido do que a Alternativa 1, permite um planeamento mais preciso e antecipação de trabalhos”. Esta Vantagem vai de encontro ao que a literatura refere como sendo uma das principais vantagens da pré-fabricação, a possibilidade de poder reduzir a duração da construção e, neste caso, a duração da construção das Escadas. Como diz o ditado “tempo é dinheiro” e, ao estar a

reduzir o tempo de construção das Escadas, está-se a reduzir a duração global da obra, o que resulta numa diminuição dos custos finais da obra.

A “Coordenação de Trabalhos” de Escadas Pré-fabricadas foi avaliada com IoA igual a 75 porque, uma vez mais, a pré-fabricação permite reduzir a quantidade de mão de obra necessária para construir o mesmo elemento na mesma (ou menor) duração que a construção tradicional, diminuindo assim os custos com mão de obra. Para além disso, o fluxo de trabalho torna-se mais eficiente porque há menos trabalhadores envolvidos na produção das Escadas, reduzindo a necessidade de coordenação dos trabalhos, dado que para a produção das Escadas Pré-fabricadas basta um Oficial a realizar todas as atividades.

A “Mão de Obra Especializada” de Escadas Pré-fabricadas foi avaliada com IoA igual a 75, tendo sido uma das Características que esteve em discussão para ser considerada como Vantagem principal. A produção de Escadas Tradicionais é complexa, visto que a arte de cofrar uma Escada exige prática e experiência, não sendo algo que se aprenda com facilidade. Atualmente, há escassez de mão de obra especializada e este é um dos principais problemas da construção em Portugal. A pré-fabricação reduz a necessidade de mão de obra especializada porque a produção das Escadas é realizada em fábrica e por uma máquina própria para a sua produção, ficando apenas um Oficial responsável por operar a máquina e, após a produção de algumas Escadas, o Oficial está familiarizado com o processo e confortável com o manuseio da máquina. Assim, reduz-se a necessidade de mão de obra especializada e, consequentemente, os custos com mão de obra.

As “Condições de Trabalho” foram consideradas mais vantajosas nas Escadas Pré-fabricadas, dado que os trabalhadores não estão expostos ao frio e calor, à chuva, vento e humidades indesejadas, pois encontram-se num ambiente fabril, abrigados das condições exteriores. Esta Vantagem foi avaliada com uma IoA igual a 25 pelos Engenheiros.

Quanto à “Segurança” dos trabalhadores, as Escadas Pré-fabricadas acabaram por receber a IoA igual a 25, por serem consideradas mais vantajosas do ponto de vista de mitigação de riscos, visto serem produzidas em ambientes controlados e existirem menos trabalhos em altura. No entanto, esta avaliação é baixa porque, no momento de colocação das Escadas Pré-fabricadas no núcleo de escadas, existe a movimentação das Escadas com recurso a grua e, caso aconteça algum erro durante este processo, as consequências podem ser mais graves do que na construção tradicional. A Figura 6.1 ilustra o que acabou de ser descrito.



Figura 6.1- Colocação das Escadas Pré-fabricadas no núcleo de escadas.

Chegados à “Flexibilidade do Projeto”, a Vantagem foi para as Escadas Tradicionais, com uma avaliação de IoA igual a 50. Em Portugal, não sendo isto o mais correto, é comum existirem pedidos de alteração ao projeto durante o decorrer da obra, havendo necessidade de alterar o que já estava outrora decidido. As Escadas Tradicionais revelam-se mais flexíveis neste Fator porque permitem alterações tardias ao projeto, enquanto as Escadas Pré-fabricadas não permitem alterações após início da obra.

Relativamente à “Produção”, a Vantagem recai para as Escadas Pré-fabricadas porque a produção é standardizada e em massa, possibilitando, assim, a otimização do planeamento e a redução de atrasos em obra, bem como custos extra com retrabalhos. A pré-fabricação permite, ainda, que a produção das Escadas em fábrica seja realizada em simultâneo com a construção em estaleiro, mas independente uma da outra. Por isso, foi atribuída uma IoA igual a 50 no fator da Produção.

O “Controlo da betonagem” é considerado um momento crítico na construção. Se, em obra, não estiverem reunidas as condições necessárias para a betonagem, esta não pode ocorrer. Ao realizar a betonagem em fábrica, esta pode ocorrer independentemente das condições meteorológicas que se registem no exterior. Isto resulta em que não ocorram atrasos no planeamento da obra, podendo a produção dos elementos seguir o seu decurso normal e, assim, não ter prejuízos com atrasos. Por isso, a Vantagem das Escadas Pré-fabricadas recebeu uma IoA igual a 75.

No que diz respeito ao “Controlo de Qualidade”, a Vantagem foi colocada nas Escadas Pré-fabricadas com um valor de IoA igual a 75. Este controlo é realizado mais fácil e eficazmente na pré-fabricação porque se sabe exatamente os materiais que foram usados na produção do elemento. Na pré-fabricação das Escadas, cada uma delas é etiquetada com a obra onde vão ser colocadas, o núcleo, o número da escada, data de produção e lote dos materiais utilizados.

Em relação aos “Acabamentos”, uma Escada Tradicional precisa de acabamentos para corrigir as imperfeições da superfície, havendo necessidade de aplicar betonilha de regularização e reboco para dar um aspeto liso e uniforme à superfície das Escadas. Isto resulta em custos acrescidos que, como se poderá ver adiante na análise de custos, encarece bastante o custo final das Escadas Tradicionais. Pelo contrário, as Escadas Pré-fabricadas, após serem descofradas, saem com a superfície lisa e uniforme, permitindo que esta fique em betão à vista e não sejam necessários acabamentos. Assim, eliminam-se os trabalhos adicionais com acabamentos e, por isso, a Vantagem foi avaliada com uma IoA igual a 75.

Atualmente, a “Sustentabilidade” é um dos temas mais discutidos a nível mundial e a construção tem uma grande importância nas reduções de GEE até 2030 e 2050, como referido no Capítulo 2. As Escadas Pré-fabricadas permitem a utilização de cofragens recuperáveis industrializadas, que são compostas por materiais que admitem um elevado número de reutilizações, fáceis de limpar e permitem uma rápida e fácil montagem e desmontagem da cofragem, o que não acontece com as Escadas Tradicionais, que utilizam cofragem tradicional de madeira e só permitem 3 a 8 utilizações por conjunto de cofragem. Dado se tratar de um projeto em que há 42 lanços de escadas distribuídas pelos dois núcleos, acaba por se tornar dispendioso estar a usar vários conjuntos de cofragem tradicional de madeira. Para além disso, há desperdícios na ordem dos 5% com a colocação de betonilha, reboco, cola e revestimento cerâmico nas Escadas Tradicionais, bem como no corte de aço e betonagem da peça. Dito isto, a Vantagem das Escadas Pré-fabricadas torna-se clara, recebendo uma IoA igual a 75.

Por fim, o “Transporte” tem como Vantagem as Escadas Tradicionais, sendo avaliada com uma IoA igual a 75. Na pré-fabricação, os elementos são produzidos fora da obra e, por vezes, a fábrica encontra-se a dezenas (quando não são centenas) de quilómetros de distância do estaleiro de obra, podendo resultar em custos avultados para a construtora, em atrasos na entrega dos elementos e, ainda, aumentando as emissões de GEE para a atmosfera. Neste Fator, é crucial reduzir-se ao máximo a distância percorrida entre o local de produção das Escadas e a obra, de forma a reduzir custos, emissões e atrasos. Visto que as Escadas Tradicionais são produzidas *in situ*, não necessitam de transportes adicionais.

Somadas as IoA de cada Alternativa, obteve-se um total de 125 pontos para as Escadas Tradicionais e um total de 650 pontos para as Escadas Pré-fabricadas, como se pode constatar na Tabela 6.1.

Tabela 6.1- Total de IoA para cada uma das Alternativas das Escadas.

	Alternativa 1	Alternativa 2
	Escadas Tradicionais	Escadas Pré-fabricadas
Total de IoA	125	650

Agora, resta analisar os custos de cada uma das Alternativas. Quanto às Escadas Tradicionais, observa-se que os custos dos Fatores monetários relativos aos materiais totalizam 60.923,91€ e que o custo da betonilha, cola e revestimento cerâmico representa 70,8% do custo total dos materiais, como se pode observar na Tabela 5.5. Isto corrobora o que foi dito anteriormente, os acabamentos têm um peso muito significativo tanto no custo total dos materiais, como no custo final das Escadas Tradicionais.

Se considerarmos o custo dos acabamentos no custo total das Escadas Tradicionais, os acabamentos representam cerca de 40% do custo final das Escadas.

No que diz respeito à diferença de custos com material entre as Escadas Tradicionais e Escadas Pré-fabricadas, facilmente se conclui que as Escadas Tradicionais custam mais 58.958,53€ do que as Pré-fabricadas, como se pode observar na Tabela 6.2.

Tabela 6.2- Resumo do custo dos materiais nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Escada	Fator monetário	Custo Total (€)	Δ Custo (€)
Tradicional	Material	60 924 €	58 959 €
Pré-fabricada		1 965 €	

Passando para os custos que se referem à mão de obra, as Escadas Tradicionais acabam por ser mais baratas do que as Escadas Pré-fabricadas, sendo possível poupar 5.908,00€ em mão de obra, como se pode observar na Tabela 6.3. Isto deve-se ao facto de a mão de obra, nas Escadas Pré-fabricadas, considerar a manutenção e alteração de setup da máquina (setup refere-se à troca do número de degraus ou dimensões dos patamares e degraus) ou limpeza integral da máquina e ainda a colocação das Escadas Pré-fabricadas em obra. Se somarmos estes dois custos, 2.380,00€+2.814,00€= 5.194,00€, verifica-se que a diferença de custos pode ser justificada por aqui. Não obstante, a produção de Escadas Pré-fabricadas representa 42,4% (ver Tabela 5.13) dos custos de mão de obra, enquanto os custos de produção das Escadas Tradicionais estão diluídos pelos vários Fatores monetários que compõem o custo final.

Tabela 6.3- Resumo do custo da mão de obra nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Escada	Fator monetário	Custo Total (€)	Δ Custo (€)
Tradicional	Mão de obra	15 382 €	-5 908 €
Pré-fabricada		21 290 €	

Ao comparar os custos de logística de ambas as Alternativas, percebe-se que as Escadas Pré-fabricadas são 12.877,30€ mais caras do que as Escadas Tradicionais, como se pode verificar na Tabela 6.4. Nas Escadas Pré-fabricadas, os Fatores monetários da logística têm em consideração o aluguer e utilização de guias e transportadoras das Escadas (Equipamentos) e ainda consideram a amortização da máquina. Nas Escadas Tradicionais, apenas foi considerado o custo do acompanhamento do Departamento Técnico.

Tabela 6.4- Resumo do custo da logística nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Escada	Fator monetário	Custo Total (€)	Δ Custo (€)
Tradicional	Logística	2 310 €	-12 877 €
Pré-fabricada		15 187 €	

Considerando que a máquina acabará por ter um retorno sobre o investimento à medida que forem produzidas Escadas Pré-fabricadas, mais tarde ou mais cedo atingir-se-á o “break even point”,

onde a máquina deixa de ser paga e começa a dar lucro à empresa. A partir desse momento, este Fator monetário desaparece dos custos de logística das Escadas Pré-fabricadas, diminuindo, assim, os custos finais.

