

ALINE CAMILLO CAMILLATO

**CONTRIBUIÇÕES DO “DESIGN FOR DISASSEMBLY” PARA
SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: estudo sobre a evolução de
sua aplicação no projeto arquitetônico**

Belo Horizonte,
Escola da Arquitetura da UFMG
2018

ALINE CAMILLO CAMILLATO

**CONTRIBUIÇÕES DO DESIGN FOR DISASSEMBLY PARA SUSTENTABILIDADE
NA CONSTRUÇÃO CIVIL: estudo sobre a evolução de sua aplicação no projeto
arquitetônico**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andréa Franco Pereira

Belo Horizonte
Escola de Arquitetura da UFMG

2018

FICHA DE APROVAÇÃO DA BANCA

Monografia defendida junto ao Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade aplicados ao Ambiente Construído da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) por Aline Camillo Camillato em 1 de agosto de 2018, pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Professora Dra. Andréa Franco Pereira – Orientadora

Professor Me. Leonardo Geraldo de Oliveira Gomes

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ouvir minhas orações e sempre iluminar o meu caminho.

Aos meus pais, Paulo Cesar e Nilce, por todo amor e cuidado empenhados na minha criação. Agradeço por sempre fazerem do impossível, possível, para fazer o melhor para mim e para meus irmãos.

Agradeço meu marido, Maycon, por transformar meus objetivos em nossos. A minha mais profunda gratidão por você não poupar esforços para realizar os nossos sonhos e me incentivar a não desistir deles.

Agradeço aos meus irmãos, Amanda e Paulo Cesar Jr., por encherem a minha vida de entusiasmo e alegria.

Agradeço às minhas primas, Letícia e Natália, pelo acolhimento e por toda ajuda ao longo desses períodos.

Agradeço à minha tia Ana Lúcia, Ian e Vó Cenira (*in memoriam*) por sempre aguardarem com entusiasmo a minha volta nos dias de sábado.

Agradeço à minha orientadora, Andréa, por ter sido a bússola para este trabalho, me fazendo desbravar e conhecer novos caminhos de conhecimento.

*“Taking care of buildings can be seen as
an aspect of taking care of the environment.”*

(NORDBY, 2009, p.12)

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo investigar como a aplicação do *Design for Disassembly* (DfD) pode contribuir para sustentabilidade na construção civil, bem como compreender os potenciais e limitações da aplicação dessa abordagem nesse contexto. A investigação foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica, contribuindo para apresentar uma síntese do estado da arte sobre a aplicação do DfD às edificações. Conceber um projeto para desmontagem contribui para o desenvolvimento de estratégias que permitem ampliar a vida útil da edificação e o potencial de recuperabilidade de seus materiais e componentes, refletindo em redução de resíduos e no funcionamento de uma dinâmica circular dentro do setor da construção civil, sobretudo por meio do reuso. Acredita-se que a principal contribuição deste estudo seja a apresentação de uma nova abordagem em que os edifícios são considerados como bancos de materiais. Encerrando esta investigação, apresenta-se o projeto que vem sendo desenvolvido pela União Europeia no âmbito da UE2020, *Buildings as Materials Banc* (BAMB), que traz significativa contribuição sobre as futuras transformações na maneira como os edifícios passarão a ser projetados, construídos e utilizados, podendo-se destacar os Passaportes de Materiais e Protocolos de Design Reversível. Conclui-se que o DfD é uma abordagem essencial para permitir a sustentabilidade das construções, e que, devido a sua relevância, seja necessário acompanhar o desenvolvimento das propostas em curso, e estimular novas pesquisas e projetos que permitam a aplicação prática do método.

Palavras-chave: Design for Disassembly (DfD); Passaporte de Materiais; Construções como Banco de Materiais; Sustentabilidade; Resíduos da construção.

ABSTRACT

This research aims to investigate how the application of Design for Disassembly (DfD) in buildings can contribute to sustainability in civil construction, as well as to comprehend the potentials and restrictions of it. The research was carried out by means of a literature review, contributing to present a synthesis of the state of the art on the application of DfD to buildings. Designing a project for disassembly adds to the development of strategies to expand the useful life of the building and the recoverability potential of its materials and components, reflecting on waste reduction and on the functioning of a circular dynamics within civil construction, mainly through reuse. It is believed that the main contribution of this study is the presentation of a new approach in which buildings are considered as material banks. At the end, the EU2020 project developed by the European Union (EU) is presented, Buildings as Materials Banks (BAMB), which makes a significant contribution to future changes in the way buildings will be designed, constructed and used. Herein the topics Materials Passports and Reversible Building Design may be highlighted. At last, it is concluded that DfD is an essential approach to allow construction sustainability and that, due to its relevance, it is necessary to follow the development of current proposals and stimulate new research and projects that enable the practical application of the method.

Keywords: Design for Disassembly (DfD); Materials Passports; Buildings as Materials Banks; Sustainability; Construction waste.

FICHA CATALOGRÁFICA

C183c

Camillato, Aline Camillo.

Contribuições do "Design for Disassembly" para sustentabilidade na construção civil [manuscrito] : estudo sobre a evolução de sua aplicação no projeto arquitetônico / Aline Camillo Camillato. - 2018.

131 f. : il.

Orientadora: Andréa Franco Pereira.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Edifícios sustentáveis.
 2. Construção civil - Resíduos.
 3. Arquitetura sustentável.
 4. Durabilidade (engenharia).
- I. Pereira, Andrea Franco. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47

Ficha catalográfica: campo preenchido pela biblioteca.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - THE CRYSTAL PALACE.....	24
FIGURA 2– COMPONENTES DO NISSEN HUT.....	25
FIGURA 3 - NISSEN HUT	25
FIGURA 4 - Dymaxion House.....	26
FIGURA 5- NAKAGIN CAPSULE TOWER, KISHO KUROKAWA	27
FIGURA 6 – EDIFÍCIOS COGNITIVOS COM BASE NOS PADRÕES DE MODELO DE MATURIDADE DA IBM.....	28
FIGURA 7 - EDIFÍCIO WILTON PAES DE ALMEIDA EM 1969 (ESQ.) E EM 2016 (DIR.).....	38
FIGURA 8 – DIAGRAMA BASEADO EM BRAND, 1997.....	43
FIGURA 9 - HIERARQUIA DAS AÇÕES DE MANEJO DE RESÍDUOS SEGUNDO A LEI 12.305/1047	
FIGURA 10 – DIAGRAMA DAS TRÊS DIMENSÕES DE TRANSFORMAÇÕES DE EDIFÍCIOS: ESTRUTURAL, ESPACIAL E MATERIAL	63
FIGURA 11 - SISTEMA LINEAR, "CRADLE TO GRAVE"	64
FIGURA 12 - SISTEMA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	65
FIGURA 13 - DIAGRAMA CONTEXTUAL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	67
FIGURA 14 – DETALHES DAS MARCAS DAS CONEXÕES NAS PEÇAS DE MADEIRA REUTILIZADAS	71
FIGURA 15 - COBERTURA DO HANGAR	72
FIGURA 16 - IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS DURANTE A DESMONTAGEM	72
FIGURA 17 - PROCESSO DE MONTAGEM DA COBERTURA DO GINÁSIO	72
FIGURA 18 - CONCLUSÃO DA COBERTURA DO GINÁSIO DA USP-SC	73
FIGURA 20 - FACHADA DO IRCAM E EDIFÍCIO EXISTENTE (ESQ.) E DETALHE CONSTRUTIVO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO (FOTO À DIR.)	74
FIGURA 20 - PROCESSO DE MONTAGEM DA SOLUÇÃO HABITACIONAL PRECON (SHP)	75
FIGURA 21 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DO DESIGN PARA DESMONTAGEM	76
FIGURA 22 - CRONOLOGIA DAS PESQUISAS INICIAS SOBRE DfD APLICADO ÀS CONSTRUÇÕES	79
FIGURA 23 - METODOLOGIA BRE DESIGN FOR DECONSTRUCTION.....	89
FIGURA 24 - CLASSIFICAÇÃO BASEADA NO CRITÉRIO DESCONSTRUÇÃO E DESMONTAGEM DA DGNB.....	89
FIGURA 25 - PRINCIPAIS PRÁTICAS DURANTE A FASE DE PROJETO	92

FIGURA 26 - FUNÇÕES E INTERAÇÕES DURANTE A FASE DE CONSTRUÇÃO.....	93
FIGURA 27 - PRINCIPAIS PRÁTICAS DURANTE A FASE DE USO E OPERAÇÃO.....	94
FIGURA 28 - PAPÉIS E INTERAÇÕES DURANTE A FASE DE REAPROVEITAMENTO E DEMOLIÇÃO	95
FIGURA 29 - IDENTIFICAÇÃO DOS PASSAPORTES DE MATERIAIS/PRODUTOS/RECICLAGEM EXISTENTES, BASEADOS EM MULHALL ET AL. (2016)	97
FIGURA 31 - TRÊS DIMENSÕES DA TRANSFORMAÇÃO DOS EDIFÍCIOS.....	105
FIGURA 32- PROCESSO DE MONTAGEM DO SISTEMA VARIEL, NO CAMPUS DA VUB	113
FIGURA 33 – ESTRUTURA EXISTENTES NO CAMPUS DA VRIJE UNIVESITEIT BRUSS (VUB)	114
FIGURA 34 - ESTUDOS DE CENÁRIOS PARA O CRL.....	115
FIGURA 35 - CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DOS CENÁRIOS ESCOLHIDOS.....	116
FIGURA 36 - SISTEMAS TESTADOS CONFORME O NÍVEL DE NECESSIDADE DE REVERSIBILIDADE TÉCNICA.....	117
FIGURA 37 - SISTEMA GEBRIT	118
FIGURA 38 - APLICAÇÃO DO GEBRIT NO CRL	118
FIGURA 39 - SISTEMA GYPROC	119
FIGURA 40 - APLICAÇÃO DO GYPROC NO CRL	119
FIGURA 41 - SISTEMA SYSTIMBER	120
FIGURA 42 - APLICAÇÃO DO SYSTIMBER NO CRL	120
FIGURA 43 - SISTEMA WALL-LINQ	121

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VIDA ÚTIL DE PROJETO (VUP), CONFORME A NBR 15575-1 (2013).....	52
---	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- TIPOS DE OBSOLESCÊNCIA E EXEMPLOS, SEGUNDO ISO 15686-1	40
QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL BASEADO NA RESOLUÇÃO DO CONAMA 307/02 (ALTERADA PELA 448/12).....	46
QUADRO 3 – INTERVENIENTES E INCUMBÊNCIAS DESCRITAS NA NBR 15.575:2013	51
QUADRO 4 – CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	53
QUADRO 5– ESTRATÉGIAS GENÉRICAS E PRINCÍPIOS DO ECODESIGN	56
QUADRO 6 – POSSÍVEIS X-HABILIDADES LISTADOS POR BACK ET AL (2008).....	58
QUADRO 7 - ORIENTAÇÕES PARA O DFD	59
QUADRO 8 - RECUPERABILIDADE	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVO GERAL	19
1.3	METODOLOGIA	19
2	CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA	21
2.1	APRENDENDO COM O PASSADO	22
2.2	PROSPECÇÃO DE FUTURO.....	28
3	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	31
3.1	DURABILIDADE.....	33
3.2	OBSOLESCÊNCIA x ADAPTABILIDADE	36
3.3	TEMPO DE VIDA.....	42
3.4	RESÍDUOS	45
3.5	LEGISLAÇÕES.....	49
3.6	ECODESIGN	53
3.6.1.	DESIGN FOR EXCELLENCE (DfX)	56
3.6.2.	DESIGN FOR DISASSEMBLY (DfD)	58
4	DESIGN FOR DISASSEMBLY NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	61
4.1	DIRETRIZES E FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DO DfD NAS EDIFICAÇÕES	77
5	BUILDINGS AS MATERIALS BANC	91
5.1	PASSAPORTES DE MATERIAIS	96
5.1.1	Protótipo de Plataforma de Passaporte de Materiais	100
5.1.1.1	Produtos.....	100
5.1.1.2	Edifícios.....	102
5.1.1.3	Instâncias	103

5.2	PROJETO DE CONSTRUÇÃO REVERSÍVEL	104
5.3	GERENCIAMENTO DE DADOS (BIM)	106
5.4	MODELOS DE NEGÓCIOS PARA ECONOMIA CIRCULAR.....	109
5.5	POLÍTICAS E NORMAS	111
5.6	PROJETOS-PILOTO	112
5.6.1	Circular Retrofit Lab (CRL).....	113
6	CONCLUSÃO	122
6.1	Recomendações sobre novas pesquisas	124
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

1 INTRODUÇÃO

Na mesma maneira que a gravidade da mudança climática futura é um efeito de padrões atuais de consumo e estilo de vida, o manuseio futuro de resíduos e potencial para o fornecimento de material através da reutilização, será determinado pelas escolhas atuais que fazemos no projeto arquitetônico (NORDBY, 2009, p. 11).

As mudanças climáticas e impactos ambientais negativos, reflexos do consumo excessivo, despertaram para a necessidade do desenvolvimento sustentável em todas as atividades humanas. Apesar do Relatório Bruntland, em 1987, definir os conceitos de desenvolvimento sustentável e ser um marco para a indústria em geral, os impactos da construção civil foram apontados anos mais tarde. A Agenda 21 *on Sustainable Construction*¹, em 1999, representou um marco para o desenvolvimento sustentável na construção civil, definindo requisitos para promover o desenvolvimento sustentável do setor. “A Agenda 21 conclui afirmando que o maior desafio é tomar ações preventivas imediatas e preparar toda cadeia produtiva para mudanças que serão necessárias ao processo construtivo.” (AGOPYAN; VAHAN, 2011, p.31).

Grande parte dos impactos da construção civil se deve ao grande volume de materiais, tanto nos ‘inputs’ quanto ‘outputs’ quando analisadas as construções sobre o seu ciclo de vida. Além dos materiais usados na fase de construção, é necessário contabilizar os impactos causados pela demolição dos edifícios, tanto na fase de uso (obras de reforma, reparos e manutenção) quanto na fase de pós-uso, quando um grande volume de resíduos é gerado pela demolição.

Projetar e construir edifícios como uma entidade estática resulta em espaços com pouco potencial de adaptabilidade, reduzindo a expectativa de vida útil desses. Isso porque a durabilidade dos edifícios está diretamente condicionada às necessidades dos usuários. Em um período em que o filósofo Zygmunt Bauman (2001) define como *modernidade líquida*, não prever o potencial de adaptação das construções significa

¹ A Agenda 21 refere-se a um documento estabelecido na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida como Rio92, que sistematizava um plano de ações com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável globalmente. Baseando-se no conceito de “pensar globalmente, agir localmente”, cada país ou organização poderia desenvolver a sua própria agenda, tendo como base as 40 temáticas pré-estabelecidas. Em 1999, foi publicada a Agenda 21 *on Sustainable Construction* e, em 2002, foi publicada a Agenda 21 de Construção Sustentável para os países em desenvolvimento. “A Agenda 21 pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.” (BRASIL, 2018)

condená-los à obsolescência precoce. Dessa forma, as estratégias de sustentabilidade talvez não sejam tão eficientes.

