

Arquitetura e Sustentabilidade

Modelo de otimização do projeto sustentável: Desmontagem e Adaptabilidade

Maria Salvador Santos

Dissertação para obter o grau de Mestre em

Arquitetura

Orientador:

Professor Doutor Francisco Manuel Caldeira Pinto Teixeira Bastos

Orientador:

Professor Doutor António Morais Aguiar da Costa

Júri

Presidente: Professora Doutora Ana Paula Filipe Tomé

Orientador: Professor Doutor Francisco Manuel Caldeira Pinto Teixeira Bastos

Vogal: Professora Doutora Patrícia Isabel Mendes Lourenço

Outubro 2022

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Para a elaboração desta dissertação foi fundamental o apoio de todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para o seu desenvolvimento. Foi um percurso difícil, mas muito gratificante, tanto pelos obstáculos ultrapassados como pelos ensinamentos adquiridos. É com sinceridade que expresso a minha gratidão.

Aos meus orientadores Prof. Doutor Francisco Teixeira Bastos e Prof. Doutor António Aguiar Costa, pela dedicação e empenho, pela orientação, pelo material e bibliografia que me disponibilizaram e, principalmente, pela constante disponibilidade e apoio.

Ao Eng. Marco Pedroso, pela cedência de bibliografia essencial ao desenvolvimento do tema e disponibilidade a futuras dúvidas.

Ao Grupo Casais, pela oportunidade de desenvolver dois Casos de Estudo e pelo material disponibilizado para o progresso desta dissertação.

Ao atelier OpenBook e ao atelier Rua por todos os ensinamentos, simpatia e apoio, durante o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus pais, Filipa e Carlos, por todo o apoio e amor, pela educação diversificada e completa que me levou até à Arquitetura, pelos valores que levo comigo em cada viagem e pela sorte de poder continuar a aprender convosco.

Ao Gonçalo, pela paciência, pelo carinho, pelo apoio constante, e principalmente, pelo maior sorriso. À Cláudia, pelas gargalhadas, pela motivação e pela enorme amizade.

À Beatriz, à Cláudia, ao Nuno, à Madalena, e ao Luís, por cada memória partilhada nesta viagem que foi a universidade e da qual não poderia levar melhores amigos para a vida.

À Erika, ao Frederico, à Mariana e à Sara por todos os dias me fazerem sorrir e motivarem no desafio que foi trabalhar e desenvolver a minha dissertação em simultâneo.

A todos os meus amigos, que me motivaram em cada etapa e tornaram as paisagens desta viagem mais bonitas.

Obrigada a todos.

Resumo

A presente dissertação parte da premissa que a sustentabilidade e a transição verde e digital, acompanhadas pelo desenvolvimento da economia circular, catalisam a evolução da construção, nomeadamente, o tema emergente do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE (DfD/A).

Desta simbiose entre a tecnologia e a sustentabilidade, nasce o potencial de aliar ferramentas tecnológicas, como o BIM, ao ato de projetar, podendo atingir patamares de qualidade superior e materializar soluções que, até algumas décadas atrás, não tinham meios para vencer a distância entre a teoria e a prática. Assim, com foco no DfD/A, são abordados os conceitos que antecederam esta prática, e levaram à redação da ISO 20887:2020, que veio fixar os princípios que caracterizam a mesma.

A implementação dos princípios do DfD/A, pode não ser sentida se não houver mecanismos que comparem e avaliem esta prática com os habituais cenários de construção. Consequentemente, propõe-se a criação de um modelo que permita avaliar a capacidade dos edifícios e elementos, serem desmontados, reutilizados ou adaptados, após a primeira vida útil, baseado nos princípios enunciados pela ISO 20887:2020.

Finalmente, o Modelo de Otimização do Projeto Sustentável: Desmontagem e Adaptabilidade (MOPS-DA) procura fornecer uma estrutura de avaliação, que auxilie a construção obras de acordo com os princípios DfD/A. Esta ferramenta foi aplicada a dois Casos Estudo, demonstrando, primeiramente, que um edifício com uma construção que segue os princípios do DfD/A, tem um grau de circularidade superior a uma construção de betão armado e, secundamente, que existem diversas possibilidades de evolução do modelo ou novas soluções.

Palavras-Chave:

Sustentabilidade
Circularidade
BIM
Arquitetura
Desmontagem
Adaptabilidade

Key Words:

Sustainability

Circularity

BIM

Architecture

Disassembly

Adaptability

Abstract

The present dissertation' beginning was supported on the premise that sustainability and the green and digital transition, accompanied by the development of the circular economy, catalyse the evolution of contemporary construction, namely, the emerging theme of Design for Disassembly and Adaptability (DfD/A).

From this symbiosis between technology and sustainability, arises the potential to combine technological tools, such as BIM, with the act of designing, allowing to reach levels of superior quality and materialize solutions that, until a few decades ago, didn't have the means to overcome the distance between theory and practice. Thus, focusing on DfD/A, the concepts that preceded this practice and led to the writing of ISO 20887:2020 are analysed.

The implementation of DfD/A 'principles may not be felt if there aren't mechanisms that compare and evaluate this practice with the usual construction scenarios. Therefore, it's proposed the creation of a model that evaluates the capacity of buildings and elements, to be disassembled, reused, or adapted, after the first useful life, based on the principles set out by ISO 20887:2020.

Finally, the Sustainable Design Optimization Model: Disassembly and Adaptability (MOPS-DA) seeks to provide an assessment framework that assists in the design process based in the DfD/A principles. This tool was applied to two Case Studies, demonstrating, firstly, that a building with a construction that follows the DfD/A' principles, has a higher degree of circularity than a reinforced concrete construction and, secondly, that there are new solutions and several possibilities for the model' evolution.

Índice de Figuras

2. Os 4 Pilares do DfD/A

Fig.1 Sobreposição da planta do centro da cidade de Lisboa antes do terramoto de 1755 e com a planta do novo projeto, p. 10

Fonte: (Reaes Pinto, 2009).

Fig.2 Quarteirões A (24 vãos por 8 vãos) e B (19 vãos por 11) da Planta de Eugénio dos Santos, p.10

Fonte: (Reaes Pinto, 2009).

Fig.3 Tapete de Tatami e união de juntas de três tapetes Tatami na Vila Katsura, p.11

Fonte: <https://insideinside.org/project/katsura-imperial-palacezashiki-and-tatami/>

[Consultado a 04.10.2022]

Fig.4 Ken demarcado na planta da Vila Katsura, p.11

Fonte: <https://insideinside.org/project/katsura-imperial-palacezashiki-and-tatami/>

[Consultado a 04.10.2022]

Fig.5 Villa te Bilthoven, Bilthoven, Holanda,1999, p.13

Fonte: (Durmisevic & Yeang, 2009)

Fig.6 Edifício L3, p.14

Fonte: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/11/535/htm>

[Consultado a 04.10.2022]

Fig.7 Parâmetros de avaliação do BIM-DAS no Revit, p. 16

Fonte: (Akinade et al., 2015)

Fig.8 Parâmetros de cálculo do nível de desconstrutibilidade, p.16

Fonte: (Akinade et al., 2015)

Fig.9 Implementação do BWPE no ambiente BIM, p.16

Fonte: (Akanbi et al., 2018)

Fig.10 Criação de parâmetros personalizados para o Revit, p. 16

Fonte: (Akanbi et al., 2018)

Fig.11 Funcionamento da plataforma EcoBIM p.17

Fonte: (Circular EcoBIM, 2020)

3. O Conceito DfD/A

Fig.12 Diagrama dos Seis S's de Stewart Brand, p.21

Fonte: (Guy e Ciarimboli, 2015)

Fig.13 Edifício Lloyds of London, Richard Rogers (1986), p.21

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/799481/classicos-da-arquitetura-lloyds-of-london-building-richard-rogers>

[Consultado a 28.04.2022]

Fig.14 Centro Pompidou, Renzo Piano e Richard Rogers (1977), p.21

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/01-41987/classicos-da-arquitetura-centro-georges-pompidou-renzo-piano-mais-richard-rogers>

[Consultado a 28.04.2022]

Fig.15 Seagram Building, Nova Iorque, Mies Van Der Rohe (1958), p.22

Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/01-80364/classicos-da-arquitetura-edificio-seagram-mies-van-der-rohe?ad_source=search&ad_medium=projects_tab

[Consultado a 29.04.2022]

Fig.16 Pavilhão de Barcelona, Barcelona, Mies Van Der Rohe (1929), p.23

Fonte: <https://miesbcn.com/the-pavilion/images/>

[Consultado a 29.04.2022]

Fig.17 Edifício CREE, p.24

Fonte: <https://www.creebuildings.com/>

[Consultado a 30.04.2022]

Fig.18 Pavilhão Multiusos de Gondomar, Gondomar, p.26

Fonte: <https://www.archiweb.cz/en/b/vicefunkcni-pavilon-gondomar-pavilh-o-multiusos-de-gondomar>

[Consultado a 28.04.2022]

Fig.19 Usina a carvão, Mehillone, Chile, p.26

Fonte: <https://envolverde.com.br/chile-coloca-fim-na-liberacao-de-licencas-para-usina-de-energia-por-carvao/>

[Consultado a 28.04.2022]

Fig.20 Evolução da Quinta Monroy, p.27

Fonte: (O'Brien & Carrasco, 2021).

Fig.21 Quinta Monroy, ELEMENTAL, Alejandro Aravena, (2003), p.28

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/01-28605/quinta-monroy-elemental>

[Consultado a 30.04.2022]

Fig.22 Tipologias de habitação, Quinta da Malagueira, Álvaro Siza Vieira (1973), p.28

Fonte: Livro Indisciplina

Fig.23 Quinta da Malagueira, Álvaro Siza Vieira (1973), p.29

Fonte: <http://befrontmag.com/2017/04/13/public-housing-and-a-teaspoon-of-ethics/>

[Consultado a 01.05.2022]

Fig.24 Aquedutos de betão em contraste com a cor branca das habitações, Quinta da Malagueira, Álvaro Siza Vieira (1973), p.29

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/01-49523/classicos-da-arquitetura-quinta-da-malagueira-alvaro-siza>

[Consultado a 01.05.2022]

4. Modelo de otimização do projeto sustentável: Desmontagem e adaptabilidade (MOPSDA)

Fig.25 Funcionamento da plataforma EcoBIM, p.35

Fonte: (Circular EcoBIM, 2020)

Fig.26 MLC ou Glulam

Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/928061/o-que-e-madeira-laminada-colada-mlc-ou-glulam>, p.36

[Consultado em 02.05.2022]

Fig.27 SkyCity, p.39

Fonte: (Generalova et al., 2016)

Fig.28 Fábrica Central BSB, seção de piso, p.39

Fonte: (Generalova et al., 2016)

Fig.29 Anexo A: ISO 20887 (2020) - Avaliação de componentes/montagens para princípios específicos de DfD/A

Fonte: (ISO 20887:2020, 2020)

5. Implementação do Modelo

Fig.30 Lifecycle Tower, p.52

Fonte: (CREE Buildings, 2020)

Fig.31 LCT ONE, Dornbin, p.52

Fonte: (CREE Buildings, 2020)

[Consultado a 01.09.2022]

Fig.32 Exemplo de uma das soluções internacionais da CREE: Iliwerke Zentrum, Montafon. Arquitetos, p.52

Fonte: Illwerke Zentrum building in Montafon - CREE Buildings

[Consultado a 06.08.2022]

Fig.33 Corte longitudinal do edifício e esquema estrutural, p.53

Fonte: (Grupo Casais, 2021)

Fig.34 Corte longitudinal do edifício e esquema estrutural, p.53

Fonte: (Grupo Casais, 2021)

Fig.35 Imagens da construção do CE 1, p.53

Fonte: (Grupo Casais, 2021)

Fig.36 Núcleos rígidos de betão armado, p.53

Fonte: (Grupo Casais, 2021)

Fig.37 Construção do CE 2, p.54

Fonte: (Grupo Casais, 2021)

Fig.38 Implantação do CE 2, p.54

Fonte: (Urbis & Grupo Casais, 2021)

Fig.39 Corte transversal pelos acessos do CE 2, p.54

Fonte: (Urbis & Grupo Casais, 2021)

Fig.40 Análise do nível de convertibilidade e versatilidade de cada espaço, Caso de Estudo 1, p.57

Fonte: Autor

Fig.41 Análise da regra dos 45°, Alçado Norte do CE 1.59

Fonte: Autor

Fig.42 Análise da regra dos 45°, Alçado Oeste do CE 1, p.59

Fonte: Autor

Fig.43 Sistema estrutural misto CREE, p.60

Fonte: (Grupo Casais, 2021)

Fig.44 Análise do nível de convertibilidade e versatilidade de cada espaço, Caso de Estudo 2, p.66

Fonte: Autor

Fig.45 Alçado Sul, CE 2, p.68

Fonte: Autor

Fig.46 Alçado Oeste, CE 2, p.68

Fonte: Autor

Fig.47 Planta de Paredes, CE 2, piso 1, p.72

Fonte: (Urbis & Grupo Casais, 2021)

Índice de Tabelas

Tab. 1 Descrição dos níveis de avaliação do MOPS-DA: Escala do Edifício

Tab. 2 Descrição dos níveis de avaliação do MOPS-DA: Nível do Elemento

Tab. 3 MOPS-DA: Nível do Edifício

Tab. 4 MOPS-DA: Nível do Elemento

Tab. 5 Caso de Estudo 1: MOPS-DA: Nível do Edifício

Tab. 6 Caso de Estudo 1: MOPS-DA: Nível do Elemento

Tab. 7 Caso de Estudo 2: MOPS-DA: Nível do Edifício

Tab. 8 Caso de Estudo 2: MOPS-DA: Nível do Elemento

Lista de Abreviaturas

AECO Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações

BIM *Building Information Modeling* (Modelação da Informação da Construção)

DfD/A *Design for Disassembly and Adaptability* (Design para Desmontagem e Adaptabilidade)

EC Economia Circular

ESG Environmental, Social and corporate Governance (Investimento Socialmente Responsável)

ODS Objetivo(s) para o Desenvolvimento Sustentável

UE União Europeia

Índice

Introdução	1
Enquadramento	1
Motivação	3
Objetivos	3
Metodologia	4
Estrutura	4
Terminologia	6
1. Os Pilares do DfD/A	9
1.1. Desenvolvimento Sustentável	9
1.2. Arquitetura Sustentável	10
1.2.1. Evolução da Arquitetura Sustentável	10
1.2.2. Arquitetura e Sustentabilidade	11
1.2.3. Arquitetura Sustentável e Circular Contemporânea	12
1.3. Economia Circular	13
1.3.1. Circularidade	13
1.3.2. Projetar para Desmontagem e Adaptabilidade	14
1.4. <i>Twin Transition</i> : Verde e Digital	15
1.4.1. Prioridades da UE	15
1.4.2. Progressos da <i>Twin Transition</i>	16
1.4.3. Publicação da ISO 20887:2020	18
2. O Conceito do DfD/A	19
2.1. Princípios do Design para Desmontagem (DfD)	20
2.1.1. Facilidade de acesso a componentes e serviços	20
2.1.2. Independência	21
2.1.3. Evitar tratamentos e acabamentos desnecessários	22
2.1.4. Apoiar modelos de negócios de reutilização	22
2.1.5. Simplicidade	23
2.1.6. Padronização	23
2.1.7. Segurança de desmontagem	24
2.2. Princípios do Design para Adaptabilidade (DfA)	25
2.2.1. Versatilidade	26
2.2.2. Convertibilidade	26
2.2.3. Expansibilidade	27

3. Modelo de Otimização do Projeto Sustentável: Desmontagem e Adaptabilidade (MOPS-DA)	31
3.1. Visão	32
3.2. Metodologia e Critérios de Avaliação	32
3.3. Parâmetros de Avaliação	33
3.3.1. Avaliação do Ciclo de Vida	33
Avaliação do Ciclo de Vida	33
Declarações Ambientais de Produto	33
Redução da pegada de CO2 na atmosfera	33
Critérios de avaliação	34
3.3.2. Circularidade dos elementos	34
Edifício Dador	34
Importância das Bases de Dados	34
Armazenamento dos dados dos Edifícios Dadores	35
Critérios de avaliação	35
3.3.3. Materiais	35
Betão	35
Critérios de avaliação para o Betão	36
Alvenaria	36
Critérios de avaliação para a Alvenaria	36
Madeira	36
Critérios de avaliação para a Madeira	37
Aço	37
Critérios de avaliação para o Aço	37
Vidro	37
Critérios de avaliação para o Vidro	37
3.3.4. Conexões	37
Conexões Químicas	37
Conexões Reversíveis	38
Conexões de Gravidade	38
Critérios de avaliação	38
3.3.5. Padronização	38
Aplicação dos Princípios da Arquitetura Circular	38
Modularização	39
Transporte de elementos pré-fabricados	39
Reciclagem do aço	39
Critérios de avaliação	40
3.3.6. Fundações	40
Comportamento do betão ao aumento de cargas	40
Tipo de fundações para futura desmontagem	40
Critérios de Avaliação	40

3.3.7. Expectativa de vida do projeto	41
Independência das camadas do sistema	41
Projeto para desmontagem a longo prazo	41
Critérios de avaliação	41
3.3.8. Recurso ao software BIM	41
Vantagens no uso do BIM	41
Armazenamento de informação	42
Análises de Desempenho	42
Recursos do BIM	42
Critérios de avaliação	43
3.3.9. Níveis e percentagens de avaliação	43
3.4. O Modelo	46
3.4.1. Anexo C da ISO 20887:2020	46
3.4.2. Anexo A da ISO 20887:2020	46
3.4.3. Durabilidade	46
3.4.4. Recurso ao Software BIM	46
4. Implementação do Modelo	51
4.1. Caracterização dos Casos de Estudo	52
4.1.1. Grupo Casais e Sistema CREE	52
4.1.2. Caracterização do Caso de Estudo 1	53
4.1.3. Caracterização do Caso de Estudo 2	54
4.2. Aplicação do Modelo ao Caso de Estudo 1	55
4.2.1. Adaptabilidade	55
Versatilidade	55
Convertibilidade	55
Expansibilidade	57
4.2.2. Desmontagem	57
Simplicidade no projeto	57
Segurança e Saúde	59
Independência	59
4.2.3. Informação Disponível	60
Plano de desmontagem com especificações	60
Informação sobre a sequência de desmontagem	60
Recurso ao software BIM para armazenar informação	60
4.2.4. Informações sobre os Materiais	62
4.2.5. Acabamentos e tratamentos	62
4.2.6. Conexões Reversíveis	62
4.2.7. Construção Circular	62
4.2.8. Padronização	63
4.2.9. Durabilidade	63

4.3. Aplicação do Modelo ao Caso de Estudo 2	65
4.3.1. Adaptabilidade	65
Versatilidade	65
Convertibilidade	65
Expansibilidade	67
4.3.2. Desmontagem	67
Simplicidade no projeto	67
Segurança e Saúde	69
Independência	69
4.3.3. Informação Disponível	69
Plano de desmontagem com especificações	69
Informação sobre a sequência de desmontagem	69
Recurso ao software BIM para armazenar e organizar informação	70
4.3.4. Informações sobre os Materiais	72
4.3.5. Acabamentos e tratamentos	72
4.3.6. Conexões Reversíveis	72
4.3.7. Construção Circular	73
4.3.8. Padronização	73
4.3.9. Durabilidade	73
4.4. Análise Comparativa dos resultados	75
4.4.1. Resultado do formato visual e da escala de classificação	75
4.4.2. Comparação dos dois Casos de Estudo	75
Conclusão	77
Questões de Investigação	77
Contributo da dissertação para a Arquitetura e para o DfD/A	78
Limitações ao Estudo	79
Considerações futuras	79

Introdução

Enquadramento

Atualmente, a construção contemporânea enfrenta a demolição excessiva de edifícios cuja primeira vida útil tinha terminado. No entanto, o término da primeira vida útil de um ativo não é sinónimo do final da vida das componentes do ativo. Desta forma, o estado atual do desenvolvimento sustentável, da economia circular e dos avanços inovadores da transição verde e tecnológica, permitiram o desenvolvimento do DESIGN¹ PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE (DFD/A), como uma das principais práticas da arquitetura sustentável, cujos princípios visam aumentar a taxa de reutilização ou reciclagem de componentes e materiais, assim como responder ao desafio de tornar os edifícios, inicialmente, projetados para uma função específica, adaptáveis a novos usos.

Entende-se assim, que o DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE, é a abordagem para o projeto de um produto ou ativo construído², que visa facilitar a desmontagem e adaptabilidade no final da sua vida útil, de forma a permitir que o ativo ou as suas componentes, peças e materiais sejam adaptados, reutilizados, reciclados, recuperados para energia ou, a partir de outro método, desviados do desperdício de resíduos. Consequentemente, esta estratégia sugere que o excesso de construção não é a solução para atender ao grande número de desafios que um ativo construído pode encontrar (ISO 20887:2020, 2020).

Quando associada ao conceito “sustentabilidade”, a arquitetura difrata-se em várias direções, dada a ambiguidade do termo “arquitetura sustentável”, gerando termos como: Arquitetura verde, Geoarquitetura, Bioarquitetura, Ecoarquitetura, Arquitetura eficiente e autossuficiente, ou Arquitetura Desmontável e Adaptável. Todos os termos convergem para o mesmo propósito, isto é, uma arquitetura que desenvolva ambientes saudáveis, reduza o impacto negativo da construção e o consumo de energia e recursos no ambiente.

No entanto, sendo a arquitetura sustentável um processo de inovação, experimentação e acima de tudo de evolução, onde a procura de soluções ainda está em desenvolvimento, poderá assumir-se que é uma prática arquitetónica e não um estilo

¹Dado que ainda não existe uma tradução portuguesa de DfD/A (Design para Desmontagem e Adaptabilidade), irá considerar-se, nesta dissertação, que a tradução da palavra Design se refere ao Projeto de Arquitetura.

², ³, ⁴ Ver Terminologia

arquitetónico. Deste modo, esta prática poderá ser implementada em qualquer estilo arquitetónico, tanto na elaboração de novos projetos, como na reabilitação de edifícios (Cunha et al., 2015).

Apesar da vontade de inovar, a indústria da construção tem optado por soluções conservadoras (Salama, 2017) e avessas ao risco (Agustí-Juan et al., 2017), motivadas por uma economia que pensa a curto prazo em função do tempo, custo e qualidade requerida pelo cliente (Bowen et al., 2013).

Muitos edifícios ainda são projetados para uma única função ou programa, limitando o projeto a uma vida útil modesta. Porém, a vida útil de um edifício não é apenas medida em função das soluções construtivas usadas, dado que o tempo e a evolução das necessidades sociais e económicas a que este deve responder podem facilmente mudar (Durmisevic & Yeang, 2009). Será, assim, entendido que um edifício é constituído por diferentes elementos ou camadas com vidas úteis diferentes, o que leva a questionar o tratamento errático do edifício como uma entidade única, originando problemas como a desadequação de um edifício ou o uso de uma materialidade que já não é desejada (Crowther, 2015). Contrariamente à economia linear, a economia circular tem-se revelado um fator determinante na indústria da construção, promovendo a eliminação do desperdício de materiais naturais e não naturais valiosos, e promovendo a reutilização de recursos de um edifício cuja primeira vida útil tenha terminado.

Vivemos o que se convencionou como Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, onde a digitalização assume um importante lugar estrutural (Schwab, 2016), enquanto decorre, em simultâneo, a transição verde para um mundo mais sustentável. Assim, influenciada pelo novo modelo de economia circular, com estratégias que refutam as cadeias de valor lineares, reduzindo a poluição e desperdício, a *Twin Transition*³ ou Transição Dupla, pode ser a chave para descarbonizar o sector AECO, através do recurso a soluções tecnologicamente inovadoras, como é o caso da implementação do uso do BIM⁴ em quase todo o mundo.

A necessidade de armazenar os dados de todo o processo de construção, desde a conceção até à demolição, é facilmente suportada pelo BIM, melhorando a qualidade das decisões tomadas à posteriori (Akanbi et al., 2018). Assim, a inserção do BIM na dimensão ambiental da sustentabilidade e, conseqüentemente, o seu uso para minimizar o desperdício, pode ser uma ponte entre a economia circular e a arquitetura.

Motivação

Aliada a uma infância rodeada de arte, onde despertei a minha apreciação por criar com um propósito, a minha formação no Instituto Superior Técnico, interessada no conhecimento da história da arte e da arquitetura, com a forma como os avanços tecnológicos permitem a evolução de ambas as partes perante as necessidades contemporâneas.

Por outro lado, seja voluntária, ou involuntariamente, a arquitetura leva-nos a compreender como evoluíram os hábitos culturais e políticos de cada povo, como cada edifício conta uma história sobre quem o viveu e acima de tudo, como evoluíram as necessidades das sociedades ao longo do tempo.

Assim, compreendendo que, atualmente, a *Twin Transition* acompanha e catalisa a evolução do sector da construção, nomeadamente, o tema emergente do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE, onde a tecnologia e a sustentabilidade se encontram na procura de uma arquitetura mais circular e sustentável, a escolha deste tema, advém da oportunidade que este oferece no contexto global: A arquitetura é a disciplina que não só tem o privilégio de criar para as necessidades do presente, como tem o dever de criar sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

Consequentemente, associado à afirmação anterior, o DfD/A mostra o potencial do uso de novas ferramentas tecnológicas, como o BIM, permitindo elevar o ato de projetar a novos patamares de qualidade e materializar soluções que, até algumas décadas atrás, não tinham meios para vencer a distância entre a teoria e a prática.

Objetivos

Apesar do DfD/A ser um conceito já muito desenvolvido teoricamente, principalmente a nível internacional, existe ainda uma clara distância entre a prática e a teoria. Assim, propõe-se desenvolver um processo de pesquisa de referências, normas e investigações que ajudem a responder a duas questões: PODERÁ EXISTIR UM MODELO QUE PERMITA AVALIAR O DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE NUM PROJETO? e QUAL O CONTRIBUTO QUE UMA FERRAMENTA COMO O MOPS-DA PODE ACRESCENTAR NA TRANSIÇÃO ENTRE A TEORIA E A PRÁTICA DA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E CIRCULAR?

Como resposta ao primeiro objetivo, propõe-se o desenvolvimento do Modelo de otimização do Projeto Sustentável: Desmontagem e Adaptabilidade (MOPS-DA), o qual irá consistir numa grelha de análise onde qualquer projeto poderá ser avaliado com base nos princípios DfD/A, e sobre a qual será aplicado um sistema de classificação com base no nível de cumprimento desses mesmos princípios.

Com base nos resultados da aplicação do modelo aos casos de estudo e tirando partido do potencial do BIM no contexto da simulação e otimização de projetos, assim como a sua eficiência perante o quadro da arquitetura sustentável, será possível responder à segunda questão levantada.

Por fim, esta dissertação procura auferir a relevância da implementação do modelo no setor da construção, para a criação de projetos DfD/A de raiz e sugerir novas questões e soluções, como a inclusão de parâmetros relacionados com o DfD nos modelos BIM de Arquitetura.

Método

Após um enquadramento dos vários temas que impulsionaram, o progresso do DfD/A, e um levantamento do Estado da Arte sobre o tema, são explicitados todos os princípios enunciados na ISO 20887:2020, caracterizadores do Design para Desmontagem e do Design para Adaptabilidade, de forma clarificar o tema principal desta dissertação e compreender as premissas que vão anteceder o modelo que irá ser desenvolvido.

Na fase da elaboração do modelo, com base na ISO 20887:2020, é analisado um conjunto de parâmetros inerentes ao DfD/A, perante os quais um projeto poderá ser avaliado quanto ao cumprimento dos mesmos. O método de avaliação dos projetos irá fundamentar-se numa classificação de 0 a 5, onde cada nível corresponderá a um intervalo percentual.