Quanto à comparação dos custos de fornecimento de materiais, na Tabela 6.5 verifica-se que há uma diferença residual de custos, 1.456,33€. A diferença reside na consideração dos desperdícios de 5% no betão e na armadura, resultante do corte e sobras de aço, para as Escadas Tradicionais, enquanto para as Escadas Pré-fabricadas foi considerado um desperdício de 1% no betão.

Tabela 6.5- Resumo do custo do fornecimento de materiais nas Escadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Escada	Fator monetário	Custo Total (€)	Δ Custo (€)
Tradicional	Fornecimento	28 880 €	1 456 €
Pré-fabricada		27 424 €	

Por fim, faz-se uma comparação entre as Escadas Tradicionais e Escadas Pré-fabricadas, que resume todos os pesos no custo total de cada Fator monetário, na Figura 6.2. Como se pode verificar, para as Escadas Tradicionais, os maiores custos encontram-se nos materiais, enquanto nas Escadas Pré-fabricadas encontra-se no fornecimento dos materiais.

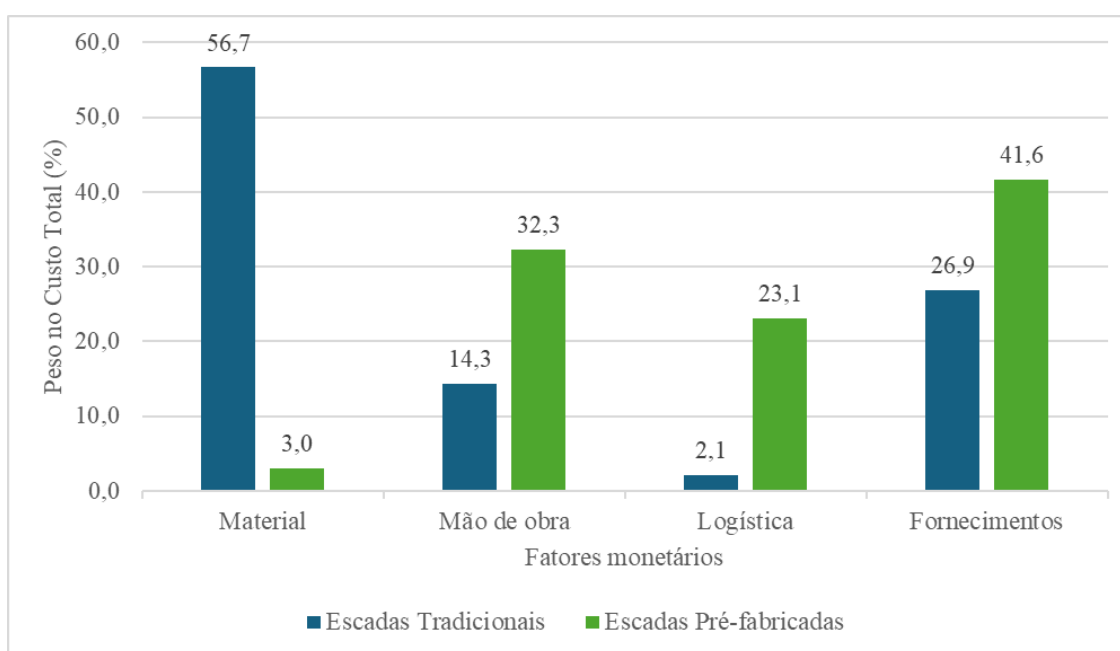


Figura 6.2- Gráfico comparativo do peso no custo total dos Fatores monetários nas Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas.

Para terminar a aplicação da metodologia CBA, resta apresentar o gráfico que relaciona o somatório de IoA e os custos totais das Escadas de cada Alternativa. Assim, apresenta-se os valores para cada uma das Alternativas na Tabela 6.6.

Tabela 6.6- Resumo dos dados relativos às Escadas para elaboração do gráfico da CBA.

	Custo Total	IoA
Escadas Tradicionais	107 496 €	125
Escadas Pré-fabricadas	65 866 €	650

Com base nestes valores, é possível traçar o gráfico (Passo 7) que encerra a aplicação da metodologia. Como se pode ver pela Figura 6.3, no eixo x encontra-se o custo total de cada Escada e no eixo y encontra-se o somatório de IoA de cada Escada.

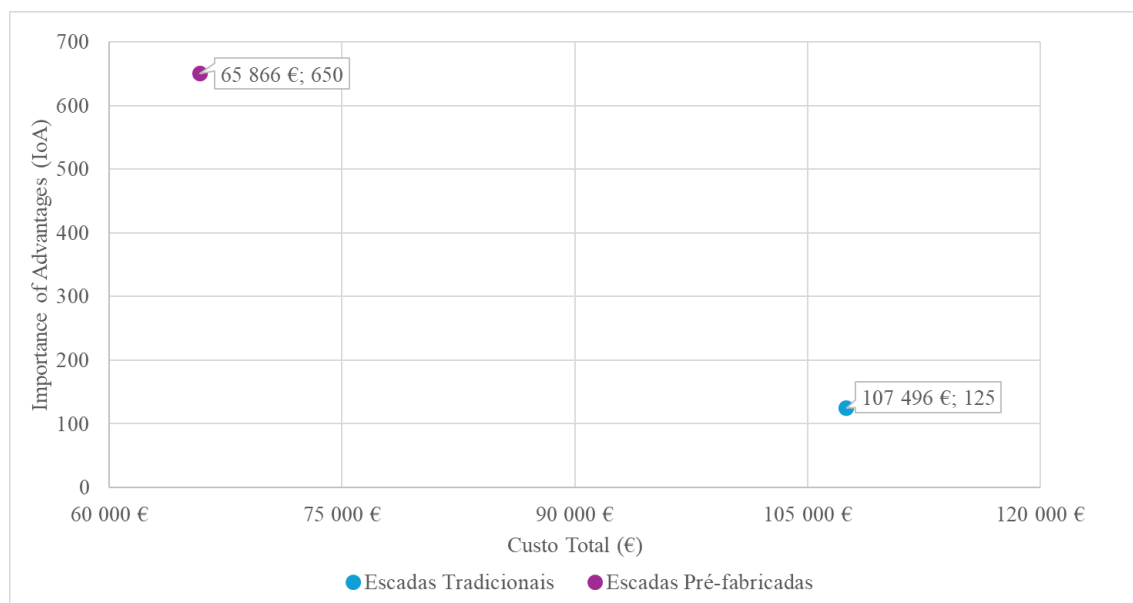


Figura 6.3- Gráfico Custo-Benefício da aplicação da CBA à comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas.

Uma Alternativa é tanto melhor quanto mais próxima da origem do eixo x (custo) e quanto mais afastada da origem do eixo y (IoA) se encontrar. Como se pode observar pela Figura 6.3, conclui-se que a melhor Alternativa para o projeto em Estudo são as Escadas Pré-fabricadas, porque são aquelas que apresentam o menor custo e a maior IoA.

6.2 Resultados obtidos pela CBA na comparação das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas

Obtida a melhor Alternativa para as Escadas, agora pretende-se avaliar qual a melhor solução de apoio entre as três em Estudo: Cantoneira, Cast-In+Cantoneira e Tronsole Tipo P. Para isso, segue-se uma comparação tal como foi feita para as Escadas.

Para completar o Passo 6 da metodologia, elegeu-se a Vantagem principal, aquela que os Engenheiros consideraram ter a maior importância (recorde-se que se adotou a escala de quartis). Assim, a Vantagem principal escolhido foi para a Alternativa 2 (Cast-In+Catoneira), no Fator “Coordenação de

Trabalho”, ficando com a IoA igual a 100. A justificação para esta escolha deve-se a que, na Alternativa 3, no momento de cofrar as paredes do núcleo de escada, o negativo onde o apoio vai apoiar tem de ficar na cota exata, havendo muito pouca margem para erro. Caso haja erro na colocação do negativo, pode resultar em trabalhos extra, como a reposição do negativo, acabando em custos extra e momento de perigo na colocação da escada, visto que a escada estaria suspensa pela grua enquanto o reposicionamento do negativo não fosse resolvido. A Alternativa 1 acaba por ser mais vantajosa do que a Alternativa 3 porque, caso as furações estejam na cota errada, corrige-se com mais facilidade a furação. No entanto, é importante referir que a Alternativa 1 tem mais atividades a realizar na colocação do apoio do que qualquer uma das outras Alternativas. Assim, a Alternativa 2 é a que tem a maior Vantagem das três, dado que a calha de fixação é colocada na vertical, na cofragem das paredes do núcleo de escadas (como se se tratasse de um negativo). Ao posicionar a calha na vertical, esta tem cerca de 15 centímetros, o que permite ajustar a cota da escada caso se verifiquem erros na colocação da calha. Por isso, esta Alternativa recebe a IoA de 100.

Passando à “Segurança”, a Alternativa 1 torna necessário o uso de andaimes e trabalhos em altura para realização das furações e a Alternativa 3 obriga a que a escada entre inclinada no núcleo de escadas, para posteriormente poder entrar no negativo da parede do núcleo, sendo este momento considerado de perigo e atenção por parte dos trabalhadores envolvidos. Por isso, a Alternativa 2 é a mais vantajosa e recebe uma IoA igual a 50 porque não necessita de andaimes nem trabalhos em altura e, no momento de apoiar a escada na cantoneira (que é suportada pela calha de fixação e parafusos), esta entra sem estar inclinada.

Uma vez mais, a “Sustentabilidade” é tida em consideração, dada a sua importância atual e na descoberta de novas soluções. A Alternativa 1 desperdiça o cartucho da bucha química que é inserido na furação pela caroteadora, o corte do aço pela caroteadora no momento da furação, os parafusos e coroas da caroteadora que partem com facilidade quando são utilizados. Aqui, a Alternativa 2 e 3 são avaliadas com IoA igual a 50 nas suas Vantagens, dado que eliminam os desperdícios que acontecem na Alternativa 1.

Quanto à “Complexidade Técnica”, considerou-se a complexidade de marcação das cotas e o seu possível ajuste. Na Alternativa 3, a marcação das cotas tem de ser precisa e não deixa margem para erro, assim como o negativo na cofragem. É, por isso, uma atividade exigente do ponto de vista técnico. A Alternativa 2 também exige que a marcação das cotas seja precisa, mas a calha de fixação vertical tem uma altura de 15 centímetros, que permite ajustar as cotas e, por isso, é mais vantajosa do que a Alternativa 3 e recebe uma IoA igual a 25. Por último, a Alternativa 1 é a menos exigente das três porque as furações na parede podem ser alteradas, dado que basta fazer uma nova furação (não é tido em consideração os desperdícios de material nem os retrabalhos neste Fator). Assim, a Alternativa 1 recebe a maior IoA deste Fator, 50.

Relativamente aos “Acabamentos”, a Alternativa 1 e 2 recebem a IoA igual a 50 porque, relativamente à Alternativa 3, não necessitam de acabamentos. A Alternativa 3, após ter a escada colocada no negativo, precisa de preencher o negativo com grout para garantir que o negativo fica fechado e que o apoio não se move após a colocação da escada.