É necessário, portanto, que a forma de projetar e construir os edifícios contemporâneos sejam repensadas, passando de uma lógica estática e linear para um modelo dinâmico e circular, conforme apresentado por Durmisevic (2016):

Em última análise, os edifícios modernos são projetados e construídos com base no convencional conceito de mono-função e sistema linear de consumo, demolição e eliminação de resíduos. Eles não são construídos para uma vida longa por conceito de modernização e adaptabilidade às atividades dinâmicas sociais, econômicas e climáticas, mas para a demolição. Seus sistemas e materiais não são projetados e reutilizados para outras aplicações úteis, mas como futuro desperdício. (DURMISEVIC, 2016, p.88)

Ao longo do Capítulo 2, procurou-se compreender historicamente a relação entre os espaços construídos e a necessidade dos usuários. Especialmente, buscou-se estabelecer relações entre essas necessidades e a desmontagem desses espaços. Pôde-se perceber que o espaço durável está diretamente ligado a questões sociais e econômicas da sociedade. Também buscou-se analisar as demandas futuras para os espaços construídos, podendo-se destacar a interação da tecnologia para buscar melhor eficiência e o gerenciamento da complexidade de informações das edificações.

No Capítulo 3, buscou-se analisar questões referentes a sustentabilidade, sobretudo relacionadas com a durabilidade e o ciclo de vida das edificações, considerando que ampliar a vida útil das edificações é uma forma de reduzir a demanda por novos materiais e componentes. Pôde-se perceber que a durabilidade dos espaços está diretamente associada ao potencial desses espaços de se adaptarem às necessidades dos usuários. As características da sociedade contemporânea demandam um potencial de adaptação dos espaços construídos ao longo do ciclo de vida das edificações, prevenindo a obsolescência precoce dessas construções e todos os impactos resultantes disso.

A abordagem de ciclo de vida é fundamental para a sustentabilidade na construção civil. A análise do ciclo de vida (ACV) permite a adoção de estratégias mais assertivas, avaliando o resultado de escolhas ao longo do tempo, auxiliando o processo de tomada de decisão para redução de impactos ambientais, relacionando-se diretamente com o *Ecodesign* ou *Design for Environment*. Apesar de intercambiáveis,

foi preciso salientar as diferenças entre esses termos. O *Design for Environment* (DfE), assim como o *Design for Disassembly* (DfD), são variáveis do *Design for Excellence* ou *Design for X* (DfX), em que estratégias de design são utilizadas para desenvolver ‘X-habilidades’ dos produtos com o objetivo de atender com excelência as expectativas dos consumidores. Essas ferramentas podem ser abordadas em um período específico do desenvolvimento dos produtos. No entanto, pode ser considerada a existência de um *grupo especial*, referente ao *Design for Environment*, que assim como no *Ecodesign* implica em uma abordagem de ciclo de vida dos produtos, e o DfD faz parte dele.

O *Design for Disassembly* (Projeto para desmontagem) “implica uma otimização de métodos de construção e conexões entre componentes para facilitar reutilização e reciclagem. ” (NORDBY, 2009, p. 22). Esse método foi amplamente difundido nas práticas da indústria automobilística e de eletrônicos, mas a sua aplicação nos edifícios ainda representa um desafio. Ao permitir a desmontagem, o que se pretende é que os componentes possam preservar o seu valor, podendo ser reincorporados à cadeia de produção por meio de reutilização, possibilitando a percepção dos edifícios como *banco de materiais*.

Assim, através de medidas recomendadas, acredita-se que o DfD possibilite uma poupança ambiental futura (Berge 1997, Thormark 2001, Sassi 2002, Crowther 2003, Durmisevic 2006) e redução dos custos do ciclo de vida (Chini et al. 2003, Sassi 2004, Durmisevic 2006). (NORDBY, 2009, p. 22)

Os estudos sobre a aplicação do DfD surgiram no final da década dos anos 1990 e início dos anos 2000, como uma resposta à necessidade de redução dos resíduos gerados na construção civil. Essas análises demonstram que, diferentemente das indústrias de produtos que possuem uma produção centralizada, o modelo descentralizado da indústria da construção civil necessita de abordagens sistêmicas capazes de integrar os diferentes atores envolvidos nesse processo de construção, utilização e desconstrução. Por isso, a aplicação do DfD foi abordada de forma exclusiva no Capítulo 4.

Considera-se que o projeto da União Europeia no âmbito da UE2020 representa a principal evolução das pesquisas sobre o DfD, sendo esse o conteúdo do Capítulo 5. O projeto *Buildings as Materials Banc* – BAMB (Edifícios como Bancos de Materiais)

representa uma abordagem condicionada pelos estudos sobre o DfD em que ao facilitar a desmontagem permite-se que os materiais e componentes da construção mantenham o seu valor e possam ser reincorporados ao metabolismo da construção. Dessa forma, as edificações passariam a representar um banco de materiais futuros, reduzindo tanto a demanda por novos materiais quanto a geração de resíduos gerados pelo descarte desses como lixo. O projeto estrutura uma abordagem sistêmica, envolvendo os diversos aspectos que impediam que o DfD fosse aplicado na prática incluindo por exemplo: estratégias de projeto, criação de políticas públicas e normas, e a transformação dos padrões de consumo para economia circular.

1.1 JUSTIFICATIVA

Imagine que, em um novo edifício, os primeiros moradores de uma de suas unidades, antes mesmo de se mudarem, analisam quais as mudanças necessárias para adaptar o seu apartamento às suas expectativas e realizam uma reforma. Assim, grande quantidade de resíduos são gerados pela demolição, interrompendo a vida útil desses materiais, sendo necessário o consumo de novos produtos para essa substituição. O fato de situações como essa serem uma prática frequente, torna necessária a busca por novas soluções construtivas que permitam a adaptabilidade dos edifícios com mínimo impacto ambiental.

“Estimativas indicam que o lixo resultante da construção, manutenção e demolição de casas e edifícios representa de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos.” (FINEP, 2007, p.17). Os impactos da construção civil referentes à grande quantidade de matérias-primas extraídas e o grande volume de resíduos sólidos gerados na cadeia de produção, emergem da incompatibilidade entre a longa vida útil técnica dos materiais e a vida útil, frequentemente, curta de um edifício. Pode-se dizer que o que define a vida útil de um edifício não é o seu sistema construtivo, mas o seu sistema de desconstrução.

“Convencionalmente, a vida útil técnica e funcional de um edifício moderno é de aproximadamente 50-75 anos. No entanto, hoje os edifícios com 20 anos de idade são demolidos para dar lugar a novas construções.” (DURMISEVIC, 2016, p.87) “[nos] últimos 7-8 anos, cerca de 25% de todos os apartamentos demolidos na Suécia

tem menos de 30 anos de idade, enquanto que há dez anos atrás isso era inédito. ” (NORDBY, 2009, p.14).

A durabilidade dos edifícios está condicionada ao atendimento dos requisitos de utilização dos usuários, sendo esses relacionados a questões tanto físicas quanto psicológicas. As rápidas transformações experimentadas pela sociedade contemporânea na Era da Informação, assim como o desejo de expressar a sua individualidade exige dos espaços construídos o potencial de se adaptar a essas transformações. O que acontece é que geralmente o resultado dessas adaptações é feita por meio de processos de demolição, que resultam em grandes volumes de resíduos, com baixo potencial de aproveitamento.

Sabe-se que é necessário repensar essa abordagem como uma forma de buscar a sustentabilidade do ambiente construído. Diferentemente do processo de demolição, o projeto para desmontagem possibilita a adoção de estratégias que permitem a reutilização, remanufatura e reciclagem dos materiais e componentes da construção, ampliando a vida útil desses e da construção, reduzindo assim a demanda por novos materiais e os impactos ambientais sobre a forma de resíduos. Por isso, acredita-se que as investigações sobre o DfD possam contribuir para sustentabilidade na construção civil.

1.2 OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem como objetivo investigar como a previsão da desmontagem das edificações pode contribuir para sustentabilidade na construção civil, bem como buscar entender quais são os potenciais e limitações da aplicação dessa abordagem no contexto das construções.

1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica que objetiva gerar conhecimentos que possibilitem a aplicação prática do DfD nos projetos arquitetônicos. Pretende-se, com isso, criar uma alternativa para reduzir os impactos ambientais negativos resultantes da maneira como os edifícios têm sido projetados e construídos.

Para permitir a compreensão do DfD, a pesquisa possui caráter descritivo, pois torna-se necessária a apresentação de diversos assuntos pertinentes a compreensão do cenário atual, temas adjacentes e suas implicações para aplicação do método. Inicialmente, são analisadas referências ao longo da história da humanidade em que estratégias de desmontagem tenham sido consideradas para concepção arquitetônica; e são apresentados aspectos que possam influenciar a forma de projetar as futuras edificações. Posteriormente, são apresentadas questões pertinentes à compreensão da edificação sobre o ponto de vista da sustentabilidade, sobretudo quanto às temáticas que influenciam a ampliação de vida útil e a prevenção da demolição.

Por meio da revisão bibliográfica, foi possível compreender o “estado da arte” sobre a aplicação do DfD edificações. A pesquisa baseou-se em teses e artigos dos autores de referência para o assunto, como exemplo: Elma Durmisevic, Anne Sigrud Nordby, Catarina Thormark, Philip Crowther. São pontuados os obstáculos e identificadas estratégias para facilitar a aplicação prática do método nos projetos arquitetônicos.

2 CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA

Na dinâmica das cidades contemporâneas a necessidade de transformação dos espaços acontece rapidamente e o estoque de espaços edificados perde valor à medida que se torna obsoleto, tornando necessário que sejam remodelados. Prever que essas transformações aconteçam contribui para reduzir os impactos causados ao meio ambiente por meio da demanda por novos materiais, que muitas vezes são descartados antes de cumprirem a sua vida útil prevista.

Acredita-se que a arquitetura, apesar de se expressar por meio da materialização em estado sólido, não é estática. A arquitetura se faz necessária para apoiar a vida, portanto deve ser capaz de se adaptar às transformações que o tempo se encarrega de fazer. “Uma contribuição importante dos estudos de Habraken, Brand e Duffy é que eles já indicavam, na década de 70, que o edifício não é uma entidade estática.” (DURMISEVIC, 2016, p.92)

É sempre necessário ressaltar que a arquitetura reflete culturalmente a sociedade em que está inserida. Em uma abordagem globalizada, tem-se a sociedade atual caracterizada como pertencente ao que o filósofo Zygmunt Bauman denominou de *modernidade líquida*, em que:

As formas de vida contemporânea, segundo o sociólogo polonês, se assemelham pela vulnerabilidade e fluidez, incapazes de manter a mesma identidade por muito tempo, o que reforça um estado temporário e frágil das relações sociais e dos laços humanos. Essas mudanças de perspectivas aconteceram em um ritmo intenso e vertiginoso a partir da segunda metade do século XX. Com as tecnologias, o tempo se sobrepõe ao espaço. Podemos nos movimentar sem sair do lugar. O tempo líquido permite o instantâneo e o temporário. (CUNHA, 2017, *on-line*)

Bauman (2001) demonstra as transformações ocorridas e estabelece comparativos entre a modernidade líquida e a modernidade sólida, esta é referente a sociedade do período pós-guerra. O contexto pós-guerra criou nos indivíduos um anseio pela ordem e estabilidade, em que “os conceitos, ideias e estruturas sociais eram mais rígidos e inflexíveis.” (CUNHA, 2017). Esses conceitos, mesmo que inconscientemente, ficaram empregados nas construções, sendo que estudos apontam que os estoques de construções do período pós-guerra não foram pensados para mudanças. “A maioria dos edifícios do pós-guerra não são projetados para serem desmontados para reutilização ou reciclagem.” (NORBDY, 2009, p.51)

O conceito cunhado por Bauman (2001) aponta também para a relação intrínseca que a sociedade contemporânea desenvolveu com o consumo, sendo esse uma forma de expressão da individualidade. A impermanência e a mutabilidade frequente despertam para o desejo constante de se reinventar e se reafirmar por meio do consumo, conforme apresentado a seguir:

Rockefeller pode ter desejado construir suas fábricas, estradas de ferro e torres de petróleo altas e volumosas e ser dono delas por um longo tempo [...], Bill Gates, no entanto, não sente remorsos quando abandona posses de que se orgulhava ontem; é a velocidade atordoante da circulação, da reciclagem, do envelhecimento, do entulho e da substituição que traz o lucro hoje – não a durabilidade e a confiabilidade do produto. (BAUMAN, 1999, p.21)

Portanto, pensar nas características dessa sociedade experimentadora da modernidade líquida implica que sejam impressas novas formas de projetar e construir os edifícios. Apesar das rápidas transformações sociais pertinentes à realidade contemporânea, a forma de construir e projetar os edifícios tem mudado lentamente.

O resultado da incompatibilidade entre as expectativas dos usuários e o ambiente construído tem sido o encurtamento do ciclo de vida dessas edificações, resultando no aumento dos fluxos de entrada e saída de materiais no metabolismo da construção civil. Mas nem sempre foi assim. Nas seções a seguir, pretende-se analisar historicamente a relação entre a concepção dos espaços construídos e o potencial de desmontagem e adaptação desses espaços referente às necessidades de seus usuários.

2.1 APRENDENDO COM O PASSADO

A questão da desmontagem na arquitetura nem sempre foi uma discussão tão distante da prática. Sabendo que a arquitetura é um processo de materialização da cultura de um povo, buscou-se compreender as transformações na forma de conceber os espaços construídos pelo homem ao longo do tempo, sobretudo aos aspectos relacionados a desmontagem desses.

A arquitetura vernácula é a base para o conhecimento da arquitetura efêmera. A necessidade de deslocamento constante dos povos nômades tornava necessário que o abrigo dessas comunidades pudesse ser desmontado, transportado e remontado por diversas vezes à medida que era necessário o deslocamento para outros lugares.

Materiais leves, conexões simples, uso de materiais disponíveis no local, eram algumas características pertinentes a essas estruturas. Mais do que lições sobre desmontagem, as construções vernáculas dão lições sobre arquitetura bioclimática e sustentável.

À medida que a sociedade passa a se fixar no território e desenvolver atividades econômicas, a percepção sobre a permanência no espaço impacta a escolha de materiais e a durabilidade do ambiente construído como forma de se apossar de um lugar, rompendo com a necessidade de deslocamento da construção. A percepção da edificação como uma propriedade lucrativa cria a necessidade de se apropriar de forma permanente no espaço.

Ainda assim, o uso de materiais simples e o sistema construtivo que priorizava a escala humana permitia a desmontagem das estruturas. O uso de estruturas de madeira tem diversas aplicações históricas e em diversas partes do mundo. Por exemplo, o seu potencial de desmontagem foi explorado tecnicamente pela Grã-Bretanha para criação de casas e edifícios pré-fabricados para serem exportados para colônias britânicas em outras partes do mundo, permitindo a montagem de edifícios de qualidade em locais onde materiais adequados e mão-de-obra especializada eram frequentemente escassos (CROWTHER, 1999, p.4). Havia uma metodologia para montagem, padronização do projeto e identificação das peças e processos de montagem que permitia que o “próprio colono conseguisse montar a casa utilizando apenas uma chave inglesa” (CROWTHER, 1999, p.5).

A madeira também é a base do sistema construtivo da arquitetura doméstica tradicional japonesa. A forma de concepção estrutural dessas casas demonstra um sistema pensado para a flexibilização do espaço, frente às impermanências e transformações das necessidades dos moradores ao longo da vida, como apresentado abaixo:

Neste sistema, um quadro primário é construído para se adequar requisitos estruturais, em seguida, um quadro secundário é construído para atender aos requisitos espaciais. Este permite que o quadro secundário seja facilmente alterado para se adequar aos requisitos das famílias que estejam habitando sem afetar o quadro estrutural e sem o desperdício de construção materiais que outras tecnologias produzem (ITOH, 1972 *apud* CROWTHER, 1999, p.4).