Seguidamente, usando a mesma lógica de análise, será conduzida a aplicação do modelo a dois casos de estudo nacionais, do Grupo Casais – a Unidade Hoteleira do Grupo B&B, um edifício multifuncional em Guimarães, correspondente ao primeiro Caso de Estudo, e o Hotel B&B Lisboa, um hotel em Oeiras que corresponde ao segundo Caso de Estudo.

A partir da aplicação do modelo de avaliação proposto aos casos de estudo, será possível elaborar conclusões sobre as vantagens da utilização do mesmo, o impacto que o mesmo poderá ter na transição da teoria para a prática do DfD/A, qual a posição das diferentes soluções construtivas no quadro da construção sustentável, avaliar o potencial do BIM para objetivar a abordagem e avaliação do DfD/A, enquanto ferramenta digital e, finalmente, quais as questões que se levantam para o futuro.

Estrutura

A dissertação irá estruturar-se em quatro capítulos, que constituem o corpo da tese, uma Introdução e uma Conclusão.

A introdução obedece a uma divisão de 6 partes: o Enquadramento do tema, as Motivações, os Objetivos a atingir, o Método utilizado na concretização dos objetivos, a Estrutura da tese e a Terminologia, que clarifica o conjunto de termos e definições indispensáveis à compreensão deste documento.

Os segundo e terceiro capítulos correspondem ao levantamento do estado da arte. O segundo aborda os desenvolvimentos que levaram até ao conceito do DfD/A e o terceiro versa, com base na ISO 20887:2020, a definição dos princípios que caracterizam o conceito do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE.

O quarto capítulo foca-se no desenvolvimento do MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO DESIGN SUSTENTÁVEL: DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE (MOPS-DA), tendo por base os princípios DfD/A e um método de classificação percentual correspondente a 6 níveis.

O quinto capítulo, ensaia a aplicação do modelo na indústria da construção, utilizando dois casos de estudo nacionais que serão classificados de 0 a 5, facto que permite elaborar uma discussão sobre os resultados obtidos.

Por fim, no sexto e último capítulo, apresentam-se as conclusões, baseadas nos resultados obtidos anteriormente, onde se auferem as respostas às questões levantadas no início da dissertação, são referidas quais as limitações associadas à criação do modelo e à sua conseqüente implementação, assim como são apresentados possíveis desenvolvimentos futuros para a continuação e evolução do DfD/A, e do respetivo modelo.

Terminologia

Para o propósito e melhor compreensão deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

Adaptabilidade: “Capacidade de ser alterado ou modificado para se adequar a um propósito específico”. (ISO 20887:2020, 2020).

Ativo de Construção: “Qualquer coisa de valor que seja construída ou resulte de operações de construção” (ISO 20887:2020, 2020).

BIM: *Building Information Modeling* (BIM) consiste no processo de criar e gerir informações para um ativo construído. Baseado num modelo inteligente, o projeto pode armazenar numa plataforma em nuvem (cloud), todos os dados estruturados e multidisciplinares que produzem uma representação digital de um ativo durante todo o seu ciclo de vida, desde o planeamento e projeto até a construção e operações. Portanto, o BIM descreve uma atividade, não um objeto. Para descrever o resultado da atividade de modelação, usamos o termo “modelo de informação de construção”, ou, simplesmente, “modelo de construção”, na íntegra (Eastman et al, 2011).

Desenvolvimento sustentável: “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. (Relatório Brundtland, Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, O Nosso Futuro Comum, 1987).

Desmontagem: “Separação não destrutiva de uma obra de construção ou ativo construído nos seus materiais ou componentes constituintes” (ISO 20887:2020, 2020).

Economia Circular: Conceito que surge em 1989 num artigo dos economistas e ambientalistas britânicos David W. Pearce e R. Kerry Turner. Atualmente definido por “economia desenhada para ser restauradora e regeneradora, e visar manter os produtos, componentes e materiais na sua maior utilidade e valor em todos os momentos, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos”. (ISO 20400:2017, 2017).

EPD (DPA): *Environmental Product Declaration*, ou em português, uma Declaração do Produto Ambiental (DPA), indica que os fabricantes de um determinado produto ou serviço têm interesse em medir e reduzir o seu impacto ambiental e relatar esses impactos de forma transparente. Ao desenvolver uma EPD, o desempenho ambiental do produto deve ser descrito a partir de uma perspetiva de ciclo de vida, baseada na avaliação do ciclo de vida (LCA) do produto (The Internacional EPD System, 2022).

Espaço Económico Europeu (EEE): “O Espaço Económico Europeu (EEE) reúne os Estados-Membros da UE e os três Estados da Associação Europeia de Comércio Livre (EFTA), membros do EEE (Islândia, Listenstaine e Noruega), num mercado interno regulado pelas mesmas regras de base, com o objetivo de permitir a livre circulação de

mercadorias, serviços, capitais e pessoas no EEE, num ambiente aberto e concorrencial. O Acordo sobre o Espaço Económico Europeu entrou em vigor em 1 de janeiro de 1994.” (Comité Económico e Social Europeu, 2022)

European Economic Area (EEA) Grants: Após o Acordo do Espaço Económico Europeu (EEE), ao mercado interno dos Estados-Membros da EU, juntaram-se 3 parceiros: Islândia, Liechtenstein e Noruega. Este acordo vem estabelecer um Mecanismo Financeiro Plurianual, conhecido como *EEA Grants*, que visa reduzir as diferenças sociais e económicas na Europa e reforçar as relações bilaterais entre os Estados Doadores e os Estados Beneficiários. Em Portugal, o *EEA Grants* trabalha em conjunto com a Unidade Nacional de Gestão (UNG) para implementar o seu fundo (Circular EcoBIM, 2020).

Green Deal (Pacto Ecológico Europeu): O Pacto Ecológico Europeu é uma resposta às alterações atmosféricas, ao aumento das espécies em vias de extinção e aos ecossistemas e biodiversidade que continuam a ser destruídos. Tal como é enunciado no pacto “Trata-se de uma nova estratégia de crescimento que visa transformar a UE numa sociedade justa e próspera, com uma economia moderna, competitiva e eficiente em termos de recursos, onde não haja emissões de gases de efeito de estufa em 2050 e onde o crescimento económico esteja dissociado dos recursos” (Comissão Europeia, 2019b).

LCA (ACV): *Life Cycle Assessment*, ou em português, *Avaliação do Ciclo de Vida* (ACV) é um processo, que avalia os efeitos de um produto no meio ambiente, durante a sua vida útil, contribuindo para o aumento da eficiência do uso dos recursos. A LCA pode ser aplicada para estudar o impacto ambiental de um produto ou a função que o produto foi projetado para desempenhar. Os elementos-chave da LCA são: Identificar e quantificar as cargas ambientais envolvidas, como a energia e as matérias-primas consumidas, as emissões e os resíduos gerados; avaliar os potenciais impactos ambientais dessas cargas; e avaliar as opções disponíveis para reduzir esses impactos ambientais (European Environment Agency, 2022).

LEVEL(S): Documento desenvolvido como uma estrutura comum da EU, com indicadores fundamentais de sustentabilidade para edifícios de escritórios e residenciais, e visa fornecer um conjunto de indicadores e métricas comuns para medir o desempenho ambiental dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida (Dodd et al., 2017).

ODS: Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, publicados em 2015 na Agenda 2030, são uma “uma lista das coisas a fazer em nome dos povos e do planeta”, que abordam as várias dimensões do desenvolvimento sustentável (social, económico, ambiental) e promovem a paz, a justiça e instituições eficazes (Org, 2015).

Relatório Brundtland: Relatório Brundtland, também denominado Nosso Futuro Comum, é um documento publicado em 1987, pela Comissão Mundial sobre Ambiente

e Desenvolvimento, onde foi introduzido o conceito de desenvolvimento sustentável e foram lançadas as premissas para alcançar o Desenvolvimento Sustentável (World Commission on Environment, 1987).

Twin Transition (Transição Dupla): A *Twin Transition* ou Transição Dupla é caracterizada pela transição verde e digital. Enquanto a Comissão Europeia está empenhada, por um lado, em proporcionar uma Europa adequada à era digital, formando pessoas, empresas e administrações com uma nova geração de tecnologias, onde a transformação digital beneficiará todos (Comissão Europeia, 2019), por outro, procura cumprir os objetivos estabelecidos no Pacto Ecológico Europeu. Assim, a visão da *Twin Transition* pode ser traduzida na ideia “Não há *Green Deal* sem digital” (Joinup, 2021).

Zero Waste Movement (Movimento Desperdício Zero): “O Movimento Zero Desperdício tem como missão unir esforços e convocar o todos para a promoção de atitudes, comportamentos, atividades, ações, e iniciativas estratégicas que garantam o desenvolvimento das boas práticas Zero Desperdício e de Equidade, bem como gestão de redes de redução, recuperação e reutilização de potenciais resíduos; otimização e justa distribuição dos recursos, e de apoio na definição estratégica da sustentabilidade das organizações em linha com os ODS e ESG, com foco e orientação à medição de impacto e à consciencialização e envolvimento de todos para a urgência da transição climática.” (ZERO DESPERDÍCIO, 2011).

1. Os Pilares do DfD/A

No ano de 2020, a publicação da ISO 20887:2020, estabeleceu todas as definições normalizadas sobre o DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE (DfD/A), retirando algum protagonismo às definições sugeridas anteriormente.

No entanto, o presente capítulo procura demonstrar a existência de quatro pilares que equilibraram e impulsionaram o surgimento deste conceito, ao longo da história, e cujos avanços têm vindo a desempenhar um papel significativo na crescente aceitação e implementação do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE, e da respetiva ISO.

1.1. Desenvolvimento Sustentável

“Desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades.” – (Relatório da Comissão Brundtland, 1987)

Apesar da sustentabilidade ser um tema contemporâneo, desde cedo se procurou apoiar as soluções construtivas sobre materiais e técnicas ecologicamente eficientes, como é possível observar através da arquitetura vernacular portuguesa, onde, muitas vezes, as premissas do projeto eram lançadas pelas próprias condições do local.

Mais tarde, desde a segunda metade do séc. XVIII, marcada pela Revolução Industrial, até ao ano de 1945, marcado pelo fim da 2ª Guerra Mundial, o planeta testemunha o rápido o crescimento das indústrias de aço e eletricidade, e o conseqüente aumento do consumo de petróleo. Assim, se por um lado, a industrialização introduziu conceitos indispensáveis à construção atual, como a pré-fabricação e a padronização, o descontrolo de CO₂ expulso para a atmosfera contaminou severamente a mesma, desencadeando o surgimento de várias conferências e documentos direcionados para incentivar e guiar os países a adaptar a gestão de recursos e emissões de gases de efeito de estufa, face aos ideais de uma nova consciência ambiental (Cunha et al., 2015).

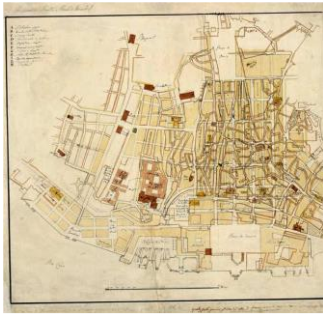


Fig.1 Sobreposição da planta do centro da cidade de Lisboa antes do terramoto de 1755 e com a planta do novo projeto.

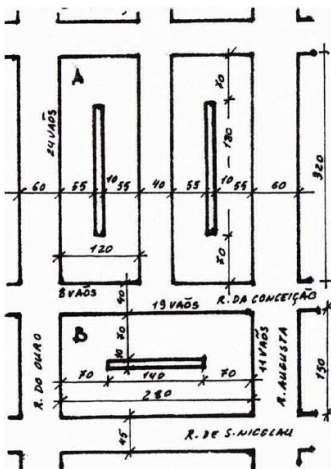


Fig.2 Quarteirões A (24 vãos por 8 vãos) e B (19 vãos por 11) da Planta de Eugénio dos Santos

Em 1987, como resultado de 20 anos de discussão, é publicado o Relatório Brundtland⁵ – O Nosso Futuro Comum – onde é difundida a definição de Desenvolvimento Sustentável. Em 2012, na conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (RIO+20), todos os países membros adotaram o documento final “O futuro que queremos”, no qual foram redigidos um conjunto de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS⁶), e, em 2015, é oficialmente implementada a Agenda 2030, onde são aplicados 17 ODS finais (Org, 2015).

Atualmente, no sector da construção, as soluções desenvolvidas tendem a dar resposta aos ODS em vigor, destacando-se o ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura –, que procura construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, assim como fomentar a inovação; e o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis –, que visa tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, resilientes, seguros e sustentáveis (ONU, 2015). Em simbiose com o dois ODS acima mencionados, o DfD/A responde ainda diretamente ao ODS 12 – Consumo e produção responsáveis -, através da reutilização de materiais e componentes desmontados de edifícios, no final da vida útil, ou através da adaptação desses edifícios para novos usos, tornando-os versáteis a diferentes programas e tornando a demolição uma opção cada vez menos utilizada.

1.2. Arquitetura Sustentável

“Um bom projeto é sustentável, um ótimo projeto é responsável” – (Richard Wittschiebe, 2021)

1.2.1. Evolução da Arquitetura Sustentável

Temas como a pré-fabricação, a modularidade e a padronização, têm vindo a ser cada vez mais recorrentes no quadro da arquitetura sustentável e, apesar do termo “pré-fabricado” ser apenas empregue após a industrialização, ao longo da história, civilizações como os Incas, Egípcios, Gregos e Romanos, empregaram soluções que seguiam a aplicação racional dos materiais e a pré-fabricação de elementos antes de serem montados in-situ (Reaes Pinto, 2009).

Em Portugal, a reconstrução da Baixa Pombalina (Fig.1) é um exemplo claro da normalização na construção portuguesa. Derivada da necessidade de construir, rapidamente, toda a zona de Lisboa devastada pelo terramoto de 1755, a Baixa de Lisboa é caracterizada por uma malha racional e sistematizada, assi como uma produção de elementos standardizados e medidas normalizadas (Fig.2). Após o seu término, a construção pombalina veio enraizar novos conceitos em Portugal, como a normalização, a organização, a padronização e a tipificação, ilustrando ainda, que a construção tradicional pode também ser circular e sustentável, sem recorrer a processos mecânicos. (Reaes Pinto, 2009).

Por outro lado, no Oriente os mesmos conceitos são empregues, com diferentes linguagens, muito antes destes serem associados à arquitetura sustentável e circular.

A Vila Imperial Katsura, construída no séc. XVII, em Kyoto, foi uma das fontes de inspiração orientais, mais significativas para os primeiros modernistas e para a arquitetura modular, pelas diferentes interpretações que a modularidade e ordem espacial, presentes nesta obra, despertaram ao longo dos séculos. Assim, por ser um precedente significativo à arquitetura modular e à arquitetura desmontável e adaptável, a Vila Imperial Katsura, é ainda uma obra de referência para os arquitetos contemporâneos (Sarvimäki, 2017).

Para Bruno Taut, a Villa Katsura é caracterizada pela aplicação de medidas estritamente padronizadas, enquanto Walter Gropius afirma que a modularidade desta obra, era materializada na disposição das salas organizadas num padrão conhecido por tapete tatami⁷ (Fig.3) (Isokazi et. al, 2004). Apesar desta última visão ter sido repetida inúmeras vezes até ser reconhecida, por muitos arquitetos, como um facto, Heinrich Engel, na obra *The Japanese House: A Tradition for Contemporary Architecture* (1964), discorda com a mesma, acrescentando que “é importante notar que o tatami nunca, nem mesmo ficcionalmente, funcionou como um módulo de qualquer tipo” (Sarvimäki, 2017).

Assim, apesar de o tatami ainda ser considerado por muitos, como um módulo padrão da arquitetura residencial japonesa, a visão de Engel veio elevar outros elementos modulares que até à altura passavam despercebidos na Villa Katsura, como os cânones modulares primordiais baseados na distância da coluna (Fig. 4), ou ken⁸ (Isokazi et. al, 2004).

Atualmente, vários autores nacionais e internacionais vêm reforçar a implementação da padronização como um dos elementos chave na arquitetura sustentável, defendendo que, tanto a construção tradicional, erguida pela mão do homem, como a construção industrializada, nomeadamente a pré-fabricação, erguida pela máquina, podem responder às novas necessidades do planeta, tornando a arquitetura mais sustentável: Tais como Gauzin-Muller, que, em 2002, afirma que a arquitetura sustentável deve focar-se nas relações entre os edifícios e a envolvente, assim como na redução do consumo dos recursos, através de sistemas de gestão (Agustí-Juan et al., 2017), e Brain Edwards, que, em 2005, redige um conjunto de premissas que definem o modo como projetar edifícios sustentáveis: Edifícios com baixa pegada ambiental (local, regional e global); projetar para a durabilidade; possibilitar a reutilização; edifícios energeticamente autossuficientes (energia renovável); consumo de energia gerido pelos utilizadores; consciência ambiental; condições mínimas de saúde para os usuários; aprender práticas vernaculares (Edwards & Hyett, 2005).

⁷**Tapete de Tatami** Utilizado como uma unidade horizontal padrão, de tapetes acolchoados, de aproximadamente 1,8m por 90cm, o tatami pode ser montado em diferentes padrões de piso. As suas proporções também moldam a dimensão vertical do edifício, proporcionando uma norma para elementos de parede e portas de correr (fusuma e shoji). O tatami é parte integral da tipologia das construções tradicionais japonesas, erguidas sobre postes. A estrutura de madeira permite que o ar circule pela estrutura e pelo piso de tatami (Hein, 2016).

⁸**Ken** Unidade de medida que equivale ao espaço entre colunas. É utilizada para medir o comprimento de tapetes de tatami e telas shoji (Hein, 2016).

1 ken=6 shaku=1,81818 m



Fig.3 Tapete Tatami e união de juntas de três tapetes Tatami na Vila Katsura

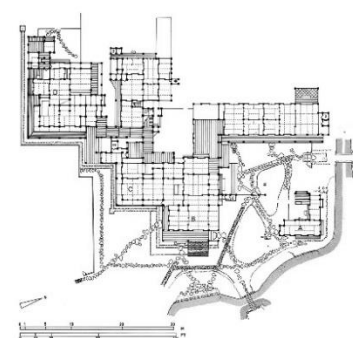


Fig.4 Ken demarcado na planta da Vila Katsura

⁹Seis macro-objetivos 1: Emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida dos edifícios; 2: Ciclos de vida de materiais circulares e eficientes em recursos; 3: Uso eficiente dos recursos hídricos; 4: Espaços saudáveis e confortáveis; 5: Adaptação e resiliência às mudanças climáticas; 6: Custo e valor do ciclo de vida otimizado.

¹⁰Conjunto de 9 indicadores 1: Desempenho energético durante a fase de utilização; 2: Potencial de aquecimento global do ciclo de vida; 3: Resíduos e materiais de construção e demolição; 4: Avaliação do Ciclo de Vida do berço ao túmulo; 5: Consumo total de água; 6: Qualidade do ar interior; 7: Tempo fora da faixa de conforto térmico; 8: Custos do ciclo de vida; 9: Criação de valor e fatores de risco.

¹¹Ferramentas de ciclo de vida: 1: Lista de materiais de construção; 2: cenários para construção de vida útil, adaptabilidade e desconstrução; 3: cenários para as condições climáticas futuras projetadas.

¹²Ferramentas de cenário 1: Planejamento da vida útil do edifício e elementar; 2: Design para adaptabilidade e remodelação; 3: Design para adaptabilidade e remodelação

¹³Lista de verificação e um Sistema de classificação O indicador combina listas de verificação e classificações. As classificações fornecem uma pontuação semiquantitativa. Quanto maior a pontuação, maior a confiabilidade da avaliação de desempenho feita para aquele indicador. As listas de verificação são usadas para identificar os aspectos de criação de valor e gestão de risco que foram abordados e os critérios de avaliação utilizados.

1.2.2. Arquitetura e Sustentabilidade

Vários intervenientes da sociedade, desde arquitetos, engenheiros, filósofos, cientistas, associações e ONG, têm vindo a tentar uniformizar o conceito de arquitetura sustentável, porém, a ampla diversidade de opiniões, subentende que a chave para a prática da arquitetura sustentável está na pluridisciplinaridade envolvida na mesma (Cunha et al., 2015). Paralelamente aos intervenientes diretos na área da construção, a dimensão social da sustentabilidade, desempenha um papel fundamental na implementação das diferentes práticas da arquitetura sustentável e, apesar desta pluridisciplinaridade ser uma mais-valia, para quem está envolvido no processo de projeto, a complexidade desta prática não deve criar uma barreira na transmissão de ideias claras sobre o tema, de forma a promover a sua aceitação social.

Os desenvolvimentos recentes têm vindo a concretizar várias teorias do início do século XXI e, principalmente, permitiram estabelecer regras e princípios de como os aplicar. Em 2017, foi lançado o conceito de LEVEL, cujo foco principal assentava na avaliação do desempenho ambiental, através de uma ferramenta digital. Esta ferramenta permite ainda, a análise de outros aspetos relevantes para o desempenho dos edifícios através de indicadores de saúde e conforto, custo do ciclo de vida e potenciais riscos de desempenho que possam ocorrer no futuro. Tal como é enunciado no respetivo documento da Comissão Europeia, esta estrutura deverá permitir a realização de ações, que contribuam de forma clara para os objetivos mais amplos da política ambiental europeia. (Dodd et al., 2017). Os LEVEL(s) são assim organizados em:

- a) Macro objetivos: Conjunto que abrange os seis macro-objetivos⁹ que contribuem para os objetivos políticos da UE e dos seus Estados-Membros nos sectores da energia, construção e gestão de recursos e resíduos, água e qualidade do ar interior (Dodd et al., 2017).
- b) Indicadores Fundamentais: Conjunto de 9 indicadores¹⁰ comuns ao desempenho dos edifícios, que contribuem para atingir cada macro objetivo (Dodd et al., 2017).
- c) Ferramentas de ciclo de vida¹¹: Conjunto de ferramentas de cenário¹² e uma ferramenta de armazenamento de dados, apoiadas por uma metodologia simplificada de avaliação do ciclo de vida (LCA), que são projetadas para apoiar uma análise mais holística do desempenho de edifícios com base no pensamento de todo o ciclo de vida (Dodd et al., 2017).
- d) Valor e classificação de risco: Uma lista de verificação e um sistema de classificação¹³ fornecem informações sobre a confiabilidade das avaliações de desempenho feitas usando a estrutura de Níveis (Dodd et al., 2017).

1.2.3. Arquitetura Sustentável e Circular contemporânea

Em 2020, foi publicada a norma na qual esta dissertação se baseia, a ISO 20887:2020. A ISO 20887:2020 vem apresentar um conjunto de princípios e requerimentos para implementar “a sustentabilidade em obras de arquitetura e engenharia”, com foco no

DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE, e é ainda um documento alinhado com os Level(s), nomeadamente, com os macro objetivos 2.2. – Resíduos e materiais de construção e demolição – e 2.3. – Desenhar para Adaptabilidade e Renovação.

Se, por um lado, a implementação dos princípios do Projeto para Desmontagem, no sector AECO, pode contribuir para a redução e prevenção do desperdício, assim como melhorar a gestão dos recursos, com o uso de novas alternativas na fase da definição do projeto, por outro, a aplicação dos princípios da Adaptabilidade, abrirá caminho para a redução das demolições e novas construções desnecessárias, reaproveitando ou alterando elementos e componentes dos edifícios, para renovar a vida útil dos mesmos e convertendo ativos construídos no final da primeira vida útil, em ativos capazes de acomodar uma maior variedade de usos (ISO 20887:2020, 2020).

A Fig. 5 ilustra o projeto da Villa the Bilthoven, Bilthoven, localizado na Holanda, de Elma Durmisevic, que já em 1999, começou a projetar para desmontagem e adaptabilidade e no qual é aplicado um sistema de construção aberto projetado para desmontagem. A interface principal do edifício foi projetada como um intermediário entre seis componentes do edifício que acomodam diferentes funções. Cada componente pode ser desmontada e substituída independentemente, sem interromper a coerência da estrutura (Durmisevic & Yeang, 2009).

1.3. Economia Circular

“Na natureza nada se cria e nada se destrói, tudo se transforma”. – Antoine-Laurent de Lavoisier (Follesa et al., 2021)

1.3.1. Circularidade

Atualmente, o sector da construção e da demolição gera a maior percentagem de resíduos, ao nível global, criando um impacto negativo na dimensão ambiental (Ajayi et al., 2015). E, apesar do sector da construção ter implementado a reciclagem de materiais como o betão e o aço, o progressivo aumento do desperdício nos aterros, vem mostrar que a reciclagem não será a solução ideal a longo prazo. Assim, a estratégia atualmente debatida para diminuir o impacto ambiental deste sector consiste em aplicar os princípios da economia circular, à indústria da construção (Allwood et al., 2011).

A circularidade pode ser definida pela regeneração dos recursos, materiais e produtos derivados, em ciclos de alta qualidade, evitando a adição de recursos virgens (Geldermans & Jacobson, 2015), e a economia circular como um sistema vivo onde o valor é criado com base no uso e reuso (Dams et al., 2021). Assim, o conceito de construção circular entende que o edifício deixa de ser uma figura estática e completa, e passa a ser entendido como uma combinação de funções, em constante progresso, adaptável às mudanças, que a evolução social e funcional requisitarem por longos períodos do tempo.

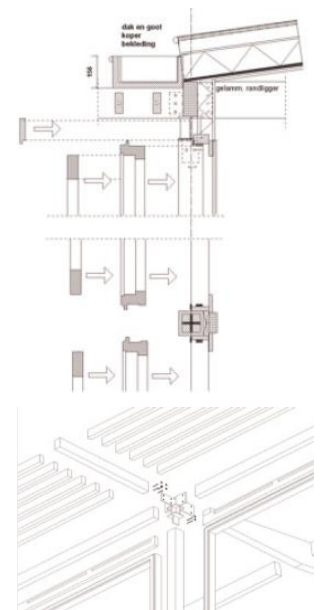
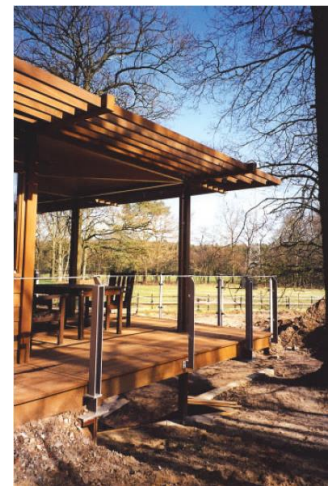


Fig.5 Villa te Bilthoven, Bilthoven, Holanda, 1999



Fig. 6 Edifício L3

1.3.2. Projetar para Desmontagem e Adaptabilidade

Projetar para futura desmontagem e adaptabilidade requer planejamento a longo prazo, desde a fase de projeto, onde é exigida uma visão circular na escolha dos materiais e soluções construtivas, dado que, por norma, alguns materiais de construção tradicionais não permitem a sua reutilização imediata (Geldermans & Jacobson, 2015). Em 2019, foi elaborado um estudo pelo governo do Reino Unido onde são identificadas sete categorias de métodos modernos de construção (MMC)(Dams et al., 2021): 1) sistemas estruturais primários 3D pré-fabricados (unidades volumétricas - apenas chassis estrutural não montado-, chassis estrutural e ajuste interno, chassis estrutural e revestimento externo, quartos pré-fabricados em módulo); 2) sistemas estruturais primários 2D pré-fabricados (painéis ou estrutura básica de escadas, paredes, pisos, telhados, etc.); 3) componentes estruturais lineares pré-fabricados (vigas, colunas); 4) manufatura aditiva fora do local (impressão 3D automatizada); 5) conjuntos pré-fabricados não estruturais (unidades de cozinha/casas de banho); 6) melhorias de produtividade no local (sistemas de parede para acomodar tijolos, etc.); 7) maior automação no local.

Neste estudo é enfatizada importância da escolha dos materiais para futura reutilização, onde os materiais biológicos se destacam, não apenas por serem uma alternativa sustentável aos materiais de construção convencionais, de elevado impacto ambiental (como o betão e o aço), mas também por oferecerem outras propriedades benéficas: quando geridos de uma forma circular e sustentável, estes materiais oferecem uma cadeia de abastecimento renovável e reduzem as emissões de CO₂, através dos processos naturais de captação de carbono, mantendo assim o carbono dentro dos edifícios (Dams et al., 2021).