No que se refere ao “Planeamento”, a Alternativa 1 exige mais tempo de preparação do que a Alternativa 1 e 2 porque exige a preparação e colocação dos andaimes e as furações para todas as

Cantoneiras levam tempo, daí esta Alternativa não receber IoA. Tanto a Alternativa 2 como a Alternativa 3 são idênticas neste Fator, dado que são soluções colocadas na cofragem da escada e precisam de menos preparação a montante, recebendo ambas uma IoA igual a 50.

Em termos de “Estética”, acaba por se tornar relevante avaliar o aspeto visual que a solução de apoio transmite ao utilizador das escadas. Tanto a Alternativa 1 como a Alternativa 2 têm cantoneiras na sua solução de apoio e esta é visível na face inferior dos patamares. Como a Alternativa 3 fica com o apoio embutido no negativo da parede, este não é visível ao utilizador. Foi então decidido que a Alternativa 3 era avaliada com IoA igual a 25.

No que diz respeito ao “Isolamento acústico”, tanto a Alternativa 1 como a Alternativa 2 não possuem isolamento acústico. A Alternativa 3 possui isolamento acústico na sua solução de apoio, reduzindo o nível sonoro devido à percussão. Esta solução impede que o impacto sonoro produzido pelos utilizadores ao subir e descer as escadas seja transmitido para o interior dos quartos ou corredores, visto que o isolamento acústico no apoio cria uma barreira às vibrações. Assim, a Vantagem da Alternativa 3 foi avaliada com uma IoA igual a 50. Para além do apoio, ainda seria possível colocar uma membrana (Tronsole Tipo L) em torno das faces da escada para diminuir ainda mais o impacto acústico, mas essa membrana não foi tida em consideração para este Estudo.

Por fim, para completar a avaliação da Tabela, o Fator “Resistência ao fogo” foi tido em consideração e a única Alternativa a receber avaliação foi a Alternativa 3. Neste Fator, considera-se de extrema importância dar tempo aos utilizadores para conseguirem abandonar o edifício através das escadas, garantindo que o podem fazer em condições de segurança, em caso de incêndio. A Alternativa 1, apesar de ter resistência ao fogo, tem resistência a fogos celulósicos, que são fogos que têm como combustível celulose, tais como a madeira e papel. Como se trata de um edifício com finalidade hoteleira e dado tratar-se de um núcleo de escadas, este problema não existe. A Alternativa 2 tem uma capacidade de resistência ao fogo R60, ou seja, o apoio garante o suporte da carga durante 60 minutos. Já a Alternativa 3, tem classe R90, o que garante 90 minutos de suporte de carga e, por isso, recebe a IoA igual a 75.

Concluindo, a avaliação do Passo 6 da metodologia CBA resultou num somatório de IoA, em que a Alternativa 1 recebeu 150 pontos, a Alternativa 2 foi avaliada em 325 pontos e a Alternativa 3 ficou com 250 pontos, como se pode verificar na Tabela 6.7. Por isso, pela avaliação das Vantagens, a Alternativa 2 é, para já, a eleita para aplicação neste Estudo. Para completar a metodologia, falta avaliar os custos de cada Alternativa. Relembra-se que os custos das soluções de apoio englobam os custos das Escadas Pré-fabricadas.

Tabela 6.7- Total de IoA para cada uma das Alternativas das soluções de apoio para Escadas.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Cantoneira	Cast-In+Cantoneira	Tronsole Tipo P
Total de IoA	150	325	250

Em primeiro lugar, de forma a comparar os custos dos materiais, apresenta-se a Tabela 6.8. Aqui, podemos verificar que a solução como maior custo é a Alternativa 3 (Tronsole Tipo P) porque o Fator monetário da solução de apoio representa 87,8% do custo total dos materiais desta solução (ver

Tabela 5.32). Pela Tabela 6.8 também é possível verificar que, comparando a Alternativa 3 à Alternativa 2 (Cast-in+Cantoneira) há uma diferença de custos de materiais de 13.172,82€ e, comparando a Alternativa 3 com a Alternativa 1 (Cantoneira) existe uma diferença de custos de materiais de 11.806,95€. Como se poderá ver de seguida, a grande diferença de custos entre as três Alternativas encontra-se aqui.

Tabela 6.8- Resumo do custo dos materiais nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Escadas Pré-fabricadas			
Solução de apoio	Fator monetário	Custo total (€)	Δ Custo (€)
Cantoneira	Material	13 433 €	11 807 €
Cast-in+Cantoneira		12 067 €	13 173 €
Tronsole Tipo P		25 240 €	-

Seguindo para os custos que têm em consideração a mão de obra das três soluções de apoio, a Tabela 6.9 mostra que, uma vez mais, a Alternativa 3 é a que apresenta maiores custos de mão de obra, 23.978,00€. Tanto a Alternativa 1 como a Alternativa 2 têm o mesmo custo de mão de obra porque os Fatores monetários são os mesmos, dadas as similaridades entre as soluções de apoio. Relativamente à diferença de custos, a Alternativa 3 é 777,00€ mais cara do que a Alternativa 1 e 2.

Tabela 6.9- Resumo do custo da mão de obra nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Escadas Pré-fabricadas			
Solução de apoio	Fator monetário	Custo total (€)	Δ Custo (€)
Cantoneira	Mão de obra	23 201 €	777 €
Cast-in+Cantoneira		23 201 €	777 €
Tronsole Tipo P		23 978 €	-

Continuando a comparação dos custos, segue-se os custos relativos aos Fatores monetários da logística. Na Tabela 6.10, verifica-se que os custos totais são iguais para as três Alternativas e, consequentemente, não há diferenças nos custos da logística.

Tabela 6.10- Resumo do custo da logística nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Escadas Pré-fabricadas			
Solução de apoio	Fator monetário	Custo total (€)	Δ Custo (€)
Cantoneira	Logística	15 187 €	0 €
Cast-in+Cantoneira		15 187 €	0 €
Tronsole Tipo P		15 187 €	-

Por fim, os custos que se referem ao fornecimento de materiais para cada uma das soluções de apoio estão presentes na Tabela 6.11. Como se pode observar, os custos do fornecimento dos materiais são os mesmos para as três soluções de apoio porque os Fatores monetários que compõem cada uma das

Alternativas são os mesmos, neste caso, o fornecimento de espaçadores, aço e betão para produção das Escadas Pré-fabricadas, não havendo, assim, diferenças de custos a assinalar.

Tabela 6.11- Resumo do custo do fornecimento de materiais nas soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas e diferença de custos entre as Alternativas.

Solução de apoio	Escadas Pré-fabricadas		
	Fator monetário	Custo total (€)	Δ Custo (€)
Cantoneira	Fornecimento	27 424 €	0 €
Cast-in+Cantoneira		27 424 €	0 €
Tronsole Tipo P		27 424 €	-

Por último, realiza-se uma comparação entre todos os pesos nos custos totais dos Fatores monetários tidos em consideração neste Estudo para as três soluções de apoio, presentes na Figura 6.4.

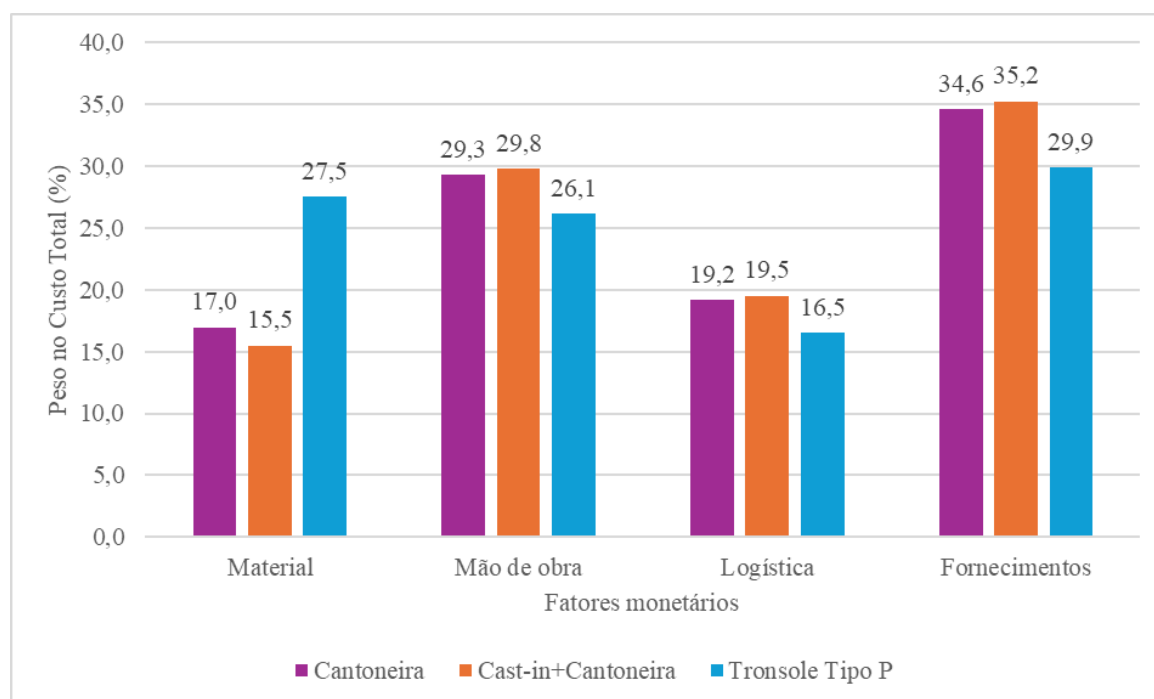


Figura 6.4- Gráfico comparativo do peso no custo total dos Fatores monetários das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.

Em suma, é possível constatar o seguinte:

- Os maiores custos encontram-se no fornecimento de materiais para produção das Escadas Pré-fabricadas, nas três Alternativas;
- No Fator monetário referente aos materiais, existe uma grande diferença no peso dos custos totais entre a solução de apoio Tronsole Tipo P e as outras duas soluções. Esta diferença justifica-se no custo da solução de apoio, como se pode verificar na Figura 6.5. Ao analisar apenas o custo das soluções de apoio, observa-se que:
 - Considerando só os custos que compõem a solução de apoio, a solução mais cara é a Tronsole Tipo P (22.154,16€), seguida da Cantoneira (10.897,24€) e, a mais barata, Cast-in+Cantoneira (9.802,00€);

- Se excluirmos a solução de apoio do custo total dos materiais, verifica-se a mesma ordem do mais caro para o mais barato, mas a diferença de custos entre as Alternativas baixa consideravelmente;
- Todas as soluções de apoio têm uma percentagem considerável no custo dos materiais. A solução Tronsole Tipo P é a que tem a maior percentagem de custo nos materiais, quase 88%, enquanto a Cantoneira e Cast-in+Cantoneira têm valores semelhantes, a rondar os 81%. Isto significa que a solução de apoio é uma parcela significativa do custo total dos materiais.