Ainda no século XIX, além da madeira, o surgimento do aço galvanizado possibilitou a criação de estruturas desmontáveis, leves e de fácil manuseio. Uma das principais referências para a arquitetura efêmera e utilização do aço é o Palácio de Cristal, projetado por Joseph Paxton. O pavilhão de caráter temporário foi construído para abrigar a "A Grande Exposição das Obras da Indústria de Todas as Nações". O projeto de grande escala foi tão bem sucedido que permitiu que ele fosse desmontado, realocado e remontado após a exposição. "O sistema aberto de construção do edifício permitiu um arranjo alternativo das peças padrão para que o edifício pudesse ser alterado com pouca modificação dos componentes." (CROWTHER, 1999, p.5).

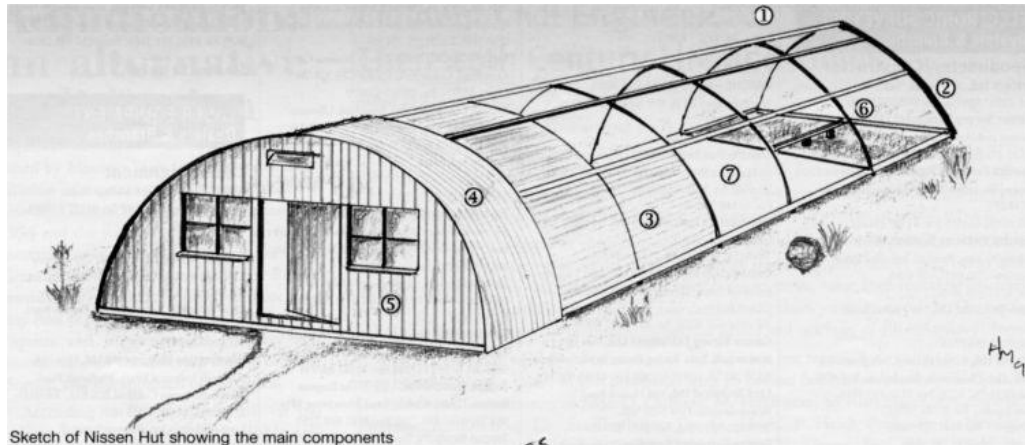
Figura 1 - The Crystal Palace



Fonte: GRINDLAY, 2002.

O período de guerras, também tornava necessária a criação de abrigos de caráter temporário que pudessem ser facilmente montados e desmontados, como é o caso do Nissen Hut. Composto por chapas de aço e madeira, "Este edifício abobadado feito de chapa de aço e madeira pode ser montado por quatro homens em apenas quatro horas usando nada mais do que uma chave inglesa" (MALLORY; OTTAR, 1973 *apud* CROWTHER, 1999, p.5). A simplificação dos componentes e o processo de montagem, priorizando a escala humana, e uma única ferramenta facilitavam o processo de montagem.

Figura 2– Componentes do Nissen Hut



Fonte: HOLT, 2013.

Figura 3 - Nissen Hut



Fonte: HOLT, 2013.

Ainda no contexto da guerra, o arquiteto Buckminster Fuller projetou construções temporárias que utilizavam tecnologia de construção em massa. No período pós-Guerra, as criações de Fuller demonstram um conceito de concepção de arquitetura pertinente aos problemas contemporâneos. Ao projetar a Dymaxion House, ele abordava questões hoje conhecidas como o design de serviços e garantia estendida do produtor. A casa era tratada como um produto que fornecia a função de morar e o fabricante continuava a ter responsabilidades ao longo da vida útil, garantindo soluções de reparo, troca e manutenção. “O material escolhido para concretizar o

projeto foi o alumínio. Leveza física e visual, aptidão à reciclagem, eficiência de montagem são as características que levaram a essa decisão.” (FRACALOSSI, 2013)

Figura 4 - Dymaxion House



Fonte: CALLAHAN, 2013

No contexto da arquitetura pós-moderna, as inovações tecnológicas influenciaram o desenvolvimento de ideias inovadoras como as propostas pelos membros do *Archigram*. A experimentação conceitual do “Plug-in in City” está diretamente relacionada com os conceitos de desmontagem na arquitetura, ao organizar “as partes do edifício de acordo com uma hierarquia de uso, as partes do edifício que requerem frequente manutenção ou substituição seriam mais acessíveis.” (COOK, et al., 1972 *apud* CROWTHER, 1999, p.5)

Outra importante contribuição para compreensão do projeto de desmontagem e todas as suas implicações na arquitetura refere-se ao Movimento Metabolista japonês. O movimento Metabolista “procurava tratar os componentes e materiais que compunham uma construção e seus respectivos ciclos de vida como partes vivas do organismo da estrutura.” (FREITAS, 2017, p.64). Dessa forma, as partes que

compõem o edifício podem ser consideradas independentes, permitindo a sua atualização e manutenção sem danificá-lo.

A materialização desses conceitos está aplicada à Torre Nakagin, em Tóquio. Ao criar uma estrutura fixa que abriga cápsulas individuais que podem ser substituídas, a torre possui uma hierarquia de sistemas, o que prolonga a vida útil da edificação como um todo, ao permitir que cada unidade se adeque de forma independente:

Executada como um manifesto *Metabolista* e exemplo de planejamento da vida útil da edificação, a torre *Nakagin* em Tóquio, apresenta uma estrutura de concreto, a qual sustenta cápsulas habitacionais leves, projetadas para serem substituídas, apenas permanecendo as instalações hidráulicas e elétricas e as áreas comuns como elementos permanentes. [...] deste modo a troca da cápsula feita de metal permite que o edifício acompanhe as mudanças da sociedade frente a uma inevitável obsolescência. (FREITAS, 2017, p.64)

Figura 5- Nakagin Capsule Tower, Kisho Kurokawa



Fonte: BRITO, 2013.

Os exemplos apresentados demonstram alguns conceitos físicos e outros conceituais pertinentes a desmontagem das construções. Ao compararmos a tecnologia construtiva difundida hoje, os projetos para desmontagem parecem uma prática distante, mas deveriam ser implementados na prática arquitetônica contemporânea como forma de permitir a maior durabilidade do ambiente construído, por meio da adaptação e manutenção das construções.

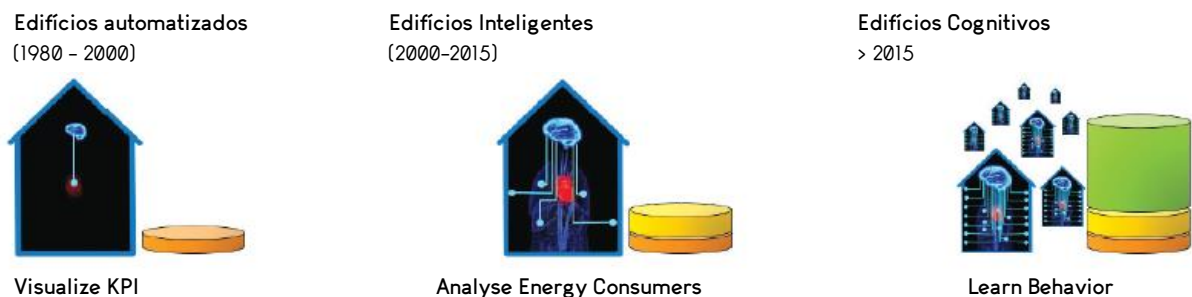
2.2 PROSPECÇÃO DE FUTURO

Sendo a arquitetura a materialização da cultura de um povo, é preciso analisar o impasse entre os padrões culturais da sociedade vigente e a arquitetura contemporânea. Enquanto a sociedade experimenta inovações tecnológicas em diversos aspectos, a construção civil incorpora as inovações lentamente. Não seria necessário que os espaços construídos se adaptassem aos novos paradigmas culturais da sociedade?

A sociedade na Era da Informação experimenta uma transformação na percepção do tempo e espaço. As rápidas transformações sociais impactam as necessidades de apropriação do espaço, sendo que o potencial de adaptação se torna uma necessidade desses usuários. Na presente Terceira Revolução Industrial, as informações tornaram-se ativos valiosos que estão sendo comercializadas, possibilitando criar estratégias de atuação mais assertivas para tornar produtos e processos mais eficientes.

Conforme o estudo realizado pela IBM, apresentado pelo Relatório de Estado da Arte do BAMB, a tecnologia associada aos edifícios tem demonstrado avanços sobre a gestão da informação nesses. Assim como a própria forma de processamento de dados tem se transformado, o uso da tecnologia no ambiente construído tem caminhado para adoção de sistemas de inteligência artificial.

Figura 6 – Edifícios cognitivos com base nos padrões de modelo de maturidade da IBM.



Fonte: DEBACKER et al, 2016 baseado em IBM GLOBAL BUSSINESS SERVICES, 2016

Os edifícios automatizados (1980-2000) têm como principal característica o uso dos Indicadores-chave de Desempenho ou *Key Performance Indicator (KPI)*, permitindo a identificação de problemas gerais. Esse tipo de automação coletava dados primários,

mas não era capaz de criar análises sobre o porquê ou o que fazer sobre determinados padrões dos usuários.

“Nos anos 80 e 90, a automação predial permitiu que as equipes de gerenciamento de imóveis e instalações visualizassem os principais indicadores de desempenho de seus edifícios por meio de painéis. No entanto, esses painéis eram estáticos”. (DEBACKER et al., 2016, p.22).

A evolução da Tecnologia da Informação (TI) aplicada ao ambiente construído evoluiu para os Edifícios Inteligentes (*Smart Buildings*). Por meio do controle de sensores, é possível obter dados e, a partir da programação da criação de um banco de dados, obter informações.

No entanto, como só é possível analisar pontos de dados primários e poucas organizações implementaram ferramentas para poder analisar grandes quantidades de dados não estruturados, os insights ainda estão em um nível agregado e limitados a comparações com métricas históricas. (IBM, 2016, p.4)

Conforme apontado no estudo realizado pela IBM, desde 2015 a nova demanda é por *Edifícios Cognitivos*. A difusão dos dispositivos de Internet of Things (IoT) permitirá que os edifícios evoluam no controle da informação, permitindo que os edifícios aprendam e tenham o seu desempenho otimizado respondendo ao comportamento de seus usuários.

[...] a IBM acredita que além da construção automatizada e inteligente, os **prédios cognitivos** - integrando dispositivos de IoT e sistema de aprendizagem e comportamento do usuário para otimizar o desempenho da construção - terão a capacidade (1) de fornecer insights; (2) aprender, raciocinar com propósito e interagir naturalmente com os humanos e (3) agir e implantar mudanças nas operações de construção. (DEBACKER et al., 2016, p.22).

Entretanto, a gestão de informação apenas na fase de uso e operação é ineficiente quando se fala em sustentabilidade na construção civil. Por exemplo, a falta de informação sobre os materiais empregados na construção e documentação sobre os projetos *as built* tornam-se um desafio para a manutenção desses a longo prazo e demonstram que a necessidade de repensar formas de habitar está diretamente associada a novas formas de projetá-los e construí-los.

Arquitetos precisam estar preparados para se adaptar às demandas de complexidade e gestão da informação no projeto e no processo de construção. Uma importante

ferramenta para a gestão da informação na construção civil refere-se ao uso do Building Information Modeling (BIM), que tem se mostrado como a principal inovação tecnológica sobre projetos nas áreas de arquitetura, engenharia e construção (AEC).

O BIM fornece uma representação digital das características físicas e funcionais de um ativo para apoiar decisões confiáveis, através da criação e gestão de informações durante o seu ciclo de vida. Em seu núcleo, o BIM utiliza modelos 3D e um ambiente de dados comum para acessar e compartilhar informações de maneira eficiente em toda a cadeia de suprimentos e, assim, aumentar a eficiência das atividades relacionadas à entrega e operação de ativos. (CDBB, 2018)

“O BIM não é sobre um único prédio ou ativo, nem apenas design e construção. É sobre como vivemos no ambiente construído e compartilhamos e usamos informações sobre absolutamente tudo.” (EYNON, 2015 *apud* DEBACKER et al., 2016, p.22). Ao facilitar o compartilhamento da informação entre os vários atores responsáveis pela construção, favorece-se a sustentabilidade do setor. É fundamental que informação sobre materiais, sistemas, componentes seja disponibilizada pelos fabricantes, para permitir a correta especificação desses em projeto. O compartilhamento de informações sobre as diferentes interfaces de sistemas que compõem um edifício permite que as incompatibilidades entre eles sejam resolvidas e permite a criação de novas soluções técnicas para conexões mais flexíveis entre esses sistemas. Na fase de construção, a documentação dos materiais empregados e a atualização do projeto *as built* consistem em uma informação valiosa para permitir futuras ações de manutenção e adaptação do edifício de forma mais racionalizada.

A complexidade das abordagens sobre a indústria da construção civil refere-se à grande variedade de atores envolvidos em todo o processo, por isso é importante permitir que essas informações estejam disponíveis a todos esses atores, evitando que ela se perca. “A maioria dos atores, no entanto, está envolvida apenas em uma ou duas fases de construção e não em toda a cadeia de valor.” (DEBACKER et al., 2016, p.52)

O compartilhamento de informação sobre a edificação com o usuário final é de grande importância, pois ele representa o principal tomador de decisões sobre o ambiente construído durante as fases de uso e pós uso. Estima-se que a Realidade Aumentada será uma importante contribuição para a gestão da informação nas edificações,

possibilitando que os usuários tenham fácil acesso a informações sobre os componentes empregados, auxiliando que estes mantenham o seu valor e tenham o reuso facilitado.

3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As intensas atividades industriais e o consumo em massa experimentados durante a Revolução Industrial despertaram a sociedade mundial para a necessidade de rever os padrões de desenvolvimento humano. Desde a década de 60, movimentos ambientalistas lutaram para reduzir os impactos ambientais causados pela atividade industrial em massa.

Conforme Agopyan e John (2011), apesar do conceito de desenvolvimento sustentável ter sido estipulado pelo Relatório Bruntland, em 1987, pouco se atentava para impactos ambientais provenientes da indústria da construção civil. Pode-se considerar um marco para a sustentabilidade nesse setor a publicação da *Agenda 21 on sustainable construction* - que posteriormente foi elaborada de forma específica para cada país. Segundo essa publicação, os principais desafios da construção civil envolvem: (a) processo de gestão, (b) execução, (c) consumo de materiais, energia e água, (e) questões sociais, culturais e econômicas. Cabe destacar que, apesar de publicada em 1992, ainda não é tão perceptível a sua aplicação. “A Agenda 21 conclui afirmando que o maior desafio é tomar ações preventivas imediatas e preparar toda cadeia produtiva para mudanças que serão necessárias ao processo construtivo.” (AGOPYAN; JOHN, 2011, p. 31)

Conforme Agopyan e John (2011), para permitir a sustentabilidade na construção civil é preciso articular os diversos *stakeholders* em uma abordagem sistêmica. Isso porque a indústria da construção civil possui uma grande cadeia produtiva, em que geralmente, as responsabilidades são transmitidas à medida que esse processo de produção acontece. O ciclo da construção civil convencional tem início com a extração de matérias-primas, que depois são transformadas em materiais e componentes [relacionado com os fabricantes]; esses são demandados através de especificações e necessidades construtivas [relacionado com projetistas e construtores]. Depois de

instalados os componentes estão sujeitos às práticas de uso e manutenção dos usuários [relacionado com usuários]; e ao final da vida útil, convencionalmente, esses serão demolidos e transformados em resíduos da construção.