Em 2020, a publicação da ISO 20887:2020 veio contribuir para a recuperação, reutilização ou reciclagem dos materiais e componentes de construção desmontados, apoiando assim o conceito de uma economia circular em evolução.

Em 2021, a Comissão Europeia elaborou um documento que enuncia os princípios da economia circular para os projetos construídos, denominado “Princípios de Economia Circular para o projeto de edifícios”. O objetivo assentava em informar e apoiar os atores envolvidos na cadeia de valor da construção, sobre os princípios para o projeto circular de edifícios. O documento é ainda alinhado com o lançamento do LEVEL(s) previamente referido (3.1.) e contribui especificamente para o Macro-Objectivo 2: Ciclos de vida de materiais circulares e eficientes em termos de recursos. Este macro objetivo visa reduzir o desperdício, otimizar o uso e escolha dos materiais e reduzir os impactos ambientais ao longo da vida das construções. São apresentadas “ferramentas de ciclo de vida, como cenários para construção de vida útil, adaptabilidade e desconstrução que possibilitam o cumprimento deste macro objetivo: Durabilidade; Adaptabilidade; Reduzir o desperdício e facilitar a gestão de resíduos de alta qualidade (Comissão Europeia, 2021).

Ainda em 2021, O'Grady et. al apresenta um novo índice, com base na economia circular, para a indústria da construção denominada 3DR: design para desmontagem, desconstrução e resiliência. O índice é aplicado ao edifício pré-fabricado Legacy Living Lab (L3) e os resultados mostram que com a aplicação do método 3DR durante o projeto, produção, manutenção e fim de vida de um ativo, este poderia permitir a otimização da circularidade do ciclo de materiais. Este projeto mostra que a desmontagem é uma solução possível na reabilitação de um edifício através dos 83% de paredes e tetos desmontados durante a fase de operação e que a modularização de um edifício, como o L3 (Fig.6), permite que seja apenas produzida 1% da massa do edifício em resíduos durante a sua desmontagem e montagem das suas componentes noutra edifício (O'Grady et al., 2021).

1.4. Twin Transition: Verde e Digital

“Até um tijolo quer ser algo” – Louis Kahn (KAHN, 1998)

Após viver a pandemia Covid-19, durante 3 anos, a Europa está, finalmente, a dar início a um longo período de recuperação, apoiada pela parceria da transição digital e da transição verde. Nesta transição, a arquitetura caminha para uma perspetiva onde não existem resíduos, existem apenas matérias-primas fora do lugar.

1.4.1. Prioridades da UE

Paralelamente, ao Pacto Ecológico Europeu¹⁴, que é uma das principais prioridades da Comissão Europeia, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) devem ser alcançados até 2030, através da impulsão da agenda da competitividade industrial europeia, a nível global e através da aceleração da *Twin Transition* – verde e digital (Joinup, 2021).

Em 2021, durante a edição do Dia Digital a presidência portuguesa veio priorizar a implementação do *Green Deal* da EU¹⁵ e a aceleração da transformação digital. Assim, juntamente com os restantes Estados-Membros da EU, foram definidas as diretrizes a seguir para uma Europa mais competitiva, inclusiva e verde, entre as quais vale a pena salientar, a necessidade de reduzir o impacto negativo da indústria da construção no ambiente.

1.4.2. Progressos da *Twin Transition*

Associada à transição verde, a transição digital vem permitir a implementação de estratégias circulares, software e métodos de cálculo, possibilitando que soluções sustentáveis, como o DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE, começassem a ser finalmente colocadas em prática de uma forma consciente.

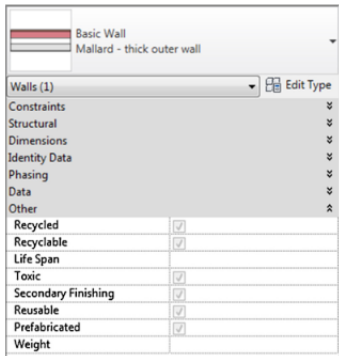


Fig.7 Parâmetros de avaliação do BIM-DAS no Revit

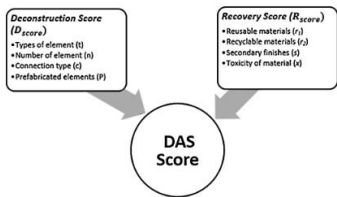


Fig.8 Parâmetros de cálculo do nível de desconstrutibilidade

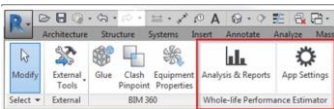


Fig.9 Implementação do BWPE no ambiente BIM

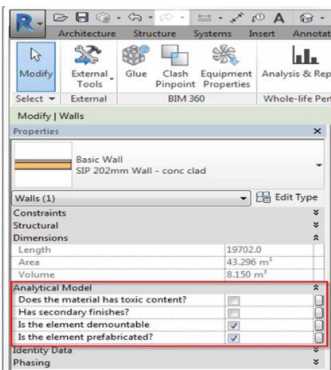


Fig.10 Criação de parâmetros personalizados para o Revit

Em 2015, foi publicado o estudo “Minimização de resíduos através da desconstrução: uma pontuação de avaliação de desconstrutibilidade baseada em BIM (BIM-DAS)”, cujo objetivo assentava em desenvolver uma grelha de avaliação da desconstrutibilidade, com base na modelação de informações de construção (BIM-DAS), para determinar qual o limite de desconstrutibilidade de um edifício desde a fase de projeto, através de parâmetros BIM (Fig.7). Este estudo conclui que a eventual incorporação do BIM-DAS num software BIM já existente, poderia fornecer uma base para a comparação e avaliação (Fig.8) da desconstrutibilidade dos modelos de construção durante o projeto (Akinade et al., 2015).

Em 2018, Akanbi et. al publicou “Salvar os materiais de construção numa economia circular: um estimador de desempenho da vida inteira baseado no BIM”. O objetivo deste estudo foi criar um estimador do desempenho do ciclo de vida de um ativo, baseado no BIM (BWPE - *BIM-based Whole-life Performance Estimator*), de forma a avaliar o desempenho da recuperação de componentes estruturais dos edifícios desde a fase de projeto. A partir da implementação do modelo num software BIM (Fig.9), foi testado um caso de estudo, gerando os perfis de desempenho de recuperação do ciclo de vida do edifício em estudo. Os resultados indicaram que os edifícios com estrutura metálica, conexões desmontáveis e conjuntos pré-fabricados conseguem recuperar materiais que são, maioritariamente, reutilizáveis. Desta forma, a parametrização do BWPE (Fig. 10) poderá, não só, auxiliar na determinação da quantidade de materiais recuperados num edifício que são reutilizáveis e recicláveis no fim da sua vida útil, como também fornecerá um mecanismo de apoio às decisões para arquitetos e engenheiros, de forma a serem projetados edifícios cujo projeto já prevê a sua desmontagem, reutilização de componentes e materiais e possíveis soluções de adaptabilidade, ao invés da demolição no fim da vida útil de um ativo (Akanbi et al., 2018).

1.4.3. Publicação da ISO 20887:2020

Em 2020, a publicação da ISO 20887:2020 vem dedicar um capítulo inteiro à necessidade de documentar todas as fases de projeto, onde o BIM vem desempenhar um papel chave na otimização da prática do DfD/A. A digitalização de dados, por exemplo requerido num modelo BIM, fornece um ambiente para armazenar e transferir informações em formatos e métodos padronizados. O BIM pode ser ainda utilizado na avaliação de soluções construtivas ou aplicação de materiais distintos, de mais fácil recuperação na desmontagem. A documentação disponível relativa à desmontagem e adaptação, os dados ou outras informações podem ser mais facilmente transferidos com auxílio do uso do BIM ou de um modelo de informação de ativos (AIM), obtendo documentos mais organizados e uma compreensão mais fácil da abordagem usada para DfD/A (ISO 20887:2020, 2020). São ainda enumerados na ISO 20887:2020 exemplos como o “código de barras, códigos de resposta rápida (QR), etiquetas de dispositivos de identificação por radiofrequência (RFID) ou referências a documentação

mais detalhada serão apropriados em alguns casos. Produtos eletrônicos “inteligentes” que contêm um chip de computador, como uma “porta verde”, podem fornecer informações para facilitar a desmontagem e a reutilização.

Ainda em 2020, surge o Circular EcoBIM, uma iniciativa de um consórcio (3Drivers, IST CERIS, IST IN+, CentralBIM, Atelier dos Remédios, VIC properties e NTNU), apoiada pela *EEA Grants*. Este projeto visa tirar partido das potencialidades do BIM para facilitar e melhorar a escolha e montagem dos materiais e elementos de construção para que o fim de vida de um edifício seja o início da de outro. Sustenta-se que os materiais podem ser recuperados, reutilizados e reciclados e a pegada ambiental da construção seria reduzida com o apoio de três ferramentas: 1) Um banco de dados onde são armazenadas e direcionadas as informações sobre o desempenho ambiental e o potencial de circularidade dos materiais de construção, para uma aplicação específica; 2) plugins de software, compatíveis com os atuais softwares BIM que permitem calcular um passaporte de circularidade, indicadores do sistema LEVEL(s) para projetos de edifícios sustentáveis e Declarações Ambientais do Produto (EPD); e 3) uma plataforma *Digital Twin* (ou gémeo digital) que permite a interação com o modelo BIM e o desempenho ambiental em ambiente digital. Tal como a Fig.11 explicita, o acesso aos dados do projeto é permitido através da sincronização das informações entre o *Digital Twin*, software BIM e o banco de dados (Circular EcoBIM, 2020).

Em 2021, o consórcio multidisciplinar constituído pelo CONCEXEC – Arquitetura Lda., LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, RISE – Fire Search AS e Centro Habitat – Cluster Habitat Sustentável, fundou o projeto CircularBuild. O foco assenta na exploração e evolução do conceito de construção pré-fabricada modular. E, através da análise de novas soluções construtivas, materiais alternativos que permitam uma construção sustentável reduzindo a percentagem de CO₂, emitido pelos edifícios até ao fim do ciclo da construção para a atmosfera, pretende-se materializar o conceito de “Inovação Verde”, promovendo o “desperdício zero”, a eficiência energética e a redução do impacto ambiental (CircularBuild, 2022).

Em 2021, Charef e Emmitt publicam uma extensa revisão bibliográfica sobre os usos da modelação de informações de construção (BIM) para superar as barreiras rumo à economia circular. A crescente necessidade de progredir para uma construção mais circular e, simultaneamente, a implementação obrigatória do BIM em inúmeros países vem levantar o tema desta revisão bibliográfica: explorar o estado da arte dos usos do BIM na indústria da construção e compreender quais os usos do BIM que podem facilitar a transição para uma abordagem circular. Este estudo identificou 35 usos BIM que permitem a implementação dos princípios da economia circular, dos quais 19 foram destacados pelo potencial para auxiliar no final da vida de um edifício e recuperação de materiais, entre estes o DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE (Charef & Emmitt, 2021).

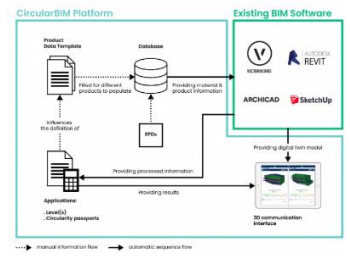


Fig.11 Funcionamento da plataforma EcoBIM

1.4.4. Métricas de Avaliação já existentes

Os desenvolvimentos atuais da transição verde e digital, no setor da construção, têm vindo a implementar, impulsionados pelo desenvolvimento do BIM, certificados, programas e métricas de avaliação que guiam os arquitetos, engenheiros e qualquer entidade interessada, a construir de acordo com a prática da arquitetura sustentável. E, apesar de já existirem ferramentas de avaliação e certificação da sustentabilidade na construção que começaram a explorar a análise dos resíduos e durabilidade dos materiais, como o LiderA, SB ToolPT, Code for Sustainable Homes, BREAM, LEED, One Click LCA, etc., ainda não existe uma métrica de avaliação ou guia para a prática do DfD/A.

Assim, apoiado nos 4 pilares anteriormente enunciados, o DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE desenvolveu-se enquanto uma das práticas da arquitetura sustentável e circular que melhor responde aos problemas contemporâneos do planeta. Deste modo, o capítulo seguinte visa oferecer uma visão global da caracterização das duas partes desta solução, o projeto para desmontagem e o projeto para adaptabilidade, através da ISO 20887:2020, que vem definir, de forma concreta e global, os conceitos e princípios que materializam o DfD/A.

2. O conceito do DfD/A

Partindo da premissa que as definições e princípios lançados pela ISO 20887:2020 vêm uniformizar o conceito do DfD/A, o presente capítulo visa ilustrar os princípios que caracterizam o DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE.

Atualmente, o recurso a métodos de construção tradicionais que não consideram a futura desmontagem ou adaptabilidade, ainda ocupa uma percentagem significativa nas novas construções. Como tal, o continuo incentivo à construção sem preocupações circulares, contribuirá para o aumento dos resíduos que são depositados em aterros, resultantes das demolições ou dos componentes e materiais que não são facilmente reutilizados ou reciclados.

Assim, a incorporação do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE (DfD/A) em todo o processo de planeamento e projeto traz uma perspetiva de recursos totais, contribuindo para o fim de vida dos ativos (desmontagem, reutilização, reciclagem, etc.) e para a redução dos custos despendidos na manutenção dos edifícios (reparações, substituições ou reformas) (ISO 20887:2020, 2020).

2.1. Princípios do Design para Desmontagem (DfD)

Desde muito cedo, a arquitetura tem explorado a sua simbiose com as condições naturais e os recursos locais, mantendo-se a necessidade de efetuar reparações e mudanças na estrutura, tal como se pode observar na arquitetura vernacular portuguesa (Cunha et al., 2015). Por outro lado, o Design para Desmontagem (DfD) é um tema crescente no sector AECO, por ser uma prática focada na gestão do final de vida útil dos edifícios e por apresentar soluções inovadoras para a redução de perda de recursos, materiais e de energia, assim como para a redução do impacto poluente deste sector (O'Grady et al., 2021). Complementado pela versatilidade, convertibilidade e expansibilidade do Design para Adaptabilidade (DfA), os princípios do DfD, seguidamente enunciados, podem vir a evitar a demolição total dos edifícios.

2.1.1. Facilidade de acesso a componentes e serviços

“A facilidade de acesso no projeto permite que um material, componente ou conector de um conjunto, especialmente aqueles com o menor ciclo de vida previsto, seja facilmente abordado, com danos e impactos mínimos nele e nos conjuntos adjacentes” (ISO 20887:2020, 2020).

A facilidade de acesso a componentes ou materiais reduz o seu tempo de substituição ou manutenção e a geração de resíduos supérfluos. Este princípio relaciona-se diretamente com a independência e é, geralmente, associada ao desacoplamento das “camadas” de um edifício facilitando uma futura desmontagem e adaptabilidade, permitindo, sempre que possível, a recuperação desses componentes sem recorrer a equipamentos especializados.

As conexões devem ser expostas sempre que possível e deixar espaço necessário à sua volta para acomodar futuras desmontagens e os equipamentos associados.

Por exemplo, durante a desmontagem do conjunto de trocador de calor ou permutador de calor, deve haver espaço reservado à volta do mesmo para que este seja extraído com o respetivo equipamento de elevação (ISO 20887:2020, 2020).

2.1.2. Independência

“Independência é a qualidade que permite que peças, componentes, módulos e sistemas sejam removidos ou atualizados sem afetar o desempenho dos sistemas conectados ou adjacentes” (ISO 20887:2020, 2020).

A análise da vida de um edifício permite concluir, que este deve ser entendido como um conjunto de camadas, dissociadas entre si, e não como um objeto único. Os componentes dos edifícios têm tempos de vida útil diferentes e essas variações devem ser consideradas no projeto e no planejamento das funcionalidades e atualizações ao longo do tempo (ISO 20887:2020, 2020). A teoria de Stewart Brand, denominada “O sistema de seis S’s” (Fig.12), explica como funcionam as camadas de um edifício e como elas devem ser independentes, de forma a não comprometer a integração e o desempenho funcional dos sistemas e materiais, sob o efeito de fatores externos como o calor ou a humidade. (Guy e Ciarimboli, 2015)

Entender a durabilidade destas seis camadas, permite compreender a interdependência e atrito entre as “camadas de mudança” de um edifício. As camadas de mudança mais rápidas, como o Plano do Espaço, são inevitavelmente condicionadas pelas camadas de mudança mais lenta, como a Estrutura. Sendo a estrutura menos flexível, a mudança do plano do espaço irá suscitar atrito entre as duas camadas. O estilo “hi-tech”, explorado pelo trabalho de Richard Rogers e Renzo Piano, ilustrado, por exemplo, no edifício Lloyds of London (Fig.13) e no Centro Pompidou (Fig.14), explora a independência das camadas até ao limite. As camadas tradicionais de um edifício são invertidas de dentro para fora, onde a estrutura funciona como uma armadura, sobre a qual assentam os sistemas mecânicos, hidráulicos e elétricos. Aqui podem ver-se várias qualidades que aumentam a independência das várias partes constituintes de um edifício, como a utilização de materiais ou componentes, facilmente removíveis, sem interromper outros componentes ou materiais, e a separação de componentes de longa duração e componentes de curta duração (facilita a adaptação e reciclagem dos materiais, assim como reduz a complexidade da desmontagem) (Guy e Ciarimboli, 2015).

Para otimizar a independência, as conexões devem ser reversíveis, deixando o espaço necessário na envolvente da conexão, para acomodar as opções de desmontagem. Assim, devem usar-se métodos de conexão universalmente reconhecidos, que não danifiquem os materiais a que estão ligados, ou às áreas circundantes e minimizar a interdependência de diferentes materiais, produtos, componentes ou sistemas (ISO 20887:2020, 2020).

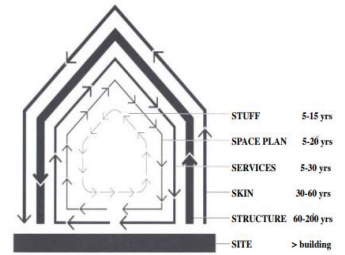


Fig.12 Diagrama dos Seis S's de Stewart Brand: Local (Site) – Estrutura (Structure) – Pele (Skin) – Serviços (Services) – Plano do Espaço (Space Plan) – Enchimento (Stuff).

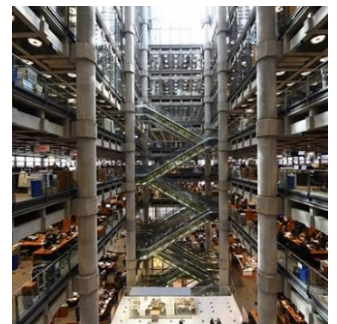
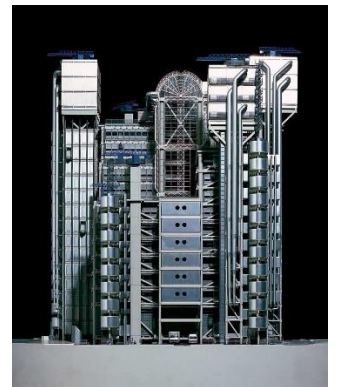


Fig.13 Edifício Lloyds of London, Richard Rogers (1986)



Fig.14 Centro Pompidou, Renzo Piano e Richard Rogers (1977)



Fig.15 Seagram Building, Nova Iorque, Mies Van Der Rohe (1958)

2.1.3. Evitar tratamentos e acabamentos desnecessários

“Para facilitar a desmontagem, devem ser evitados acabamentos que possam impedir que o substrato seja reutilizado ou reciclado” (ISO 20887:2020, 2020)

Os acabamentos podem ser fatores decisivos na reutilização ou reciclagem do substrato, principalmente se estes incluírem substâncias perigosas. A escolha de um acabamento deve ter em conta o propósito para o qual este se destina, como, por exemplo, o uso de tinta para prevenir a corrosão de tubos de metal.

Os acabamentos são mais sustentáveis, quando usam materiais recicláveis ou reutilizáveis no exterior/interior de um ativo construído e quando têm acabamentos inerentes adequados no "estado natural" (sem necessidade de aplicar outros acabamentos como tinta, verniz, etc.), como acontece com o Seagram Building (Fig.15) em Nova Iorque, onde Mies Van Der Rohe opta por materiais como o metal, vidro, pedra e betão que podem ser reutilizados e reciclados. (Guy e Ciarimboli, 2015)

2.1.4. Apoiar modelos de negócios de reutilização (economia circular)

“Este princípio visa apoiar o mercado de materiais e produtos reutilizados, reconicionados, remanufaturados e reciclados, agora e no futuro, em apoio aos modelos de negócios da economia circular.” (ISO 20887:2020, 2020)

As abordagens de projeto circular devem facilitar o uso de materiais e recursos secundários em obras e sempre que possível, devem seguir os seguintes ideais, enunciados na ISO 20887:2020:

- a) **Reutilização:** Durante a recuperação e conseqüente reaplicação de um material, produto, componente ou sistema, este deve ter a capacidade de ser usado na sua forma original mais do que uma vez e manter o seu valor e qualidades funcionais;
- b) **Recondicionamento:** capacidade de restaurar as características estéticas e funcionais de um produto, edifício ou outro ativo construído a uma condição adequada para uso contínuo;
- c) **Remanufacturabilidade:** De forma a possibilitar a sua restauração numa condição adequada para revenda, um produto deve ter a aptidão inerente de ser desmontado e refabricado no final da sua vida útil;
- d) **Aumento da Reciclagem:** A aplicação dos três R's em materiais reaproveitados, seja diretamente, ou como matéria-prima dentro de um produto manufaturado, promove o mercado circular de materiais residuais do sector AECO;
- e) **Reciclagem futura (reciclabilidade):** capacidade de peças componentes, materiais ou ambos serem separados e reprocessados de produtos e sistemas e subsequentemente usados como entrada de material para o mesmo ou diferente uso ou função.

2.1.5. Simplicidade

“Simplicidade é a qualidade de um conjunto ou sistema projetado para ser direto, fácil de entender e atender aos requisitos de desempenho com o mínimo de personalização” (ISO 20887:2020, 2020).

A simplicidade parte da premissa que cada função é desempenhada com o menor número de elementos, componentes (subcomponentes) ou materiais necessários, de forma a reduzir a probabilidade de falha ou avaria e facilitar o reparo. Assim, as escolhas do projeto devem limitar o número de barreiras à desmontagem (reduzir ornamentação, paletes de cor padrão...) e devem ser utilizados materiais homogêneos na estrutura, para que o processo de classificação dos materiais no local, seja mais simples e a sua reutilização e reciclagem seja facilitada.

Um exemplo claro do recurso à simplicidade, é a arquitetura moderna. Desde os “Cinco Pontos de uma Nova Arquitetura” de Le Corbusier, até ao Pavilhão de Barcelona de Mies van der Rohe (Fig.16), a expressão modernista enfatizou materiais e formas sem ornamentação. A arquitetura moderna procurava, muitas vezes, otimizar a montagem de uma estrutura, através das características dos materiais e dos métodos de conexão, procurando ainda, que os materiais escolhidos tivessem um aspeto natural, o qual seria também o seu acabamento (Guy e Ciarimboli, 2015).

2.1.6. Padronização

“O projeto deve considerar a otimização de materiais, como construção modular ou pré-fabricação, para reduzir o uso de materiais. Elementos ou componentes pré-fabricados e um sistema de produção em massa devem ser usados para reduzir a dimensão no local e permitir maior controlo sobre a qualidade e conformidade dos componentes.” (ISO 20887:2020, 2020)

A padronização é o princípio do DfD que se preocupa com o uso de peças padronizadas, modulares e facilmente intercambiáveis para melhorar a simplicidade, assim como com o transporte, o armazenamento, a adaptabilidade e a reutilização nas várias fases dos ativos construídos.

A escolha de materiais com dimensões padrão irá facilitar a sua futura reutilização e atualização devido à maior oferta dos mesmos no mercado (melhor custo-benefício). Assim, o uso de componentes e materiais padronizados, reduz os resíduos de corte in situ e a sua escolha deve ser conciliada com os requisitos do cliente e de dimensionamento impostos pela logística, ergonomia e necessidades funcionais (ISO 20887:2020, 2020). Um exemplo claro são os edifícios híbridos de madeira CREE (Fig.17), constituídos por componentes pré-fabricadas, onde a integração de recursos inteligentes é um processo padronizado, que começa na fase inicial do projeto e continua ao longo do processo de pré-fabricação.



Fig.16 Pavilhão de Barcelona, Barcelona, Mies Van Der Rohe (1929)



Fig.17 Edifício CREE

O sistema construtivo divide-se em 5 elementos chave: 1) Rede (O teto de cada andar em um edifício CREE consiste numa grade de painéis pré-fabricados de lajes híbridas de madeira-aço-betão); 2) Colunas de madeira Glulam (Pilares duplos de madeira que transferem forças verticais para o par de pilares abaixo através do piso); 3) Painel de laje híbrido (Os painéis de laje são um híbrido de madeira, betão e aço, proporcionando a proteção contra incêndio necessária e incorporando materiais renováveis); 4) Elementos da fachada (a menos que sejam necessários elementos de reforço especiais, os elementos de fachada de um edifício CREE não são incorporados na estrutura primária, mas sim montados sobre ela); 5) Vigas centrais (no caso de um layout de piso exigir uma extensão da grade para criar uma maior profundidade de construção, são introduzidas vigas de suporte central, idealmente feitas de aço para minimizar as dimensões) (CREE Buildings, 2020).

Desta forma, sistemas construtivos como o CREE refletem os 4 aspetos fundamentais da padronização, referidos na ISO 20887:2020: 1) **Dimensões:** devem permitir vários tipos de uso (altura, tamanhos, etc.); 2) **Componentes:** devem facilitar a reutilização e a substituição (comprimentos/vãos padrão); 3) **Conexões:** podem ser separadas usando ferramentas padrão (peças de conexão); 4) **Modularidade:** elementos que podem ser encaixados, adicionados ou retirados para promover ambientes de vida ou de trabalho adaptáveis (cápsulas volumétricas).

2.1.7. Segurança de desmontagem

“A segurança da desmontagem é de suma importância. Qualquer componente, módulo ou sistema a ser desmontado requer um plano de desmontagem que é considerado no início do projeto para garantir sua eficácia.” (ISO 20887:2020, 2020)

A documentação que sustenta uma desmontagem segura, deve ser armazenada e facilmente disponibilizada ao longo da vida das obras construídas. A segurança da desmontagem de um edifício ou elemento, está geralmente relacionada com o fácil acesso a essa documentação e, de acordo com as boas práticas de projeto, esta deve ser revista, para obter os suportes à correta sequência de desmontagem idealizada para o ativo. Assim, o acesso à documentação relativa a materiais originais e métodos de montagem usados na obra, irá condicionar as decisões tomadas relativamente à mesma no futuro, de forma a obter o melhor cenário de reutilização e reciclagem.

Para além da documentação, deve ainda ter-se em consideração, durante a desmontagem, fatores como a execução imprecisa, desgaste ou danos aos componentes estruturais, presença de resíduos perigosos, alteração de regulamentos, clima, erro e omissões (ISO 20887:2020, 2020). Uma boa solução, para cumprir e facilitar este princípio, seria elaborar um manual de desmontagem durante a criação do projeto, prevendo já a sua futura desmontagem.

2.2. Princípios do Design para Adaptabilidade (DfA)

Quando associada à arquitetura, a adaptabilidade considera os diferentes tipos de usos, a geografia do local, as necessidades do programa e a demografia, de forma a prever um maior equilíbrio com o custo de futuras intervenções. Por outro lado, a evolução das necessidades da sociedade, é um dos fatores cuja metamorfose afeta significativamente a forma como um edifício pode e deve ser vivido: por exemplo um projeto de habitação pode ser pensado de forma que cada membro da família usufrua de um espaço próprio e isolado das áreas comuns da casa, permitindo uma maior liberdade na partilha ou independência do ambiente familiar (ISO 20887:2020, 2020).