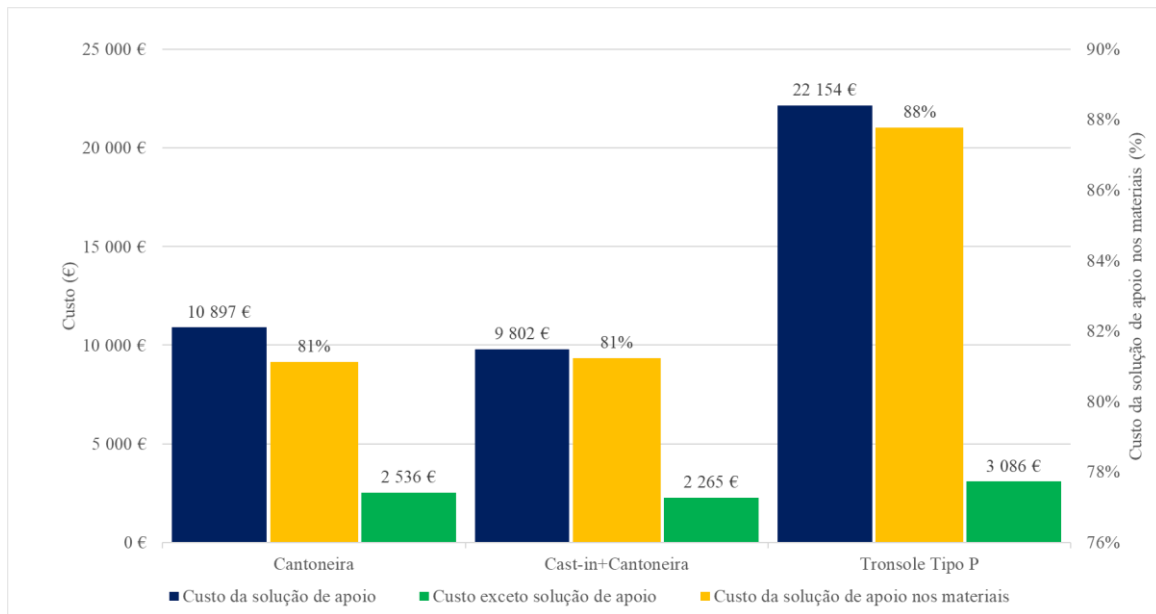


Figura 6.5- Gráfico para comparação do custo da solução de apoio, custo dos materiais exceto solução de apoio e peso do custo da solução de apoio nos materiais, para Escadas Pré-fabricadas.

Para terminar a aplicação da metodologia CBA e a comparação das soluções de apoio em Estudo, é necessário completar o Passo 7, onde se traça o gráfico que compara o somatório da IoA com os custos das Alternativas. A Figura 6.6 que se apresenta de seguida, permite tirar as últimas conclusões relativamente às soluções de apoio para as Escadas Pré-fabricadas. Relembra-se que, no caso do projeto em Estudo, quanto mais próximo da origem do eixo x e mais afastado do eixo y, melhor é a solução.

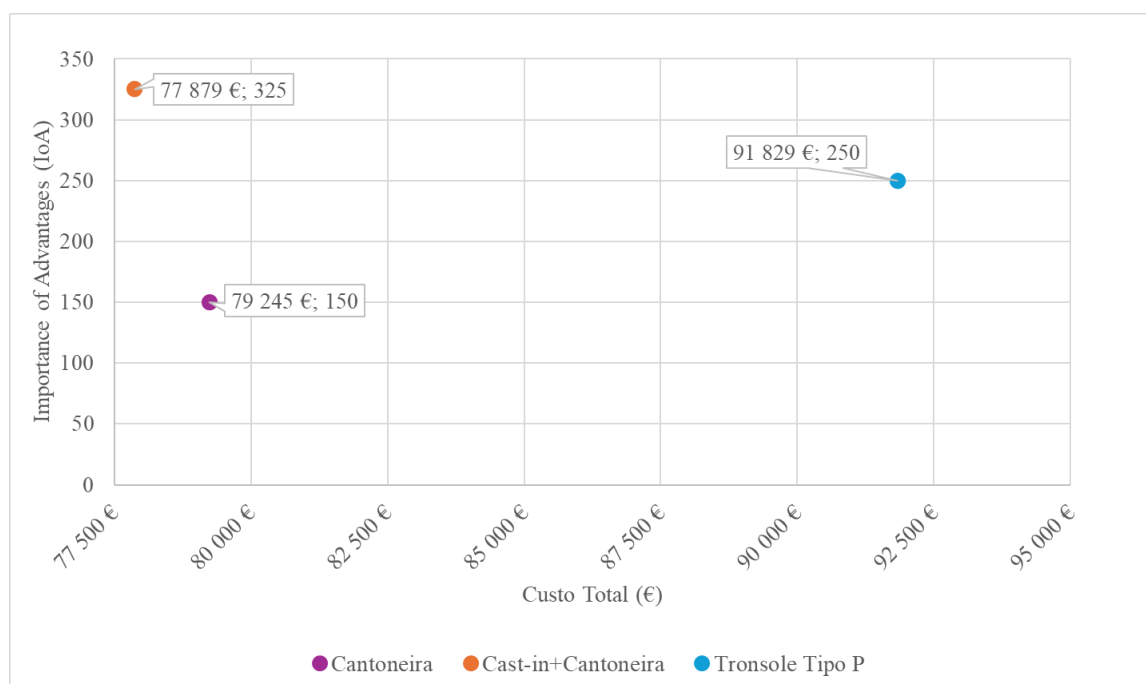


Figura 6.6- Gráfico Custo-Benefício da aplicação da CBA à comparação das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas.

Assim, conclui-se que a melhor solução para este projeto são Escadas Pré-fabricadas apoiadas na solução Cast-in+Cantoneira. Como se pode verificar pela Figura 6.6, a solução Cast-in+Cantoneira é a que apresenta menores custos e maior IoA e, por isso, é a solução recomendada para este projeto. Também é importante referir o seguinte:

- Apesar da solução de apoio Cast-in+Cantoneira ser, teoricamente, a melhor solução para este Estudo, esta solução não apresenta isolamento acústico e não tem a maior classe de resistência ao fogo (recorde-se que esta solução tem classe R60 e a solução Tronsole Tipo P tem classe R90). Caso não seja considerado prioritário o Fator isolamento acústico, a solução Cast-in+Cantoneira é, claramente, a melhor solução. Do ponto de vista de quem irá escolher a solução a aplicar, os Fatores “Isolamento Acústico” e “Resistência ao fogo” podem prevalecer sobre o custo final da solução Cast-in+Cantoneira ser mais barata;
- A Cantoneira tem menor custo do que a Tronsole Tipo P, mas a Tronsole Tipo P tem mais vantagens do que a Cantoneira. A solução da Cantoneira não apresenta resistência ao fogo adequada para o edifício e não tem isolamento acústico no apoio, para além de ser a solução menos sustentável.

6.3 Discussão dos resultados obtidos

De seguida, apresenta-se uma análise crítica entre os resultados obtidos e a revisão de literatura presente no Capítulo 2.5.

Relativamente ao controlo de qualidade, verificou-se que ainda não são utilizadas técnicas como os TLS [61] ou câmaras 2D [61] na produção das Escadas Pré-fabricadas, para deteção de anomalias. No entanto, todos os elementos são devidamente inspecionados após a sua produção e etiquetados com informações como data da produção, betão e aço utilizado, núcleo de escadas a que pertence e número

da escada. Quanto às Escadas Tradicionais, após a sua betonagem, não é possível inspecionar todas as suas faces de modo a avaliar o produto final, nem é possível saber com exatidão se o aço e betão utilizados são os que estavam previstos em projeto (isto é, se se usou outra classe de betão que tinha sobrado na produção de outro elemento para, agora, produzir a Escada ou se se utilizou outros varões de aço). Assim, verificou-se que o controlo de qualidade é mais eficiente na pré-fabricação do que na construção tradicional, conforme referido na literatura.

No que toca à sustentabilidade, as Escadas Tradicionais são produzidas com recurso a cofragem tradicional de madeira, que permite 3 a 8 reutilizações por conjunto [8]. Caso se tivesse optado por Escadas Tradicionais, seriam necessários cerca de 14 conjuntos de cofragem tradicional de madeira para produzir todas as Escadas, ao contrário das Escadas Pré-fabricadas, em que um conjunto de cofragem industrializada é suficiente para produzir os 42 lanços de escadas dos dois núcleos. Quanto aos desperdícios de betão, aço e revestimentos, verificou-se que ocorrem mais desperdícios nas Escadas Tradicionais do que nas Escadas Pré-fabricadas, estando de acordo com a literatura do [8, 59, 67 e 68].

Quanto à pegada de carbono, infelizmente, não foi possível quantificar as emissões de CO₂eq de forma a perceber onde há mais emissões, se nas Escadas Tradicionais ou Pré-fabricadas, por falta de dados. Para analisar todas as emissões que compõem a produção das Escadas é preciso ter em consideração as emissões que ocorrem no transporte de materiais, equipamentos e trabalhadores, a produção das Escadas, transporte das Escadas para a obra (no caso das Pré-fabricadas), entre outros fatores.

O planeamento foi outro dos parâmetros estudados na comparação das Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas. Na produção das Escadas Pré-fabricadas, constatou-se que a construção da parte estrutural do edifício decorria em simultâneo com a produção das Escadas, sem entrar em conflito, dado que a produção destas era realizada fora do local de obra. Também se verificou que, independentemente das condições atmosféricas, a produção das Escadas Pré-fabricadas nunca parou, cumprindo com o planeamento. Por fim, a aplicação da metodologia JIT para entrega das Escadas Pré-fabricadas decorreu conforme planeado, no local e hora exata. Foi possível, por exemplo, colocar 14 escadas num dia e 8 escadas no dia seguinte, completando assim um núcleo de escadas. Em suma, verificou-se que as Escadas Pré-fabricadas permitem que a obra prossiga com as suas atividades, enquanto as Escadas são produzidas em estaleiro (ou em fábrica), permitindo que o risco de atrasos seja reduzido e que a duração total da obra seja reduzida, como sugere a literatura [58, 78]. Também se constatou que independentemente das condições climáticas que se verifiquem, a produção das Escadas Pré-fabricadas não parou, ou seja, a produção não atrasou por condições climáticas, o que, uma vez mais, corrobora o que a literatura [79] já sugeria. Relativamente à entrega das Escadas Pré-fabricadas, a filosofia JIT foi aplicada, o que permitiu receber as Escadas na hora e local exato [41, 81]. Por fim, verificou-se uma redução da mão de obra especializada e aumento de produtividade, mais uma das grandes vantagens da pré-fabricação [84].

Por fim, no que respeita à avaliação dos dados relativos aos custos, Arroyo P. et al. [112] faz considerações importantes, que também devem ser encaradas para este Estudo:

- O custo é uma restrição, não um "valor": O custo admissível de um projeto específico é normalmente limitado, muitas vezes pela expectativa de retorno do investimento (sector privado) ou pelo financiamento governamental de várias origens (sector público). Ter em conta o custo não implica seleccionar a Alternativa menos dispendiosa, mas sim a Alternativa que produz os melhores resultados para o projeto, dentro dos limites

financeiros estabelecidos. Isto significa que, apesar da solução Cast-in+Cantoneira ser a menos dispendiosa, deve considerar-se a solução da Cantoneira ou Tronsole Tipo P caso o cliente tenha objetivos específicos para o projeto, como as soluções acústicas, resistência ao fogo e estética do apoio;

- O custo é variável: O custo não é uma característica intrínseca de uma Alternativa. Por exemplo, o custo de uma solução de apoio dependerá da quantidade de apoios necessários (descontos por volume), das condições de entrega, do local de compra e das condições de mercado.