“A gama de produtos ofertados (ou aqueles não ofertados) limita as opções para projetistas e consumidores. E, dessa forma, influi decisivamente no impacto ambiental de edifícios e obras ao longo de seu ciclo de vida.” (AGOPYAN; JOHN, 2011, p. 15). Cabe acrescentar também que a falta de informações sobre os produtos prejudica tanto o processo de especificação quanto o desempenho final do ambiente construído. Sistemas de certificação e gestão ambiental são importantes para o gerenciamento de informação e melhoria dos produtos, o que facilitaria também a criação de uma base de dados nacional para avaliação do ciclo de vida. Além disso, é preciso destacar a relação entre os impactos ambientais causados pelos materiais de construção e o potencial de recuperação destes. Materiais que possam ser reincorporados ao metabolismo da construção ao final de sua vida útil representam uma forma de reduzir impactos ambientais e até mesmo custos de produção.

O processo de projeto é uma etapa primordial para permitir a sustentabilidade no ambiente construído, pois as especificações de projeto, ou a falta delas, influenciam toda a cadeia da construção civil. As exigências de projeto podem fazer com que fabricantes adequem seus produtos, por exemplo. Além disso, a implantação, partido arquitetônico, escolha dos materiais e sistemas construtivos iram definir o desempenho da edificação na sua fase de construção, uso e desmontagem. É preciso ressaltar que a falta de valorização dos projetos pela sociedade é uma forma de condenar a sustentabilidade na construção civil.

Durante a fase de construção, um processo bem coordenado e racionalizado contribui para obras mais rápidas e eficientes. Por outro lado, a informalidade e o uso de sistemas construtivos pouco racionalizados implicam altas taxas de desperdício de materiais e geração de resíduos.

Geralmente, associam-se os principais impactos da construção civil à fase pré-operacional. Entretanto, é preciso destacar os impactos ocorridos na fase de uso dos

edifícios. O processo histórico do surgimento do conceito de sustentabilidade fez com que as avaliações de consumo energético das edificações fossem bem desenvolvidas.

No entanto, é preciso chamar a atenção para um impacto ainda pouco avaliado, mas significativo, que se refere às obras de reforma que os edifícios passam ao longo de sua vida útil. A necessidade dos usuários de adaptar esses espaços construídos frente ao baixo potencial de transformação desses espaços tem como resultado uma alta taxa de geração de resíduos. “O pequeno gerador é responsável pela maior parte dos resíduos de construção civil nas grandes cidades. ” (SIDUSCON MG, 2014, p.13). Quando as reformas acontecem de forma informal e pouco racionalizada, soma-se a questão da geração de resíduos a questão da disposição irregular destes.

Quando uma edificação não é mais capaz de atender as demandas de seus usuários, pode-se considerar que sua vida útil foi encerrada. Tem se tornado recorrente o fato de os materiais e componentes da construção terem sua vida útil técnica maior que a dos edifícios em que são empregados. Isso se deve ao fato de que as “rápidas mudanças na sociedade, vida empresarial e estruturas familiares que experimentamos resultam em mudanças funcionais mais rápidas nos edifícios e esses têm a sua vida útil de serviço reduzidas. ” (NORDBY, 2009, p.14), conforme dados apresentados no trecho a seguir:

Convencionalmente, a vida útil técnica e funcional de um edifício moderno é de aproximadamente 50-75 anos. No entanto, hoje os edifícios com 20 anos de idade são demolidos para dar lugar a novas construções. A vida útil média funcional de um edifício esta tornando-se mais curta e isso força o retorno dos investimentos a vir mais rapidamente. (DURMISEVIC, 2006 apud DURMISEVIC, 2016, p.87.).

A falta de previsão da vida útil em projeto e o baixo potencial de transformação dessas edificações têm condenado edifícios à obsolescência precoce não por questões técnicas, mas por questões de uso. É nesse sentido que se pretende investigar como o DfD é capaz de influenciar a sustentabilidade na construção civil.

3.1 DURABILIDADE

Abordar a questão da durabilidade na arquitetura pode tornar-se um tanto complexa, dado as incertezas de suas principais variáveis: o comportamento do usuário e o uso dos espaços ao longo do tempo. Perceber a problemática da demolição precoce de

edifícios demonstra que os arquitetos contemporâneos precisam se esforçar para planejar não apenas os espaços, mas as possíveis transformações desses ao longo do tempo.

A durabilidade das edificações é definida pela ISO 13823: 2008 (General principles on the design of structures for durability) como

[...] a capacidade de uma estrutura ou de seus componentes de satisfazer, com dada manutenção planejada, os requisitos de desempenho do projeto, por um período específico de tempo sob influência das ações ambientais, ou como resultado do processo de envelhecimento natural. (POSSAN; DEMOLINER, 2013, p.6)

Já o desempenho pode ser definido como comportamento em uso. “O desempenho pode variar de um indivíduo para o outro, pois depende das exigências do usuário (na concepção) ou dos cuidados no uso (manutenção). ” (POSSAN; DEMOLINER, 2013, p.5). Um mesmo material também pode ter desempenhos diferentes de acordo com o seu local de aplicação e condições ambientais a que esteja sujeito. “[o desempenho] também depende das condições de exposição do ambiente em que a edificação será construída, como temperatura, umidade, insolação, ações externas resultantes da ocupação etc.” (POSSAN; DEMOLINER, 2013, p.5)

Portanto, a durabilidade das edificações está diretamente condicionada ao comportamento de seus usuários, seja por meio do atendimento a suas necessidades ou por meio da devida manutenção e, também, às condições de exposição do ambiente em que a edificação se encontra. A durabilidade também se relaciona com um detalhamento eficiente em projeto, pois “mudanças nos detalhes de projeto que proporcionem maior proteção ao componente contra os fatores de degradação podem aumentar a sua vida útil sem alterar significativamente a carga ambiental total. ” (JOHN et al., 2002, p.3). Portanto, “a durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas sim uma função relacionada com o desempenho dos mesmos sob determinadas condições ambientais. ” (POSSAN; DEMOLINER, 2013, p.6). A durabilidade é, essencialmente, uma visão retrospectiva do desempenho.

A questão da demolição precoce de edifícios aponta para a principal questão sobre a durabilidade das edificações: as diferenças entre a durabilidade conceitual da arquitetura e a durabilidade dos materiais empregados na construção. “O fato que os

materiais de construção têm diferentes ciclos de vida e que a durabilidade da maioria dos materiais é maior do que a durabilidade de suas funções constitui o gargalo para a transformação. ” (DURMISEVIC, 2016, p.92)

Quando uma edificação deixa de atender as necessidades de seus usuários os componentes empregados, mesmo que ainda tenham boas condições de utilização, são descartados resultando em um grande desperdício de materiais. Esse impasse entre a durabilidade conceitual (uso do espaço) e material (sistemas, componentes e materiais) demonstra a necessidade de projetar tendo em vista os diferentes prazos de utilização desses.

[...] Yeang (2006) descreve a importância do projeto de arquitetura na elaboração de soluções para planejamento para desmontagem, reuso, reciclagem e remanufatura, além de relacionar o conceito de durabilidade com o tempo de vida dos materiais e da possibilidade de obsolescência da edificação. (YEANG, 2006 *apud* FREITAS, 2017, p.34)

As informações contidas nos projetos de edificações influenciam diretamente a durabilidade na construção, seja por meio da correta especificação de materiais e sistemas ou por meio de soluções de design que contribuem para adaptação desses ao longo do tempo. Da mesma forma, a falta de previsão de estratégias de desmontagem, reparo e manutenção tem impacto direto sobre o tempo que essa edificação levará até a sua obsolescência.

O projeto, a execução, a seleção dos materiais, a caracterização do ambiente de exposição e as estratégias de manutenção e reparo são de suma importância para a garantia de durabilidade (qualidade) de uma estrutura ou componente, e conseqüentemente, sua vida útil. Qualquer negligência em relação a estes aspectos torna o desempenho das mesmas insatisfatório quanto à durabilidade, afetando diretamente a vida útil requerida. (POSSAN; DEMOLINER, 2013, p.12)

Para Barbosa (2012), a habilidade de desmontar e remontar um edifício diversas vezes associa-se ao princípio da reciclagem: “Um mesmo edifício utilizado de diversas maneiras, em diferentes lugares, estende seu tempo de vida, o que é mais eficiente, sustentável” (BARBOSA, 2012 *apud* FREITAS, 2017), o que contrapõe a percepção cultural de que as edificações são feitas para durar.

Quanto às questões conceituais sobre a durabilidade do espaço construído abordam-se aqui duas questões: uma refere-se à discussão sobre a permanência dos valores históricos dessas construções, como forma de marcar um determinado período

histórico; e a outra refere-se a uma questão econômica, devido ao fato de as construções serem tratadas como uma propriedade lucrativa. No Brasil, não é raro andar pelos centros de cidades e ver edifícios antigos deteriorados, devido à dificuldade de atualização e manutenção desses espaços. Dessa forma, esses edifícios estão sendo condenados à demolição. Portanto permitir a adaptação dos espaços construídos contribui para sua durabilidade. Quanto às questões econômicas, ter as construções como propriedade lucrativa é algo que representa uma barreira para as transformações que caminham para o Design de Serviços (uma solução semelhante ao *Dymaxion House*, de Buckminster Fuller) em que ao invés de se ter a propriedade de um produto adquire-se o direito de uso.

Quanto a durabilidade material, é preciso que informações sejam sistematizadas e acessíveis para permitir a comparação entre a durabilidade dos materiais sobre diferentes situações de utilização. Para avaliar a durabilidade de determinado material é necessário que ele seja posto nas mesmas condições de utilização. Mas quando tratamos da durabilidade arquitetônica, essas análises tornam-se imprecisas devido à essas condições estarem sujeitas ao comportamento de seus usuários.

Em geral, o ciclo de vida de um conjunto de materiais se torna curto por conta das rápidas mudanças funcionais. “Portanto, devido à natureza da composição técnica dos edifícios, a sua durabilidade funcional acaba determinando a sua durabilidade física.” (DURMISEVIC, 2006, p.107)

A unidade de análise de projeto para a sustentabilidade de edificações não deve ser o edifício em si, **mas o uso do edifício ao longo do tempo**, incluindo os impactos ambientais e econômicos oriundos do projeto do edifício. (DURMISEVIC, 2006, p.54)

3.2 OBSOLESCÊNCIA x ADAPTABILIDADE

Como apresentado anteriormente, a durabilidade de um produto não é uma característica intrínseca dos materiais, pois depende das condições de uso e está diretamente ligada ao desempenho esperado pelo usuário. Quando algo deixa de satisfazer o desempenho esperado por seu usuário torna-se obsoleto.

Esse desempenho não está relacionado apenas a propriedades físicas, mas também psicológicas. “Alguns edifícios são demolidos porque suas características técnicas se deterioraram. A maioria dos edifícios, no entanto, é demolida porque eles não satisfazem às necessidades de seus usuários.” (DURMISEVIC, 2016, p.87)

A obsolescência é um outro problema de durabilidade (ISO, 1999). A obsolescência não é decorrente de um processo de degradação, mas de mudanças nas exigências do usuário. Pode ser considerada como vida útil de serviço definida socialmente. Como não é possível estimar as mudanças sociais que irão ocorrer a longo prazo, não se pode controlar a durabilidade contra a obsolescência. (JOHN et al., 2002, p.3)

Portanto, é comum que componentes da construção sejam descartados, mesmo que a sua vida útil técnica não tenha se encerrado, porque se tornam obsoletos frente às necessidades de seus usuários.

No Brasil, uma evidência da obsolescência dos edifícios refere-se às altas taxas de vacância. Conforme análises da Fundação João Pinheiro, em 2000, enquanto o déficit de edificações no Brasil foi estimado em 5.890.139 unidades, o estoque de domicílios vagos era de 6.029.756. “Ou seja, feita uma comparação simples, haveria mais domicílios vagos no Brasil nos anos 2000 que os necessários para cobrir o déficit habitacional estimado nessa mesma época.” (NADALIN; BALMBIM, 2011, p.2). Um desperdício de materiais e infraestrutura, que resulta em impactos ambientais, sociais e econômicos.

Desenvolvedores imobiliários avisam que o estoque de construção existente não combina com as constantes e frequentes mudanças na demanda do mercado. Essa diferença na oferta e na demanda resulta em uma enorme vacância do prédio e, conseqüentemente, na perda do valor do imóvel. (DURMISEVIC et al., 2016, p.88)

Recentemente, o incêndio que levou ao desabamento do edifício Wilton Paes de Almeida (FIGURA 7) no centro de São Paulo despertou para a questão dos edifícios vagos no Brasil e a possibilidade de serem adaptados a novos usos, sobretudo, como habitações. A questão é digna de uma discussão, mas o que se pretende aqui é apontar a importância de prever edifícios com potencial de adaptação para permitir a sustentabilidade na construção civil.

Figura 7 - Edifício Wilton Paes de Almeida em 1969 (esq.) e em 2016 (dir.)



Fonte: NASCIMENTO, 2018.

A causa das altas taxas de vacância no Brasil pode até se confundir com o período de crise econômica, entretanto é preciso destacar o crescimento da oferta de novos edifícios que satisfazem as expectativas dos usuários. No caso de edifícios destinados ao uso de escritórios, a crescente oferta de edifícios “Triplo A” em São Paulo tem gerado um movimento de *Flight to Quality*, o que cria um processo de desvalorização das edificações que não atendam a esse desempenho:

Acompanhando o mercado desde 2005, vemos que a vacância em São Paulo para os edifícios corporativos era na época de 10,5% (Rio de Janeiro – 5,3%). Entre 2010 e 2011, a vacância chegou em 2,8% (Rio de Janeiro – 1,9%) e, agora em 2016, está em 16,5% (Rio de Janeiro – 15,1%). Essa alta vacância é explicada não somente pelo momento econômico do país, mas também por um novo estoque entregue em São Paulo nos últimos 12 meses mais de 400.000m² de edifícios corporativos e no Rio de Janeiro por volta de 200.000m². (BUILDINGS BLOG, 2016)

A necessidade de prever a adaptação dos espaços construídos é uma necessidade global, conforme apresentam-se os dados sobre os edifícios de escritórios na Holanda:

O fato de que os novos edifícios de escritórios estão sendo construídos enquanto a taxa de vagas de escritórios é excepcionalmente alta (10,7% do estoque de 69,5 milhões de m²) indica que os edifícios atuais não refletem a vontade dos usuários finais. (DURMISEVIC, 2016, p.88)

“Paz (2008) afirma que a mudança rápida do papel a que se destina a edificação é uma forma de obsolescência acelerada, diferente da obsolescência programada ou de longo prazo” (PAZ, 2008 apud FREITAS, 2017, p.66). Sobre o ponto de vista do *Design* de produtos, Freitas (2017) afirma que a obsolescência de um produto está relacionada ao fim de sua vida útil em uma ou mais dimensões dos seguintes aspectos: técnico, econômico, psicológico, ecológico, estético e de recursos.

- A obsolescência técnica se dá quando um novo produto ou tecnologia torna-se mais funcional, levando a substituição ou inutilização do seu precedente.
- A obsolescência econômica se dá quando novos produtos no mercado são mais vantajosos quanto aos custos de aquisição, utilização e manutenção.
- A obsolescência ecológica ocorre quando novos produtos no mercado apresentam impactos ambientais menores, como no caso das lâmpadas que tem o consumo energético reduzido.
- A obsolescência estética, por sua vez, ocorre quando novos produtos no mercado se mostram mais coerentes ao senso estético vigente, de acordo com a percepção do usuário.
- A obsolescência de recursos acontece quando novos produtos no mercado oferecem mais ou melhores recursos e funções
- A obsolescência psicológica se dá quando um novo produto tem um valor emocional maior, ou o produto atual passa a ter um valor emocional negativo, de acordo com a percepção do usuário (NES; CRAMER; STEVELS, 1999 apud FREITAS, 2017, p.62).