Dividida em duas categorias, a adaptabilidade pode ser sequencial, quando esta não pode ser revertida no futuro, ou, paralela, quando esta pode ser repetida ao longo do tempo. A adaptação sequencial decorre ao longo do tempo e geralmente resulta da necessidade de adaptar um produto ou edifício existente ao surgimento de novas tecnologias ou novos requisitos funcionais. É um tipo de adaptabilidade que estende a vida útil do projeto, sendo irreversível. Por outro lado, a adaptação paralela considera que o edifício ou produto é destinado a várias aplicações. Desta forma, a adaptabilidade paralela não depende do tempo, dado que prolonga o alcance do serviço dos produtos ou projetos, sendo geralmente reversível. Um produto ou projeto de adaptabilidade paralela poderá adaptar-se e ser configurado de várias maneiras, para desempenhar diferentes funções. (Hashemian, 2005)

Contrariamente ao processo convencional de projeto, em que um edifício é criado para um conjunto de funções específicas, o Design para Adaptabilidade desenvolve edifícios preparados para serem adaptados a funções diferentes ou adicionais à sua forma original. Assim, a adaptabilidade é ainda classificada em: Adaptabilidade específica, em casos onde as informações sobre a adaptação são conhecidas e esperadas, e Adaptação geral, em casos onde o projeto se revela mais adaptável que os projetos convencionais, mesmo que não existam informações previamente disponíveis. Por norma, as adaptações específicas, tanto paralelas como sequenciais, têm precedência sobre as gerais, e são mais objetivas e mais claras na definição dos requisitos funcionais.

De acordo com a ISO 20887:2020, para projetar para adaptabilidade devem ser considerados três princípios: Versatilidade, Convertibilidade e Expansibilidade vertical e horizontal.

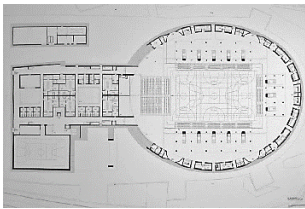


Fig.18 Pavilhão Multiusos de Gondomar, Gondomar



Fig.19 Usina a carvão, Mehillone, Chile

2.2.1. Versatilidade

“A capacidade de acomodar diferentes funções com pequenas alterações no sistema” (ISO 20887:2020, 2020).

Projetar para versatilidade, significa criar espaços e estruturas que facilitem a sua ocupação por diferentes usos ao longo do tempo, sem sofrerem grandes alterações no sistema.

No caso da adaptação específica, devem considerar-se as necessidades dos utilizadores, de forma a otimizar a área necessária, os custos e recursos utilizados. Por outro lado, nas adaptações gerais, é possível considerar futuras adaptações, para além dos usos definidos pelo proprietário, permitindo outras funções ocuparem o espaço quando este não é utilizado, reduzindo os custos e a necessidade de construir novos ativos de uso singular. (ISO 20887:2020, 2020).

A concretização de uma obra versátil pode resultar em múltiplos benefícios ao aumentar os possíveis usos do edifício, como acontece com o Pavilhão Multiusos de Gondomar (Fig.18). Com 48000 m², dos quais 30000 são distribuídos pelo edifício e os restantes pelo estacionamento, o arquiteto Álvaro Siza Vieira projeta um edifício que combina uma boa performance acústica com a versatilidade de conseguir acolher várias atividades, como provas desportivas, eventos culturais e musicais, atividades sociais, etc. Durante os eventos desportivos o pavilhão dispõe de 3 bancadas com capacidade para 3000 espectadores. E, durante os eventos musicais ou culturais, o espaço tem uma capacidade máxima de 8400 espectadores de pé e 4800 sentados, sendo uma das bancadas retrátil, de forma a prever a necessidade da montagem de um palco (ArchiWeb, 2008).

2.2.2. Convertibilidade

“A convertibilidade é a capacidade de acomodar mudanças substanciais nas necessidades do usuário fazendo modificações.” (ISO 20887:2020, 2020).

Tal como o princípio anterior, a convertibilidade procura utilizar um único espaço para vários usos. Porém, este princípio é apenas conseguido quando o projeto é pensado de raiz ou adaptado a facilitar pequenas mudanças, não afetando a estrutura, no interior dos edifícios (divisórias, teto, acabamentos, etc) ou no mobiliário adequado aos novos usos. Ao utilizar um espaço para múltiplos usos, a convertibilidade diminui a necessidade de construir novos edifícios e, conseqüentemente, reduz o consumo de recursos e energia. Estes projetos utilizam a criatividade, aplicando soluções inovadoras para reaproveitar a maioria da estrutura existente renunciando à demolição ou nova construção. (ISO 20887:2020, 2020).

É comum a coexistência da convertibilidade com a versatilidade, em obras de arquitetura e engenharia civil, mas nestes casos, as conversões são geralmente relacionadas com adaptações sequenciais e, dada evolução das necessidades do Homem, raramente reverterem ao uso original. Por exemplo, a conversão de uma usina a carvão para o gás natural, como é o caso da usina a carvão Mejillone (Fig.19). Em 2022, o projeto foi aprovado pelo serviço de avaliação ambiental do Chile (SEA) e prevê-se que a conversão se inicie em Outubro de 2023 e termine em meados de 2025. A iniciativa da Engie Energia Chile, irá custar cerca de 50 milhões de US\$, porém as emissões de carbono irão diminuir exponencialmente, se esta prática for aplicada em mais países (bnamericas, 2022).

2.2.3. Expansibilidade

“Expansibilidade é a capacidade de um projeto ou a característica de um sistema de acomodar uma mudança substancial que suporta ou facilita a adição de novos espaços, recursos e capacidades.” (ISO 20887:2020, 2020).

Orientada em duas direções, a expansibilidade pode permitir adições verticais ou horizontais. No caso de uma expansão vertical, devem considerar-se tolerâncias estruturais (na fundação e superestrutura), prevendo o aumento da carga suportada ou garantir a capacidade de aumentar o peso próprio da estrutura, sem efeitos secundários na habitabilidade do edifício. E, no caso de uma expansão horizontal, deve ser facilitada a montagem e desmontagem de elementos divisórios para futuras ampliações, de forma a precaver danos significativos e o reaproveitamento dos materiais no projeto em questão ou noutro.

Projetar para expansão facilita a ampliação ou redução do espaço, com base nas necessidades atuais e avalia a possibilidade de aumentar os requisitos do espaço no futuro. Porém, este tipo de obra, na engenharia civil, requer uma visão pessimista em termos estruturais, por exemplo, a consideração de cargas adicionais com a necessidade de subsídios de fundação para expansões verticais e horizontais, e, considera os aumentos ou decréscimos da capacidade de suportar carga (ISO 20887:2020, 2020).

Dois exemplos notáveis da expansibilidade, assim como a harmonização deste princípio com os dois anteriores, são a Quinta Monroy, projetada pela Elemental, atelier liderado pelo arquiteto chileno Alejandro Aravena e Quinta da Malagueira, projetada pelo arquiteto português Álvaro Siza Vieira.

A Quinta Monroy destaca-se pela ideia inovadora de construir “meia casa” com todos os espaços indispensáveis à habitualidade do espaço, mas permitindo a futura adição de novos volumes, ampliando os apartamentos em função das necessidades dos moradores. Em torno dos 4 pátios, envolvem-se os 13 blocos de apartamentos do



Quinta Monroy, pré-intervenção



Quinta Monroy, 2005



Quinta Monroy, 2017

Fig. 20 Evolução da Quinta Monroy

Fig. 21 Quinta Monroy, ELEMENTAL, Alejandro Aravena, (2003)

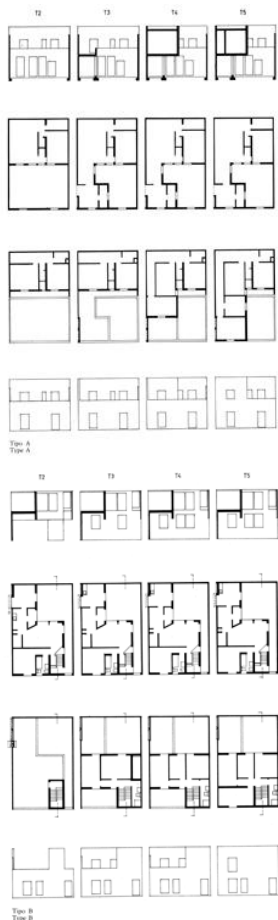


Fig.22 Tipologias de habitação, Quinta da Malagueira, Álvaro Siza Vieira (1973)

assentamento, perfazendo um total de 93 apartamentos (Fig. 20). Dois dos blocos, com 27 apartamentos, têm a fachada virada para a rua, enquanto, os outros 66 apartamentos estão voltados para os 4 pátios. Para desenvolver uma arquitetura “porosa”, com prédios baixos e padronizados, a Elemental desenvolveu um conjunto de apartamentos, que pudessem ser ampliados consoante a vontade e disponibilidade económica ao longo da vida de cada família (Fig.21), e fornecer uma estrutura lógica para o conceito da “meia casa” (O’Brien & Carrasco, 2021).

À semelhança do exemplo anterior, na Quinta da Malagueira, em Évora, o arquiteto Álvaro Siza Vieira procura criar um bairro “expansível” ao longo do tempo e cuja evolução depende da vontade dos seus habitantes. A organização das habitações em núcleos, implantadas em curtos fragmentos ortogonais da malha urbana pré-existente do Bairro Santa Maria, com ângulos distintos, permitiu a formação de vários bairros, entre os quais se conforma espaço público.

À semelhança da Quinta Monroy, a Malagueira é composta por moradias com uma implantação otimizada (8m x 11m). As residências usam a tipologia do Pátio ou Átrio e têm uma planta em L. O arquiteto desenvolve dois tipos de habitação: um com o pátio na entrada e o outro com o pátio de fundos. Ambas as casas apresentam um terraço no segundo piso e podem ser aumentadas e combinadas de diversas formas, através da lógica de cheios e vazios (Fig.22) (Siza Vieira, 2019).

Neste caso, as regras de projeto aplicadas, criam uma maior unidade no conjunto em comparação com a Quinta Monroy. Desde a cor branca que reveste as paredes exteriores do conjunto, até à variação da altura dos muros entre a altura da porta de entrada e da laje do segundo piso, é observada uma riqueza na composição

tridimensional que foi sendo formada ao longo dos 50 anos de vida deste bairro. Acresce que, o conjunto segue a topografia existente, oferecendo a cada casa uma identidade própria (Fig.23), enquanto os sistemas de aquedutos de betão oferecem uma pausa da parede branca multiplicada ao longo das habitações (Fig.24).



Fig. 23 Quinta da Malagueira, Álvaro Siza Vieira (1973)

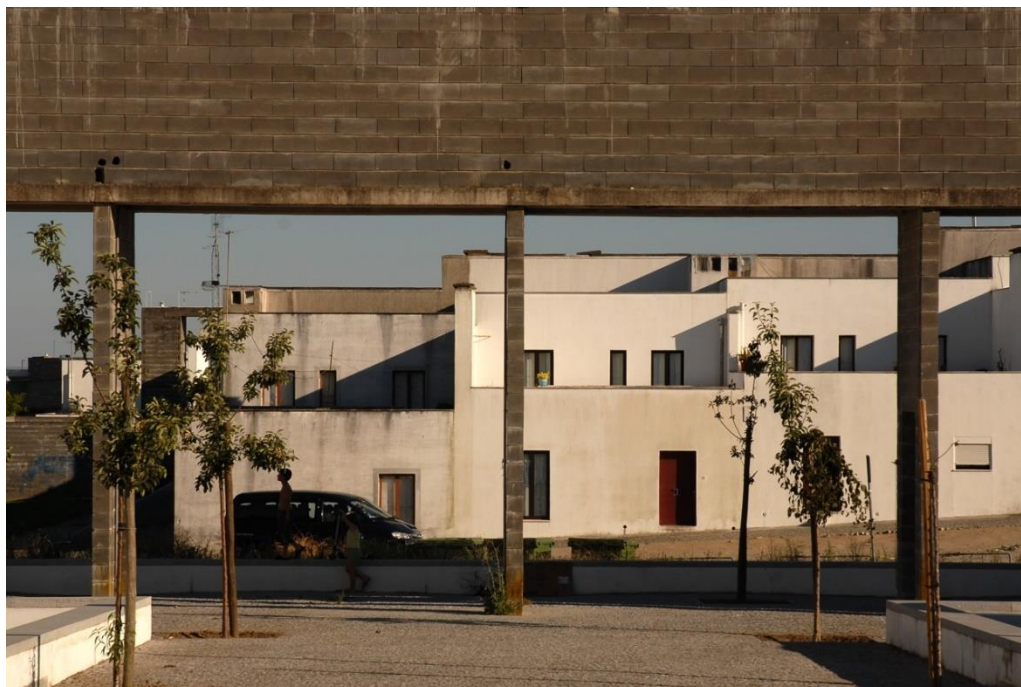


Fig.24 Aquedutos de betão em contraste com o branco das habitações, Quinta da Malagueira, Álvaro Siza Vieira (1973)

Atualmente, a evolução da tecnologia permite oferecer um contributo significativo à arquitetura, tanto na prática como na teoria. Se em 1973, a tecnologia permitisse a materialização dos princípios do DfD/A, a Quinta da Malagueira seria, por excelência, um exemplo nítido onde muitos desses princípios já estão espelhados e facilmente se poderiam aplicar os restantes com o auxílio do BIM e novas técnicas construtivas. É, assim, fulcral criar soluções que formem a ponte entre a descoberta dos parâmetros corretos para avaliação da sustentabilidade, da circularidade e do DfD/A, e a materialização dos mesmos, já com esses parâmetros otimizados.

Deste modo, o capítulo seguinte irá focar-se no desenvolvimento de um modelo de otimização do projeto sustentável, cujos resultados da sua aplicação visam contribuir para a criação e avaliação dos parâmetros previamente enunciados.

3. Modelo de otimização do projeto sustentável: Desmontagem e adaptabilidade (MOPS-DA)

No presente capítulo, é apresentado o desenvolvimento do Modelo de Otimização de Projeto Sustentável – Desmontagem e Adaptabilidade (MOPS-DA), com base legal, apoiada na ISO 20887:2020, e teórica, fundamentada no estado da arte relativo às áreas de estudo desta dissertação.

Atualmente, o estudo e a teorização de novas soluções da arquitetura sustentável está cada vez mais desenvolvido. No entanto, ainda não são encontradas muitas aplicações práticas que sustentem a teoria já desenvolvida, tornando a sua expressão muito escassa.

Propôs-se assim, o desenvolvimento de um processo de procura de referências, de normas e de investigações que ajudassem a responder às seguintes questões: “PODERÁ EXISTIR UM MODELO QUE PERMITA AVALIAR O DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE NUM PROJETO?” e “QUAL O CONTRIBUTO QUE UMA FERRAMENTA COMO O MOPS-DA PODE ACRESCENTAR NA TRANSIÇÃO ENTRE A TEORIA E A PRÁTICA DA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E CIRCULAR?” – no que respeita à arquitetura sustentável e ao DfD/A.

Ao concentrar a atenção desta dissertação numa prática concreta da arquitetura sustentável, o DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE, foi possível direcionar a solução para o elemento em falta na implementação da mesma: os Métodos de classificação e avaliação.

Da análise dos conceitos que antecederam o DfD/A e da ISO-20887:2020, que vieram formalizar todos os princípios relativos a projetos para desmontagem e a projetos para adaptabilidade, auferiu-se a inexistência de critérios de avaliação padronizados, que permitissem concretizar um projeto DfD/A rigoroso. Assim, para garantir o cumprimento de todos os princípios previamente referidos, manter um pensamento circular, tirar partido da *Twin Transition* e otimizar a sustentabilidade do projeto através das novas tecnologias como os softwares BIM, depreende-se que será necessário criar critérios que venham guiar e auxiliar arquitetos, engenheiros ou qualquer outro interveniente, que pretenda desenvolver um projeto DfD/A. Nesta circunstância, a elaboração de uma grelha de avaliação, que cruzasse os princípios enunciados pela ISO-20887:2020 com

critérios de avaliação baseados no pensamento circular, no recurso à tecnologia e na otimização da sustentabilidade do projeto, tornou-se o objetivo principal da dissertação.

3.1. Visão

Partindo de uma extensa revisão bibliográfica e da análise de modelos direcionados para diferentes aspetos da construção sustentável, esta dissertação visa desenvolver um Modelo de Otimização do Projeto Sustentável: Desmontagem e Adaptabilidade (MOPS-DA). O modelo em questão, pretende avaliar a adaptabilidade e desmontagem de obras existentes ou em fase projeto, através de uma matriz de avaliação, cujos critérios abrangem todos os princípios do DfD/A abordados na ISO 20887:2020. O modelo procura auxiliar arquitetos, engenheiros, consultores, empreiteiros, clientes, etc. que ambicionam atingir a sustentabilidade e a circularidade nos projetos, assim como orientar e clarificar as decisões tomadas nas fases iniciais de projeto e planeamento.

O MOPS-DA é criado para complementar as avaliações do LCA¹⁶, a informação cedida pelo BIM e os métodos de construção sustentável e circular já existentes. Pretende, ainda, fornecer uma estrutura de avaliação gratuita, voltada especialmente para a prática do DfD/A.

Paralelamente à implementação dos princípios DfD/A, o modelo visa analisar formas de tornar o uso do BIM mais objetivo na arquitetura circular e sustentável, de forma a criar uma ligação clara entre o modelo e o BIM e, conseqüente, esclarecer a possibilidade da incorporação de novos parâmetros que analisem a desmontagem e adaptabilidade dos edifícios através dos modelos.

Por fim, de forma a comprovar a necessidade dos métodos e práticas usadas no DfD/A e, conseqüentemente, na arquitetura sustentável, estes serão fundamentados e questionados através da aplicação do modelo a Casos de Estudo, no seguinte capítulo.

3.2. Metodologia e Critérios de Avaliação

Tal como foi explicado anteriormente, o modelo visa medir o grau de desmontagem e adaptabilidade e, conseqüentemente, de sustentabilidade e circularidade de um edifício. Seguidamente, após a análise do Anexo C, da ISO 20887:2020, são desenvolvidas as formas de medição de cada princípio, as quais serão aplicadas no MOPS-DA de forma a otimizar a avaliação dos ativos. Finalmente, tal como Dams et. al (2021) sugere, a avaliação do MOPS-DA será dividida em duas partes: os princípios relativos ao edifício e os princípios relativos aos elementos do edifício.

No seguimento da metodologia do modelo, e com base na norma em questão, propôs-se o desenvolvimento de critérios de avaliação, que possam garantir uma avaliação consistente dos princípios DfD/A. Assim, os critérios de avaliação receberão uma avaliação final entre o nível mínimo, 0 (não sustentável) e o nível máximo, 5

(sustentável). Sendo o nível 0, a classificação mais negativa e, o nível 5, a classificação mais positiva. Esperando ainda, que a atribuição dos níveis aos edifícios analisados, exija uma avaliação tanto qualitativa como quantitativa, a cada nível corresponderá um intervalo percentual ou uma resposta Sim-Não de acordo com o Anexo C da ISO 20887:2020, tal como é ilustrado na Tab.1.

Partindo da análise de estudos anteriores, como o de Dams et al. (2021), depreendeu-se, que a definição dos intervalos percentuais, depende da exploração de considerações como os materiais utilizados, a avaliação do ciclo de vida do ativo, os princípios DfD/A, a circularidade dos elementos do ativo, a expectativa de vida do projeto ou Durabilidade, as conexões, a padronização, a Reutilização de elementos, as Fundações, o recurso ao software BIM, etc.

3.3. Parâmetros de Avaliação

De forma a consolidar e suportar a decisão sobre a atribuição dos níveis a cada parâmetro a avaliar, os capítulos seguintes ilustram a análise dos princípios de projeto para Adaptabilidade e dos princípios de projeto para Desmontagem.

3.3.1. Avaliação do Ciclo de Vida

Para que um elemento ou edifício possa cumprir os princípios da construção circular, deverão ter a avaliação de ciclo de vida (ACV ou LCA¹⁷) completa e a Declaração Ambiental de Produto (DAP ou EPD¹⁸) disponível.

Avaliação do Ciclo de Vida (LCA)

As Avaliações de Ciclo de Vida (LCA) visam avaliar o impacto ambiental e o desempenho dos materiais, assim como a sustentabilidade de sistemas de construção inteiros (ISO 14025:2006, 200619).

Declarações Ambientais de Produto (DAP)

As Declarações Ambientais de Produto (DAP ou EPD) apresentam informação ambiental quantificada sobre o ciclo de vida de um produto e baseiam-se em informações fornecidas pela LCA, dados de inventários do ciclo de vida (ICV) ou módulos de informação, em conformidade com a série de Normas ISO 14040¹⁹ (DAPHabitat, 2022). Desta forma, as DAP podem ser usadas nas Avaliações do Ciclo de Vida, ao nível do edifício e facilitar a comparação com outros produtos que cumpram as mesmas funções.

Redução da pegada de CO₂ na atmosfera

Dado que a partir das DAP já é possível prever o impacto de um material ou produto no ambiente, a libertação de Dióxido de Carbono para a atmosfera poderá ser mais facilmente avaliada. Por conseguinte, as DAP poderão atenuar, e a longo prazo, promover a solução para a pegada significativa de CO₂ do sector da construção (Dams et al., 2021).

^{17, 18} Ver Terminologia

¹⁹ A ISO 14025:2006 estabelece os princípios e especifica os procedimentos para o desenvolvimento de programas de declaração ambiental

O combate a este problema, lida com dois aspetos principais: 1) A liberação gradual de carbono biogénico capturado à medida que os materiais de base biológica se degradam durante o uso ou após o uso em aterro (Fouquet et al., 2015) e 2) A libertação repentina de carbono durante a incineração no final da vida útil. Assim, tendo em conta que o pensamento circular pressupõe, que os edifícios terão várias vidas úteis de projeto, será de prever que a captura de CO₂ da atmosfera é um processo essencial e colocar em prática a longo prazo.

Por outro lado, as LCA têm ainda de considerar os cenários de fim de vida, onde alguns elementos podem não ser reutilizados ou reciclados, tendo de ser depositados em aterros. Este último cenário, tem uma clara pegada negativa no ambiente dado que os aterros sanitários, a incineração (Fouquet et al., 2015) e, no caso de materiais biodegradáveis, a compostagem, libertam grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera (Dams et al., 2021).

Critérios de avaliação

Assim, para o MOPS-DA, a possibilidade de reutilizar ou reciclar um material, após a primeira vida útil do projeto, irá obter uma pontuação mais positiva do que os materiais que não permitem essa opção, restando apenas a demolição e, conseqüentemente, descarte em aterros, incineração ou compostagem.

3.3.2. Circularidade dos elementos

Para um elemento ser considerado circular, devem ser consideradas um conjunto de características que o habilitam a uma segunda vida útil, como pertencer a um edifício dador ou disponibilizar informações sobre as utilizações anteriores.

Edifício Dador

Um local ou edifício dador é um ativo cuja primeira vida útil acabou e está preparado para a desmontagem, pode doar elementos, materiais e componentes para outros edifícios, sejam novos ou também em processo de reutilização (Rose & Stenfert, 2018).

Importância das Bases de Dados

Tal como a Circular EcoBIM propõe, previamente apresentado no ponto 1.4., as informações sobre materiais, processos construtivos, elementos, planos de desmontagem, etc., podem ser registadas e armazenadas num banco de dados, com o auxílio de um software BIM, obtendo um inventário de toda a informação relativa ao ativo construído e facilitando a sua futura desmontagem e adaptação. Deste modo, o uso de banco de dados, como o desenvolvido pela Circular EcoBIM (Fig.25) visa não só tirar partido das potencialidades do BIM para documentar o tipo de material, a sua durabilidade, as dimensões, a forma, o contacto com materiais adicionais (revestimentos, rebocos, aglutinantes, material sintético ou tóxico), o histórico do material (produção, garantia do fornecedor e detalhes da construção do dador, número

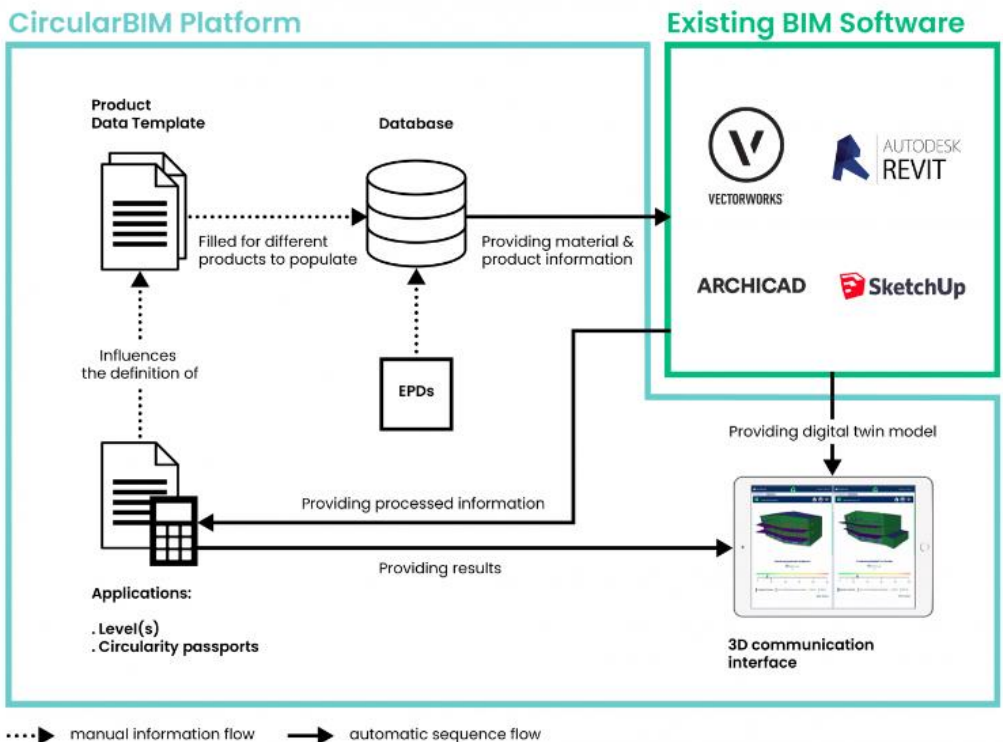


Fig.25 Funcionamento da plataforma Circular EcoBIM

de reutilizações), o estado em que se encontra, e como permite reduzir a pegada ambiental da construção (Circular EcoBIM, 2020)

Armazenamento dos dados dos Edifícios Dadores

A longo prazo, a reutilização e recuperação de edifícios irá requerer materiais e elementos que correspondam às características estéticas e mecânicas usadas nas componentes dos mesmos. Desta forma, bancos de dados, como os acima mencionados, poderão criar pares entre os edifícios dadores e edifícios que podem receber os seus materiais e componentes. Por exemplo, o software Fastcut permite catalogar digitalmente elementos de edifícios dadores e registar informações detalhadas de cada elemento usado, de forma a maximizar a sua reutilização após a primeira vida útil do projeto onde estava incorporado (FastCAM, 2020).

Critérios de Avaliação

Edifícios que utilizem materiais, componentes ou elementos de edifícios dadores obtêm pontuações mais elevadas nos critérios de avaliação do MOPS-DA.

3.3.3. Materiais

De acordo com a ISO 20887:2020, o Material, quando considerado um parâmetro de avaliação do MOPS-DA, deverá ser avaliado com uma resposta “sim ou não”. Caso o material seja inacabado, reciclável ou reutilizável e o acabamento do material permitir a sua reutilização ou reciclagem, este irá obter a resposta positiva, “sim”.