Ainda dentro dos custos, por esta altura, provavelmente, o leitor já se terá questionado qual o motivo pelo qual se realizou a comparação das Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas sem entrar com o custo dos acabamentos em ambas. O motivo é simples: depende do tipo de projeto em que se está a aplicar a comparação. Neste caso, trata-se de um Hotel com 10 pisos, servidos de ascensores, pelo que as Escadas, praticamente, só serão utilizadas em situações de emergência em que os ascensores não estejam em funcionamento. O tipo de acabamento que a Escada Pré-fabricada tem é, por isso, indiferente, daí ter-se optado pela solução de betão à vista, resultando numa poupança de custos, só em revestimentos, de 43.133,33€. Pelo contrário, caso se tivesse optado pelas Escadas Tradicionais, não teria sido possível reduzir o custo de construção, dado que as Escadas precisam dos revestimentos.

Por outro lado, considerando que se produziria o mesmo número de Escadas e caso o projeto se tratasse de um conjunto de moradias, de um edifício dedicado a turismo ou a edifícios até 3 e 4 pisos, onde as Escadas são muito mais utilizadas pelos utentes, aí já faria sentido entrar com o custo dos revestimentos nas Escadas Pré-fabricadas, até mesmo do ponto de vista de proteção estrutural das Escadas. Supondo que este Estudo tinha sido num desses edifícios e mantendo a mesma avaliação de IoA, o custo das Escadas Tradicionais mantinha-se igual ao da Tabela 5.11 e o custo das Escadas Pré-fabricadas seriam os apresentados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12- Resumo dos custos totais e peso no custo total de cada Fator monetário para Escadas Pré-fabricadas com revestimentos.

Escadas Pré-fabricadas		
Fatores monetários	Custo Total (€)	Peso no Custo Total (%)
Material	45 099 €	41
Mão de obra	21 290 €	20
Logística	15 187 €	14
Fornecimentos	27 424 €	25
TOTAL	109 000 €	100

Como se pode observar, o custo das Escadas Pré-fabricadas aumentou de 65.866,37€ para 108.999,70€, ou seja, a Alternativa das Escadas Pré-fabricadas com revestimentos seria cerca de 40% mais dispendiosa. Pela Figura 6.7, resultado da avaliação pela metodologia CBA, conclui-se que a Alternativa 1 (Escadas Pré-fabricadas com revestimentos) é 1,4% mais cara do que a Alternativa 2 (Escadas Tradicionais consideradas anteriormente) e, quanto à IoA, mantém-se a avaliação anterior de 650 pontos para a Alternativa 1 e 125 pontos para a Alternativa 2. Apesar do custo da Alternativa 1 ser mais

caro do que a Alternativa 2, as vantagens são, claramente, maiores na Alternativa 1, pelo que a conclusão é igual à retirada anteriormente: optar pelas Escadas Pré-fabricadas, independentemente da aplicação (ou não) dos revestimentos, é mais vantajoso do que as Escadas Tradicionais.



Figura 6.7- Gráfico Custo-Benefício da aplicação da CBA à comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas com revestimentos.

Assim, ficou demonstrado que, no âmbito do Estudo de qual o melhor método construtivo para Escadas no Hotel B&B Gaia, a Pré-fabricação apresenta vantagens em termos de controlo de qualidade, sustentabilidade, planeamento e custos, corroborando o que foi escrito no Capítulo 2.5 e verificou-se, também, a utilização de ferramentas como o BIM na fase de projeto e a aplicação da filosofia JIT na fase de entrega das Escadas Pré-fabricadas, demonstrando que são duas soluções para ultrapassar os obstáculos à pré-fabricação.

Por último, conforme indicava a literatura, constatou-se que a metodologia CBA promoveu o diálogo e a satisfação com os resultados obtidos, beneficiou a chegada a um consenso quando existiam pontos de vista distintos e que facilitava a avaliação dos diferentes Fatores necessários a ter em conta, dado que foi tido em conta as Características e Vantagens de cada Alternativa, mas também os custos associados a cada uma delas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste Capítulo são expostas as principais conclusões das vantagens da pré-fabricação, da aplicação da metodologia CBA à comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas e, por último, à comparação das soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas. O Capítulo também refere as contribuições para a comunidade científica, bem como as limitações do Estudo. Por fim, são apresentadas algumas recomendações para trabalhos a desenvolver relacionadas com a pré-fabricação, construção sustentável e com a metodologia CBA.

7.1 Conclusões

A presente Dissertação teve como objetivo mostrar as vantagens da pré-fabricação face à construção tradicional, de modo a incentivar a sua aplicação na construção em Portugal. Começou por se explicar o que é a pré-fabricação e quando surgiu, as suas mudanças ao longo do tempo e procurou-se responder à questão “porquê mudar?”. Apresentou-se o contexto atual da construção em Portugal e, de seguida, iniciou-se a comparação entre construção tradicional e construção pré-fabricada, de modo a demonstrar as vantagens da pré-fabricação.

Como é sabido, atualmente há falta de mão de obra qualificada em Portugal e, a que existe, ou está perto da idade da reforma ou emigra para outros países europeus em busca de melhores salários. A pandemia e a guerra na Ucrânia provocaram um aumento do custo dos materiais, inflacionando-os, o que resultou num aumento dos custos de construção. A pré-fabricação, como se pôde observar pela literatura, resolve o problema da falta de mão de obra e incorpora construções mais sustentáveis como a construção híbrida (betão armado e madeira), a construção em madeira e ainda a produção de componentes *off-site*. Do levantamento da literatura recolhida, resultaram vantagens claras, tais como:

- Redução de custos;
- Redução da duração da obra;
- Redução da pegada de carbono;
- Redução de desperdícios;
- Aumento do controlo de qualidade;

- Aumento da produtividade.

Em primeiro lugar, as construtoras têm de estar na vanguarda da transição da construção tradicional para a construção industrial. Inicialmente, terão investimentos elevados com a construção das instalações que lhes permitam produzir as componentes, mas, a médio-prazo, terão um retorno sobre o investimento. Os custos de construção a longo prazo podem ser reduzidos, mesmo que o custo inicial de construção seja maior. Para uma melhor implementação da pré-fabricação, esta deve considerar-se logo na fase inicial do projeto. Maior controlo dos custos de construção permite um tempo de construção 20% a 50% mais rápido do que a construção tradicional. Os processos integrados envolvidos na pré-fabricação são capazes de eliminar os custos de subcontratação com a poupança de mão de obra no local e as margens de lucro associadas ao processo de subcontratação. Com o aumento da repetição dos elementos ou módulos, será possível reduzir ainda mais os custos associados [53]. As empresas construtoras são os principais agentes na implementação da pré-fabricação em Portugal. A partir do momento que se construam edifícios recorrendo à pré-fabricação e demonstrem as vantagens, haverá uma mudança no paradigma da construção em Portugal, terminando, de vez, com a crença que afasta a pré-fabricação de Portugal e convencendo os *stakeholders* e o mercado a apoiarem esta mudança. Adotar a pré-fabricação e a produção em massa de elementos de construção pode reduzir o custo de construção de forma eficaz [67]. O fabrico otimizado não só reduz os custos através da redução da utilização de materiais e resíduos, como também melhora a qualidade do produto final e aumenta a eficiência do processo [125]. A aplicação da filosofia JIT e a implementação do BIM de forma transversal a todas as especialidades envolvidas na construção também demonstram ser soluções a ter em consideração para o futuro da construção em Portugal.

A construção fora do estaleiro tem também um fator de previsibilidade, sendo que a redução do tempo de construção equivale a poupanças de custos e os preços fixos permitem aos investidores planear e investir o seu dinheiro com maior certeza. Independentemente dos fatores que impulsionam a adoção futura da pré-fabricação, a construção pré-fabricada proporciona uma maior segurança económica no cumprimento de orçamentos e prazos, dado o nível mais elevado de planeamento e processos que rodeiam o sector da construção pré-fabricada [80]. As partes interessadas começam a aperceber-se dos vastos benefícios do trabalho paralelo realizado em obra e em fábrica, podendo reduzir substancialmente a duração da construção e permitir que os clientes obtenham lucros mais rapidamente [68].

A adoção de pré-fabricação privilegia uma construção mais sustentável, com menos desperdícios e mais amiga do ambiente. Aqui, tanto a Academia como o Estado têm um papel relevante na formação dos alunos e nos incentivos às construtoras, de forma a consciencializar para uma construção mais sustentável, através da educação dos estudantes com a introdução da pré-fabricação nas unidades curriculares e pela formação dos trabalhadores. As políticas, regulamentos e iniciativas por parte do Estado podem contribuir para uma implementação mais rápida e benéfica às empresas construtoras, que vão contribuir para atingir as metas da UE na redução das emissões de GEE até 2030 e 2050.

No que respeita à aplicação da metodologia Choosing by Advantages (CBA) à comparação de Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas e às soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas, concluiu-se

que esta metodologia ajuda as partes interessadas a criar consenso entre elas e a tomar decisões, mesmo que nem todos concordem a 100% com o que ficou decidido. No final, todos sabiam qual foi a solução eleita para cada uma das comparações e quais os motivos que levaram a essa decisão. A aplicação da CBA ajuda a eliminar alguns dos problemas que foram referidos como entraves à pré-fabricação, como a “falta de comunicação”, o “conservadorismo” na adoção da pré-fabricação e o “congelamento do projeto” assim que este fica fechado, de forma a não existirem alterações posteriores.

Relativamente aos resultados obtidos pela CBA nas duas comparações realizadas, verificou-se que, no projeto em Estudo, as Escadas Pré-fabricadas arrecadaram um total de IoA igual a 650 pontos contra as Escadas Tradicionais, que somaram 125 pontos. Considerou-se que a Vantagem principal das Escadas Pré-fabricadas acontece no Fator “Planeamento”, dado que a pré-fabricação permite um planeamento mais preciso, antecipação de trabalhos e atividades a decorrer em simultâneo em obra e fábrica. O custo das 42 Escadas Pré-fabricadas totalizou 65.866,67€ contra 107.495,93€ das Escadas Tradicionais, o que resulta numa diminuição dos custos de produção de, aproximadamente, 39%.

Já na comparação efetuada para as soluções de apoio para Escadas Pré-fabricadas, a CBA mostrou que a melhor solução de apoio é Cast-in+Cantoneira com um total de IoA igual a 325 e um custo total (escadas e apoios) de 77.897,37€. A solução da Cantoneira teve uma avaliação de IoA igual a 150 pontos e um custo (escadas e apoios) de 79.245,23€, enquanto a terceira Alternativa, Tronsole Tipo P, completou a comparação com IoA igual a 250 pontos e um custo (escadas e apoios) de 91.829,18€. A solução Cast-in+Cantoneira acaba por ser a mais barata (aproximadamente 2% mais barata que a solução da Cantoneira e 15% mais barata que a Tronsole Tipo P) e a que apresentou maiores Vantagens.

7.2 Contribuições para a Comunidade Científica

Este Estudo tem contribuições para a comunidade científica, que se podem dividir em duas partes. Por um lado, ainda existe pouca literatura em português que demonstre as vantagens da pré-fabricação e a aplique em casos reais, como as Escadas. Este estudo contribuiu para demonstrar que a pré-fabricação é uma solução e que resolve problemas como a escassez de mão de obra qualificada.