Sobre o ponto de vista das edificações, outras causas de obsolescência são citadas por Freitas (2017) baseando-se em Yeang (2006), sendo algumas internas e outras externas ao projeto da estrutura, conforme é apontado a seguir:

- Obsolescência de localização: significa dizer que a função original do edifício pode já não ser adequada na sua vizinhança imediata, ou a função pode não ser mais necessária em virtude de forças sociais e econômicas;

- Obsolescência tecnológica: o desenvolvimento de novas tecnologias constitui desafios para os edifícios existentes, uma vez que muitos podem não ser capazes de se adaptar a essas mudanças;
- Obsolescência natural: as forças da natureza em si também podem fazer um sistema construído, ou parte dele, obsoleto, uma vez que causam desgaste nas estruturas que podem colocá-las abaixo dos padrões estabelecidos de conforto e segurança;
- Obsolescência legal: a mudança de regulamentações legais, tais como códigos de construção, pode levar à obsolescência dos edifícios.

De acordo com a norma ISO 15686-1 (2011) *Buildings and constructed assets — Service life planning* (Edifícios e bens construídos - Planeamento da vida útil) é possível distinguir três tipos de obsolescência nos edifícios: a funcional, a tecnológica e a econômica, conforme apresentado no quadro 1:

Quadro 1- Tipos de obsolescência e exemplos, segundo ISO 15686-1

Tipo de Obsolescência	Ocorrência Típica	Exemplos
Funcional	A função em causa já não é requerida	Processo industrial obsoleto, instalações desnecessárias, divisórias removidas
Tecnológica	Alternativas atuais com melhor desempenho, mudança de padrões de uso	Mudança do isolamento térmico para um melhor desempenho, mudança para caixilharias mais estanques
Econômica	Item ainda totalmente funcional, mas menos eficiente e econômico que novas alternativas	Mudança do Sistema de Aquecimento

Fonte: FREITAS, 2017 baseada na ISO 15686-1

É preciso destacar, também, que a necessidade de autoafirmação por meio do consumo como expressão da individualidade e o desejo constante por mudanças acelera os processos de obsolescência. As mudanças estilísticas e os 'lançamentos' de novos padrões de acabamentos são uma justificativa para que materiais e componentes com longa vida útil sejam trocados em curtos períodos de utilização, priorizando, sobretudo, o desempenho estético.

O encurtamento da vida útil dos edifícios se relaciona diretamente com a forma como eles vêm sendo projetados e construídos, em um sistema fechado e estático. O resultado disso é que os edifícios são projetados para uma longa vida útil, mas não oferecem potencial de adaptação necessário para cumprir a sua vida útil. “Por essa razão, partes de tais estruturas de edifícios fixos ou edifícios inteiros têm de ser descartados, para serem alterados, adaptados, atualizados ou substituídos”. (DURMISEVIC, 2006, p.87).

“De acordo com Stewart Brand, diferentes partes dos edifícios mudam em diferentes faixas de tempo. Um edifício adaptável, portanto, tem que permitir a derrapagem entre sistemas diferentemente estimulados. ” (BRAND, 1994 apud NORBDY, 2007, p.20). Ao construir deixando as diferentes camadas atreladas umas às outras, ao longo do tempo os diferentes períodos de durabilidades entram em conflito e a dificuldade de adaptação desses sistemas prejudica o funcionamento do edifício.

De acordo com Norbdy (2007), o termo adaptabilidade pode ser mais elaborado como: Generalidade, sobre uma estrutura que inalterada pode adotar diferentes funções; Flexibilidade, sobre uma estrutura que pode facilmente mudar dentro de seus quadros externos; e Elasticidade, sobre uma estrutura que pode encolher ou crescer de acordo com novas funções.

Projetar edifícios prevendo o seu potencial de adaptação permite ampliar a vida útil desses, ao mesmo tempo em que reduz os impactos gerados pela demolição (total ou parcial) e a demanda por novos materiais. Portanto, o projeto está diretamente relacionado com a velocidade de obsolescência do edifício, conforme é citado a seguir:

No entanto, podem ser minimizadas as cargas ambientais relativas à obsolescência fazendo com que os componentes que podem se tornar obsoletos com maior facilidade sejam facilmente substituídos. Além disso, todo o edifício pode se tornar obsoleto. As decisões de projeto podem controlar a velocidade de obsolescência do edifício e facilitar o processo de demolição e reutilização dos componentes. (JOHN et al., 2002, p.3)

Os edifícios circulares ou reversíveis, ao preverem essas transformações dos espaços construídos, alteram a forma de gerenciamento dos materiais empregados, visando a futura reutilização destes. Com isso, amplia-se os períodos de utilização dos

componentes da construção, reduzindo a demanda por materiais virgens e a geração de resíduos.

3.3 TEMPO DE VIDA

O pensamento do ciclo de vida trata-se de uma importante “ferramenta oriunda da Ecologia Industrial, ciência que estuda a interação entre a sociedade e o meio ambiente, através do conceito de prevenção de poluição e de produção mais limpa.” (MACEDO, 2011, p.53). A Ecologia Industrial espelha-se nos processos de produção sistêmicos da natureza, nos quais tudo que é descartado por um organismo serve de alimento a outro, para alcançar o Ciclo Fechado (*Cradle-to-Cradle*) na geração de produtos.

Entende-se por ciclo de vida os estágios sucessivos e encadeados de um produto. Ao analisar cada estágio contabilizam-se as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de matéria-prima, energia, emissões de gases para atmosfera, para a água e para o solo, permitindo quantificar os impactos ambientais causados e incentivar o desenvolvimento de processos e produtos ambientalmente mais eficientes. Trata-se de um método conhecido como Análise do Ciclo de Vida (ACV), que permite mensurar os impactos ambientais causados por produtos e serviços “ao longo de toda a vida do material, desde a extração da matéria-prima até o uso e descarte, considerando também seu desempenho ambiental ao ser descartado ou ao ser reutilizado”. (MACEDO, 2011, p.53). “O ciclo de vida de um edifício está dividido em quatro etapas: extração de materiais e produção, construção, operação e desmontagem/demolição.” (FREITAS, 2017, p.50).

“Edwards e Bennett (2003) destacam o conceito de design para a desconstrução ou design para adaptabilidade embutidos na ACV, isto é, antes de se avaliar o ciclo de vida do sistema, deve-se projetá-lo para ser desconstruído e adaptado. Este procedimento garante a durabilidade dos componentes como partes de um novo sistema.” (EDWARDS; BENNETT, 2003 apud MACEDO, 2011, p.53).

Projetar, tendo em vista o ciclo de vida das edificações, leva ao planejamento desde o projeto inicial do que acontecerá aos componentes da edificação ao final da sua vida útil. Pensar na futura desmontagem possibilita a solução de estratégias para reutilização, reparo, manutenção ou substituição desses, contribuindo para ampliar a vida útil da edificação como um todo.

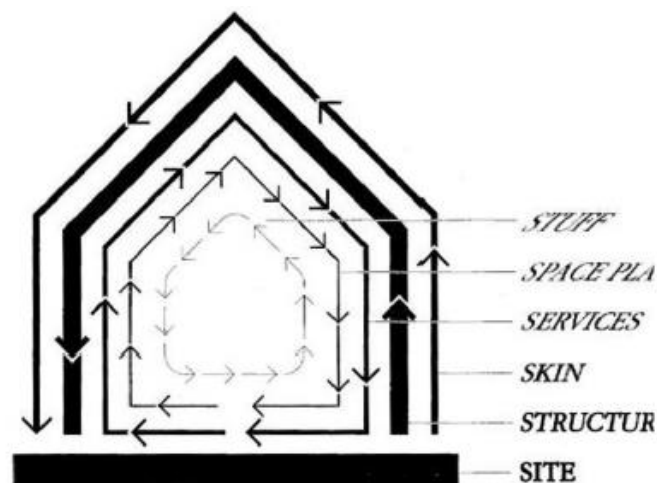
O baixo potencial de adaptabilidade dos espaços construídos à necessidade de seus usuários tem resultado em um estoque de edifícios vagos e na demolição prematura de edifícios. Isso se deve à forma como são construídos, conforme citado a seguir:

Eles não são construídos para uma vida longa por conceito de modernização e adaptabilidade às atividades dinâmicas sociais, econômicas e climáticas, mas para a demolição. Seus sistemas e materiais não são projetados e reutilizados para outras aplicações úteis, mas como futuro desperdício. (DURMISEVIC, 2016, p.88)

Conforme Durmisevic (2016), Jhon Habraken introduziu em 1960 os princípios da “construção aberta” ao definir duas camadas “principais de tempo no prédio como suporte e preenchimento”. “Mais tarde, Duffy aumentou o número de camadas para *Shell, Services, Scenery e Set* (‘Casca’, Serviços, Cenário e decoração); e Brand, em 1994, definiu seis camadas de mudança. ” (DURMISEVIC, 2016, p.90)

“Um prédio não é algo que você termina. Um prédio é algo que você começa” (BRAND, 1994). Conforme Nordby (2009), o livro de Stewart Brand, *How buildings learn*, representa um marco para o planejamento da vida útil dos edifícios, estimulando que esses sejam planejados não como um objeto acabado e estático, mas como um sistema dinâmico. A sua principal contribuição refere-se à abordagem do edifício contendo diferentes camadas que estão sujeitas a diferentes graus de durabilidade.

Figura 8 – Diagrama baseado em BRAND, 1997



Fonte: BRAND, 1994 apud NORDBY, 2009

Baseando-se no diagrama de Brand (1994), a edificação pode ser dividida em diferentes camadas de acordo com os diferentes tempos de vida útil, conforme apresentado a seguir:

- **Stuff** (mobiliários e objetos) – mudam diariamente ou mensalmente
- **Space Plan** (paredes internas, tetos, pisos, portas) – mudam a cada 3 – 30 anos, dependendo da função da construção;
- **Services** (fiação, encanamento, aquecimento e ventilação) – mudam a cada 5 - 25 anos;
- **Skin** (isolamento e revestimentos da fachada) – mudam entre 20-50 anos;
- **Structure** (Estrutura) – de 30 a 300 anos;
- **Site** (Terreno) – Considerado eterno.

Ao abordar as diferentes camadas da construção, por meio de suas particularidades, tem-se o DfD desempenhando a sua principal função: resolver as incompatibilidades entre vida útil e vida técnica dos componentes da construção, conforme citado a seguir:

Esforçando-se para capturar o valor incorporado no estoque existente do edifício, o objetivo é eliminar a incompatibilidade entre a vida útil e a vida técnica dos componentes do edifício. O material de construção recuperado pode, então, reentrar no metabolismo da indústria da construção independentemente do tipo e da função da construção. (NORDBY, 2009, p.22)

Por exemplo, camadas com maior necessidade de troca precisam ser pensadas prevendo estratégias para sua substituição e reparo. Se o componente tem a sua vida útil mais longa do que a camada em que ele é empregado, torna-se desejável que ele possa ser reutilizado outras vezes, até concluir a sua vida útil técnica.

A análise do tempo sobre os diferentes sistemas e componentes da construção civil representa uma significativa contribuição para a sustentabilidade. Avaliar a vida útil de um produto estimula o rompimento do planejamento das construções sob uma visão de custo imediatista, permitindo prever o comportamento de um componente ao longo de toda sua vida útil e as estratégias necessárias para futuro reuso e reciclagem.

Durmisevic (2016) estabelece diferentes cenários para estudo da relação entre a vida útil dos componentes e materiais aplicados às diferentes camadas da construção. Em

um primeiro cenário, a vida útil técnica é menor que a vida útil de serviço; no segundo cenário a vida útil técnica e de serviço são iguais; e no terceiro cenário a vida útil técnica é maior que a vida útil de serviço. Ao fazer essa prospecção de cenários é possível prever estratégias que facilitem o reparo, manutenção e substituição dos componentes, ou facilitar que esses possam ser reutilizados, remanufaturados ou reciclados. Em ambos os cenários, o projeto para desmontagem colabora tanto para a vida útil dos componentes quanto das edificações.

“A mentalidade de vida ambientalmente justificável concentra-se no DfD para a razão da recuperabilidade do material, que em muitos casos trará ganhos, embora nem sempre seja um ganho econômico dentro da situação de hoje” (NORDBY, 2009, p.52). Do ponto de vista da vida ambientalmente justificável, componentes com alto impacto ambiental de produção são justificáveis quando possuem uma longa vida útil. Mas para isso, é necessário prever que esses possam ser reutilizados em novas vidas, para o caso de caso a sua vida útil técnica ser maior que a sua vida útil de serviço. Enquanto isso, materiais com baixo impacto ambiental empregados em camadas da construção com curtos ciclos de utilização também podem ser desejáveis.

Pensar na vida útil das camadas da construção contribui para o rompimento do pensamento a curto prazo, mas ainda representa um desafio para implementação. Isso porque um dos grandes problemas no setor da construção refere-se ao pensamento imediatista, causado pela falta de responsabilidade expandida dos seus produtores. A entrega do edifício como produto acabado faz com que construtores se preocupem apenas com o investimento inicial, desprezando como esses componentes e sistemas se comportam ao longo do tempo.

3.4 RESÍDUOS

“A questão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) tem sido amplamente discutida no Brasil pela alta taxa de geração, representando cerca de 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanos coletados” (MARQUES NETO, 2005 *apud* CARDOSO; GALATTO; GUADAGNIN, 2014, p.2). A busca pela sustentabilidade no setor passa pela necessidade de redução desses resíduos. “Dentro da concepção de desenvolvimento sustentável estabelecida pela Agenda 21, reduzir e utilizar os RCC e subprodutos

aparecem como tarefas fundamentais à sociedade atual. ” (SIDUSCON MG, 2014, p.15)

Resíduos da construção civil podem ter diferentes nomenclaturas - Resíduo da Construção e Demolição (RCD); Resíduo da Construção Civil (RCC); resíduos sólidos da construção civil (RSCC). No Brasil, a resolução do CONAMA Nº 307/02 (alterada pela 448/12) “estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil” (BRASIL, 2002, p.1). Sua contribuição refere-se à classificação dos resíduos da construção conforme sua tipologia, como forma de auxiliar a gestão desses resíduos. A resolução também compartilha a responsabilidade entre os diferentes integrantes da cadeia produtiva da geração desses resíduos: fabricantes de materiais, pequenos e grandes geradores desses resíduos e o poder municipal.

Quadro 2 - Classificação Resíduos da Construção Civil baseado na Resolução do Conama 307/02 (alterada pela 448/12).

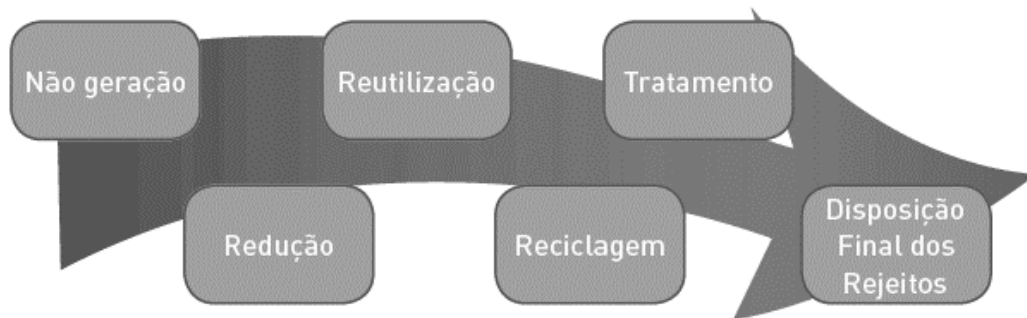
CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
CLASSE A	são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras
CLASSE B	são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
CLASSE C	são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
CLASSE D	são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: BRASIL, 2002 adaptado pela autora.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, LEI 12.305/10, reforça a necessidade de gestão e planejamento desses resíduos, podendo-se destacar aqui a hierarquia desejável para os resíduos: “não geração, redução, reutilização, reciclagem e

tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. ” (BRASIL, 2010)

Figura 9 - Hierarquia das ações de Manejo de Resíduos segundo a Lei 12.305/10



Política Nacional de Resíduos Sólido - LEI 12.305/10 - Art. 9º.