Fig.26 MLC ou Glulam

Betão

O betão armado, o material que constitui a estrutura da maioria da arquitetura contemporânea, tem, tipicamente, como base o cimento Portland e é moldado in-situ. Porém, se por um lado, o uso do betão armado continua a ser popular pelas valências que este oferece, como a resistência e rigidez das estruturas e a resistência ao fogo, por outro, este material produz grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera, o que torna o seu uso cada vez menos apelativo aos olhos da arquitetura sustentável (Turner & Collins, 2013). Assim, se o betão deixasse de ser moldado in-situ e passasse a recorrer à modularização, seria possível desmontar uma estrutura para uso posterior, descartando o cenário da demolição (Salama, 2017).

CrITÉrios de avaliaÇão para o Betão

O recurso ao betão, sob o ponto de vista do DfD/A pressupõe uma vida circular, onde a matéria é triturada de forma a separar as barras de aço que reforçam a estrutura e reutilizado em pavimentos ou estradas. Porém, apesar de existir uma abordagem circular para o betão armado, a falta de soluções tangíveis para a distância entre a teoria e a prática obriga a que a reutilização do betão seja um processo muito dispendioso (Salama, 2017). Deste modo, obras que usem o betão armado, cuja base assenta no cimento Portland, irão obter uma pontuação negativa mais elevada.

Alvenaria

No caso da alvenaria, a pedra e o tijolo podem ser recuperados quando a argamassa é à base de cal. No entanto, novamente motivada pelas valências das argamassas mais fortes à base de cimento Portland, a construção de alvenaria deixou de utilizar argamassas facilmente removíveis desde a Segunda Guerra Mundial (Webster & Castello, 2005).

CrITÉrios de avaliaÇão para Alvenaria

Assim, será de esperar que um edifício cuja argamassa seja à base de cal, terá uma classificação mais positiva que um edifício que possua alvenaria com argamassa à base de cimento.

Madeira

A madeira, o biomaterial mais usado na construção, quando é usada estruturalmente, tem a capacidade de ser reutilizada noutras estruturas, pisos e divisórias (Webster & Castello, 2005). Porém, o desenvolvimento de fungos, devido à falta de manutenção da madeira, a existência de nós na madeira ou o mau posicionamento dos antigos furos de fixação, podem comprometer a durabilidade e reutilização deste material (Brol et al., 2015). A combinação errada de materiais biológicos com materiais sintéticos pode resultar em materiais compósitos que não podem ser reutilizados, apresentando várias dificuldades à avaliação do ciclo de vida dos mesmos e, conseqüentemente, diminuir a circularidade do material (Guy e Ciarimboli, 2015).

O Glulam ou Madeira laminada cortada (MLC) (Fig.26), apesar de ser um dos biomateriais compósitos com melhores resultados na contemporaneidade, apresenta

um problema ainda por resolver: ao ser constituído por várias camadas de madeira de lei dimensionada, coladas com adesivos estruturais duráveis e resistentes à humidade, o uso de aditivos não biológicos dificulta o processo da sua reutilização, apesar de este ser possível e, geralmente, concretizado. Existem ainda alternativas à madeira, como, o bambu natural, os fardos de palha dentro de um painel composto com estrutura de madeira ou o reboco de cal, que também oferecem uma boa resistência estrutural e são reutilizáveis (Yin et al., 2018).

Critérios de avaliação para Madeira

Assim, obras que utilizem materiais de base biológica, cuja origem é gerida de forma sustentável e podem ter mais do que uma vida útil, tenderão para uma classificação positiva mais elevada. Por outro lado, existem ainda exceções, tal como foi previamente explicado, no caso dos materiais compósitos cuja base não é totalmente biológica, onde a sua pontuação é reduzida por não serem prontamente reutilizados ou reciclados (Dams et al., 2021).

Aço

O aço, geralmente usado nos elementos lineares das estruturas, pode ser desmontado através da remoção das conexões ou do corte de partes da estrutura. Como tal, para reutilizar os membros cortados, são necessárias uma verificação e uma garantia da sua integridade estrutural contínua (Zygomalas & Baniotopoulos, 2016).

Critérios de avaliação Aço

Por conseguinte, aos edifícios cujos elementos de aço permitam a desmontagem e reutilização, assim como aos edifícios que apresentem conexões reversíveis, isto é, aparafusadas ou grampeadas, serão atribuídas pontuações mais positivas do que aos edifícios com conexões soldadas (Webster & Castello, 2005).

Vidro

Amplamente usado em projetos modernos, o vidro é um dos materiais mais difíceis de reutilizar na construção, dado que a variedade de vidros disponíveis e o difícil redimensionamento das unidades de vidro para um novo edifício, torna o processo de reutilização quase irrealista. Na tentativa de melhorar a circularidade deste material, várias técnicas de reciclagem do vidro têm vindo a ser exploradas, porém nenhuma se mostrou suficientemente eficiente. Por exemplo, a refusão do vidro tornou-se inviável devido à dificuldade em identificar qual o revestimento utilizado (infravermelho térmico, refletivo, emissividade), assim como a reutilização do vidro laminado com folhas de PVB (polivinil butiral) devido à falta de técnicas que separem, de forma ótima, o vidro da folha (Dams et al., 2021).

Critérios de avaliação Vidro

Consequentemente, edifícios com grandes superfícies de vidro, irão obter classificações mais negativas no MOPS-DA.

3.3.4. Conexões

Conexões Químicas

Na perspectiva da futura desmontagem, as conexões químicas normalmente usadas, devido a um menor custo e velocidade de construção, obtêm resultados muito negativos para a construção circular. Por norma, as construções maciças que são desenhadas para durar uma vida útil de projeto, podem ter custos de obra muito inferiores inicialmente, porém, a longo prazo, as conexões químicas usadas nestas obras dificultam fortemente o processo de reutilização ou reciclagem dos materiais ou elementos, devido à formação de ligações demasiado rígidas (Durmisevic & Yeang, 2009).

Conexões Reversíveis

Em alternativa, as conexões químicas têm vindo a ser substituídas por conexões reversíveis, como por exemplo, as conexões mecânicas secas. Contrariamente à soldagem, cuja ligação química não é compatível com a reutilização dos elementos metálicos, o uso de conexões mecânicas secas como parafusos, grampos ou buchas deve ser incentivado, excetuando os pregos como uma conexão menos adequada à desmontagem (Guy e Ciarimboli, 2015).

Conexões de Gravidade

As conexões de gravidade são conexões que permitem a transferência de tensões de cisalhamento ou cortantes entre dois membros. Consequentemente, ao resistirem a este tipo de esforços, as conexões de gravidade adequam-se facilmente à construção circular assim como à colocação das conexões com uma fácil acessibilidade, e ao recurso ao aço inoxidável para criar conexões mais duráveis e reutilizáveis (Guy e Ciarimboli, 2015).

CrITÉrios de avaliação

Será então de esperar, que será atribuída uma pontuação inferior a conexões químicas, cujas ligações dificultem a desmontagem e uma pontuação superior a conexões mecânicas por gravidade seca, travadas ou aparafusadas, desde que sejam adequadas a futura desmontagem e padronização, com mínima variação de dimensões.

3.3.5. Padronização

Segundo os critérios da arquitetura circular, parâmetros como a simplicidade, a padronização, a construção modular e a clareza do desenho têm vindo a tornar-se um pré-requisito, para que a indústria da construção se torne cada vez mais verde.

Aplicação dos Princípios da Arquitetura Circular

Os projetos com um grau muito elevado de complexidade, tanto estruturalmente, como esteticamente, não incorporam os princípios da arquitetura sustentável e, por

consequente, aumentam a pegada negativa do sector AECO no ambiente (Dams et al., 2021). Em virtude de tentar contrariar esta pegada, vários projetos têm vindo a incluir elementos essenciais à construção circular e sustentável, como elementos estruturais e lineares de dimensões constantes, lajes com grades estruturais que se repetem, com dimensões regulares, divisórias móveis, ou a incorporação do conceito do open-space (Guy e Ciarimboli, 2015).

Modularização

A modularização, quando combinada com a desmontagem pode ser um catalisador para uma construção circular mais fácil e segura, através do uso de elementos pré-fabricados fora do local de construção, de componentes padrão e de unidade volumétricas tridimensionais modulares (Aapaoja & Haapasalo, 2014). Desta maneira, o fabrico de sistemas construtivos modulares completos, contrariamente a elementos e conexões individuais, torna o projeto mais viável ao nível da gestão de custos da construção (Arup & Reifer, 2019).

O recurso à pré-fabricação e modularização pode promover vantagens como o aumento da segurança, da eficiência e da produtividade com uma maior taxa de reutilização; cronogramas de projetos reduzidos e, conseqüentemente, um decréscimo dos resíduos de construção. No entanto, os custos variam consoante a maturidade na indústria da construção pré-fabricada local. (Hong et al., 2018).

Transporte de elementos pré-fabricados

Partindo do princípio que a pré-fabricação pressupõe o transporte dos elementos e que a chegada dos mesmo ao local da obra está condicionada pelas cargas verticais encontradas ao longo dos percursos irregulares, devem adotar-se medidas que facilitem o transporte. Logo, o uso da tecnologia da construção moderna e o recurso a infraestruturais que minimizem os danos e a variação das cargas, o aumento da massa do material transportado, recorrendo à geometria, e estratégias de tolerância dimensional, são medidas que podem ser integradas no transporte dos elementos modulares, de forma a facilitar este processo (Godbole et al., 2018).

Reciclagem do aço

O estudo “Edifícios modulares na construção Moderna” de Generalova et al., (2016), ilustra como o uso de aço reciclado pode ser usado em construção modular, reduzindo o desperdício de material e, conseqüentemente, os resíduos depositados em aterro. Neste sentido, a utilização de aço reciclado pode ainda necessitar de reforços estruturais de carbono incorporado, ainda que em menor quantidade do que o material desperdiçado devido à prática no local. Assim, esta compensação adicional de LCA, permite uma maior eficiência e uma menor taxa de libertação de CO₂ ao longo da vida útil do projeto (Generalova et al., 2016).

Os exemplos ilustrados pelas Fig.27 e Fig.28 vêm demonstrar que os resultados debatidos no estudo anterior revelaram que os elementos modulares, pré-fabricados e padronizados podem facilitar significativamente a desmontagem, a reutilização e,

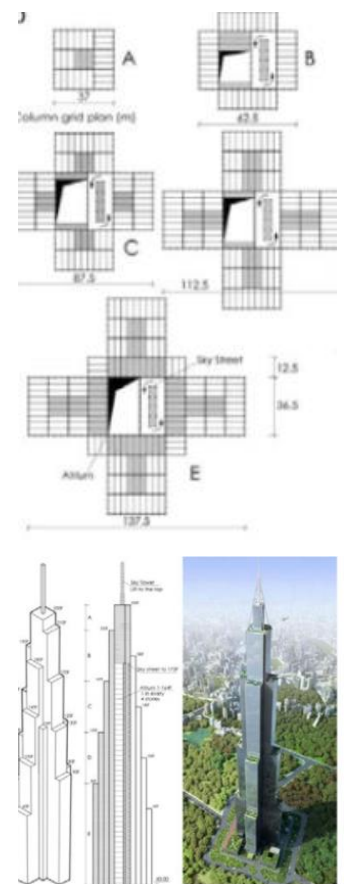


Fig.27 SkyCity



Fig.28 Fábrica Central BSB, seção de piso

mesmo com os desafios do transporte, promover a construção circular. Desta maneira, o exemplo da Fig. 27 ilustra a tecnologia exclusiva desenvolvida na China, pelo grupo BROAD, fundado em 1988, aplicada no projeto «Sky City», onde todo o edifício é pensado de forma modular: um sistema estrutural modular constituído por colunas de aço, vigas, pisos e painéis de parede cortina. Por outro lado, o módulo ilustrado na Fig.28, criado para a Fábrica Central BSB, é composto por instalações comuns a uma fábrica (cabos elétricos, saídas de ar ocultas dos sistemas centrais de ar condicionado e ventilação, isolamento térmico e acústico, acabamentos, etc.), tornando o edifício extremamente versátil a futuras adaptações. Como resultado, a altura padrão é de 3 metros e os módulos, após serem entregues no local de construção, são montados através de juntas aparafusadas e, raramente, soldadas. A normalização deste processo (pré-fabricação, armazenamento, entrega e montagem) torna-se assim muito vantajosa ao nível da gestão da construção, dado que permite atingir taxas de construção surpreendentes (Generalova et al., 2016).

CrITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Os projetos avaliados pelo MOPSDA irão obter uma pontuação positiva mais elevada, se utilizarem elementos pré-fabricados, aumentando a pontuação conforme a facilidade de desmontagem e reciclagem dos elementos (elementos lineares, painéis 2D e unidades 3D padrão modulares). No limite, o cenário mais positivo, seria constituído por edifícios projetados, desde a conceção, para permitir a montagem paralela e a futura desmontagem, o que iria poupar tempo, recursos e custos. Porém, este cenário só seria possível com uma reformulação do setor da construção, orientando a mesma para o uso de elementos e conexões pré-fabricados fora do local, que poderiam vir a ser desmontados, reutilizados ou reciclados, ao invés das estruturas monolíticas in situ, que pontuam mais baixo no MOPS-DA por tornarem a reutilização dos elementos quase impossível.

3.3.6. Fundações

Comportamento do betão ao aumento de cargas

Enquanto material predominante nas fundações modernas, o betão armado permite cumprir uma das características fundamentais da adaptabilidade dos edifícios: Fundações que admitam o aumento das cargas estruturais devido a expansões verticais, ou modificações necessárias derivadas da mudança de uso e início de uma nova vida útil. (Dams et al., 2021)

Tipos de fundações para futuras desmontagens

As fundações mais indicadas para sofrerem dimensionamentos consequentes de futuras desmontagens são as sapatas (em blocos de betão armado), as estacas (quando as condições do solo o exigem) e as vigas baldrame (vigas enterradas no solo) (Morgan & Stevenson, 2005). Em oposição, as fundações em tira ou valas, também

usadas frequentemente na construção, não oferecem um comportamento tão favorável a futuras adaptações ou desmontagens.

Critérios de Avaliação

A avaliação do MOPSDA irá considerar a facilidade de montagem e desmontagem da fundação. Assim, grades simples, regulares e retilíneas de blocos ou estacas, onde as colunas podem ser facilmente montadas e desmontadas, com recurso a conexões mecânicas secas irão pontuar mais alto no MOPS-DA, por oferecerem uma solução circular.

3.3.7. Expectativa de vida do projeto

Independência das camadas do sistema

Tal como foi anteriormente explicado, a análise do sistema em camadas 6'S, é normalmente usada para compreender que cada camada tem um período de uso esperado diferente (Geldermans & Jacobson, 2015). Deste modo, estando a expectativa de vida diretamente relacionada com a independência das camadas, a avaliação das diferentes durações de vida dessas camadas irá condicionar ou melhorar a durabilidade do edifício. Por conseguinte, para que um edifício seja adaptável, as camadas do local, estrutura, pele (fachada), serviços (mecânicos e elétricos), planta do espaço interior e enchimento, devem ser desmontáveis, de forma que os vários elementos possam ser substituídos conforme o término das diferentes vidas úteis (Geldermans & Jacobson, 2015).

Projeto para desmontagem a longo prazo

Quando um ativo é projetado para desmontagem, o seu valor poderá aumentar a longo prazo, se o investimento inicial tiver um retorno, através da facilidade com que os sistemas, componentes e materiais poderão ser reutilizados no futuro, com menos custos e recursos. Assim, será de prever que o investimento inicial de um projeto planeado para futura desmontagem poderá ter um retorno muito superior à construção de betão armado, devido à possibilidade de o edifício poder alojar várias vidas úteis e ser adaptável a diferentes usos com muito menos custos (Durmisevic & Yeang, 2009). Assim, o projeto deve considerar vários cenários futuros, garantir a independência entre camadas, desenhar uma planta adaptável a possíveis funções futuras e planejar, desde o início, os materiais utilizados com base na capacidade de reutilização dos mesmos. (Durmisevic & Yeang, 2009).

Critérios de avaliação

Em última análise, projetos que sejam facilmente adaptáveis a futuros usos, que sejam versáteis, facilmente conversíveis e expansíveis tanto vertical como horizontalmente, irão pontuar mais positivamente no MOPSDA.

3.3.8. Recurso ao software BIM

Vantagens no uso do BIM

O BIM, quando utilizado desde o início do projeto, facilita a comunicação e colaboração entre todas as áreas envolvidas, desde o acesso a informações partilhadas no modelo BIM até à coordenação e acompanhamento do processo de construção (Akinade et al., 2015). Deste modo, a necessidade de comunicar entre todas as especialidades tira partido do uso do BIM desde a conceção até ao final do ciclo de vida do ativo e, conseqüentemente, obtém uma colaboração mais eficiente entre especialidades (Eastman et al., 2011).

Armazenamento de informações

Tal como é explicitado no capítulo 1.4., a capacidade singular do BIM permitir o armazenamento de informação sobre todas as etapas da obra, durante cada ciclo de vida, facilita a consulta e procura da documentação sobre requisitos de construção, planeamento, projeto, características dos materiais e outras operações aquando término da vida útil de um edifício (Eadie et al., 2013).

Análises de Desempenho

Paralelamente à capacidade de armazenar toda informação num modelo BIM, a capacidade de simular o desempenho do edifício e dos seus materiais de construção, durante e no final da vida útil, aproxima os softwares BIM da sua aceitação e rápida implementação. Conseqüentemente, as análises antes separadas por especialidades e programas, como a estimativa de custos, o consumo de energia, a análise da iluminação ou o projeto de AVAC, podem agora ser elaboradas no mesmo modelo, otimizando recursos e tempo.

De acordo com o BIM Handbook, de Eastman et al. (2011), a análise de desempenho de edifícios permite uma análise do modelo do edifício antes deste ser construído, através de uma plataforma para avaliação funcional de modelos BIM. Por conseguinte, esta potencialidade permitirá a deteção de possíveis erros de projeto e a procura da solução mais sustentável e circular.

Recursos do BIM

Por norma, o BIM possui quatro recursos principais que o tornam adequado para a gestão do desempenho da vida útil dos edifícios (Bilal et. al, 2016): 1) a modelação paramétrica de objetos; 2) associatividade bidirecional; 3) a interoperabilidade; e 4) a modelação de construção inteligente.

A modelação paramétrica de objetos, é a capacidade de capturar a forma e funcionalidade do projeto através de parâmetros e regras. Esta forma paramétrica de representação permite efetuar inúmeras mudanças preservando as proporções, formas e funções anteriores (Eastman et al., 2011).

A associatividade bidirecional é a capacidade, inerente ao modelo BIM, de efetuar e coordenar as mudanças feitas numa vista e perpetuá-las para as restantes. Desta forma, esta capacidade é aplicada automaticamente a todos os componentes, vistas e

anotações. Por exemplo, aquando da alteração da posição de uma parede, esta alteração reflete-se em todos os elementos associados a essa parede, desde janelas, portas, cantarias, etc. Consequentemente, quando softwares BIM, como o Revit, atualizam de imediato e de forma precisa as vistas, estes têm em conta que os elementos serão mais afetados quanto maior for o número de restrições e alinhamentos dos mesmos com a parede (Lencastre, 2017).

A interoperabilidade, é a capacidade de um software BIM trocar informação com softwares BIM concorrentes, num formato IFC (Industry Foundation Classes²⁰). Esta capacidade suaviza os fluxos de trabalho e, por vezes, a automação de análises e algumas tarefas (Eastman et al., 2011).

A modelação de construção inteligente garante que as informações adicionais, como a iluminação, o plano de gerenciamento de resíduos etc., são fornecidos juntamente com os dados geométricos 3D. Este tipo de informações pode ser relevante para futuras análises de energia, iluminação ou planos de gestão de resíduos, de simulação e avaliação de desempenho (Akinade et al., 2015).

Critérios de avaliação

Projetos que armazenem desde o princípio toda a informação relativa ao processo de construção irão pontuar mais positivamente no MOPSDA, assim como os projetos que possuam uma análise de desempenho, previamente efetuada através de um software BIM, também irão obter também pontuações mais elevadas.

3.3.9. Níveis e percentagens de avaliação

Apresentados nas tabelas seguintes, os critérios de avaliação, são separados em duas categorias: Os critérios relativos ao edifício (Tab.1) e os critérios relativos aos elementos (Tab.2).

A cada princípio corresponderá um intervalo percentual e um nível, hierarquizados de acordo com as análises previamente efetuadas.

²⁰ O formato IFC (industry foundation classes) é o formato aberto de troca de informação na indústria AECO.

Nível	%	Edifício
0	<10%	Cenário negativo. O edifício não tem um plano ou sequência de desmontagem; não é convertível, versátil ou expansível vertical ou horizontalmente; complexidade elevada; conexões não reversíveis; construção monolítica; excesso de utilização de produtos químicos sintéticos, resinas, acabamentos e tratamentos; falta de segurança na manutenção e impossibilidade de substituição de elementos por falta de acessibilidade sem danificar os materiais envolventes; Projetos que não armazenem informação sobre o processo de construção desde o seu início e que não possuam uma análise de desempenho realizada por um software BIM.
1	10%-29%	O edifício tem diretrizes mínimas para um plano de desmontagem; Minimamente convertível, versátil e expansível vertical ou horizontalmente; projeto complexo com elementos de construção sequencial; elevada utilização de produtos químicos sintéticos, resinas, acabamentos e tratamentos; mínima segurança na manutenção e dificuldade na substituição de elementos devido à margem limitada de acessibilidade sem danificar os materiais envolventes; Projetos que armazenem informações mínimas sobre o processo de construção desde o seu início e que possuam uma análise de desempenho incompleta realizado por um software BIM.
2	30%-49%	O edifício tem algumas diretrizes para realizar o plano de desmontagem; Parcialmente convertível, versátil e expansível vertical ou horizontalmente; projeto moderadamente complexo com elementos de construção sequencial e peças variáveis; utilização significativa de produtos químicos sintéticos, resinas, acabamentos e tratamentos; segurança moderada na manutenção e dificuldade controlada na substituição de elementos devido à margem ponderada de acessibilidade sem danificar os materiais envolventes; Projetos que armazenem pouca informação sobre o processo de construção desde o seu início e que possuam uma análise de desempenho incompleta realizada por um software BIM.
3	50%-69%	O edifício tem um plano de desmontagem moderadamente claro e detalhado; Possível conversão, alguma versatilidade e espaço para expansão vertical ou horizontalmente; projeto com alguma simplicidade e variabilidade moderada de elementos de possível construção paralela; utilização moderada de produtos químicos sintéticos, resinas, acabamentos e tratamentos; segurança moderada na manutenção e dificuldade controlada na substituição de elementos devido à margem ponderada de acessibilidade sem danificar os materiais envolventes; Projetos que armazenem alguma informação sobre o processo de construção desde o seu início e que possuam uma análise de desempenho incompleta realizada por um software BIM.
4	70%-89%	O edifício tem um plano de desmontagem razoavelmente claro e detalhado; possível conversão, alguma versatilidade e espaço para expansão vertical ou horizontalmente; projeto com alguma simplicidade e variabilidade moderada de elementos de possível construção paralela; pouco uso de produtos químicos sintéticos, resinas, acabamentos e tratamentos; segurança moderada na manutenção e facilidade na substituição de elementos devido à clara acessibilidade sem danificar os materiais envolventes; Projetos que armazenem quase toda a informação sobre o processo de construção desde o seu início e que possuam uma análise de desempenho razoável realizada por um software BIM.
5	≥90%	Cenário positivo. O edifício tem um plano de desmontagem abrangente e detalhado com uma sequência preparada durante a fase de projeto com especificações claras; Fácil convertibilidade, versatilidade e espaço para uma expansão vertical ou horizontalmente sem modificação significativa nas fundações; projeto com simplicidade, padronização e modularidade com uma variação mínima dos elementos de construção independente e paralela; conexões reversíveis; sem uso de produtos químicos sintéticos, resinas, acabamentos e tratamentos; segurança moderada na manutenção e Acessibilidade total na substituição de elementos com trabalho mínimo e possível desmontagem total sem danificar os materiais envolventes; Projetos que armazenem toda a informação sobre o processo de construção desde o seu início e que possuam uma análise de desempenho completa realizada por um software BIM.

Tab.1 Descrição dos níveis de avaliação do MOPS-DA: escala do Edifício

Nível	%	Elementos
0	<10%	Cenário negativo. No final da primeira vida útil do projeto não é realizada nenhuma reutilização ou reciclagem de elementos; materiais virgens; ACV incompleta ou inexistente; declaração ambiental de produto (DAP) inexistente; os materiais são depositados em aterros ou incinerados no final da primeira vida útil, devido à impossibilidade de serem reutilizados ou reciclados, mesmo sendo duráveis; impossível efetuar uma expansão sem modificar significativamente e de forma dispendiosa as fundações.
1	10%-29%	No final da primeira vida útil do projeto existe muito pouca reutilização ou reciclagem de elementos; materiais com informações mínimas; ACV muito incompleta; declaração ambiental de produto (DAP) inexistente; muito pouco material recuperado ou reutilizado, apesar de ser durável, continuando a recorrer-se ao aterro; Dificuldade em efetuar uma expansão sem modificar significativamente e de forma dispendiosa as fundações.
2	30%-49%	No final da primeira vida útil do projeto existe pouca reutilização ou reciclagem de elementos; materiais com pouca informação relevante; ACV parcialmente incompleta; declaração ambiental de produto (DAP) inexistente; pouco material recuperado ou reutilizado, apesar de ser durável, continuando a recorrer-se ao aterro; Uso mínimo de materiais de origem sustentável; Margem limitada para conceder uma segunda vida útil ao projeto.
3	50%-69%	No final da primeira vida útil do projeto existe alguma reutilização ou reciclagem de elementos; materiais com informação básica; ACV parcialmente incompleta; declaração ambiental de produto (DAP) possível; algum material recuperado ou reutilizado, razoavelmente durável; Uso de materiais de origem sustentável; Margem para conceder uma segunda vida útil ao projeto.
4	70%-89%	No final da primeira vida útil do projeto existe reutilização ou reciclagem considerável de elementos; inventário de materiais; ACV completo com cenário de fim de vida; declaração ambiental de produto (EPD) completa e disponível; Prolongamento da vida útil do projeto com materiais duráveis e recuperados ou reutilizados; Uso de materiais de origem sustentável; Margem para conceder algumas vidas úteis ao projeto.
5	≥90%	Cenário positivo. No final da primeira vida útil do projeto existe reutilização ou reciclagem total de elementos; inventário de materiais com informações sobre a origem e conteúdo; ACV completo com cenário de fim de vida; declaração ambiental de produto (EPD) completa e disponível; Prolongamento da vida útil do projeto com uso extensivo de materiais duráveis e recuperados ou reutilizados; Uso de materiais de origem sustentável; Margem para conceder múltiplas vidas úteis ao projeto.

Tab.2 Descrição dos níveis de avaliação do MOPS-DA: Nível do Elemento

3.4. O Modelo

A implementação dos objetivos e princípios do DfD/A pode não ser sentida, se não houver mecanismos que comparem e avaliem esta prática com os habituais cenários de construção. Assim, a criação de um modelo que permita medir o nível de desempenho sustentável e circular de um determinado cenário, poderá criar uma ponte entre os princípios teóricos anteriormente enunciados e a sua aplicação, mostrando o potencial do DfD/A no quadro da arquitetura sustentável (ISO 20887:2020, 2020).

3.4.1. Anexo C da ISO 20887:2020

O Anexo C da ISO 20887:2020, vem auxiliar o MOPS-DA na abordagem sobre as melhores práticas de medição para cada parâmetro a avaliar, e quais os objetivos de desempenho pretendidos. No entanto, o anexo carece de guias para a classificação dos parâmetros e, não existindo nenhum sistema de avaliação normalizado atualmente, o MOPS-DA, visa oferecer um sistema de avaliação que possa complementar este documento. Por outro lado, o modelo não irá estabelecer uma relação hierárquica na ordem de medição dos princípios do DfD/A, de forma a não priorizar uns princípios sobre outros. (ISO 20887:2020, 2020).