Por outro lado, enriqueceu a literatura já existente sobre a metodologia Choosing By Advantages (CBA) que, apesar de já ter sido aplicada à comparação de sistemas AVAC, casas de banho *in situ* e modulares e a lâmpadas, nunca tinha sido aplicada a Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas. Assim, a aplicação desta metodologia pretende resolver problemas como a desorganização de informação, falta de comunicação e discórdia na tomada de decisão, servindo de referência para projetos futuros.

7.3 Limitações do Estudo

Uma das limitações do estudo foi a escassez de literatura europeia acerca da pré-fabricação e, mais concretamente, a temática da redução de custos e redução da duração da construção. A pré-fabricação é mais utilizada em países nórdicos, dado que em grande parte do ano as condições climáticas não permitem a construção *in situ*, não sendo ainda habitual em países na zona oeste da Europa.

Encontrar informação que sustente a afirmação que a pré-fabricação é menos dispendiosa e que reduz o tempo de construção foi complexo. Por exemplo, um projeto em que se decida construir pela via tradicional não terá um projeto exatamente igual que seja construído a 100% com recurso à pré-fabricação, então a comparação de fatores como custo, redução de tempo e de desperdícios ou não é realizada ou é baseada em suposições.

Relativamente à aplicação da metodologia CBA, infelizmente não foi possível reunir mais pessoas na tomada de decisão. Idealmente, e seguindo o que a metodologia sugere, teria sido interessante conseguir juntar à discussão Arquitetos, Donos de Obra e Empreiteiros, de forma a tornar a comparação mais rica.

Por fim, sabendo que uma das vantagens da pré-fabricação são as reduções de desperdícios e de emissões de GEE, infelizmente não foi possível quantificar os desperdícios e as diferenças de emissões de GEE. Como tal, essa comparação foi apenas qualitativa na aplicação da metodologia CBA às Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas. No entanto, caso o leitor tenha interesse em estudar a comparação da pegada de carbono de escadas pré-fabricadas, recomenda-se a leitura do artigo [96].

7.4 Recomendações para Trabalhos Futuros

De seguida, apresentam-se algumas propostas que poderão vir a ser matéria de investigação futura:

- Aplicação da metodologia CBA a um edifício, onde se compare a construção tradicional, construção híbrida (madeira e betão armado) e/ou construção industrial, de forma a investigar as vantagens destes novos métodos construtivos e os custos que implicam;
- Investigação sobre a construção em madeira, em Portugal. Perceber se é possível construir edifícios de vários pisos em madeira, dado que Portugal se localiza numa zona sísmica, as ligações entre os pré-fabricados e quais as vantagens desta construção;
- Dado que não foi possível averiguar a pegada de carbono na comparação, através da CBA, das Escadas Tradicionais e Pré-fabricadas, investigar este tema e, se possível, incluir outros elementos construtivos na comparação, como pilares, lajes e vigas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. S. Alaloul, M. A. Musarat, M. S. Liew, A. H. Qureshi, e A. Maqsoom, «Investigating the impact of inflation on labour wages in Construction Industry of Malaysia», *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, n. 2, pp. 1575–1582, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.asej.2020.08.036.
- [2] Direção Financeira de Estudos e de Estratégia, «Relatório do Setor da Construção em Portugal», Lisboa, Dez. 2022.
- [3] M. Panagiotidou, L. Aye, e B. Rismanchi, «Optimisation of multi-residential building retrofit, cost-optimal and net-zero emission targets», *Energy Build*, vol. 252, p. 111385, Dez. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2021.111385.
- [4] J. Xu, M. Ye, W. Lu, Z. Bao, e C. Webster, «A four-quadrant conceptual framework for analyzing extended producer responsibility in offshore prefabrication construction», *J Clean Prod*, vol. 282, Fev. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124540.
- [5] C. B. Tatum, J. A. Vanegas, e J. M. Williams, «Constructability Improvements Using Prefabrication, Pre-assembly and Modularization», 1986.
- [6] A. G. F. Gibb, *Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*. Whittles Publishing, 1999.
- [7] R. E. Smith, J. Timberlake, e F. Smith, «Prefab Architecture». Disponível em: www.itac.utah.edu
- [8] B. Cheng et al., «BIM-enabled life cycle assessment of concrete formwork waste reduction through prefabrication», *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 53, Out. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102449.
- [9] T. B. Honorato, «Elementos pré-fabricados e suas vantagens no cronograma físico-financeiro», *Research, Society and Development*, vol. 11, n. 1, p. e27811124650, Jan. 2022, doi: 10.33448/rsd-v11i1.24650.
- [10] I. Chiavenato, *Teoria Geral da Administração*, 3ª Edição. Lisbon: McGraw-Hill, Lda., 1987.
- [11] R. E. Smith e J. D. Quale, *Offsite Architecture: Constructing the future*, 1st ed. Routledge, 2017.
- [12] A. M. Couto e J. P. Couto, «Os benefícios ambientais e a racionalização do efeito de aprendizagem na indústria de pré-fabricação», Coimbra, Dez. 2007.
- [13] Historic England, «A Brief History of Prefabs». Acedido: 10 de Setembro de 2023. Disponível em: <https://heritagecalling.com/2022/08/04/a-brief-history-of-prefabs/>
- [14] I. Y. Wuni e G. Q. Shen, «Barriers to the adoption of modular integrated construction: Systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies», *J Clean Prod*, vol. 249, p. 119347, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.119347.
- [15] Ł. Ślaga, «Catenary Action In Precast Skeleton Structures-Protection Against Progressive Collapse», 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280011504>

- [16] M. L. Tavares e C. Coelho, «Pré-Fabricação e Arquitetura, Estudo de habitações pré-fabricadas em Portugal», 2021.
- [17] E. Attouri, Z. Lafhaj, L. Ducoulombier, e B. Linéatte, «The current use of industrialized construction techniques in France: Benefits, limits and future expectations», *Clean Eng Technol*, vol. 7, p. 100436, Abr. 2022, doi: 10.1016/J.CLET.2022.100436.
- [18] D. Marshall, C. Meuller, B. Clifford, e S. Kennedy, «Computational arrangement of demolition debris», *Detritus*, vol. 11, pp. 3–18, Jul. 2020, doi: 10.31025/2611-4135/2020.13967.
- [19] E. Hertwich, R. Lifset, S. Pauliuk, e N. Heeren, *Resource Efficiency and Climate Change. Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future*. United Nations, 2020.
- [20] Comissão Europeia, «Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões- Um novo Plano de Ação para a Economia Circular Para uma Europa mais limpa e competitiva», 2020. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>.
- [21] Direção Geral das Atividades Económicas, «Novo Plano de Ação da União Europeia para a Economia Circular». Acedido: 10 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.dgae.gov.pt/comunicacao/noticias/novo-plano-de-acao-da-uniao-europeia-para-a-economia-circular.aspx>
- [22] Eurostat, «Production in construction up by 2.3% in the euro area and by 2.0% in the EU», Abr. 2023.
- [23] Instituto Nacional de Estatística (INE), «Índice de Custos de Construção de Habitação Nova», maio. 2023.
- [24] Grupo Casais, «1º Edifício de construção híbrida da Península Ibérica». Acedido: 10 de setembro de 2023. Disponível em: <https://edificiossustentaveis.casais.pt/>
- [25] CONSTRUIR, «Casais lança primeira pedra do B&B Hotel de Guimarães». Acedido: 20 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.construir.pt/2022/01/28/casais-lanca-primeira-pedra-do-bb-hotel-de-guimaraes>
- [26] C. Fernandes, «Aplicação dos Thinking Processes da Teoria das Restrições à Melhoria do Desempenho Global de Equipamentos (OEE)», 2021.
- [27] E. Pereira da Costa, C. Leitão Afonso, F. Pereira, e P. Inácio, «Evolução do setor da construção em Portugal, 2008 a 2018», vol. 84, 2020. Disponível em: www.gee.gov.pt
- [28] C. Mao, Q. Shen, L. Shen, e L. Tang, «Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects», *Energy Build*, vol. 66, pp. 165–176, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2013.07.033.
- [29] W. Lu, W. M. W. Lee, F. Xue, e J. Xu, «Revisiting the effects of prefabrication on construction waste minimization: A quantitative study using bigger data», *Resour Conserv Recycl*, vol. 170, p. 105579, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2021.105579.
- [30] J. Jeong et al., «An integrated evaluation of productivity, cost and CO2 emission between pre-fabricated and conventional columns», *J Clean Prod*, vol. 142, pp. 2393–2406, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.11.035.

- [31] C. Mao, F. Xie, L. Hou, P. Wu, J. Wang, e X. Wang, «Cost analysis for sustainable off-site construction based on a multiple-case study in China», *Habitat Int*, vol. 57, pp. 215–222, Out. 2016, doi: 10.1016/J.HABITATINT.2016.08.002.
- [32] R. Chu e C. J. Sparrow, «Prefabrication techniques for high-rise residential buildings», *Proc. of Environmentally Friendly Structures Seminar*. Hong Kong, China, pp. 25–44, 2001.
- [33] L. Jaillon e C. S. Poon, «The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector», *Autom Constr*, vol. 18, n. 3, pp. 239–248, Mai. 2009, doi: 10.1016/J.AUTCON.2008.09.002.
- [34] I. Skrzypczak, «Statistical Quality Inspection Methodology in Production of Precast Concrete Elements», *Materials*, vol. 16, n. 1, 2023, doi: 10.3390/ma16010431.
- [35] C. Chastre, «Construção, Inovação e Pré-fabricação em Betão», *Construção Magazine*, pp. 59–61, novembro de 2018.
- [36] Z. Ma, Y. Liu, e J. Li, «Review on automated quality inspection of precast concrete components», *Autom Constr*, vol. 150, p. 104828, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.AUTCON.2023.104828.
- [37] R. Ayyagari, Q. Chen, e B. García de Soto, «Quantifying the impact of concrete 3D printing on the construction supply chain», *Autom Constr*, vol. 155, p. 105032, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105032.
- [38] T. Tabassum e A. Ahmad Mir, «A review of 3d printing technology-the future of sustainable construction», *Mater Today Proc*, ago. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.08.013.
- [39] Killa Design, «Office of the Future». Acedido: 10 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.killadesign.com/portfolio/office-of-the-future/>
- [40] A. J. S. Magalhães, «A pré-fabricação em betão em Edifícios», Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto, Porto, 2013.
- [41] Y. Zhai, R. Y. Zhong, e G. Q. Huang, «Towards Operational Hedging for Logistics Uncertainty Management in Prefabrication Construction», *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, n. 3, pp. 1128–1133, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.IFACOL.2015.06.235.
- [42] X. Hu, H.-Y. Chong, X. Wang, e K. London, «Understanding Stakeholders in Off-Site Manufacturing: A Literature Review», *J Constr Eng Manag*, vol. 145, n. 8, Ago. 2019, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001674.
- [43] R. Leite, «Métodos Construtivos de Edifícios - Comparação entre Pré-Fabricação e Construção Tradicional em Betão Armado», 2015.
- [44] S. Navaratnam, A. Satheeskumar, G. Zhang, K. Nguyen, S. Venkatesan, e K. Poologanathan, «The challenges confronting the growth of sustainable prefabricated building construction in Australia: Construction industry views», *Journal of Building Engineering*, vol. 48, p. 103935, Mai. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103935.
- [45] W. Zhang, M. W. Lee, L. Jaillon, e C. S. Poon, «The hindrance to using prefabrication in Hong Kong's building industry», *J Clean Prod*, vol. 204, pp. 70–81, Dez. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.08.190.