Fonte: SIDUSCON MG, 2014

“Estimativas indicam que o lixo resultante da construção, manutenção e demolição de casas e edifícios representa de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos. ” (FINEP, 2007, p.17). “Em São Paulo, estima-se a geração de 17 mil toneladas/dia de resíduos, sendo que 30% vêm da construção formal e o restante da informal” (CARELI, [201_]). Dados presentes no relatório do SIDUSCON/MG reforçam que:

A autoconstrução e as pequenas reformas feitas com contratação de pequenos empreiteiros são responsáveis por grande parte dos RCC nos Municípios. O transporte e o descarte inadequado destes resíduos é um grande problema das cidades. O pequeno gerador é responsável pela maior parte dos resíduos de construção civil nas grandes cidades. (SIDUSCON MG, 2014, p.13)

Os dados mostram problemas associados à construção civil no Brasil, como a informalidade e a baixa racionalidade do sistema construtivo. Sobretudo, é preciso destacar o alto impacto ambiental resultante do baixo potencial de adaptação do sistema construtivo difundido no país. No entanto, a relação entre a geração de resíduos da construção civil e o baixo potencial de adaptação dos edifícios contemporâneos é um problema global, relacionado diretamente à forma de projetar essas edificações.

“O nível mais alto da hierarquia é considerado a manutenção, porque o cuidado frequente evita que o edifício se deteriore com um mínimo de impacto ambiental” (BRAND, 1994). Prever estratégias para facilitar a adaptação dos edifícios, as

necessidades dos usuários e estratégias de manutenção são medidas para ampliar a vida útil das edificações, diminuindo a geração de resíduos.

“A reutilização de um componente de construção tem a vantagem adicional de demandar menos energia ou nova entrada de recursos virgens em relação a reciclagem”. (CROWTHER, 2005, p.4). A reutilização consiste em aproveitar o material ou componente em sua forma original com o mínimo de processamento possível, enquanto que a reciclagem incorpora esses materiais na produção de novos produtos.

A LEI 12.305/10 tem como um de seus objetivos “o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania” (BRASIL, 2010). Existem iniciativas para promover a reutilização de componentes da construção, mas ainda são incipientes. O reuso apesar dos benefícios ambientais - ao reduzir a necessidade de extração de matéria-prima, consumo de energia e emissões de gases poluentes, são percebidos pelos consumidores como sendo de qualidade inferior.

A dificuldade de aceitação dos componentes reutilizados não é uma dificuldade referente apenas ao Brasil, mas um reflexo dos padrões de consumo do modelo econômico atual. Entretanto, é crescente o público que preza o consumo consciente e a sustentabilidade de suas ações e de empresas. Como exemplos do incentivo ao reuso de componentes da construção, podem ser citados: Plataforma Web OPALIS (www.opalis.be): uma base de dados on-line de fornecedores de produtos de construção recuperados; Harvestmap (www.oogstkaart.nl): uma ferramenta desenvolvida para recolher informações sobre edifícios que serão demolidos e colocar a informação numa plataforma aberta; Resource Nederland (www.resourcelimburg.nl): disponibiliza materiais que foram retirados de edifícios e os comercializa por meio do site. Esses sites se destacam por permitir que qualquer consumidor tenha acesso à informação sobre o produto, quantidade e localização desse.

Diferente disso, as estratégias de reciclagem parecem ser mais aceitas pelo mercado. Esses materiais e componentes são utilizados como matéria-prima na geração de

novos produtos. O principal sistema de bolsa de resíduos no Brasil, o Sistema Integrado de Bolsa de Resíduos (SIBR), permite que apenas empresas tenham acesso a plataforma, reforçando que as estratégias de reciclagem sejam mais vantajosas do que quando comparadas ao reuso. A Associação Brasileira de Resíduos da Construção Civil e Demolição, ABRECON, apresenta os produtos resultantes da reciclagem dos resíduos da construção, sendo que a maioria deles está sujeita ao processo de *downcycle*.

Cabe destacar que o relatório apresentado pela SIDUSCON/MG (2014) aborda a “Demolição Seletiva” como uma forma de reduzir os resíduos da construção civil. Apresenta-se como definição de Demolição Seletiva:

Processo de desmonte de uma construção visando a máxima reutilização dos seus materiais e componentes construtivos evitando, assim, a geração de resíduos, característica do processo usual de demolição. Os produtos da demolição seletiva são materiais que podem ser usados ou reconicionados como bens de valor. (SIDUSCON MG, 2014, p.23)

Apresenta-se ainda a relação entre o projeto e o sistema construtivo adotado como potencializadores da construção seletiva “estruturas de madeira, metálica, elementos pré-moldados, acabamentos com materiais nobres, vidros temperados, elementos metálicos, peças arquiteturais, dentre outros.” (SIDUSCON MG, 2014, p.23)

É preciso destacar que a demolição seletiva sem previsões em projeto e mudanças na forma de construir têm pouco potencial para a transformação do quadro existente, auxiliando no gerenciamento de resíduos, mas tendo pouca influência sobre a não geração desses. Por isso, acredita-se que as abordagens do Projeto para Desmontagem são mais condizentes com o objetivo principal de não geração de resíduos.

3.5 LEGISLAÇÕES

Um componente importante para regular a indústria da construção civil refere-se a questões ligadas às governanças. Leis e normas possuem o potencial de fomentar e direcionar estratégias para o atendimento aos requisitos propostos, assim como a falta de regulações pode negligenciar um problema existente.

Normas técnicas, códigos de obras e planos diretores têm “um enorme potencial de incentivar e orientar o setor a adotar soluções mais sustentáveis, um aspecto que ainda não foi devidamente explorado [no Brasil].” (AGOPYAN; JOHN, 2011). “Políticas públicas, inclusive fiscais, incentivam ou desestimulam soluções e produtos no mercado. No entanto, em um país onde boa parte da economia é informal, o poder da influência desse tipo de política e normalização é relativo” (idem, 2011). Os selos e certificações também representam um incentivo à adoção de práticas para promover a sustentabilidade na construção, mas grande parte deles tem o seu uso voluntário.

Sistemas econômicos também são uma forma eficiente para controlar a cadeia produtiva, seja por meio de incentivos fiscais ou da cobrança de taxas e impostos mais severos aos que não atendam aos requisitos previstos pela legislação. Como exemplo, pode-se citar o fato de que as altas taxas sobre a disposição de resíduos da construção civil em países da União Europeia fizeram com que pesquisas sobre o DfD fossem estimuladas e contribuíram para que a taxa de reciclagem desses resíduos melhorasse significativamente.

Devido às características da indústria da construção civil, a garantia da sustentabilidade depende de uma abordagem de ciclo de vida, integrando, dessa forma, os diferentes envolvidos nas fases pré-operacional, operacional e pós-operacional. Dessa forma

[...] tornou-se necessária a criação de padrões normativos que definissem claramente métodos de previsão da vida útil e durabilidade dos materiais e componentes, a fim de orientar as etapas de concepção, projeto, execução e utilização da edificação (SANTOS, 2010 *apud* FREITAS, 2017, p.69).

Sabendo que para promover a sustentabilidade na construção civil é necessário pensar estratégias que integrem medidas ao longo de todo ciclo de vida da edificação. Acredita-se que a instituição da NBR 15.575, conhecida como a Norma de Desempenho para Habitações, possa ser uma contribuição importante para a difusão de abordagens sobre a durabilidade e o ciclo de vida das edificações no Brasil. Apesar de algumas limitações, acredita-se que a norma represente uma mudança no setor por designar responsabilidades aos diferentes atores envolvidos no ciclo de vida das edificações.

Segundo a Norma, para que uma edificação tenha um desempenho adequado deve-se buscar junto ao **usuário** a captação dos requisitos de desempenho. Com base nestes requisitos qualitativos (segurança, resistência, conforto, boa estética, etc.) deve-se estabelecer os critérios de desempenho (estabilidade estrutural, resistência ao fogo, conforto térmico e acústico, durabilidade, etc) por meio de resoluções normativas prescritivas vigentes. (POSSAN; DEMOLINER, 2005, p.5)

A NBR 15.575, ao estabelecer responsabilidades aos diferentes atores envolvidos ao longo do ciclo de vida das edificações, influencia as questões de durabilidade e desempenho do ambiente construído no país. A norma descreve incumbências designadas aos diferentes intervenientes, fazendo com que as edificações possam cumprir a vida útil prevista, conforme apresentado no quadro abaixo:

Quadro 3 – Intervenientes e incumbências descritas na NBR 15.575:2013

Intervenientes	Incumbências (responsabilidades)
Fornecedor de insumo, material, componentes e/ou sistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar o desempenho de acordo com a NBR 15575 (2013) e fornecer produtos que atendam pelo menos a VUP mínima obrigatória. • Informar em documentação técnica específica as recomendações para manutenção corretiva e preventiva necessárias para que a VUP seja atingida
Projetistas	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer a Vida útil de projeto de cada sistema da NBR 15575 (2013) • Especificar materiais, produtos e processos que atendam o desempenho mínimo estabelecido na NBR 15575 (2013), com base em normas prescritivas vigentes e com base no desempenho declarado pelo fabricante dos produtos a serem empregados no projeto.
Construtor e incorporador	<ul style="list-style-type: none"> • É da incumbência do incorporador, de seus prepostos e/ou dos projetistas envolvidos, dentro de suas respectivas competências, e não da empresa construtora, a identificação dos riscos previsíveis na época do projeto, devendo o incorporador, neste caso, providenciar os estudos técnicos requeridos e alimentar os diferentes projetistas com as informações necessárias. • Elaborar o Manual de operação, uso e manutenção, ou documento similar, atendendo a NBR 14037 (2011) e NBR 5674 (2012), o qual deve ser entregue ao proprietário da edificação ou unidade habitacional.
Usuário	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar as ações de manutenção de acordo com o estabelecido na NBR 5674 (2012), recomendações técnicas das inspeções prediais e no Manual de uso, operação e manutenção.

Fonte: FREITAS, 2017.

Cabe destacar que as medidas se limitam até a fase de uso das edificações, não ficando claro sobre quem seja o interveniente responsável pela destinação esperada

no final da vida útil do edifício ou de seus sistemas. Ao mesmo tempo, ao designar aos projetistas a responsabilidade de estabelecer a vida útil de projeto (VUP) de cada sistema estabelecido pela NBR15.575, é necessária a previsão sobre o que deveria acontecer a esses sistemas e componentes no final de sua vida útil (VU).

A **vida útil (VU)** é definida pela Norma como:

Período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam as atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos nesta Norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção [...]. (ABNT, 2013, p.10)

Enquanto a **vida útil de projeto (VUP)** é definida pela norma como:

Período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção [...] (ABNT, 2013, p.10)

A Norma estabelece diferentes sistemas e diferentes valores mínimos para VUP, conforme mostra a tabela 1. Ao estabelecer diferentes prazos para os diferentes sistemas da construção, também se considera a necessidade de prever as diferentes taxas de rotatividade desses sistemas para garantir a durabilidade dessas construções.

Tabela 1 – Vida Útil de Projeto (VUP), conforme a NBR 15575-1 (2013)

Sistema	VUP mínima/ anos
Estrutura	≥50
	Segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥13
Vedação vertical externa	≥40
Vedação vertical interna	≥20
Cobertura	≥20
Hidrossanitário	≥20

Fonte: ABNT, 2013.

Esses diferentes sistemas estabelecidos pela Norma brasileira estão sujeitos ao atendimento de critérios referentes ao desempenho, baseados na Norma ISO 6241:1984 - *Performance standards in building -- Principles for their preparation and factors to be considered* e atualizados para realidade brasileira no contexto da realidade de Habitações de Interesse Social (4).

Quadro 4 – Critérios de desempenho

ITENS	ISO 6241 (1984)	NBR 15575-1 (2013)
1	Estabilidade estrutural e resistência a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas	Desempenho estrutural
2	Resistência ao fogo	Segurança contra incêndio
3	Resistência à utilização	Segurança no uso e na operação
4	Estanqueidade	Estanqueidade
5	Conforto higrotérmico	Desempenho térmico
6	Conforto acústico	Desempenho acústico
7	Conforto visual	Desempenho lumínico
8	Durabilidade	Durabilidade e manutenibilidade
9	Higiente	Saúde, higiente e qualidade do ar
10	Conforto tátil	Funcionalidade e acessibilidade
11	Conforto Antropométrico	Conforto tátil e antropodinâmico
12	Qualidade do ar	Adequação ambiental
13	Custos	

Fonte: FREITAS, 2017 adaptado pela autora.

Não se pretende aqui avaliar o tempo proposto para cada sistema estabelecido pela Norma, devido ao contexto que as Habitações de interesse social no Brasil estão inseridas - de garantir um desempenho mínimo dessas edificações, mas destacam-se a contribuição do pensamento de ciclo de vida e a distribuição de responsabilidades para os diferentes atores envolvidos na construção civil. Também, destaca-se a falta de previsibilidade sobre ações de substituição e reparo desses sistemas que possuem a vida útil menor que a vida útil prevista para edificação.

3.6 ECODESIGN

O desenvolvimento industrial e a ascensão do consumo em massa experimentado nos anos 70 despertaram iniciativas de movimentos ambientalistas que buscavam a redução de impactos ambientais causados pela atividade industrial. Esses movimentos prezavam, sobretudo, pela redução do consumo em massa e incentivavam o reaproveitamento.

No entanto, o conceito de *ecodesign* surgiu na década de 1990, conforme citado a seguir:

A ideia do *ecodesign* surgiu na década de 1990, quando a indústria eletrônica dos EUA procurava minimizar o impacto no meio ambiente decorrente de sua atividade. A Associação Americana de Eletrônica (*American Electronics Association*) formou uma força-tarefa para desenvolver projetos com preocupação ambiental e providenciar uma base conceitual que beneficiasse primeiramente os membros da associação. Desde então, o nível de interesse pelo assunto cresceu e os termos *ecodesign* e *Design for Environment* passaram a ser mencionados em programas de gestão ambiental. (BORCHARDT et al., 2007, p.344).

Fortemente influenciado pelos conceitos da Ecologia Industrial, o *ecodesign* buscava, entre outros, a aplicação do biomimetismo à produção industrial. Ou seja, assim como os sistemas de produção da natureza, nos quais o que é descartado por um organismo serve de alimento a outro, buscava-se esse funcionamento nas atividades industriais.

“A Ecologia Industrial pretende melhorar as vias metabólicas de processos e uso de materiais, desmaterializando a produção industrial e criando ecossistemas industriais de fechamento de ciclo. ” (NORDBY, 2009, p.18). Ou seja, busca a mudança do pensamento de consumo e produção linear, ou do “Berço ao Túmulo/*Cradle to Grave*” para um modelo de ciclo fechado, ou do “Berço ao Berço/*Cradle to Cradle*” (C2C).