3.4.2. Anexo A da ISO 20887:2020

Paralelamente à criação de um sistema de avaliação, é explicitado na norma em questão, que as melhores práticas do DfD/A devem incluir uma “checklist” indicando a conclusão das várias ações e princípios. Deste modo, o Anexo A da ISO 20887:2020, (Fig.29), poderá auxiliar todo o desenvolvimento de um edifício projetado para desmontagem e adaptabilidade, desde o planeamento até à construção. Consequentemente, será de prever que os projetos que cumpram a “checklist” acrescentada pelo modelo, obterão resultados muito positivos no MOPS-DA.

3.4.3. Durabilidade

O modelo acrescenta ainda dois princípios: durabilidade e o recurso ao software BIM. A Durabilidade, apesar de não ser enunciada na norma como um princípio, é uma característica fundamental a ter em conta na tomada de decisões dos projetos DfD/A. Neste sentido, a sua medição deve considerar o número de vidas úteis de um elemento ou material e a duração dessas vidas e da vida atual. Será ainda possível, com base na avaliação desta característica, comparar um elemento a elementos que atendam à mesma função, com níveis de desempenho idêntico, mas mais sustentáveis. Por exemplo o uso de aço de reforço resistente à corrosão, ao invés de aço de reforço desprotegido (ISO 20887:2020, 2020).

3.4.4. Recurso ao Software BIM

O recurso ao software BIM, não sendo também incluído nos princípios, é considerado um parâmetro a avaliar, por atualmente ser reconhecido o seu papel catalisador na implementação do DfD/A. Assim, projetos cuja digitalização de toda a informação

relativa aos elementos, componentes e materiais esteja armazenada numa base de dados juntamente com o modelo do projeto, e seja tirado partido do modelo BIM para analisar as diferentes fases do projeto e compatibilizar as várias especialidades, o projeto irá obter uma pontuação elevada. No limite, caso o MOPS-DA seja bem-sucedido, poderá explorar-se a hipótese da criação de parâmetros, que avaliem o nível de desmontabilidade e adaptabilidade em que o edifício se encontra, ou parâmetros que otimizem os recursos utilizados, com base na análise destes vários princípios.

Por conseguinte, as Tab.3 e Tab.4 materializam a análise feita anteriormente e concretizam a base para responder ao primeiro objetivo desta dissertação: a criação de uma ferramenta que avalie a desmontabilidade e adaptabilidade de um projeto.

Table A.1 — Assessment of components/assemblies for specific DfD/A principles

Design for disassembly summary Mechanical/electrical — Mechanical	Versatility	Convertibility	Expandability	Standardization	Ease of access to components and services	Safety of disassembly	Simplicity	Supporting re-use (circular economy) business models	Independence/reversible connections	Avoidance of unnecessary treatments and finishes
Consider plastic fasteners where corrosion is an issue					X			X		
Use removable/adjustable fasteners: clips, ties, snap locks, clamp and hanger systems, worm clamps, tie wires, twist locks									X	
Use standardized screws with same-sized head				X			X	X	X	
Use corrosion-resistant and dielectric fasteners where appropriate										
Ensure access to one side					X				X	
Common driver; can use magnetized bit							X			
Use Robertson, Torx or Hex fasteners (avoid Phillips and slot screws) for reversibility							X		X	
Use standardized nut and bolt sizes	X			X			X			
Ensure access to two sides (to the nut and bolt)					X					
Common driver; can use magnetized bit				X			X			
Nuts and bolts provide reversible connections; use self-locking nuts to reduce parts required							X		X	
Use embedded nuts for one-sided bolt insertion and removal							X		X	
Two part — Hook and hanger										
Two-part system allows quick disconnect of the hanger from the permanently installed hook. Hanger requires only one tool.							X		X	
Ducts										
Flex duct										
Flexible ducts can be re-used and rerouted and are simple and easy to install	X		X				X		X	
Pre-insulated option is available							X			
Specify quick clamp connections									X	
Fibre ducting contains one component (consider the possibility of fibre emissions)							X			
Rectangular ducts (metal) have common format/size. Use common rectangular ducts where ducting systems are not expected to change frequently.	X		X							
Use reversible fasteners and seals for duct installation									X	
Only one component is required. Provides minimal size and weight and is reversible.							X		X	
Standardized; provides simple, reversible installation. Separate fasteners are not required.							X		X	

Fig.29 Anexo A: ISO 20887 (2020) - Avaliação de componentes/montagens para princípios específicos de DfD/A

Table A.1 (continued)

Design for disassembly summary Mechanical/electrical — Mechanical	Versatility	Convertibility	Expandability	Standardization	Ease of access to components and services	Safety of disassembly	Simplicity	Supporting re-use (circular economy) business models	Independence/reversible connections	Avoidance of unnecessary treatments and finishes
Specify modular, self-contained, plug-and-play, internally matched components	X		X				X		X	
For easy access, use open ladder raceways instead of conduit where possible. Install below suspended ceiling and/or HVAC where appropriate.					X					
Standardized labelling facilitates recognition										
Facilitate speed of recovery and recycling by using labels, tags, imprinted or engraved information										
Use colour-coded or alphanumeric (end-point) identification label or tags for all runs										
Label all circuits on distribution boxes for ease of identification. Match to electronic map/control panel.										
Use standardized flexible tubing that can be recovered and re-used	X									
Specify flexible tubing instead of rigid conduit to simplify installation and facilitate disassembly		X								
Use colour-coded flexible tubing to aid in quick identification										

Tab. 3 MOPS-DA: Nível do Edifício

Parâmetros		Critérios		Edifício 1
Adaptabilidade	Versatilidade		% de espaço disponível	
	Convertibilidade			
	Expansibilidade vertical (sem alterações significativas às fundações)		% possível crescimento de pisos (em altura)	
	Expansibilidade horizontal		% área adicional disponível	
Desmontagem	Simplicidade do projeto	Número de partes por elemento		0 (> 5 partes) – 5 (1 parte)
		Padronização e construção modular	Dimensões similares	0 (muito variável, geralmente feito à medida) – 5 (variação mínima ou nula e modular)
			Variação das componentes	
	Conexões			
	Segurança e Saúde	Uso de produtos químicos tóxicos ou sintéticos		0 (alta toxicidade) – 5 (toxicidade nula)
		Facilidade de acesso a conexões para desmontagem segura		0 (inacessível) – 5 (acessível com distâncias de segurança)
Independência	Grau de independência do elemento	Aplicação de montagem/desmontagem paralela em vez de sequência	0 (baixo, ordem sequencial, hierarquia de montagem) – 5 (alto, ordem paralela, independente)	
		Hierarquia		
Informação disponível	Plano de desmontagem com especificações incluído nos desenhos		0 (plano inexistente) – 5 (plano claro e abrangente, fácil de compreender e seguir)	
	Informação sobre a sequência de desmontagem		0 (inexistente) – 5 (fácil de seguir, completa)	
	Clareza dos planos		0 (incompleto, pouco claro) – 5 (completo e claro)	
	Recurso a software BIM para armazenar e organizar informação		0 (inexistência do modelo BIM ou qualquer base de dados) – 5 (Modelo BIM com várias dimensões incorporadas e base de dados completa)	
Total				

Elemento	Parâmetros		Critérios	Elem. A	Elem. B	Elem. C
	Informações sobre os Materiais	Fornecedores	0 (informações inexistentes) – 5 (informação completa)			
Local de produção						
Potencial para edifício dador						
Material reutilizado ou reciclado		% do elemento				
Custos/restauros/limpezas da reutilização		0 (N/A ou extensivos) – 5 (inexistentes)				
Avaliação de ciclo de vida (LCA) completa com cenário de fim de vida		0 (LCA sem informação ou inexistente) – 5 (LCA completa)				
Declaração ambiental de produto (EPD) completa e disponível		0 (EPD inexistente) – 5 (EPD completa e disponível)				
Acabamentos e tratamentos	Revestimentos químicos	0 (Sim) – 5 (Não)				
	Acabamentos com produtos químicos sintéticos e resinas					
Conexões Reversíveis		0 (Não pode ser reversível) – 5 (facilmente reversível)				
Construção circular	Capacidade de reutilizar os elementos sem restauros ou modificações	% do elemento que pode ser reutilizado				
	Capacidade de reciclar os elementos sem sofrerem degradação	% do elemento que pode ser reciclado				
Padronização	Dimensões padrão	0 (muito variável, geralmente feito à medida) – 5 (variação mínima ou nula e modular)				
	Modularidade					
	Interoperabilidade	0 (Não é flexível quando usado noutra contexto ou na ligação a outros componentes) – 5 (Muito flexível quando usado noutra contexto ou na ligação a outros componentes)				
Durabilidade	Número de vidas úteis anteriores	0 (material virgem) – 5 (≥5 usos anteriores)				
	Duração média das vidas úteis anteriores	0 (0 anos) - 1 (10 anos), 2 (20 anos), ..., 5(≥50 anos)				
	Duração prevista para a vida útil atual					
Total						

Tab. 4 MOPS-DA: Nível do Elemento

Formalizados os critérios e os princípios a incluir no Modelo de Otimização do projeto sustentável: Desmontagem e Adaptabilidade (MOPS-DA), será possível avaliar qualquer edifício e analisar Casos de Estudo, já construídos ou em fase de projeto, como será explicitado no capítulo seguinte.

Espera-se, assim, que a análise dos Casos de Estudo venha corroborar a ideologia que um modelo que auxilie arquitetos, engenheiros, construtores ou qualquer outra entidade interessada a construir projetos DfD/A, permita construir uma ponte entre a teoria e a prática, auxiliar na resposta às questões atuais sobre a implementação do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE, e ainda levantar novas questões para continuar a evolução do DfD/A e outras práticas da arquitetura sustentável.

4. Implementação do Modelo

No presente capítulo são ilustradas as análises e considerações conclusivas de dois *Casos de Estudo* nacionais, aplicados ao Modelo previamente desenvolvido (MOPS-DA), – dois edifícios projetados pelo Grupo Casais, um localizado em Guimarães e outro em Oeiras. Dado o protagonismo do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE (DfD/A) no modelo em questão, ambas as análises serão complementadas pelo Estado da Arte do DfD/A.

De acordo com a ISO 20887:2020, a análise dos casos de estudo irá basear-se na comparação de cada parâmetro e princípio avaliado, procurando desenvolver diferentes pontos de vista entre a construção DfD/A e a construção tradicionalmente usada na contemporaneidade (Betão armado), e, conseqüentemente, levantar questões sobre como ambos podem melhorar em prol de uma arquitetura mais sustentável e circular.

Os dois casos de estudo escolhidos apresentam diferentes métodos de construção – construção mista e construção predominante em betão armado – e diferentes tipos de materiais (de base biológica ou inorgânica) -, com o objetivo de verificar qual a classificação numérica que as diferentes soluções podem alcançar no MOPS-DA, revelando o nível de desmontabilidade, adaptabilidade e, conseqüentemente, de circularidade dos projetos.

Os dois edifícios analisados possuem vários andares, usam vidro não recuperado nos vãos e são construídos com o máximo de qualidade, com expectativa de durar uma primeira vida útil inicial de pelo menos cinquenta anos. Para ambos os exemplos, os materiais e métodos de construção variam, mas as fundações são diretas e construídas em betão armado.



Fig.30 Lifecycle Tower



Fig.31 LCT ONE, Dornbirn



Fig. 32 Exemplo de uma das soluções internacionais da CREE: Iliwerke Zentrum, Montafon. Arquitetos

4.1. Caracterização dos Casos de Estudo

Com o intuito de comparar um projeto que adote uma construção sustentável e possua vários princípios do DfD/A, com um projeto de construção comumente utilizado na atualidade (Betão Armado) que, conseqüentemente, não será tão circular quanto o primeiro, serão analisados dois projetos do Grupo Casais, - o primeiro, incorpora o Sistema CREE no sistema construtivo, e o segundo segue o tradicional sistema construtivo com estrutura de betão armado e paredes de alvenaria.

4.1.1. Grupo Casais e Sistema CREE

Grupo Casais

Fundado em 1958, o Grupo Casais intervém no setor da Engenharia e Construção há mais de 60 anos, tendo, na última década, expandido o seu campo de intervenção – Especialidade e Indústria, Promoção e Gestão de Ativos. Atualmente, com, aproximadamente, 5300 colaboradores no total (Portugal, expatriados e locais), o grupo têm beneficiado com o desenvolvimento das práticas sustentáveis e circulares compatibilizadas com softwares BIM.

Em 2020, as soluções sustentáveis de madeira híbrida da CREE alinharam-se com a visão do Grupo Casais para o desenvolvimento da indústria da construção e, por conseguinte, a Casais tornou-se o primeiro parceiro autorizado da CREE Buildings em Portugal, podendo aceder a meios digitais exclusivos e inovadores para o desenvolvimento e construção de edifícios sustentável (Casais, 2022).

CREE

Partindo de um projeto iniciado em 2009 - “Lifecycle Tower” ou Torre de ciclo de vida (Fig.30) -, a Rhomberg Bau GmbH, auxiliada por uma cooperativa de arquitetos, inicia o estudo do desenvolvimento de um sistema de construção em madeira modular, flexível e pré-fabricada de forma a limitar a libertação de CO₂ durante a montagem in-situ. Em 2010, é fundada a CREE, com o intuito de promover a construção de edifícios sustentáveis com tecnologia inovadora, diminuir os custos e o tempo de obra, enquanto a qualidade e circularidade dos mesmos aumenta simultaneamente. Em 2011, é erguida a primeira torre de ciclo de vida do mundo – LCT ONE (Fig.31). Atualmente, a CREE conta com uma extensa rede de parceiros internacionais, presente em Portugal, Áustria, Alemanha, Dinamarca, Bélgica, Luxemburgo, Singapura e Japão, porém, de forma a ampliar o acesso ao conhecimento da CREE, foi implementada, em 2020, uma plataforma onde é possível aceder às soluções de construção de vários edifícios em madeira e betão pré-fabricados (Fig.32), permitindo que os seus parceiros se distingam no mercado da construção (CREE Buildings, 2020).

A parceria entre a Casais e a CREE, fortemente apoiada pela tecnologia BIM, tem vindo a florescer e a empresa já começou a limitar o impacto da produção de CO₂ e a liderar o exemplo em Portugal perante este movimento de inovação colaborativa (CREE Buildings, 2020).

4.1.2. Caracterização do Caso de Estudo 1

Localizado em Guimarães, na rua Rómulo de Carvalho, junto ao Campus da Universidade do Minho, o Caso de Estudo 1 (CE 1) é o primeiro edifício de construção híbrida (madeira + betão) da Península Ibérica. A unidade hoteleira do Grupo B&B Hotels, corresponde a um projeto recente da autoria do Grupo Casais e do arquiteto Mário Fernandes e destina-se a um edifício multifuncional. Dada a diversidade de programas – hotelaria, habitação multifamiliar e comércio –, os diferentes pisos do projeto revelam características diferentes, consoante os seus usos (Grupo Casais, 2021).

Numa análise global ao conjunto, o projeto oferece 95 quartos de hotel, 44 apartamentos, todos de tipologia T0, prevendo-se em cada um deles uma sala, uma cozinha e uma casa de banho que cumpre as normas de acessibilidades previstas no Dec. Lei 163/06; uma área comercial de 1530 m²; 1590 m² de estacionamento e ainda 225 m² de áreas sociais e comuns do hotel. O acesso vertical, tal como as Fig. 33 e Fig.34 explicitam, é realizado através de três maciços de betão armado, com escadas e elevadores, distribuídos ao longo do edifício, os quais garantem a resistência estrutural a ações horizontais, como sismos ou ventos (Grupo Casais, 2021).

Tal como a Fig.36 ilustra, os dois primeiros pisos, -1 e 0, desenvolvem-se ao longo de um pódio, parcialmente enterrado, com toda a estrutura em Betão armado. Por outro lado, os pisos 1 a 4, que se desenvolvem a partir do pódio, são erguidos sobre a estrutura híbrida de betão armado-aço-madeira (Fig.35), também denominada por Sistema CREE, a qual diminui significativamente a pegada do edifício na atmosfera. No total, o conjunto apresenta uma área de implantação com cerca de 2500m² e uma altura total de 20,50m.

O piso -1, destinado ao estacionamento do complexo, espaços comerciais e espaço de refeições do hotel, e, o piso 0, ocupado por alguns quartos de hotel e espaços comerciais, apresentam vários espaços amplos, com um carácter adaptável.

Os pisos tipo, ou pisos 1 a 4, são organizados em dois núcleos: o Núcleo Nordeste é designado aos apartamentos e o Núcleo Sul é reservado aos quartos do hotel.

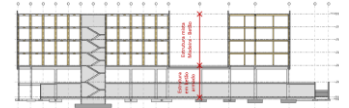


Fig.33 Corte longitudinal do edifício e esquema estrutural



Fig.34 Núcleos rígidos de betão armado

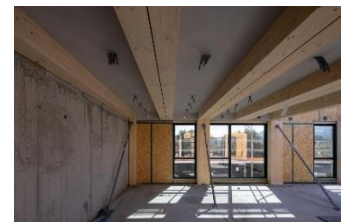


Fig. 35 Imagens da construção do CE 1

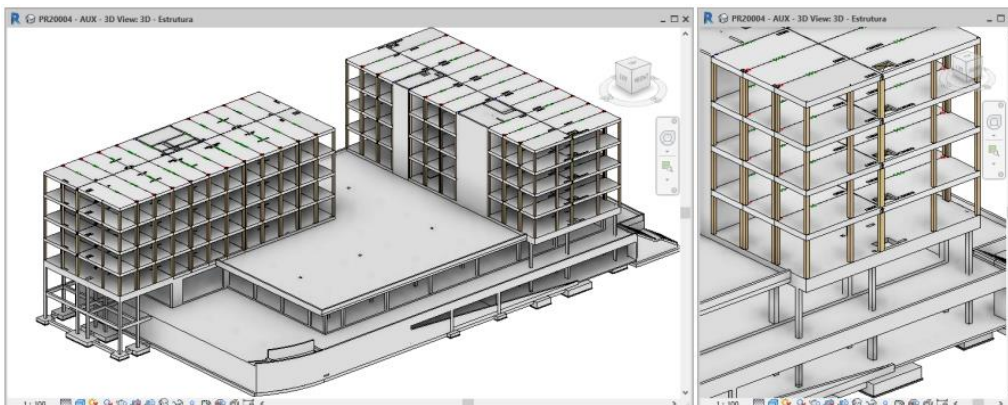


Fig.36 Vistas tridimensionais da estrutura do edifício



Fig. 37 Construção do CE 2



Fig.38 Implantação do CE 2



Fig.39 Corte transversal pelos acessos do CE 2

4.1.3. Caracterização do Caso de Estudo 2

O segundo Caso de Estudo (CE 2), também um projeto recente do Grupo Casais, introduz um hotel de 3 estrelas, localizado em Oeiras, denominado B&B – Hotel Lisbon Oeiras (Fig.37).

A parcela de terreno no qual o projeto é inserido apresenta uma pendente significativamente elevada e não tem qualquer tipo de construção, contemplando apenas uma extensão de terreno natural. Tal como a Fig.38 ilustra, o terreno confronta, a Norte, a Alameda José Bonifácio Lázaro Lozano, e a Sul, a Rua de José Malhoa, em Oeiras.

Com uma estrutura maioritariamente construída em betão-armado e algumas paredes de alvenaria de tijolo térmico, o projeto apresenta um sistema construtivo tradicionalmente utilizado na arquitetura contemporânea, em Portugal. Porém, os edifícios com um sistema construtivo à base de betão armado, têm vindo a afastar-se cada vez mais do quadro da arquitetura sustentável e circular, e, como tal, para que o impacto negativo deste edifício na atmosfera seja atenuado, são distribuídos painéis solares no terraço da cobertura, para a produção de energia verde (Urbis & Grupo Casais, 2021).

O edifício tem acesso direto à via pública e desenvolve-se ao longo de 4 pisos, acedidos por 4 acessos verticais – duas caixas de escadas interiores, uma de Utentes e outra de Serviço, e dois elevadores. No conjunto, o edifício atinge uma cêrcea de 15,7m, a qual ainda se encontra dentro dos parâmetros urbanos em vigor, e uma implantação de 1229 m² (Fig.39).

No piso -1, parcialmente enterrado, concentram-se as zonas comuns do Hotel – o Looby, espaço de pequeno-almoço, zonas de apoio e lavandaria-, o estacionamento e ainda os gabinetes destinados à gestão do Hotel. Enquanto nos pisos 0, 1 e 2, estão localizados 90 quartos duplos e três triplos, sendo que um dos quartos triplos será destinado a pessoas com mobilidade reduzida.

Por fim, de forma a integrar o projeto na sua envolvente, a fachada principal do edifício e os diferentes pisos são alinhados com a face dos edifícios adjacentes, assim como os materiais escolhidos para os alçados, seguem a mesma linguagem da linha de continuidade urbana envolvente, desde as alvenarias pintadas até às caixilharias dentro das mesmas características, proporcionando uma maior unidade no meio onde se inserem e garantindo uma imagem adequada e valorizada na frente do espaço público onde está inserido (Urbis & Grupo Casais, 2021).

4.2. Aplicação do Modelo ao Caso de Estudo 1

Escala do Edifício

4.2.1. Adaptabilidade

Versatilidade

Partindo da noção que a versatilidade de um edifício depende da percentagem de espaço disponível por piso, para acomodar novos e diversificados usos ao longo do tempo, a Fig.40 ilustra a análise da área disponível, por piso, no primeiro Caso de Estudo.

Perante um edifício multifuncional, o Caso de Estudo 1 apresenta uma configuração, com um elevado potencial de versatilidade. Se por um lado, o piso -1 dispõe de um parque de estacionamento e zonas de comércio, cuja estrutura e planta aberta permitem uma fácil adaptação a outro uso, o layout do Piso 0 revela uma organização de quartos de hotel com uma métrica marcada por paredes interiores facilmente amovíveis. Como tal, os quartos de hotel apresentarão apenas dificuldade em ser adaptados a novos usos, se for necessário demolir paredes com requisitos estruturais. Nos Pisos tipo, a zona Nordeste do edifício, começa a ser a ocupada por apartamentos amplos e com algumas divisórias amovíveis, voltando a oferecer espaços mais versáteis e que, com algumas alterações, podem ser convertidos a novos usos.

Tendo em conta que os níveis 1 e 0 de versatilidade não são significativos para o cálculo da percentagem da área versátil disponível no edifício, a fórmula utilizada será:

$$\frac{A^{n5} + A^{n4} + A^{n3}}{A^{tot}}$$

Assim, o CE 1 irá obter uma percentagem, muito positiva para o MOPS-DA, de 70%.

Convertibilidade

A versatilidade e a convertibilidade vêm muitas vezes associadas uma à outra, dado que dificilmente um espaço será versátil sem apresentar uma boa convertibilidade. Desta forma, mesmo sabendo que a convertibilidade é apenas atingida quando um edifício é pensado de raiz ou adaptado sem mudanças ao nível da estrutura, o princípio de avaliação segue o mesmo raciocínio do princípio da versatilidade: quanto maior for a área disponível a ser adaptada, mais elevada será a pontuação do projeto.

Porém, considerando que as paredes interiores são de gesso cartonado, a demolição deste elemento não afetaria a estrutura, podendo converter, por exemplo, os quartos de hotel noutros usos com alguma facilidade. Assim, somando aos 70% anteriores, o facto de ser ainda possível remover as paredes de gesso cartonado sem requerer grandes alterações ou custos, o CE 1, obterá uma percentagem de 80%.



Fig. 40 Análise do nível de convertibilidade e versatilidade de cada espaço, Caso de Estudo 1

Legenda: 5 (adaptabilidade ótima) – 0 (não é adaptável)

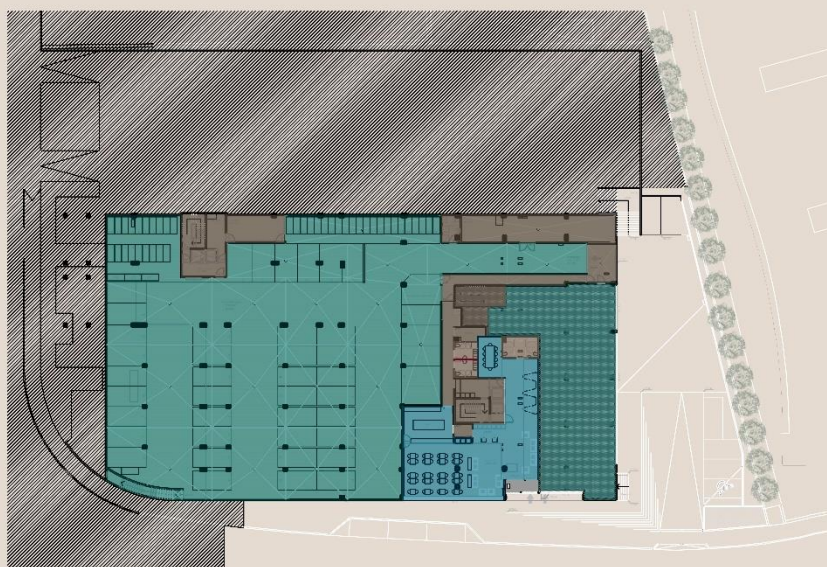
PISO TIPO

- 5- Estacionamento, Comércio
- 4- Recepção do Hotel, copa
- 3- Quartos do Hotel
- 2- Apartamentos
- 1- IS, Arrumos
- 0-Circulações

- Paredes de Gesso Cartonado



PISO 0



PISO -1



Expansibilidade Vertical e Horizontal

Considerando que a avaliação de uma futura expansão vertical, irá depender do número de pisos que um edifício poderá crescer, sem afetar significativamente as fundações e respeitando todas as regras urbanísticas em vigor, as Fig.41 e Fig.42 demonstram o quanto seria possível aumentar verticalmente o CE 1.

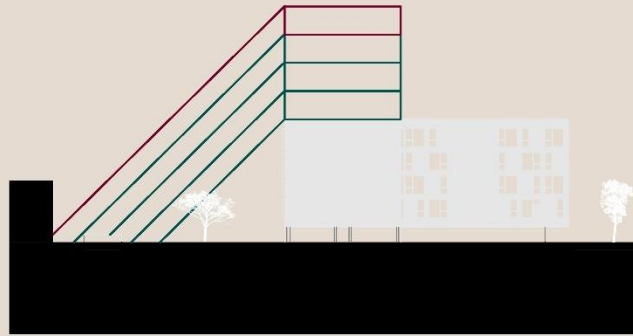
Envolvido a Este e a Sul por dois edifícios, o Caso de Estudo 1 apenas poderia desenvolver-se verticalmente se a regra dos 45º continuasse a ser respeitada. Tal como ilustra a Fig.42, sabendo que a altura da ala Sul é de 20,50m e a menor distância a que o edifício a Sul se encontra é 19,5m, de acordo com a regra dos 45º, a ala Sul do projeto poderá sofrer uma expansão vertical, ainda que condicionada, com pisos adicionais que ocupam parcialmente o volume. Noutra perspetiva, de acordo com a Fig.41, a ala Norte poderá crescer, parcialmente, mais 3 pisos, respeitando sempre as restrições impostas anteriormente. Assim, o CE 1 obterá o nível 2 nesta situação.

Por outro lado, para que seja possível expandir horizontalmente um edifício, este deverá ter área adicional disponível para retirar elementos divisórios, expandir a implantação de acordo com o índice de construção líquido, ou construir volumes onde previamente havia vazios. Desta forma, a expansão no Caso de Estudo 1, é facilmente abordada através do preenchimento do espaço vazio entre os dois volumes verticais, perfazendo uma área para possível expansão horizontal de 858,22m por cada piso tipo, o que corresponde a uma percentagem de área adicional de 60%. Será ainda benéfico manter a implantação intacta, dado que a proposta teve em conta os índices urbanísticos afetos à área de intervenção (Câmara Municipal de Guimarães, 2015).