- [46] A. Zolghadr, E. Gharai, e N. Naderpajouh, «Barriers to innovation in the housing sector: Economic justifiability of offsite construction for housebuilders», *Journal of Building Engineering*, vol. 52, p. 104490, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.104490.
- [47] P. Wu, Y. Xu, R. Jin, Q. Lu, D. Madgwick, e C. M. Hancock, «Perceptions towards risks involved in off-site construction in the integrated design & construction project delivery», *J Clean Prod*, vol. 213, pp. 899–914, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.226.
- [48] W. Lu, K. Chen, F. Xue, e W. Pan, «Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework», *J Clean Prod*, vol. 201, pp. 236–245, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.319.
- [49] J. O. Choi, X. Bin Chen, e T. W. Kim, «Opportunities and challenges of modular methods in dense urban environment», *International Journal of Construction Management*, vol. 19, n. 2, pp. 93–105, Mar. 2019, doi: 10.1080/15623599.2017.1382093.
- [50] P. K. Priya e M. Neamitha, «A Review on Precast Concrete», *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2018. Disponível em: www.irjet.net
- [51] M. Patel e S. Razavialavi, «Decision Factors for the Feasibility Study of Developing Prefabrication Plants», 2022.
- [52] X. Hu, H. Y. Chong, e X. Wang, «Sustainability perceptions of off-site manufacturing stakeholders in Australia», *J Clean Prod*, vol. 227, pp. 346–354, Ago. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.03.258.
- [53] P. F. Rocha, N. O. Ferreira, F. Pimenta, e N. B. Pereira, «Impacts of Prefabrication in the Building Construction Industry», *Encyclopedia*, vol. 3, n. 1, pp. 28–45, Dez. 2022, doi: 10.3390/encyclopedia3010003.
- [54] B. Qi, M. Razkenari, J. Li, A. Costin, C. Kibert, e S. Qian, «Investigating U.S. industry practitioners’ perspectives towards the adoption of emerging technologies in industrialized construction», *Buildings*, vol. 10, n. 5, Mai. 2020, doi: 10.3390/BUILDINGS10050085.
- [55] Y. Sun *et al.*, «Constraints hindering the development of high-rise modular buildings», *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, n. 20, pp. 1–20, Out. 2020, doi: 10.3390/app10207159.
- [56] B. G. Hwang, M. Shan, e K. Y. Looi, «Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction», *J Clean Prod*, vol. 183, pp. 183–193, Mai. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.02.136.
- [57] X. Gan, R. Chang, e T. Wen, «Overcoming barriers to off-site construction through engaging stakeholders: A two-mode social network analysis», *J Clean Prod*, vol. 201, pp. 735–747, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.299.
- [58] J. A. Costa, «Construção Prefabricada - Análise da Utilização da Prefabricação nas Várias Etapas do Processo Construtivo», Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <http://www.fe.up.pt>
- [59] L. Jaillon, C. S. Poon, e Y. H. Chiang, «Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong», *Waste Management*, vol. 29, n. 1, pp. 309–320, Jan. 2009, doi: 10.1016/J.WASMAN.2008.02.015.

- [60] Q. Wang, M. K. Kim, J. C. P. Cheng, e H. Sohn, «Automated quality assessment of precast concrete elements with geometry irregularities using terrestrial laser scanning», *Autom Constr*, vol. 68, pp. 170–182, Ago. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.03.014.
- [61] M. K. Kim, Q. Wang, J. W. Park, J. C. P. Cheng, H. Sohn, e C. C. Chang, «Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM», *Autom Constr*, vol. 72, pp. 102–114, Dez. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.08.035.
- [62] M. K. Kim, J. C. P. Cheng, H. Sohn, e C. C. Chang, «A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning», *Autom Constr*, vol. 49, pp. 225–238, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2014.07.010.
- [63] O. Monserrat e M. Crosetto, «Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 63, n. 1, pp. 142–154, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2007.07.008.
- [64] C. Ordóñez, P. Arias, J. Herráez, J. Rodríguez, e M. T. Martín, «Two photogrammetric methods for measuring flat elements in buildings under construction», *Automation in Construction*, vol. 17, n. 5, pp. 517–525, Julho de 2008. doi: 10.1016/j.autcon.2007.11.003.
- [65] H. Fathi e I. Brilakis, «A videogrammetric as-built data collection method for digital fabrication of sheet metal roof panels», *Advanced Engineering Informatics*, vol. 27, n. 4, pp. 466–476, Out. 2013, doi: 10.1016/j.aei.2013.04.006.
- [66] F. Bosché, «Automated recognition of 3D CAD model objects in laser scans and calculation of as-built dimensions for dimensional compliance control in construction», *Advanced Engineering Informatics*, vol. 24, n. 1, pp. 107–118, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.aei.2009.08.006.
- [67] V. W. Y. Tam, C. M. Tam, S. X. Zeng, e W. C. Y. Ng, «Towards adoption of prefabrication in construction», *Build Environ*, vol. 42, n. 10, pp. 3642–3654, Out. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.003.
- [68] M. Razkenari, A. Fenner, A. Shojaei, H. Hakim, e C. Kibert, «Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices», *Journal of Building Engineering*, vol. 29, p. 101138, Mai. 2020, doi: 10.1016/J.JOBE.2019.101138.
- [69] Y. Gao e X. L. Tian, «Prefabrication policies and the performance of construction industry in China», *J Clean Prod*, vol. 253, p. 120042, Abr. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.120042.
- [70] Y. Teng, K. Li, W. Pan, e T. Ng, «Reducing building life cycle carbon emissions through prefabrication: Evidence from and gaps in empirical studies», *Build Environ*, vol. 132, pp. 125–136, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2018.01.026.
- [71] W. Lu e H. Yuan, «Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 804–811, Dez. 2013, doi: 10.1016/J.RSER.2013.08.048.
- [72] J. L. Hao et al., «Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: A BIM-based life-cycle assessment approach», *Science of the Total Environment*, vol. 723, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137870.

- [73] BibLus, «The dimensions of BIM: an intuitive overview to outline the heterogeneity of the information flows involved in a BIM-based design». Acedido: 5 de maio de 2023. Disponível em: <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions/>
- [74] M. Sandanayake, W. Luo, e G. Zhang, «Direct and indirect impact assessment in off-site construction—A case study in China», *Sustain Cities Soc*, vol. 48, p. 101520, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.SCS.2019.101520.
- [75] J. Wang, Y. Qin, e J. Zhou, «Incentive policies for prefabrication implementation of real estate enterprises: An evolutionary game theory-based analysis», *Energy Policy*, vol. 156, p. 112434, Set. 2021, doi: 10.1016/J.ENPOL.2021.112434.
- [76] X. Wang, Q. Du, C. Lu, e J. Li, «Exploration in carbon emission reduction effect of low-carbon practices in prefabricated building supply chain», *J Clean Prod*, vol. 368, p. 133153, Set. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.133153.
- [77] C. Borralho, *Sistemas de Planeamento e Controlo de Gestão - Fundamentos e ferramentas de suporte*, 2ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo Lda., 2023.
- [78] Y. Xu, «Improving the Time Performance of Prefabricated Construction Projects: A Review», em *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Mai. 2021. doi: 10.1051/e3sconf/202125302041.
- [79] M. Kamali e K. Hewage, «Life cycle performance of modular buildings: A critical review», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 62, pp. 1171–1183, Set. 2016, doi: 10.1016/J.RSER.2016.05.031.
- [80] J. C. Burgess, N. R. Buckett, e I. C. Page, «Prefabrication Impacts in the New Zealand Construction Industry», 2013.
- [81] L. Wang, Y. Zhao, e X. Yin, «Precast production scheduling in off-site construction: Mainstream contents and optimization perspective», *J Clean Prod*, vol. 405, p. 137054, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.137054.
- [82] L. Kong, H. Li, H. Luo, D. Lieyun, X. Luo, e M. Skitmore, «Optimal single-machine batch scheduling for the manufacture, transportation and JIT assembly of precast construction with changeover costs within due dates», *Autom Constr*, vol. 81, pp. 34–43, Set. 2017, doi: 10.1016/J.AUTCON.2017.03.016.
- [83] J. Du, J. Zhang, D. Castro-Lacouture, e Y. Hu, «Lean manufacturing applications in prefabricated construction projects», *Autom Constr*, vol. 150, p. 104790, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.AUTCON.2023.104790.
- [84] W. Shahzad, J. Mbachu, e N. Domingo, «Marginal productivity gained through prefabrication: Case studies of building projects in Auckland», *Buildings*, vol. 5, n. 1, pp. 196–208, 2015, doi: 10.3390/buildings5010196.
- [85] A. B. Couto e P. Couto, «Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação».
- [86] J. P. Couto e J. C. Teixeira, «Método das Curvas de Equilíbrio no Planeamento da Construção Repetitiva em Altura», 2002.

- [87] H. W. Tai, J. H. Chen, J. Y. Cheng, S. C. Hsu, e H. H. Wei, «Learn Curve for Precast Component Productivity in Construction», *International Journal of Civil Engineering*, vol. 19, n. 10, pp. 1179–1194, Out. 2021, doi: 10.1007/s40999-021-00621-z.
- [88] V. W. Y. Tam, I. W. H. Fung, M. C. P. Sing, e S. O. Ogunlana, «Best practice of prefabrication implementation in the Hong Kong public and private sectors», *J Clean Prod*, vol. 109, pp. 216–231, Dez. 2015, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2014.09.045.
- [89] R. Trach, M. Polonski, e P. Hrytsiuk, «Modelling of Efficiency Evaluation of Traditional Project Delivery Methods and Integrated Project Delivery (IPD)», em *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Fev. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/471/11/112043.
- [90] B. D. Ilozor e D. J. Kelly, « Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study», *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, vol. 2, n. 1, pp. 23–36, Jan. 2012, doi: 10.32738/JEPPM.201201.0004.
- [91] H. Xue, S. Zhang, Y. Su, Z. Wu, e R. J. Yang, «Effect of stakeholder collaborative management on off-site construction cost performance», *J Clean Prod*, vol. 184, pp. 490–502, Mai. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.02.258.
- [92] J. Hong, G. Q. Shen, Z. Li, B. Zhang, e W. Zhang, «Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost–benefit analysis», *J Clean Prod*, vol. 172, pp. 649–660, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2017.10.171.
- [93] B. Sandvik, E. Qaraee, e R. Kumar, «Conceptual design of a concrete staircase based on topology optimization - A feasibility study on the development and application of topology optimization on a concrete staircase», 2021.
- [94] S. Cong, Z. Zhang, Q. Zheng, e Z. Xu, «Seismic behavior of reinforced concrete frame staircase with separated slab stairs», *Structures*, vol. 34, pp. 4284–4296, Dez. 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.10.026.
- [95] J. Wang, J. Ma, M. Sarvi, T. Chen, e X. Hu, «How stair configurations in buildings affect pedestrian dynamics on stairs? A simulation study via an extended three-dimensional force-based model», *Saf Sci*, vol. 159, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.ssci.2022.106031.
- [96] X. J. Li, W. J. Xie, C. Y. Jim, e F. Feng, «Holistic LCA evaluation of the carbon footprint of prefabricated concrete stairs», *J Clean Prod*, vol. 329, Dez. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129621.
- [97] Diário da República, «Decreto-Lei nº 38382 de 7 de agosto. Regulamento Geral das Edificações Urbanas», *Série I de 1951-08-07*. Acedido: 20 de setembro de 2023. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/1951-120610500>
- [98] Diário da República 1ª Série, «Decreto-Lei nº 163/2006», vol. 152. pp. 5670–5689, 8 de agosto de 2006.