Papanek (1995), em seu livro *The Green imperative: Ecology and Ethics in Design and Architecture*, afirma que o *ecodesign* não deve ser algo tratado como uma vertente do design de produtos, e sim como um pré-requisito para o desenvolvimento de produtos (situação pertinente à sustentabilidade na arquitetura contemporânea), conforme exposto no trecho a seguir:

O próprio Papanek reconhece em seu livro *The Green imperative: Ecology and Ethics in Design and Architecture* publicado em 1995, anos após a fase do *ecodesign* como projetos alternativos, que ‘a preocupação com o ambiente não deve ser encarada como uma moda, à semelhança do que sucedeu no início dos anos 70’. (PAPANEK, 1995, p.11 *apud* ASHTON; NAIME; HUPFFER, 2012, p.1516).

Conforme Ashton, Naime, Hupffer (2012), Papanek (1995) dividiu o processo de desenvolvimento de produto em seis etapas (Escolha de Materiais; Processos de fabricação; Embalagem; Produto acabado; Transporte; Geração de Resíduos Sólidos). Dessa forma, o *ecodesign* desenvolve uma relação intrínseca com a

avaliação do ciclo de vida. Pensar no ciclo de vida desses produtos passa a englobar não apenas o processo de produção, mas também questões como matéria-prima, embalagem, transporte e disposição final desses resíduos. Com isso, soluções como a logística reversa e a garantia estendida do produtor apoiam o funcionamento de uma economia circular.

Outro aspecto do *ecodesign* relaciona-se com o processo de desmaterialização. Esse processo busca reduzir a quantidade de material e/ou tamanho dos produtos, ou ainda projetar serviços ao invés de produtos. Dessa forma o consumidor passa a ter o direito de uso, mas não detém sua propriedade, permitindo que o fabricante seja responsável pelo produto ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Diferentemente dos produtos eletrônicos e automobilísticos, por exemplo, o *ecodesign* aplicado a construção civil geralmente tem aparecido ligado à escolha de produtos, mas não tem tido a abrangência necessária para o funcionamento da economia circular. Muito dessa questão se deve à falta de coordenação na transmissão de responsabilidades entre os diferentes atores envolvidos na construção civil.

Cabe destacar que quando Buckminster Fuller projetou “Dymaxion House” em 1941, ele propôs que as pessoas adquirissem o direito de uso das suas casas enquanto ele continuaria tendo a propriedade delas, garantindo serviços de manutenção, reparo e substituição. “Fuller estava apresentando noções agora mais reconhecidas de manejo do produto e responsabilidade estendida do produtor, que dão fortes incentivos para o design para vida útil e valor máximo recuperável após o uso. ” (NORBDY, 2007, p.17)

Na abordagem de Thompson (1999), tem-se o DfD como um dos princípios do *ecodesign* (5). Nota-se que, apesar de serem apresentadas estratégias específicas para o DfD, esse se relaciona diretamente com outras estratégias genéricas, como para estender a vida útil do produto e para reciclagem de materiais, demonstrando a sua relevância para o *Design for Environment*.

Quadro 5– Estratégias genéricas e princípios do Ecodesign

ESTRATÉGIAS GENÉRICAS	PRINCÍPIOS DO ECODESIGN
Administração dos materiais	Minimizar a quantidade de material em cada parte Estender a vida útil Especificar materiais reciclados a qualquer oportunidade possível Especificar materiais energeticamente eficientes na manufatura e no serviço Especificar materiais que poluam minimamente durante sua extração, manufatura, uso e disposição Especificar materiais que não degradem os recursos naturais Especificar materiais de modo que seja improvável de serem afetados por nova legislação que restringiria sua introdução, manufatura ou disposição
Utilização de energia	Minimizar o consumo de energia Minimizar as perdas de energia Escolher fontes sustentáveis de combustível
Estender a vida útil do produto	Criar documentação para reparo e manutenção adequados para os usuários Assegurar que o ciclo de vida seja ambientalmente ótimo Substituir partes deterioradas Identificar as deficiências inerentes ao produto e re-projetar para evitar falhas prematuras Identificar perigos potenciais do produto no final da sua vida útil e minimizá-los Utilizar princípios de DfD para facilitar a re-manufatura e reciclagem das partes
Design para Desmontagem	Minimizar a variedade de materiais no produto Consolidar partes Reduzir o número de operações de montagem Especificar materiais compatíveis Simplificar e uniformizar encaixes Identificar pontos de separação entre partes Especificar adesivos a base de água Incorporar esquema de identificação de materiais nas partes para simplificar a identificação
Reciclagem dos materiais	Minimizar o número de materiais diferentes no produto Selecionar materiais de fácil reciclagem Assegurar facilidade de desmontagem Facilitar a identificação dos materiais

Fonte: THOMPSON, 1999 *apud* GARCIA, 2007.

3.6.1. DESIGN FOR EXCELLENCE (DfX)

A relação entre o *ecodesign* e o *Design for Environment* (DfE) é bastante permeável e esses conceitos podem ser intercambiáveis. Entretanto é preciso destacar as diferenças entre essas abordagens.

O DfE é uma das variáveis do *Design for Excellence* ou *Design for X* (DfX). O termo *Design for X* foi apresentado e utilizado pela primeira vez em 1996. “O trabalho desenvolvido por James G. Bralla no livro intitulado *Design for Excellence*² foi uma das primeiras aparições do termo DFX. ” (MELO; MERINO; E.; MERINO, J., 2017, p.90)

“O DFX é uma metodologia desenvolvida para estabelecer regras, procedimentos e métodos, de modo a guiar os projetistas para um produto que atenda todos os requisitos esperados pelo mercado consumidor” (MELO; MERINO, E.; MERINO, J., 2017, p.91). Em um contexto de competitividade de mercado, o DfX tornou-se uma metodologia de design para obter produtos mais eficientes sobre os mais diferentes aspectos. Diversos autores apontam para diferentes quantidades de X-habilidades (X-abilits), sendo apresentadas no quadro 6.

As diferenças sobre a aplicação dos métodos do DfX e o *ecodesign* se devem ao fato que as diferentes X-habilidades sobre as quais um produto pode ser desenvolvido podem ocorrer em uma etapa específica do seu ciclo de vida, enquanto o *ecodesign* está diretamente ligado a uma abordagem completa de ciclo de vida dos produtos. No entanto, o *Design for Environment* é tratado como um ‘grupo especial’ dentro do DfX, pois as ferramentas pertinentes a essas análises “pretendem otimizar certa virtude do produto em todas as fases do seu ciclo de vida [...], enquanto que outras ferramentas de DFX objetivam otimizar o produto com respeito a certa fase da sua vida. ” (GARCIA, 2007, p.47)

Entre essas abordagens específicas para o DfE, destaca-se o DfD. Apesar de seu impacto estar relacionado com o final da vida útil do produto, essa ferramenta só se torna efetiva com a adoção de suas estratégias em projeto, o que reflete a sua abordagem de ciclo de vida.

² MELO; MERINO, E.; MERINO, J., (2017) cita como outros trabalhos relevante para assunto: George G. Q. Huang autor do livro “Design for X: Concurrent engineering imperatives” também publicado em 1996, além de outros trabalhos como Huang e Mak (1997); Huang e Mak (1998) e Huang, Lee e Mak (1999) e o trabalho desenvolvido por Pahl et al (2007) intitulado “Engineering Design: A systematic Approach”.

Quadro 6 – Possíveis X-habilidades listados por Back et al (2008)

ITEM	NOME EM PORTUGUÊS	NOME EM INGLÊS
1	Projeto para Estética	Design for Aesthetics
2	Projeto para Montagem	Design for Assembly
3	Projeto para Configuração	Design for Configuration
4	Projeto para Custo	Design for Cost / Profit DFC
5	Projeto para Meio Ambiente, Reciclagem e Desmonte	Design for Environment/Recycling/Disassembly
6	Projeto para Inspeção	Design for Inspectability
7	Projeto para Manutenibilidade	Design for Maintainability / Service / Repair
8	Projeto para Manufatura	Design for Manufacturing
9	Projeto para Modularidade	Design for Modularity
10	Projeto para Embalagem	Design for Packaging / transportability
11	Projeto para Precisão	Design for Precision
12	Projeto para Confiabilidade	Design for Reliability
13	Projeto para Robustez	Design for Robustness
14	Projeto para Segurança e Responsabilidade Social	Design for Safety / Liability DFS
15	Projeto para Normalização	Design for Standards
16	Projeto para Apoio Logístico	Design for Supportability
17	Projeto para Teste	Design for Testability
18	Projeto para Uso Amigável/ Ergonomia	Design for Use / Ergonomics / Human Factors

Fonte: Adaptado de MELO; MERINO, E.; MERINO, J., 2017.

3.6.2. DESIGN FOR DISASSEMBLY (DfD)

O projeto para desmontagem prevê estratégias para que, ao final da vida útil de um produto, suas partes possam ser facilmente separadas, facilitando a sua reutilização, remanufatura e reciclagem. Para isso, o processo de criação precisa abordar o ciclo de vida do produto e suas partes.

Pode-se compreender o DfD como uma “importante ferramenta para reduzir os danos ambientais gerados pela fabricação de produtos, pois facilita a manutenção, reutilização e reparação, além de contribuir com o aumento da vida útil.” (KLOHN; FERREIRA, 2009 *apud* MATARRAIA, 2013, p.67). Permitir que um componente seja reutilizado gera benefícios ambientais e econômicos.

O contexto de surgimento do DfX fez com que as investigações e aplicações sobre esses conceitos fossem amplamente difundidas na indústria de eletrônicos e

automóveis, tornando-se parte do processo de projeto desses produtos. Matarraia (2013) faz uma compilação dessas estratégias de projeto incorporadas ao design de produtos eletrônicos e automobilísticos, conforme o quadro a seguir:

Quadro 7 - Orientações para o DfD

Tornar o processo de desmontagem mais ágil
Considerar maneiras simples de desmontar (sem força e ferramentas)
Aumentar a capacidade de reciclagem e reutilização
Projetar sistemas estruturais que facilitem a desmontagem
Utilizar estruturas simples
Utilizar juntas que facilitem o processo
Considerar os encaixes que facilitam a desmontagem
Expandir a vida útil dos materiais
Prevenir que os materiais se tornem tóxicos ou danosos
Não utilizar materiais tóxicos
Deixar claro e identificar os pontos de desencaixe
Considerar a relação entre o custo e tempo da desmontagem
Considerar custo do desmonte
Tornar a reciclagem economicamente viável
Tornar o processo de desmontagem mais econômico
Identificar o tempo ideal da desmontagem

Fonte: Adaptado de MATARRAIA (2013).

Essas estratégias de design facilitam o processo de desmontagem. Esses conceitos estão geralmente relacionados com o tipo de conexões, materiais, viabilidade econômica, acesso e informação.

O tempo também é um ator muito importante no conceito do Projeto para o Desmonte e está diretamente ligado ao custo do processo, pois é necessário determinar o estágio ideal de desmontagem, quando todos os componentes economicamente valiosos são recuperados. (MATARRAIA, 2013, p.68)

As considerações sobre o que acontece ao final da vida útil do edifício e suas partes, frequentemente não são abordadas no projeto das edificações. Ao final da vida útil

dessas construções o resultado final acaba sendo a demolição parcial ou total do edifício. É preciso estabelecer as diferenças entre a desmontagem e a demolição das edificações.

A Demolição pode ser compreendida como um processo em que o edifício é destruído sem buscar a recuperação de seus componentes. Essa atividade tem como resultado a geração de Resíduos da Construção Civil (RCD) que poderão ter como destinação a deposição em aterros, incineração ou transformação em passivos que possam servir para reciclagem.

[A demolição pode ser compreendida como] [...] o processo pelo qual um edifício é desmanchado com pouca ou nenhuma tentativa para recuperar qualquer das suas partes constituintes para reutilização, embora alguns produtos da demolição possam ser reciclados. (MACHADO, 2014 *apud* FREITAS, 2017, p.67)

Diferentemente da demolição, a desmontagem prevê que essas partes da construção possam ser facilmente desmontadas facilitando manutenção, reparo, substituição e sua futura reutilização. Colabora-se para ampliar a vida útil da edificação e reduzir o impacto ambiental negativo, por meio da redução da geração de resíduos sólidos e da demanda por matérias virgens.

Segundo Crowther (1999), apesar da complexidade das construções, seria viável adaptar esses conceitos ao mercado da construção civil. “Estratégias semelhantes poderiam ser facilmente adaptadas à indústria da construção civil para facilitar a reutilização futura de materiais e peças de construção.” (CROWTHER, 1999, p.1)

Entretanto, estudos sobre a aplicação do DfD à construção civil apontam que apenas mudanças tecnológicas não são suficientes para permitir a desmontagem das edificações. Devido à complexidade da indústria da construção civil, a aplicação dessas estratégias tem mostrado a necessidade de uma visão sistêmica e abrangente que envolva os diferentes atores desse sistema, que será objeto de análise ao longo do próximo capítulo.

4 DESIGN FOR DISASSEMBLY NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ao contrário do processo de fabricação racionalizado de produtos automobilísticos e eletrônicos, o produto da construção civil esbarra em obstáculos que tornam a aplicação do DfD um desafio, por exemplo: a falta de controle total sobre a produção (vários atores envolvidos ao longo de todo ciclo de vida da edificação); baixa padronização e racionalização do projeto ao processo construtivo; alta complexidade; falta de controle da informação; e o fato de que as partes da construção geralmente estão permanentemente ligadas umas a outras, o que torna seu desmembramento inviável - pela incapacidade de manter a integridade das partes ao separá-las e/ou pelo tempo necessário para isso..