4.2.2. Desmontagem

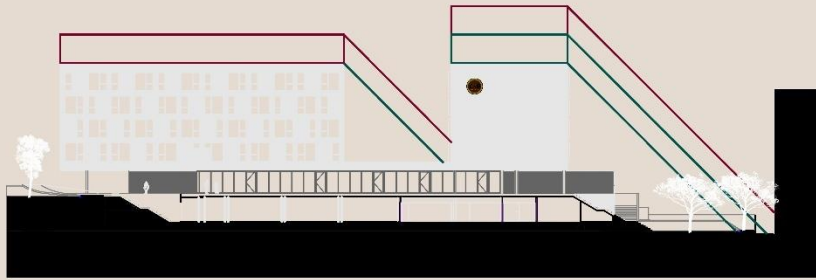
Simplicidade no projeto

Número de partes por elemento- O grau de complexidade dos elementos que constituem os edifícios, varia consoante os mesmos. O Caso de estudo 1, classificado com nível 4 no MOPS-DA, é composto por estruturas de betão, estruturas de aço, estruturas de madeira e vidro não estrutural nas fachadas. Apesar da estrutura de betão armado ser o principal elemento nos pisos 0 e -1 (fundações diretas, lajes fungiformes maciças, pilares de secção retangular, vigas, maciços de acesso vertical), o sistema CREE (Fig. 43) vem reforçar o papel fundamental do biomaterial neste projeto. Assim, a estrutura das lajes dos pisos 1 a 4, é formada por vigas de madeira Glulam GL24h e, nas fachadas, a marcação dos alinhamentos é materializada por pilares de Glulam GL24h. Por último, as estruturas metálicas, repartem-se em perfis laminados a quente e perfis reconstruídos soldados, colocadas nos alinhamentos centrais das lajes de solução mista, onde vigas metálicas de secção reconstituída soldada, é apoiada sobre pilares metálicos formados por perfis em H laminados a quente (Grupo Casais, 2021).



ALÇADO NORTE

Fig. 41 Análise da regra dos 45°, Alçado Norte do CE 1



ALÇADO OESTE

Fig. 42 Análise da regra dos 45°, Alçado Oeste do CE 1



Expansão vertical que cumpre a regra dos 45°



Expansão vertical que não cumpre a regra dos 45°



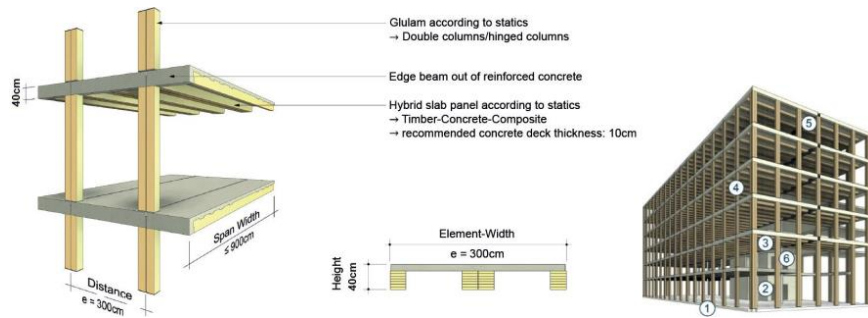


Fig. 43 Sistema estrutural misto CREE: com lajes de madeira Glulam GL24h e secção $0.24 \times 0.28 \text{ cm}^2$ ligadas a uma camada de compressão em betão armado com 0.12 m de espessura, de forma a reforçar a resistência do sistema, e pilares com com secção $0.24 \times 0.28 \text{ cm}^2$

Padronização e construção modular- O CE 1 é constituído por um sistema construtivo misto de betão armado-aço-madeira. As vigas e pilares de madeira Glulam GL24h com secção $0.24 \times 0.28 \text{ cm}^2$ são pré-fabricados, e as conexões entre eles são reversíveis. Os perfis metálicos são também pré-fabricados das classes S275JR e S355JR da EN 10025 e montados in-situ, em última instância, apenas os elementos em Betão são totalmente construídos in-situ. Por conseguinte, será de esperar que o CE 1 obtenha uma pontuação elevada no MOPS-DA: Nível 4.

Segurança e Saúde

Dado que o Caso de Estudo 1, é constituído por um sistema de construção misto, a construção da estrutura a partir de vários elementos pré-fabricados permite que as distâncias de segurança, no acesso às conexões, sejam facilmente garantidas, para a montagem ou futura desmontagem das mesmas. Nos pisos 0 e -1, o projeto opta por deixar a fachada de betão à vista, e nos pisos 1 a 4, todos os painéis de madeira pré-fabricados são revestidos com uma chapa canelada idêntica aos revestimentos dos edifícios envolventes, excluindo acabamentos com substâncias tóxicas.

Consequentemente, ao garantir a segurança no acesso às conexões, o CE 1 irá pontuar 5 no MOPS-DA. E, com o uso mínimo de substâncias tóxicas, apoiado pela significativa redução do volume de betão e do volume de CO_2 na atmosfera, o CE1 irá pontuar 4.

Independência

De acordo com o MOPS-DA, o grau de independência do edifício é avaliado com base na hierarquia de montagem e na lógica da mesma, ou seja, se um elemento for montado de acordo com uma sequência hierárquica, o seu grau de independência será mais baixo. Porém, se a ordem de montagem de um componente for independente da hierarquia das peças e, seguir uma lógica paralela, esta componente terá um elevado grau de independência.

Considera-se que os elementos que constituem o CE 1 são: nos pisos -1 e 0, lajes, paredes, pilares e vigas de betão armado, e, nos pisos 1 a 4, vigas e pilares de madeira

Glulam GL24h, vigas e pilares metálicos e painéis de revestimento de madeira e de chapa canelada. Assim, será de esperar que a estrutura de betão seja construída antes da estrutura de madeira Glulam e apenas no fim da construção de ambas se proceda ao revestimento da fachada. No entanto, ao garantir que parte da estrutura não é fabricada in situ, permite que ambas as estruturas de metal e madeira possam ser criadas em simultâneo e montadas em paralelo. Assim, o CE 1 irá pontuar 3 no MOPS-DA.

4.2.3. Informação Disponível

Plano de desmontagem, com especificações, incluído nos desenhos

O CE 1, apresenta uma estrutura mista de betão-madeira-aço, dentro da qual é possível compreender facilmente qual o processo de desmontagem das partes constituintes do Sistema CREE, dada a presença de vários desenhos sobre a construção do mesmo. Porém, não existe um plano de desmontagem no projeto total pelo que este irá pontuar 2.

Informação sobre a sequência da Desmontagem e Clareza dos planos

Dado que o Caso de Estudo 1, não apresenta um plano de desmontagem, numa análise superficial este deveria pontuar 0. Porém, o projeto apresenta vários desenhos onde é possível retirar informação sobre a montagem e possível desmontagem da estrutura CREE. Deste modo, o CE 1 irá pontuar 2.

Recurso a software BIM para armazenar e organizar informação

Perante uma empresa que está com um nível de maturidade BIM muito avançado, o projeto do CE 1 foi desenvolvido em REVIT e os respetivos modelos contêm toda a informação relativa aos materiais, sistemas construtivos, famílias, etc. no CDE (*Common Data Environment* ou Base de Dados Comum) da empresa. Assim, o Caso de Estudo 1 pontuará 5 no MOPS-DA.

Parâmetros		Critérios		E1	
Adaptabilidade	Versatilidade		% de espaço disponível	4	
	Convertibilidade			3	
	Expansibilidade vertical (sem alterações significativas às fundações)		% possível crescimento de pisos (em altura)	2	
	Expansibilidade horizontal		% área adicional disponível	3	
Desmontagem	Simplicidade do projeto	Número de partes por elemento		0 (> 5 partes) – 5 (1 parte)	4
		Padronização e construção modular	Dimensões similares	0 (muito variável, geralmente feito à medida) –	4
			Variação das componentes	5 (variação mínima ou nula e modular)	4
			Conexões		4
	Segurança e Saúde	Uso de produtos químicos tóxicos ou sintéticos		0 (alta toxicidade) – 5 (toxicidade nula)	4
		Facilidade de acesso a conexões para desmontagem segura		0 (inacessível) – 5 (acessível com distâncias de segurança)	5
Independência	Grau de independência do elemento	Aplicação de montagem/de smontagem paralela em vez de sequência	0 (baixo, ordem sequencial, hierarquia de montagem) – 5 (alto, ordem paralela, independente)	3	
		Hierarquia			
Informação disponível	Plano de desmontagem com especificações incluído nos desenhos		0 (plano inexistente) – 5 (plano claro e abrangente, fácil de compreender e seguir)	2	
	Informação sobre a sequência de desmontagem		0 (inexistente) – 5 (fácil de seguir, completa)	2	
	Clareza dos planos		0 (incompleto, pouco claro) – 5 (completo e claro)	2	
	Recurso a software BIM para armazenar e organizar informação		0 (inexistência do modelo BIM ou qualquer base de dados) – 5 (Modelo BIM com várias dimensões incorporadas e base de dados completa)	5	
Total				51/75	

Tab.5 Caso de Estudo 1: MOPS-DA: Nível do Edifício

4.2.4. Informações sobre os Materiais

Os materiais utilizados em cada projeto variam consoante os sistemas construtivos. O CE 1, é composto por três materiais predominantes: betão armado, madeira e aço, onde a aplicação de cada um deles é descrita no documento fornecido pelo Grupo Casais, referenciado no fim desta dissertação (Grupo Casais, 2021). Para todos os elementos são especificados os tipos de betão, madeira ou aço usados, a avaliação do ciclo de vida e a declaração ambiental de produto, os fornecedores, a classe de inspeção da obra e as observações sobre a manutenção dos elementos constituintes de cada material. Tratando-se de um edifício muito recente, ainda não existem dados sobre o custo do restauro ou reutilização de elementos, havendo apenas alguns elementos de aço, reutilizados de outras obras. Por outro lado, ao utilizar o sistema CREE em grande parte da estrutura, o CE 1 habilita-se facilmente para ser um edifício dador no futuro.

4.2.5. Acabamentos e tratamentos

Quanto menor for o uso de revestimentos químicos ou acabamentos com produtos sintéticos e resinas, mais circular e, conseqüentemente, positivo será o desempenho de um projeto no MOPS-DA.

Nos pisos -1 e 0, o CE 1 revela o betão sem qualquer acabamento e, nos pisos 1 a 4, a fachada é revestida por painéis de madeira onde são fixadas chapas caneladas, ambos sem acabamentos sintéticos, para além do acabamento necessário na chapa, de forma a evitar o surgimento da ferrugem. Por fim, no interior, as paredes de gesso cartonado têm um revestimento de pintura sintética. Deste modo, o CE 1 irá pontuar 5 em todos os elementos, com exceção da chapa e das paredes interiores de gesso cartonado, onde pontuará, respetivamente, 4 e 2.

4.2.6. Conexões Reversíveis

No CE 1, assiste-se a uma combinação do uso das conexões mecânicas e químicas no mesmo projeto. Nos pisos -1 e 0, sendo a estrutura constituída em betão armado, a maioria das conexões são químicas, enquanto, entre os pisos 1 e 4, a estrutura mista de betão-madeira-aço, permite a predominância de conexões mecânicas, incluindo as conexões mecânicas das paredes interiores de gesso cartonado. Assim, relativamente aos elementos que permitem o uso de conexões mecânicas, o CE 1 pontuará o nível 4, e nas restantes conexões, o nível 0.

4.2.7. Construção Circular

Considerando que toda a madeira incorporada no sistema CREE visa a sua futura reutilização sem que os elementos sofram uma degradação significativa, o CE 1 irá pontuar 5 em todos os elementos de madeira, 4 nos elementos de aço, dado que terão sempre de passar por algum processo de modificação, 3 no vidro, considerando que este também prevê a sua utilização em mais do que uma vida útil e 4 nos painéis de gesso cartonado, dada a facilidade de desmontagem e futura reutilização deste elemento. Os restantes elementos de betão pontuarão 0.

4.2.8. Padronização

Tal como foi previamente explicitado, nos pisos 1 a 4 do CE 1 é aplicado o Sistema CREE, um sistema de construção em madeira híbrido. Dado que todos os elementos utilizados têm secções e dimensões padronizadas, é retirado o maior partido de elementos modulares, garantindo uma otimização do tempo, recursos e custos na obra sem comprometer a qualidade dos espaços, e, os elementos são facilmente ligados a outros através de conexões mecânicas. Assim, o CE 1 irá obter o nível 5 em todos os elementos, com exceção dos elementos em betão, fabricados in situ.

4.2.9. Durabilidade

Por ser um projeto muito recente, a maioria dos materiais utilizados são materiais virgens, a iniciar, nestas obras, a sua primeira vida útil. E, apesar do sistema CREE responder positivamente a muitos dos princípios analisados até agora, ainda não garante a utilização de materiais reutilizados com mais do que uma vida útil. Assim, apesar de existir uma esperança mínima de 50 anos para ambos os edifícios, o uso de mais materiais reutilizados ou reciclados aumenta a durabilidade dos projetos e, consequentemente, melhora a circularidade da arquitetura.

Por conseguinte, com exceção das vigas metálicas de secção restituída do CE 1, que pontuaram 5, os restantes elementos do CE 1 irão pontuar 0, dado que ainda se encontram numa fase demasiado embrionária da sua primeira vida útil para tirar conclusões.

Tab.6 Caso de Estudo 1: MOPS-DA: Nível do Elemento

Legenda de elementos:

1A: Fundações diretas de Betão Armado; 1B: Lajes Fungiformes e Paredes de Betão; 1C: Vigas e Pilares de Betão Armado; 1D: Vigas de Madeira Glulam GL24h (0,24cmx0,28cm) ligadas a uma camada de 0,12m de betão Armado; 1E: Pilares da Fachada de Madeira Glulam GL24h (0,24cmx0,28cm); 1F: Viga metálica de secção reconstituída soldada; 1G: Pilares Metálicos formados por perfis em H laminados; 1H: Painéis de Madeira da Fachada; 1I: Revestimento de chapa canelada da Fachada; 1J: Vidro; 1K: Paredes interiores de Gesso Cartonado

Parâmetros		Critérios	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G	1H	1I	1J	1K	
Informações sobre os Materiais	Fornecedores	0 (informações inexistentes) – 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Local de produção	0 (informação completa)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Potencial para edifício dador	% do elemento	0	0	0	5	5	4	4	4	4	4	4	
	Material reutilizado ou reciclado	0 (N/A ou extensivos) – 5 (inexistentes)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Custos/restauros/limpezas da reutilização	0 (LCA sem informação ou inexistente) – 5 (LCA completa)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Avaliação de ciclo de vida (LCA) completa com cenário de fim de vida	0 (EPD inexistente) – 5 (EPD completa e disponível)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Declaração ambiental de produto (EPD) completa e disponível	0 (Sim) – 5 (Não)	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	2	
Acabamentos e tratamentos	Acabamentos com produtos químicos sintéticos e resinas	0 (Não pode ser reversível) – 5 (facilmente reversível)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	
Conexões Reversíveis	0 (Não pode ser reversível) – 5 (facilmente reversível)	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Elemento	Construção circular	Capacidade de reutilizar os elementos sem restauros ou modificações	% do elemento que pode ser reutilizado	0	0	0	5	5	4	4	5	4	3	4
		Capacidade de reciclar os elementos sem sofrerem degradação	% do elemento que pode ser reciclado	0	0	0	5	5	4	4	5	4	3	4
Padronização	Dimensões padrão Modularidade	0 (muito variável, geralmente feito à medida) – 5 (variação mínima ou nula e modular)	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	
		0 (Não é flexível quando usado noutra ligação a outros componentes) – 5 (Muito flexível quando usado noutra ligação a outros componentes)	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	
	Interoperabilidade	0 (material virgem) – 5 (≥5 usos anteriores)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Durabilidade	Número de vidas úteis anteriores	0 (0 anos) - 1 (10 anos), 2 (20 anos), ..., 5(≥50 anos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Duração média das vidas úteis anteriores	0 (0 anos) - 1 (10 anos), 2 (20 anos), ..., 5(≥50 anos)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	
	Duração prevista para a vida útil atual		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	
Total			35	35	35	69	69	72	66	68	64	64	60	

4.3. Aplicação do Modelo ao Caso de Estudo 2

Escala do Edifício

4.3.1. Adaptabilidade

Versatilidade

Com o intuito de realizar uma comparação posterior entre os dois casos de estudo, seguem-se, no segundo Caso de Estudo, as mesmas premissas consideradas no Caso de estudo anterior. Desta forma, a Fig.44 retrata a análise da percentagem de área disponível, por piso, no Caso de Estudo 2.

Ao ser um edifício projetado para a função hoteleira, os espaços sociais e coletivos têm uma planta mais versátil relativamente às zonas dos quartos. Enquanto os espaços do piso -1, como a garagem e o Lobby são enriquecidos com uma maior amplitude e espaço livre, os pisos 0,1 e 2, ocupados pelos quartos de hotel, são pautados por um maior número de divisórias (paredes de gesso cartonado), que apesar de condicionarem o espaço, poderiam ser removidas com algumas alterações.

Assim, aplicando a fórmula previamente enunciada na análise do CE 1, o CE 2 irá obter uma percentagem de 70%.

Convertibilidade

Apesar do CE 2 ser constituído por paredes de betão e alvenaria no exterior, os 60% obtidos anteriormente refletem a ocupação dos pisos 1 e 2 por divisórias não estruturais e o espaço disponível no piso -1. Assim, a demolição das paredes interiores de gesso cartonado não afeta a estrutura do edifício e como tal, será possível converter os quartos de hotel noutros usos futuros, sem causar danos significativos na estrutura ou efetuar demasiados gastos.

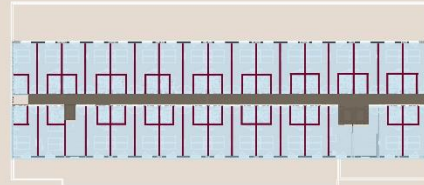
Dada a percentagem significativa de paredes interiores, a demolição das mesmas teria um impacto significativo numa futura conversão, e, como tal o CE 2 irá obter uma percentagem de 80%.

Fig. 44 Análise do nível de convertibilidade e versatilidade de cada espaço, Caso de Estudo 1

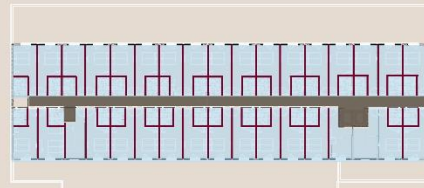
Legenda: 5 (adaptabilidade ótima) – 0 (não é adaptável)

- 5- Estacionamento, Lobby, Zonas pequeno-almoço
- 4- Recepção do Hotel, copa
- 3- Quartos do Hotel
- 2- Zonas de apoio, Lavandaria, Gabinetes
- 1- IS, Arrumos
- 0- Circulações

- Paredes de gesso cartonado



PISO 1 e 2



PISO 0



PISO -1



Expansibilidade Vertical e Horizontal

Apesar de ser ladeado a Este e a Norte por dois espaços verdes que não comprometem o seu crescimento vertical, o CE 2 está inserido numa malha urbana muito consolidada, tendo as duas restantes fachadas, a Oeste e a Sul, enfrentadas por edifícios. Assim, com uma altura de 15,70m, e a uma distância de 23 m do prédio a Sul e de 14m do prédio a Oeste, as Fig.45 e Fig.46, demonstram que apesar de ser possível, de acordo com a regra dos 45º, o crescimento vertical no alçado Oeste, o Alçado Sul ilustra que o limite de crescimento já foi atingido e, portanto, o Caso de Estudo 2 deverá seguir uma expansão vertical parcial, de forma a garantir que os pisos adicionais não comprometem a exposição solar dos edifícios adjacentes. Desta forma, o CE 2 obterá uma pontuação correspondente ao nível 2.

Para a análise da possível expansão horizontal do CE 2, contrariamente ao CE 1, compreendeu-se que a área, tanto na implantação, como nos restantes pisos, já se encontra otimizada e qualquer expansão horizontal irá prever a construção de novos elementos verticais estruturais ou comprometer os índices urbanísticos em vigor (Câmara Municipal de Oeiras, 2015).

4.3.2. Desmontagem

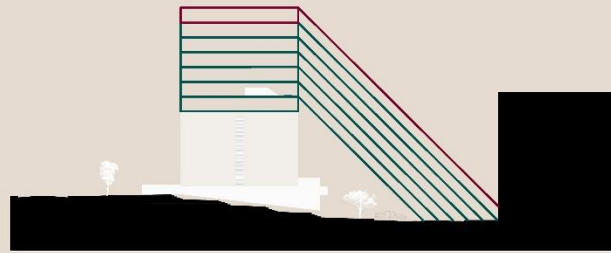
Simplicidade no projeto

Dado que a Simplicidade no projeto é avaliada, no MOPS-DA, através do número de partes por elemento, e pela padronização e construção modular, a análise, tal foi previamente ilustrado no CE 1, será dividida em duas partes:

Número de partes por elemento- O Caso de Estudo 2, apresenta um sistema construtivo tradicional e mais corrente em Portugal: Estrutura composta por pilares, vigas e lajes maciças de betão armada, paredes interiores de gesso cartonado e paredes estruturais em betão armado.

Tendo em conta que a estrutura de betão alberga mais de metade dos elementos deste projeto (pilares, vigas, lajes e paredes estruturais), restando apenas algumas paredes não estruturais interiores e aço de reforço pontual quando necessário, será de esperar que a circularidade dos elementos neste segundo caso seja inferior à do primeiro, pontuando o nível 1 no MOPS-DA.

Padronização e construção modular- Com 90% dos elementos contruídos in situ, com dimensões variáveis ou feitas à medida, excetuando alguns reforços metálicos pré-fabricados, o CE 2 apresenta um cenário inverso ao do primeiro caso de estudo, obtendo uma pontuação mais negativa no MOPS-DA: Nível 1.





ALÇADO OESTE

Fig. 45 Análise da regra dos 45°, Alçado Oeste do CE 2



ALÇADO SUL - RUA JOSÉ MALHOA

Fig. 46 Análise da regra dos 45°, Alçado Sul do CE 2

-  Expansão vertical que cumpre a regra dos 45°
-  Expansão vertical que não cumpre a regra dos 45°



Segurança e Saúde

A análise à segurança e saúde, pressupõe que o projeto será mais seguro quanto mais fácil for o acesso a elementos e conexões e, será mais saudável quanto menor for a quantidade de substâncias com elevado nível de toxicidade utilizada no projeto.

No Caso de Estudo 2, a facilidade de acesso às conexões é dificultada pela construção de toda a estrutura em betão armado, condicionando a desmontagem e reversibilidade das mesmas. Sob a mesma estrutura de betão armado recai ainda a responsabilidade do impacto negativo na atmosfera ao serem utilizados como acabamentos o betão à vista e o reboco, ambos materiais que emitem mais CO₂. Será assim de esperar, que o CE 2 pontue 2 em ambas as categorias.

Independência

Os elementos constituintes do CE 2, revelam uma construção muito hierarquizada: primeiramente as fundações de betão armado, seguindo-se os pilares, as vigas e as lajes também em betão armado e terminando nas paredes de gesso cartonado. Deste modo, com uma construção praticamente total in situ, os elementos serão dependentes uns dos outros, garantindo uma hierarquia de montagem. Este método construtivo não corresponde aos princípios defendidos pela circularidade e irá pontuar 0 no MOPS-DA.

4.3.3. Informação Disponível

Plano de desmontagem, com especificações, incluído nos desenhos

Assim como é explicitado na análise do CE 1, para que um edifício se enquadre no melhor cenário de circularidade e sustentabilidade no MOPS-DA, este deve apresentar um plano de desmontagem abrangente e claro, constituído por desenhos com detalhes, explicações simples e especificações da reutilização de alguns materiais ou elementos utilizados.

Por conseguinte, ao apresentar um sistema construtivo tradicional onde não existe qualquer desenho ou plano que explique a desmontagem do projeto, o Caso de Estudo 2 irá obter uma pontuação nula no MOPS-DA.

Informação sobre a sequência da Desmontagem e Clareza dos planos

Quanto mais completa e clara for a informação sobre a sequência do plano de desmontagem, maior será a probabilidade de este ser cumprido corretamente. Assim, projetos cujos planos sejam simples e sigam uma sequência de montagem clara e completa, irão pontuar mais alto no MOPS-DA e, conseqüentemente, demonstrar um maior nível de circularidade.

Ao não apresentar um plano de desmontagem ou desenhos que explicitem a montagem dos diferentes elementos, o CE 2 será avaliado com o nível 0.

Recurso a software BIM para armazenar e organizar informação

Dado que a existência do modelo BIM é cada vez mais fundamental, não apenas para facilitar a compreensão tridimensional do projeto, mas para armazenar informação sobre as etapas da vida do ativo e, posteriormente, facilitar a sua consulta, os projetos que dispõem de um modelo BIM, com várias dimensões incorporadas e uma base de dados clara e completa, com a informação relativa a todas as fases do projeto, irão pontuar mais positivamente no MOPS-DA.

Desta forma, ao ter um projeto desenvolvido em REVIT e a informação relativa aos materiais, sistemas construtivos, famílias, etc., armazenada no CDE do Grupo Casais, o Caso de Estudo 2, irá pontuar 5 no MOPS-DA.

Parâmetros		Critérios		E2			
Edifício	Adaptabilidade	Versatilidade		% de espaço disponível	4		
		Convertibilidade			5		
		Expansibilidade vertical (sem alterações significativas às fundações)		% possível crescimento de pisos (em altura)	2		
		Expansibilidade horizontal		% área adicional disponível	0		
	Desmontagem	Simplicidade do projeto	Número de partes por elemento		0 (> 5 partes) – 5 (1 parte)	1	
			Padronização e construção modular	Dimensões similares		0 (muito variável, geralmente feito à medida) –	1
				Variação das componentes		5 (variação mínima ou nula e modular)	1
				Conexões			1
		Segurança e Saúde	Uso de produtos químicos tóxicos ou sintéticos		0 (alta toxicidade) – 5 (toxicidade nula)	2	
			Facilidade de acesso a conexões para desmontagem segura		0 (inacessível) – 5 (acessível com distâncias de segurança)	2	
	Independência	Grau de independência do elemento	Aplicação de montagem/de smontagem paralela em vez de sequência		0 (baixo, ordem sequencial, hierarquia de montagem) – 5 (alto, ordem paralela, independente)	0	
			Hierarquia				
	Informação disponível	Plano de desmontagem com especificações incluído nos desenhos		0 (plano inexistente) – 5 (plano claro e abrangente, fácil de compreender e seguir)	0		
		Informação sobre a sequência de desmontagem		0 (inexistente) – 5 (fácil de seguir, completa)	0		
Clareza dos planos		0 (incompleto, pouco claro) – 5 (completo e claro)	0				
Recurso a software BIM para armazenar e organizar informação		0 (inexistência do modelo BIM ou qualquer base de dados) – 5 (Modelo BIM com várias dimensões incorporadas e base de dados completa)	5				
Total				24/75			

Tab.7 Caso de Estudo 2: MOPS-DA: Nível do Edifício

4.3.4. Informações sobre os Materiais

O segundo Caso de Estudo é composto por dois materiais predominantes - Betão e Alvenaria de tijolo térmico. O betão armado é utilizado nas lajes e pilares da estrutura e a alvenaria de blocos de betão nas paredes sem requisitos térmicos. E, alvenaria de tijolo térmico é aplicada nas paredes exteriores com requisitos térmicos, tal como é ilustrado na Fig.47. Contudo, ao ter grande parte da sua estrutura erguida em betão armado, o CE2 não revela um potencial significativo para ser um edifício dador.



Fig.47 Planta de Paredes, CE 2, piso 1

À semelhança do CE 1, no CDE do Grupo Casais, encontram-se catalogados os tipos de betão e alvenaria utilizados em cada elemento, a avaliação do ciclo de vida, a declaração ambiental do produto, os fornecedores, a classe de inspeção da obra, e as observações sobre a manutenção dos elementos constituídos de cada material. Porém, ao ser uma obra recente, ainda não existe informação sobre restauros ou reutilizações.