- [99] Diário da República, «Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de novembro de 2008. Segurança Contra Incêndios em Edifícios», nov. 2008. Acedido: 21 de setembro de 2023. Disponível em: <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2008/11/22000/0790307922.pdf>
- [100] P. Arroyo, A. Schöttle, R. Christensen, e C. Arthur, «CBA as a Differentiator to Win Projects in Pursuit: A Case Study», em *Proc. 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, International Group for Lean Construction, Jul. 2022, pp. 844–854. doi: 10.24928/2022/0196.
- [101] A. Schöttle, R. Christensen, e P. Arroyo, «Does choosing by advantages promote inclusiveness in group decision-making?», em *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, The International Group for Lean Construction, Jul. 2019, pp. 797–808. doi: 10.24928/2019/0209.
- [102] P. Arroyo, C. Mourgues, F. Flager, e M. G. Correa, «A new method for applying choosing by advantages (CBA) multicriteria decision to a large number of design alternatives», *Energy Build*, vol. 167, pp. 30–37, Mai. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.02.031.
- [103] K. Chauhan, A. Peltokorpi, R. Lavikka, e O. Seppänen, «Deciding between prefabrication and on-site construction: A choosing-by-advantage approach», em *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, The International Group for Lean Construction, Jul. 2019, pp. 749–758. doi: 10.24928/2019/0158.
- [104] A. Mossman, «Choosing By Advantages», *The Change Business Ltd.*, pp. 1–4, 2012, doi: 10.13140/2.1.1402.5609.
- [105] C. Pérez, P. Arroyo, C. Richards, e C. Mourgues, «Residential curbside waste collection programs design: A multicriteria and participatory approach using choosing by advantages», *Waste Management*, vol. 119, pp. 267–274, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2020.08.055.
- [106] D. Murguia e X. Brioso, «Using “choosing by Advantages” and 4D Models to Select the Best Construction-Flow Option in a Residential Building», em *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 470–477. doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.226.
- [107] K. Chauhan, A. Peltokorpi, R. Lavikka, e O. Seppänen, «To prefabricate or not? A method for evaluating the impact of prefabrication in building construction», *Construction Innovation*, 2022, doi: 10.1108/CI-11-2021-0205.
- [108] H. H. Goh et al., «Application of choosing by advantages to determine the optimal site for solar power plants», *Sci Rep*, vol. 12, n. 1, Dez. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-08193-1.
- [109] D. Besiktepe, M. E. Ozbek, e R. A. Atadero, «Choosing by Advantages Application Areas in Facilities Management: A Literature Review», em *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2023. doi: 10.1088/1755-1315/1176/1/012028.
- [110] D. Besiktepe, M. E. Ozbek, e R. A. Atadero, «A Multi-Criteria Decision-Making Approach for Building Maintenance Strategy Selection using Choosing by Advantages», *Journal of Facility Management Education and Research*, vol. 5, n. 1, pp. 1–12, Jan. 2021, doi: 10.22361/2474-6630-5.1.1.

- [111] P. Arroyo e M. Molinos-Senante, «Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach», *Science of the Total Environment*, vol. 625, pp. 819–827, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.331.
- [112] P. Arroyo, I. D. Tommelein, G. Ballard, e P. Rumsey, «Choosing by advantages: A case study for selecting an HVAC system for a net zero energy museum», *Energy Build*, vol. 111, pp. 26–36, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.10.023.
- [113] Grupo Casais, «História da Instituição». Acedido: 5 de setembro de 2023. Disponível em: <https://casais.pt/institucional/historia/>
- [114] Grupo Casais, «Relatório de Sustentabilidade 2022», 2022. Disponível em: <https://casais.pt/sustentabilidade/>
- [115] CNT Europe, «Sobre a CNT Europe». Acedido: 5 de setembro de 2023. Disponível em: <https://cnteurope.com/pt/sobre-nos/>
- [116] «O Grupo B&B Hotels». Acedido: 4 de setembro de 2023. Disponível em: <https://bbhotels-group.com/>
- [117] B&B Hotels, «Acordos Empresariais – B&B Hotels Portugal». Acedido: 4 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.hotel-bb.com/pt/grupos-e-empresas/portugal/acordos-corporativos>
- [118] Instituto Português da Qualidade, «Betão- Especificação, desempenho, produção e conformidade (NP EN 206:2013 +A1)», vol. 3ª ed. IPQ, 2017.
- [119] HILTI, «Calha de fixação HAC-T50 106/150 F». Acedido: 13 de setembro de 2023. Disponível em: https://www.hilti.pt/c/CLS_FASTENER_7135/CLS_CASTIN_ANCHOR_CHANNELS_7135/CLS_SERRATED_CASTIN_ANCHOR_CHANNELS_7135/r9192378?CHD_LENGTH_ANC=150%20mm&combo_content=412b9c83dd18c8ce8216abf8cd3a224b&itemCode=2152090#nav%2Fclose
- [120] HILTI, «Parafuso HBC-T 8.8F, M16x60mm». Acedido: 13 de setembro de 2023. Disponível em: https://www.hilti.pt/c/CLS_FASTENER_7135/CLS_CASTIN_ANCHOR_CHANNELS_7135/CLS_ANC_CHANNEL_COLD/r9197051?CHD_LENGTH_ANC=60%20mm&salespackquantity=100%20un#nav%2Fclose
- [121] HILTI, «Introducing the new HILTI HAC HEDGE innovative cast-in anchor channel solution». Acedido: 13 de setembro de 2023. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=YxdmGc9XL_E
- [122] Schöck, «Strong in sound insulation: the new Tronsole® type P for filigree exposed concrete landings». Acedido: 12 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ceI58gMFY3g&t=3s>
- [123] Diário da República 1ª série, «Decreto-Lei nº 96/2008», vol. 110. pp. 3359–3372, 9 de junho de 2008.
- [124] Schöck, «Schöck Tronsole® type P». Acedido: 12 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.schoeck.com/en/tronsole-type-p>
- [125] F. Beulah, «Challenges Faced in Prefabrication or Modular Construction», *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 10, n. 1, pp. 168–178, Jan. 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.39789.

- [126] D. I. Rinawati, A. R. Keeley, S. Takeda, N. Itsubo, e S. Managi, «Potential for reducing CO2 emissions from passenger cars in Japan by 2030 to achieve carbon neutrality», *IATSS Research*, 2023, doi: 10.1016/j.iatssr.2023.02.004.

ANEXOS

A.1 Organigrama do Grupo Casais

Trabalho Temporário

143

A.2 Cotagem do núcleo de escadas 2 e 3 do edifício em Estudo

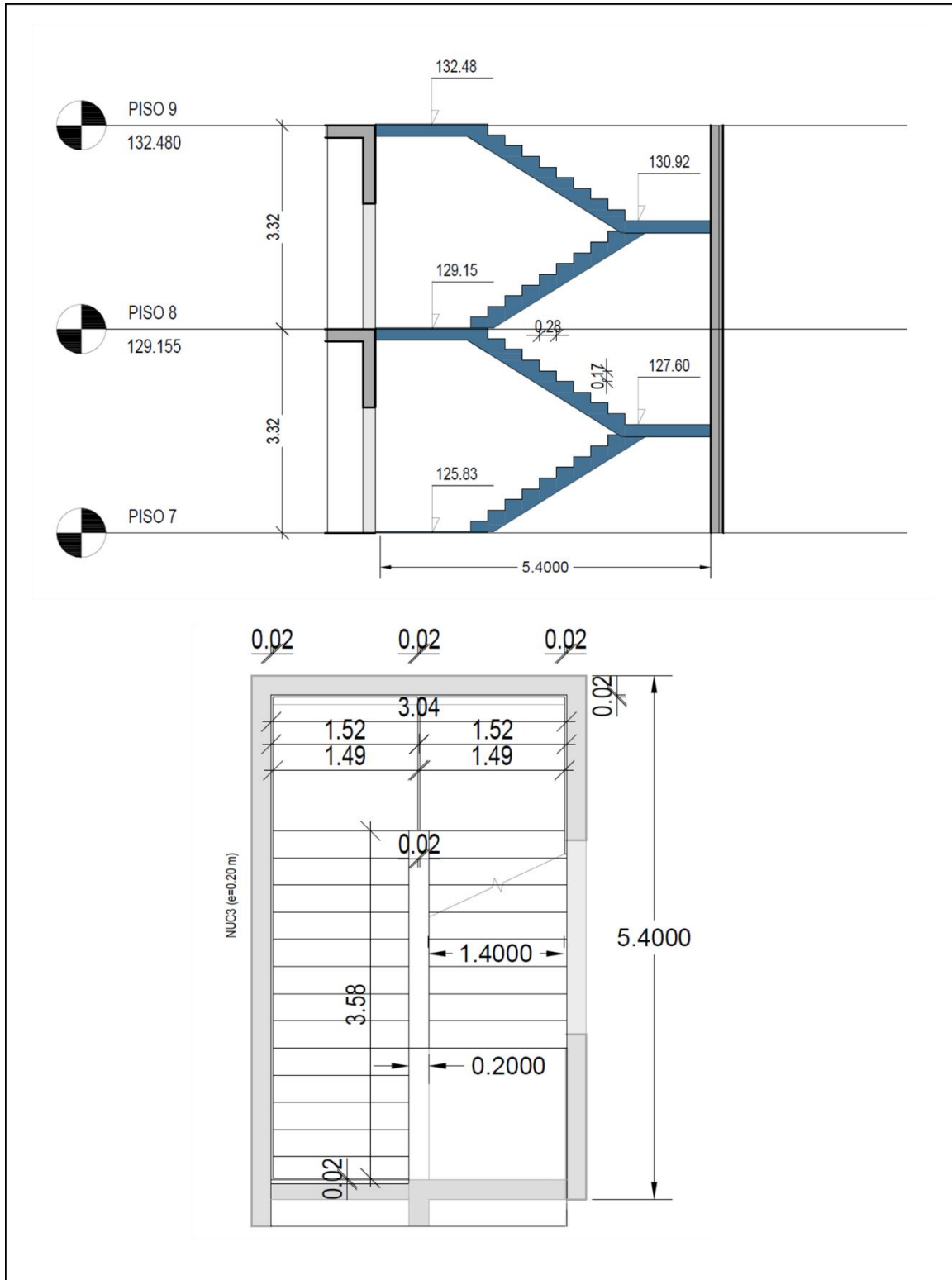


Figura 0.2- Corte do piso 7 e 8 e vista em planta do núcleo de escadas. Fornecido pela TopBIM.



2023

JOÃO FRANCISCO ROQUE
SANTOS PINTO

VANTAGENS DA PRÉ-FABRICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESCADAS PRÉ-FABRICADAS E TRADICIONAIS COM O MÉTODO CHOOSING BY ADVANTAGES