4.3.5. Acabamentos e tratamentos

No CE 2, a fachada é rebocada e as paredes interiores são pintadas, o que implica um maior uso de revestimentos químicos ou sintéticos. Assim, o projeto pontuará 5 em todos os elementos estruturais e no vidro, excetuando os elementos que constituem a fachada rebocada e as paredes interiores de gesso cartonado onde pontuará 2.

4.3.6. Conexões Reversíveis

Ao apresentar uma construção, com uma estrutura de betão-armado, paredes de alvenaria de betão e paredes de alvenaria de tijolo térmico, e paredes interiores de gesso cartonado, o CE 2 irá possuir mais conexões químicas do que mecânicas. Desta forma, o CE 2 irá pontuar 4, nos elementos que permitem o uso de conexões mecânicas, e 0 nas restantes conexões.

4.3.7. Construção Circular

Sendo majoritariamente constituído por betão armado, o CE 2 irá pontuar 0 em todos os elementos com exceção do vidro e das paredes de gesso cartonado, os quais irão obter, respetivamente, a pontuação 3 e 4, considerando que poderão ser utilizados em mais do que uma vida útil.

4.3.8. Padronização

O CE 2 tira pouco partido da construção modular, dado que toda a obra é produzida in situ, excetuando os painéis de gesso cartonado, os vidros, os tijolos que compõe a alvenaria fabricada in situ e de alguns elementos metálicos de reforço. Assim, o CE 2 irá obter o nível, o nível 5 nas paredes de gesso cartonado, o nível 2 no vidro e paredes de alvenaria, e 0 nos restantes elementos.

4.3.9. Durabilidade

À semelhança do CE 1, o segundo Caso de Estudo é também um projeto muito recente. E, dado que os materiais e elementos utilizados vão agora iniciar a sua primeira vida útil, não será possível avaliar os mesmos quanto à sua durabilidade.

Assim, dado que o CE 2 é majoritariamente constituído por betão, um material com uma esperança média de vida de aproximadamente 50 anos e uma capacidade de reciclagem ou reaproveitamento para uma segunda vida útil quase nula, e, os restantes materiais usados estão a iniciar a sua primeira vida útil, não será possível tirar conclusões sobre os mesmos relativamente a vidas úteis anteriores. Consequentemente, todos os elementos irão pontuar 0.

Tab. 8 Caso de Estudo 2: MOPS-DA: Nível do Elemento

Legenda de elementos: 1A: Fundações diretas de Betão Armado; 1B: Lajes Fungiformes e Paredes de Betão; 1C: Vigas e Pilares de Betão Armado; 1D: Paredes de Alvenaria; 1E: Reboco; 1F: Vidro; 1G: Paredes interiores de gesso cartonado

Elemento	Parâmetros		Critérios	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G
	Informações sobre os Materiais	Fornecedores		0 (informações inexistentes) – 5 (informação completa)	5	5	5	5	5	5
Local de produção		5	5		5	5	5	5	5	5
Potencial para edifício dador		% do elemento	0	0	0	0	0	0	0	4
Material reutilizado ou reciclado			0	0	0	0	0	0	0	0
Custos/restauros/limpezas da reutilização		0 (N/A ou extensivos) – 5 (inexistentes)	5	5	5	5	5	5	5	5
Avaliação de ciclo de vida (LCA) completa com cenário de fim de vida		0 (LCA sem informação ou inexistente) – 5 (LCA completa)	5	5	5	5	5	5	5	5
Declaração ambiental de produto (EPD) completa e disponível		0 (EPD inexistente) – 5 (EPD completa e disponível)	5	5	5	5	5	5	5	5
Acabamentos e tratamentos		Revestimentos químicos	0 (Sim) – 5 (Não)	5	5	5	2	2	5	2
		Acabamentos com produtos químicos sintéticos e resinas		5	5	5	5	5	5	2
Conexões Reversíveis		0 (Não pode ser reversível) – 5 (facilmente reversível)	0	0	0	0	0	4	4	
Construção circular		Capacidade de reutilizar os elementos sem restauros ou modificações	% do elemento que pode ser reutilizado	0	0	0	0	0	3	4
		Capacidade de reciclar os elementos sem sofrerem degradação	% do elemento que pode ser reciclado	0	0	0	0	0	3	4
Padronização		Dimensões padrão	0 (muito variável, geralmente feito à medida) – 5 (variação mínima ou nula e modular)	0	0	0	2	0	2	5
		Modularidade		0	0	0	2	0	2	5
		Interoperabilidade	0 (Não é flexível quando usado noutra contexto ou na ligação a outros componentes) – 5 (Muito flexível quando usado noutra contexto ou na ligação a outros componentes)	0	0	0	2	0	2	5
Durabilidade		Número de vidas úteis anteriores	0 (material virgem) – 5 (≥5 usos anteriores)	0	0	0	0	0	0	0
		Duração média das vidas úteis anteriores	0 (0 anos) - 1 (10 anos), 2 (20 anos), ..., 5(≥50 anos)	0	0	0	0	0	0	0
		Duração prevista para a vida útil atual		5	5	5	5	5	5	0
Total			35	35	35	38	32	50	60	

4.4. Análise Comparativa dos resultados

4.4.1. Resultado do formato visual e da escala de classificação

Tal como é explicitado no capítulo 3, o MOPS-DA é constituído por duas escalas de análise: 1) a análise ao edifício/projeto de construção e 2) a análise aos elementos e componentes utilizados. Assim, os critérios do modelo foram desenvolvidos de forma a considerar a hipótese de o edifício vir a ser adaptado ou ampliado, durante as fases de projeto e planeamento, ou após as mesmas.

Em ambos os Casos de Estudo foram aplicados os mesmos critérios de avaliação e, tal como esperado, as pontuações variaram em conformidade com o sistema construtivo. Tendo como base os princípios da ISO 20887:2020, foi possível confirmar que o método de avaliação desenvolvido, consegue analisar a desmontabilidade e adaptabilidade de cada um dos edifícios e prever o seu impacto no ambiente.

É importante referir que este estudo não analisa medidas sustentáveis adicionais à construção como a aplicação de painéis solares, procurando centrar o foco na sustentabilidade do edifício.

4.4.2. Comparação dos dois Casos de Estudo

O MOPS-DA foi idealizado para analisar considerações de LCA, os cenários de fim de vida, o potencial para reutilizar materiais ou elementos, e fornecer uma soma numérica de todos os parâmetros avaliados como resultado do nível de DfD/A e circularidade, em que os projetos se encontram, de acordo com a ISO 20887:2020.

Após a análise dos resultados dos dois Casos de Estudo— um com um sistema construtivo à base de betão armado, e outro que corresponde aos princípios da arquitetura desmontável e adaptável —, os resultados obtidos demonstraram que a arquitetura à base de betão armado não se aproxima dos valores mínimos considerados sustentáveis. Sendo esta uma prática comum em Portugal, os impactos são significativamente negativos na pegada de CO₂ na atmosfera.

Durante a avaliação, o CE 1 obteve resultados acima do esperado, tanto na escala do edifício como na escala dos elementos, demonstrando o elevado potencial do sistema CREE, não só na diminuição significativa do impacto ambiental, como também na inovação e excelência deste tipo de construção. Por conseguinte, a adaptabilidade da construção, o apoio do BIM, onde são armazenadas todas as informações relativas ao projeto, e a padronização dos elementos vem reforçar a sustentabilidade e circularidade das soluções que cumprem os princípios DfD/A. Por outro lado, a avaliação do CE 2, tendeu para uma pontuação mais baixa, dado que uma grande percentagem da estrutura é constituída por betão armado.

Assim, durante a análise paralela do CE 1 e do CE 2, surgiram vários elementos determinantes na pontuação que ambos obtiveram:

- 1- Ao utilizar divisórias de gesso cartonado e conexões reversíveis, o CE 1 e o CE 2 oferecem uma boa perspectiva de convertibilidade do espaço interior, sem comprometer o limite exterior dos edifícios;
- 2- Os elementos que constituem o sistema construtivo híbrido do CE 1, vêm documentados com desenhos e informações detalhadas, permitindo a sua futura desmontagem;
- 3- Enquanto a estrutura de betão armado do CE 2 tem de ser montada de uma forma hierárquica, os elementos da estrutura do edifício do CE 1, podem ser montados em paralelo e posteriormente desmontados, caso necessário;
- 4- A maioria dos elementos do CE 1 são modulares e pré-fabricados, enquanto os elementos do CE 2 têm de ser criados in-situ;
- 5- A madeira e o aço aplicados no CE 1, podem ser reutilizados, o que torna o projeto mais circular em relação à construção de betão armado;
- 6- Ambos os projetos são desenvolvidos em BIM, permitindo uma maior facilidade no acesso a informação em futuras intervenções.

Ambos os casos de estudo são projetos recentes, pelo que as análises foram realizadas com base na primeira vida útil, ou seja, para os primeiros 50 anos do edifício. Porém, perante a solução do CE 1, que cumpre todos os requisitos funcionais e mecânicos que a solução do CE 2 oferece, e ainda supera significativamente a sustentabilidade e a circularidade da segunda solução, será de esperar que, a discrepância entre as pontuações dos dois Casos de Estudos venha evidenciar a necessidade de maior implementação de práticas sustentáveis na arquitetura, como o DfD/A.

Conclusão

A presente dissertação surge da vontade de encontrar respostas críticas, face à distância presente entre a teoria e a prática das soluções contemporâneas do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE.

Após o levantamento bibliográfico do Estado da Arte, da análise dos conceitos de outras normas complementares ao tema, como a ISO 14025:2006, que estabelece as bases para o desenvolvimento de programas de declaração ambiental, e da análise da ISO 20887:2020, que enuncia os princípios do DfD/A, foi possível investigar várias métricas de avaliação da circularidade e sustentabilidade em edifícios. Deste levantamento, concluiu-se que: 1) Muitas das grelhas atuais são focadas no desempenho energético dos ativos; 2) Poucas métricas de avaliação avaliam o percurso dos resíduos e materiais; 3) Vários estudos indicam que a gestão dos recursos e resíduos é uma das categorias, da construção sustentável, que maior impacto terá na evolução da arquitetura contemporânea; 4) Ainda não existem métricas de avaliação, que analisem a desmontagem e a adaptabilidade dos edifícios e dos elementos que os constituem.

Questões de Investigação

Perante uma disciplina em constante metamorfose, a arquitetura atravessa agora uma transformação circular e sustentável, na qual o DfD/A desempenha um papel fundamental.

No entanto, ao analisar a ISO 20887:2020, compreende-se que não existe um método de avaliação, que permita avaliar esta prática em qualquer edifício. Assim, surge a primeira questão: PODERÁ EXISTIR UM MODELO QUE PERMITA AVALIAR O DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE NUM PROJETO?

A investigação levada a cabo nesta dissertação, com base na matéria científica disponível sobre o DfD/A, responde positivamente à pergunta anterior, propondo uma grelha de análise de projetos que possa vir a tornar-se uma ferramenta de apoio às tomadas de decisão do projetista: o Modelo de Otimização do Projeto Sustentável-Desmontagem e Adaptabilidade (MOPS-DA). Os Casos de Estudo analisados por este método, comprovam que quanto melhor for o cumprimento dos princípios avaliados

neste modelo, melhor será a sua avaliação e melhor será a sua circularidade e sustentabilidade. Consequentemente, ao avaliar os projetos por níveis, será possível compreender quão desenvolvido o projeto está, relativamente à aplicação dos princípios DfD/A e como irá impactar o ambiente.

Posteriormente, o desenvolvimento do MOPS-DA permitiu aprofundar a sua pertinência, enquanto ferramenta de trabalho para arquitetos, engenheiros, ou outros intervenientes na construção, que pretendam construir de acordo com os princípios DfD/A e, por conseguinte, de forma mais sustentável e circular. Assim, surge uma segunda questão: QUAL O CONTRIBUTO QUE UMA FERRAMENTA COMO O MOPS-DA PODE ACRESCENTAR NA TRANSIÇÃO ENTRE A TEORIA E A PRÁTICA DA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E CIRCULAR?

Ao dispor de uma ferramenta que permite guiar a criação de um projeto DfD/A, o arquiteto poderá, com maior facilidade, projetar segundo os pressupostos de Desmontagem e Adaptabilidade, materializando os princípios enunciados na ISO 20887:2020. Assim, será possível dar início a uma nova geração de edifícios mais circulares e que serão pensados de raiz para ter mais do que uma vida útil.

Contributo desta dissertação para a Arquitetura e para o DfD/A?

Ao ser desenvolvido um modelo que permite avaliar o DfD/A num projeto, este poderá servir como uma ferramenta de apoio ao projeto, de modo a contribuir para o desenvolvimento da arquitetura sustentável e circular em Portugal.

No entanto, a criação de uma nova ferramenta, permitiu questionar se é tirado o total partido das ferramentas que dispúnhamos até agora. Por exemplo, o desenvolvimento do MOPS-DA elucidou o facto de ser possível desenvolver novos parâmetros BIM, que poderiam ser incluídos nos objetos modelados, caracterizar o seu nível de DfD/A e, com base na tabela do modelo, avaliar, a desmontagem e a adaptabilidade dos mesmos.

Através dos resultados positivos, que foram obtidos na análise dos casos de estudo, compreende-se que, sistemas construtivos sustentáveis e circulares, como o CREE, que cumprem os princípios do DfD/A, igualam todas as valências de um sistema construtivo de betão armado, e ainda oferecem novas valências que vêm corresponder às necessidades atuais da sociedade e do planeta – Uma arquitetura mais limpa, mais verde e mais circular.

Limitações ao Estudo

Ainda que os resultados obtidos durante o estudo tenham sido promissores para o futuro do DfD/A, o estudo em questão foi interetado por algumas limitações: 1) Dos 5 casos de estudo que eram ambicionados analisar inicialmente, foi apenas possível analisar dois, dada a complexidade do estudo e o número de casos de estudo

disponibilizados; 2) Os casos de estudo avaliados não incluíram a construção leve, tendo sido apenas analisada a arquitetura pré-fabricada; 3) Apesar de não ter sido um fator determinante ao estudo, devido à disponibilidade do Grupo Casais em responder a todas as questões levantadas, ao serem analisados Casos de Estudo de uma empresa privada, o estudo foi limitado por não ser possível aceder a toda a informação desejada, como os modelos BIM dos Casos de Estudo; 4) A inexistência de informações normalizadas, sobre o processo de avaliação do DESIGN PARA DESMONTAGEM E ADAPTABILIDADE num projeto e a ambiguidade da ISO 20887:2020, relativamente à avaliação de cada princípio, foram também fatores que dificultaram a elaboração do modelo.

Considerações futuras

Nesta tese, o desenvolvimento do modelo foi complementado pelo conhecimento de duas áreas: O desenvolvimento sustentável e o desenvolvimento tecnológico. Desta forma, a evolução do MOPS-DA poderá ter consequências em ambas as áreas de estudo, acabando por tirar partido da sua interseção.

Apesar do BIM não ter sido utilizado com a extensividade que era ambicionada, devido à impossibilidade de aceder ao modelo BIM dos projetos, esse mesmo fator permitiu a reflexão sobre as questões:

QUAL O PAPEL DO DIGITAL NA PROSECUÇÃO DE UMA PRÁTICA SUSTENTÁVEL?

Não tendo sido uma pergunta totalmente respondida por esta dissertação, o estudo de programas e modelos, que analisam aspetos relativos à pegada carbónica de um ativo, ao nível do LCA, levanta a hipótese de transferir o conhecimento do DfD/A para um programa, compatível com os softwares BIM. A partir deste programa, seria possível retirar avaliações sobre a desmontabilidade e adaptabilidade, relativas ao ciclo de vida de um ativo, através do modelo.

SERIA POSSÍVEL COLOCAR MAIS OBJETIVIDADE NO BIM?

Estudos futuros poderiam focar-se na criação de um parâmetro BIM, que avaliasse a desmontabilidade e a adaptabilidade dos elementos e projetos, através dos respetivos modelos BIM. Assim, tal como acontece nos estudos de Akinade et. al (2015) e de Akanbi et. al (2018) ao transferir o conhecimento desenvolvido na construção do MOPS-DA, para um software BIM, seria possível desenvolver e avaliar, de uma forma mais objetiva, projetos de acordo com os princípios DfD/A.

Referências

Livros e Artigos

- AAPAOJA, A.; HAAPASALO, H. (2014). The Challenges of Standardization of Products and Processes in Construction. Proceedings IGLC-22; Oslo, Norway.
- AGUSTÍ-JUAN, I., MÜLLER, F., HACK, N., WANGLER, T., HABERT, G. (2017). Potential benefits of digital fabrication for complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete wall. *Journal of Cleaner Production*, 154, 330–340.
- AJAYI, S. O., OYEDELE, L. O., BILAL, M., AKINADE, O. O., ALAKA, H. A., OWOLABI, H. A., & Kadiri, K. O. (2015). Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. *Resources, Conservation and Recycling*, 102, 101–112.
- AKANBI, L. A., OYEDELE, L. O., AKINADE, O. O., AJAYI, A. O., DAVILA DELGADO, M., BILAL, M., BELLO, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 175–186.
- AKINADE, O. O., OYEDELE, L. O., BILAL, M., AJAYI, S. O., OWOLABI, H. A., ALAKA, H. A., BELLO, S. A. (2015). Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS). *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 167–176.
- ALLWOOD, J. M., ASHBY, M. F., GUTOWSKI, T. G., WORRELL, E. (2011). Material efficiency: A white paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 362–381.
- ARUP; REIFER, F. (2019). Design Innovation For The Circular Economy The Materials And Design Exchange Project For End-Of-Life Building Façades. Knowledge Transfer Network.
- BOWEN, P. A., HALL, K. A., EDWARDS, P. J., PEARL, R. G. (2013). Perceptions Of Time, Cost And Quality Management On Building Projects. *Cattell 48 The Australian Journal Of Construction Economics And Building* (Vol. 2, Issue 2).
- BROL, J., DAWCZYŃSKI, S., ADAMCZYK, K. (2015). Possibilities Of Timber Structural Members Reuse "Architecture Civil Engineering Environment". *Journal View Project*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE GUIMARÃES. (2015). PDM Guimarães. Diário da República, 2.ª série — N.º 119.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OEIRAS. (2015). Plano Diretor Municipal de Oeiras. Regulamento GPDEIG/CMO.
- CHAREF, R., EMMITT, S. (2021). Uses of building information modelling for overcoming barriers to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 285.
- COMISSÃO EUROPEIA. (2019) – The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019 COM(2019), 640
- COMISSÃO EUROPEIA. (2021). *Circular Economy Principles for Buildings design*.
- CROWTHER, P. (2015). Unmaking Waste 2015 Conference. Adelaide, South Australia.
- CUNHA, V., CAROLINA, F., TRIGO, R. (2015). Arquitetura Sustentável: Contributos Da Arquitetura Vernacular Portuguesa. Universidade Católica Portuguesa Centro Regional Das Beiras.
- DAMS, B., MASKELL, D., SHEA, A., ALLEN, S., DRIESSER, M., KRETSCHMANN, T., WALKER, P., EMMITT, S. (2021). A Circular Construction Evaluation Framework To Promote Designing For Disassembly And Adaptability. *Journal Of Cleaner Production*, 316.
- DODD, N., CORDELLA, M., TRAVERSO, M., DONATELLO, S. (2017). *Level(S)-A Common EU Framework Of Core Sustainability Indicators For Office And Residential Buildings Parts 1 And 2: Introduction To Level(S) And How It Works (Beta V1.0)*. European Commission JRC Science for Policy Report.
- DURMISEVIC, E., YEANG, K. (2009). *Designing For Disassembly (DfD)*. John Wiley & Sons Ltd. 134-137
- EADIE, R., BROWNE, M., ODEYINKA, H., MCKEOWN, C., MCNIFF, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151.
- EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; e LISTON, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2nd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- EDWARDS, B., & HYETT, P. (2005). *Guía Básica De La Sostenibilidad*. Editorial Gustavo Gili, Sa.

- Fouquet, M., Levasseur, A., Margni, M., Lebert, A., Lasvaux, S., Souyri, B., Buhé, C., Woloszyn, M. (2015). Methodological Challenges And Developments In LCA Of Low Energy Buildings: Application To Biogenic Carbon And Global Warming Assessment. *Building And Environment*, 90, 51–59.
- GELDERMANS, B., JACOBSON, L. R. (2015). Circular Material & Product Flows in Buildings Pop Machina View project Better Airport Regions View project. TUDelft.
- GENERALOVA, E. M., GENERALOV, V. P., KUZNETSOVA, A. A. (2016). Modular Buildings in Modern Construction. *Procedia Engineering*, 153, 167–172.
- GODBOLE, S., LAM, N., MAFAS, M., FERNANDO, S., GAD, E., HASHEMI, J. (2018). Dynamic Loading On A Prefabricated Modular Unit Of A Building During Road Transportation. *Journal Of Building Engineering*, 18, 260–269.
- GRUPO CASAIS. (2021). *Memória Descritiva e Justificativa do B&B Guimarães*. Departamento Técnico Grupo Casais.
- GUY.B; CIARIMBOLI, N. (2015). *DfD Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building*. Resource Venture, Inc. by the Hamer Center for Community Design.
- HEIN, C. (2016). *Tatami*. Delft University of Technology. Kyoto Design Lab.
- HONG, J.; SHEN, G. Q.; LI, Z.; ZHANG, B.; ZHANG, W. (2018). Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost–benefit analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, 649–660.
- ISO 14025:2006. (2006). Environmental labels and declarations-Type III environmental declarations-Principles and procedures. ISO Standards.
- ISO 20400:2017. (2017). Sustainable procurement-Guidance. ISO Standards.
- ISO 20887:2020. (2020). Sustainability in buildings and civil engineering works-Design for disassembly and adaptability-Principles. ISO Standards.
- ISOKAZI, A., MATSUMURA, Y., SPEIDEL, M., TAUT, B., GROUPIUS, W., TANGE, K., DAL CO, F. (2004). *Katsura Imperial Villa*. Virginia Ponciroli.
- KAHN, L. I., (1998). *Conversations with Students*. Rice University School of Architecture Architecture at Rice Publications.
- LENCASTRE, D. A. (2017). *Capítulo 1: Modelagem de informações de construção*. Autodesk.
- MORGAN, C.; STEVENSON, F. (2005). *Design and Detailing for Deconstruction-SEDA Design Guides for Scotland: No.1*. Scottish Executive.
- O'BRIEN, D.; CARRASCO, S. (2021). Contested incrementalism: Elemental's Quinta Monroy settlement fifteen years on. *Frontiers of Architectural Research*, 10, 263–273.
- O'GRADY, T.; MINUNNO, R.; CHONG, H. Y.; MORRISON, G. M. (2021). Design For Disassembly, Deconstruction And Resilience: A Circular Economy Index For The Built Environment. *Resources, Conservation And Recycling*, 175.
- Org, S. U. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development United Nations United Nations Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development*. United Nations.
- REAES PINTO, A. (2009). *Habitação (Colectiva) Modular Pré-Fabricada: Considerações, Origens e Desenvolvimento*.
- ROSE, J.; STENFERT, B. (2018). Introduction to special issue on qualitative research. In *International Journal of Developmental Disabilities* (Vol. 64, Issue 3, pp. 129–131). Taylor and Francis Ltd.
- SALAMA, W. (2017). Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review. In *International Journal of Sustainable Built Environment* (Vol. 6, Issue 2, pp. 617–635). Elsevier B.V.
- SARVIMÄKI, M. (2017). *Module Interpreted: De-Quotations Of Re-Quotations On Katsura Villa*. Bond University. 619-628
- SCHWAB, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- SIZA VIEIRA, A. (2019). In *Disciplina*. Fundação de Serralves, p.110-114.
- TURNER, L. K., COLLINS, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymers and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials*, 43, 125–130.
- URBIS; GRUPO CASAIS. (2021). *Memória Descritiva E Justificativa B&B Oeiras*. Urbis.

- WEBSTER, M. D., COSTELLO, D. T. (2005). Designing Structural Systems for Deconstruction: How to Extend a New Building's Useful Life and Prevent it from Going to Waste When the End Finally Comes. Greenbuild Conference, Atlanta, GA.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards Sustainable Development.
- YIN, X.; LAWRENCE M.; MASKELL, D.; CHANG, W. S. (2018). Construction and monitoring of experimental straw bale building in northeast China. *Construction and Building Materials*, 183, 46–57.
- Zygomalas, I., & Baniotopoulos, C. (2016). Environmental impact assessment of end-of-life scenarios for steel buildings. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20, 301–313.

Páginas Web

- ARCHIWEB – Site da ArchiWeb - *Pavilhão Multiusos de Gondomar*. Disponível em: <<https://www.archiweb.cz/en/b/vicefunkcni-pavilon-gondomar-pavilh-o-multiusos-de-gondomar>> (Consultado em 10 de Maio de 2022)
- BEFRONTMAG – Site da befront Magazine – Public Housing and a Teaspoon of Ethics. Disponível em: <<http://befrontmag.com/2017/04/13/public-housing-and-a-teaspoon-of-ethics/>> (Consultado a 1 de Maio de 2022)
- BNAMERICAS. – Site da bnamericas. Disponível em <<https://www.bnamericas.com/pt/noticias/engie-reformara-usina-de-carvao-no-chile-para-operar-com-gas-natural>> (Consultado em 10 de Maio de 2022)
- CASAIS. (2022). Site do Grupo Casais. Disponível em :<<https://casais.pt/inovacao/construcao-sustentavel/>> (Consultado em 23 de Julho de 2022)
- CIRCULAR ECOBIM. Site do Circular EcoBIM. Disponível em: <<https://circularecobim.eu/>> (Consultado em 29 de Abril de 2022).
- CIRCULARBUILD. Site do CircularBuild. Disponível em: <<https://www.circularbuild.com.pt/#quemosom>> (Consultado em 29 de Abril de 2022).
- COMISSÃO EUROPEIA. – Site da Comissão Europeia. Disponível em: <https://ec.europa.eu/reform-support/what-we-do/digital-transition_en> (Consultado em 27 de Abril de 2022).
- COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU. - Site do Espaço Económico Europeu. Disponível em: <<https://www.eesc.europa.eu/pt/tags/espaco-economico-europeu>> (Consultado em 29 de Abril de 2022)
- CREE BUILDINGS. Site da CREE Buildings. Building The World Of Tomorrow – Starting Today. Disponível em: <<https://www.creebuildings.com/company>> (Consultado em 23 de Julho de 2022)
- DAPHABITAT. *Os benefícios duma Declaração Ambiental de Produto (DAP) para o mercado de produtos e serviços de construção*. Disponível em: < www.daphabitat.pt> (Consultado em 05 de Junho de 2022)
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Life Cycle Assessment*. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/life-cycle-assessment>> (Consultado em 09 de Outubro de 2022)
- FASTCAM. Site da FastCAM. Disponível em: <<https://www.fastcam.com/new/fastcut-optimizer-for-metal-glass-wood.html>> (Consultado em 12 de Junho de 2022)
- JOINUP. (2021). Site da Joinup. *Digital Europe*. Disponível em: <<https://www.digitaleurope.org/events/digital-the-green-deal/>> (Consultado em: 26 de Abril de 2022)
- ONU. (2015). Site da ONU. *The 17 Goals*. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>> (Consultado em 38 de Abril de 2022)
- THE INTERNACIONAL EPD SYSTEM. Site do Sistema Internacional EPD. *Environmental Product Declaration*. Disponível em: <<https://www.environdec.com/home>> (Consultado em 09 de Outubro de 2022)
- ZERO DESPERDÍCIO. (2011). Site do *Movimento ZERO DESPERDÍCIO*. Disponível em: <<http://zerodesperdicio.pt/>> (Consultado em 29 de Abril de 2022)