O DfD tem como objetivo o desenvolvimento de produtos prevendo estratégias para facilitar a desmontagem desses e de suas partes ao final de sua vida útil. Ao facilitar a desmontagem do produto, viabilizam-se o reuso e a reciclagem de componentes, ampliando a vida útil desses e da edificação, ao facilitar a manutenção e adaptabilidade, conforme apresentado por Thormark (2001):

A desmontagem tem um papel importante não só permitindo que peças e materiais sejam removidos para reciclagem, mas também para condicionamento, reforma, remanufatura, reparo e serviço do produto e componentes, prolongando assim a sua vida útil. (THORMARK, 2001, p.61)

Entre o final de 1990 e início dos anos 2000, a investigação sobre a aplicação do DfD nas construções foi um tema crescente. Inicialmente, essas investigações foram motivadas pela necessidade de redução dos impactos ambientais negativos da construção civil, sobretudo como uma estratégia para reduzir o volume de resíduos gerados, mas que, com o aprofundamento das investigações, tornou-se uma ferramenta para ampliar a vida útil das construções, conforme apresentado nas citações a seguir:

Crowther (1999, p.1) afirma que “O design para desmontagem é uma estratégia útil que pode ser aplicada em diferentes níveis para aumentar as taxas futuras de reutilização de materiais e componentes. ”

Thormark (2001, p.4) afirma que “Design for Disassembly, DfD, é uma medida importante para alcançar a construção sustentável e requer uma nova abordagem na concepção de edifícios e componentes de construção. ”

Durmisevic (2009, p.135) afirma que “o DfD visa o projeto de estruturas de construção transformáveis feitas de componentes montados em ordem sistemática adequada para manutenção e reconfiguração de suas partes variáveis. ”

Nordby (2009, p.22) afirma que “Design for Disassembly/ Deconstruction (DfD) implica uma otimização de métodos de construção e conexões entre componentes para facilitar reutilização e reciclagem. ”

Rios, Chong e Grau (2015, p.1297) afirmam que “O DfD é uma prática para facilitar os processos e procedimentos de desmontagem através do planejamento e design. Desmontagem é o processo de demolir um prédio, mas restaurar o uso dos materiais demolidos. ”

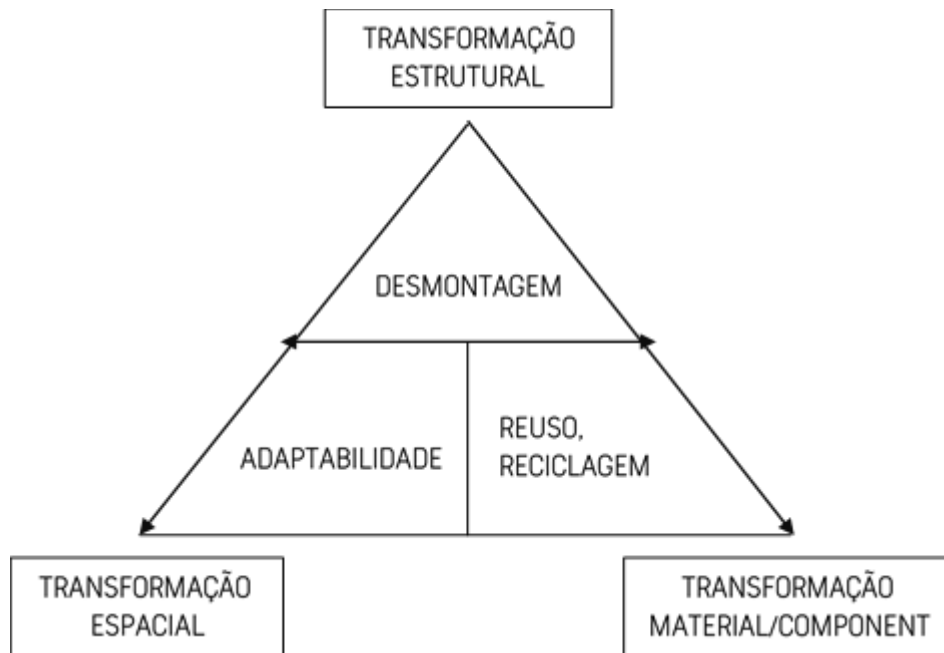
Segundo Yeang (2006) ‘o princípio básico do projeto para a desmontagem (DfD) na construção é alcançar a reutilização contínua e a reciclagem do ambiente construído antes do fim da sua vida útil e, deste modo, influenciar na maneira em que as várias peças e componentes da edificação são montados – juntos, fixos ou conectados. ’ (YEANG, 2006 *apud* FREITAS, 2017, p.20)

Elma Durmisevic (2006) aborda o DfD como sendo o principal componente para o design sustentável, conforme o trecho a seguir:

[...] o nível de capacidade de transformação dos edifícios depende do potencial de desmontagem do edifício e tem uma relação direta com o nível de sustentabilidade de um edifício. Quanto maior a capacidade de transformação significa menor impacto ambiental negativo e, portanto, maior sustentabilidade. (DURMISEVIC, 2006, p.96)

A figura 10 aborda as três dimensões da transformação de edifícios propostas por Durmisevic (2006): Estrutural, Espacial e Material - sendo que a desmontagem é o principal indicador desse potencial de transformação. “Um indicador chave da transformação tridimensional com alto potencial de reutilização nos edifícios reversíveis é a desmontagem. ” (DEBACKER et al., 2016, p.89)

Figura 10 – Diagrama das três dimensões de transformações de edifícios:
Estrutural, Espacial e Material

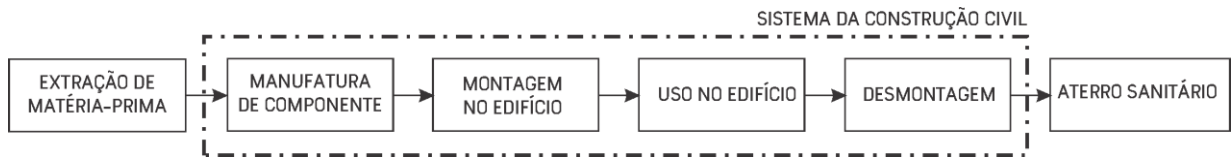


Fonte: Adaptado de DURMISEVIC, 2006.

Ao prever a desmontagem das edificações, almeja-se fechar o ciclo dos materiais e componentes, reduzindo os impactos ambientais provenientes do mercado da construção civil. Além da fase de construção, uma grande demanda de recursos é necessária em obras para reformas, remodelagem e até a demolição total de um edifício. O que torna o problema ainda mais alarmante refere-se à alta obsolescência do estoque de jovens construções, encurtando a sua vida útil e tornando alta a rotatividade do fluxo de materiais.

No modelo padrão da construção civil, tanto os *inputs* quanto *outputs* do ciclo de vida resultam em grande impacto ambiental, o que também pode ser conhecido como um modelo de produção linear ou *cradle-to-grave*. Os impactos ambientais são provenientes da extração de matéria-prima, consumo de energia, emissão de poluentes e geração de resíduos. Esse modelo de produção linear já se mostrou insustentável devido ao consumo de materiais não renováveis e finitos não ser condizente com o crescimento da população e a demanda pelo consumo.

Figura 11 - Sistema Linear, "Cradle to Grave"



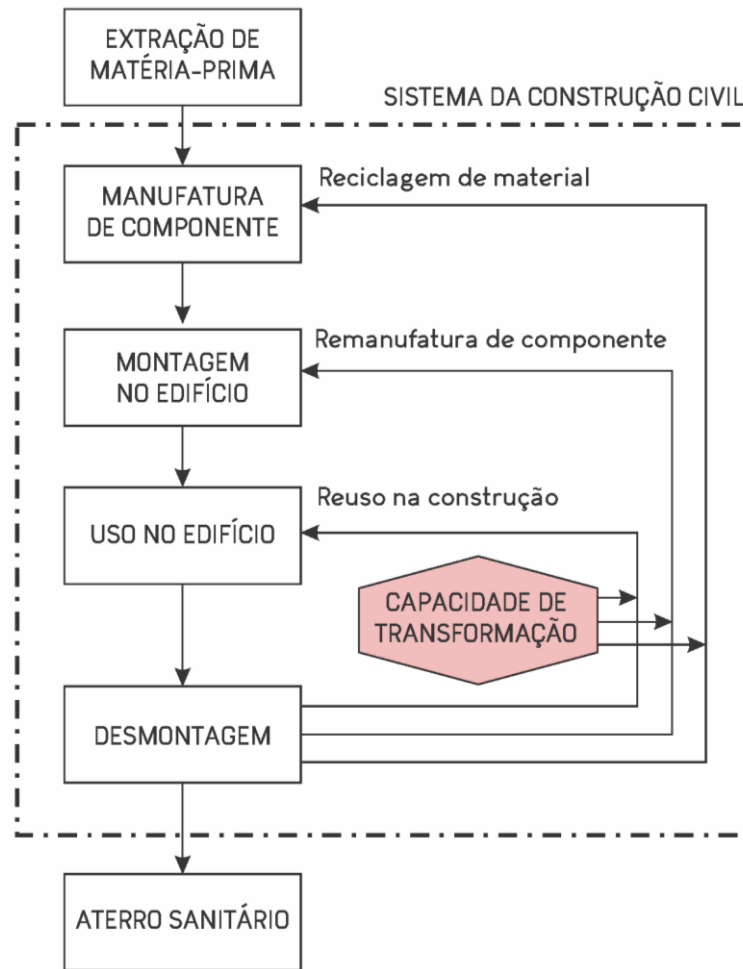
Fonte: Adaptado de CROWTHER, 1999.

Na construção civil, as avaliações de impactos ambientais podem ser divididas nas fases pré-operacional, fase de uso e pós-operacional. A fase pré-operacional refere-se à fase de construção do edifício, em que o grande volume de novos materiais empregados resulta em impactos ambientais na forma de extração de matéria-prima, consumo de energia e emissão de gases poluentes. Na fase de uso da edificação, os principais impactos geralmente analisados referem-se ao consumo energético necessários para iluminação artificial e climatização. No entanto, é preciso destacar a necessidade de avaliação dos impactos resultantes de reparos, remodelações e manutenção realizadas para que os edifícios mantenham o desempenho esperado por seus usuários ao longo da fase de uso. E na fase de pós-uso, a falta de previsão de desmontagem de edifícios resulta em grandes volumes de resíduos, devido à incapacidade de separar as partes, tornando a demolição a alternativa mais viável.

O DfD representa uma ferramenta de projeto que visa fechar o ciclo de materiais, um modelo conhecido também como *cradle to cradle* – que pode ser compreendido como “uma analogia ao metabolismo biológico presente na Natureza, onde ‘desperdício’ é transformado em ‘alimento’”. (RIOS; CHONG; GRAU, 2015, p.1298). Ao chegar ao final de sua vida útil, as partes da construção podem retornar ao ciclo de produção por meio de reuso, remanufatura e reciclagem, reduzindo assim a demanda pela extração de novos recursos naturais.

O DfD influencia diretamente a gestão de resíduos da construção, pois, ao permitir a desmontagem das diferentes camadas da edificação, facilita a reutilização de materiais, impedindo que eles se tornem amontoados de resíduos diversos. “O processo de desconstrução essencialmente altera o processo tradicional de gerenciamento de resíduos. O processo DfD é uma importante estratégia para conservar Matérias-primas.” (RIOS; CHONG; GRAU, 2015, p.1898).

Figura 12 - Sistema da indústria da Construção civil



Fonte: Adaptador de CROWTHER, 1999.

É preciso ressaltar que, apesar de impactar a gestão de resíduos, o DfD só será possível com a previsão da desmontagem ainda em projeto, conforme apresentado a seguir:

Considerações sobre reutilização de materiais não começam quando um edifício chega ao fim da sua vida; melhorar as chances de reutilização de materiais começa quando um edifício é projetado. Começa com a seleção de materiais que são reutilizados ou reciclados (nessa ordem de preferência), e com o projeto completo do prédio com o ciclo de vida em mente. (WEBSTER; COSTELLO, 2005, p.2)

É inegável que permitir que, no futuro, as construções de hoje consigam fechar o ciclo de materiais exige uma grande parcela de responsabilidade dos arquitetos. Ao adotar as estratégias do DfD em projeto, permite-se que os materiais, ao invés de serem levados ao “túmulo”, possam assumir novos ciclos de utilização por meio de reuso, remanufatura e reciclagem, o que Crowther (1999) chamou de “reencarnação dos

materiais”. Dessa forma, prolonga-se a vida útil desses componentes, criando o almejado ciclo fechado de materiais.

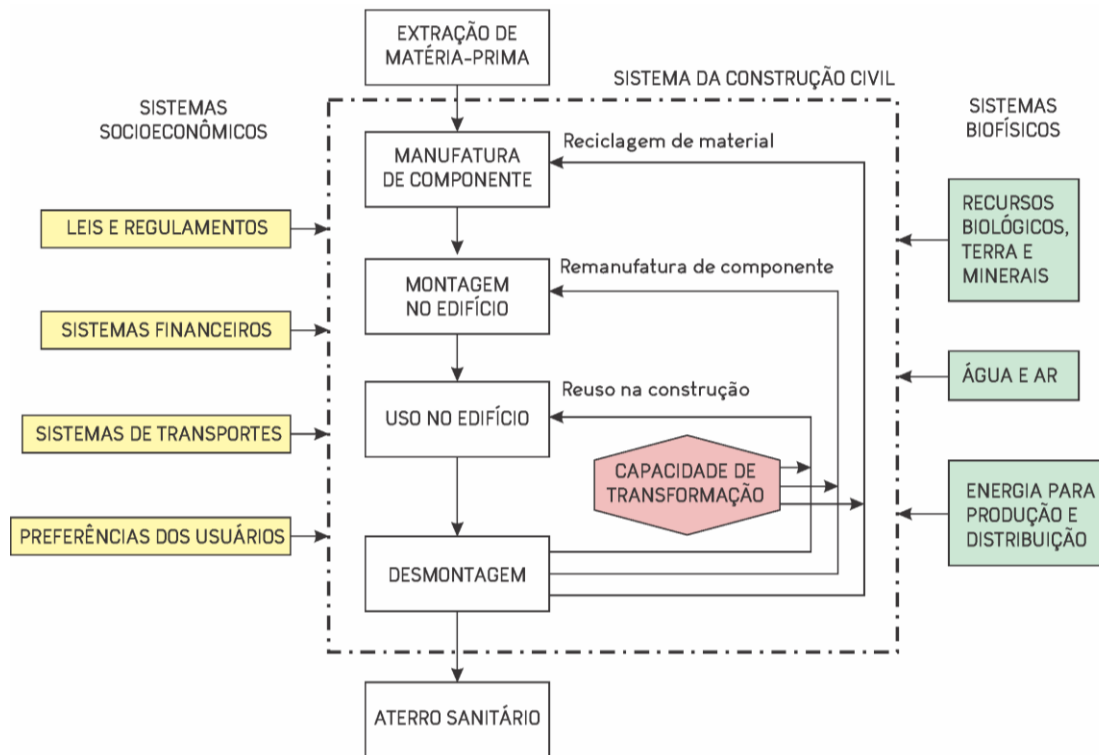
Na revisão bibliográfica realizada, existe um aspecto comum apontado como estímulo para que pesquisas do DfD sejam intensificadas: as legislações rigorosas sobre a disposição de resíduos e as altas taxas sobre os aterros sanitários. Com o aumento do custo sobre a disposição dos RCC novas alternativas sobre o gerenciamento de resíduos e não produção destes passaram a ser investigados. No Brasil, somam-se aos impactos negativos da geração de resíduos a questão da disposição irregular desses no meio ambiente.

As leis e regulamentos são uma forma de catalisar a busca por inovação. É importante analisar que alguns agentes externos influenciam o ciclo de vida das edificações. Nordby (2009) define que estes “sistemas externos” capazes de influenciar o metabolismo da indústria da construção podem ser divididos entre socioeconômicos e biofísicos, conforme o trecho a seguir:

Os fatores socioeconômicos incluem leis e regulamentos (código de construção, imposto sobre aterros, etc.), sistemas financeiros (o que é economicamente desejável), sistemas de transporte (importantes avaliações da ecoeficiência) e preferências dos proprietários (estilo de vida e moda). Os fatores biofísicos consistem nos diferentes tipos de recursos naturais que podem fornecer matérias-primas para o edifício, de água e ar, e dos sistemas de produção e distribuição de energia. (NORDBY, 2009, p.25)

Há um consenso que o reuso é preferível à reciclagem. O reuso pode ser compreendido como usar novamente um componente em seu uso original, ampliando a vida útil do componente com o mínimo de processamento possível. A reciclagem reincorpora um componente como matéria-prima na fabricação de outro componente.

Figura 13 - Diagrama contextual da Indústria da Construção Civil



Fonte: Adaptado de NORDBY, 2009 baseado em CROWTHER, 2003.

Apesar dos benefícios ambientais, a questão do reuso ainda é uma exceção. Os diversos autores apontam para as resistências quanto ao reuso. É preciso ressaltar que as preferências dos usuários são um importante regulador para o sistema da construção civil, como abordado no diagrama da figura 13. “Eles são percebidos como de qualidade inferior aos materiais virgens, tanto esteticamente quanto por razões de segurança”. (RIOS; CHONG; GRAU, 2015, p.1300)

Além da percepção e aceitação do consumidor final, existem outros desafios para o reuso ao longo da cadeia da construção civil, como: “A incerteza da quantidade e qualidade dos materiais usados é um desincentivo para os compradores, devido à variação da qualidade e quantidade de fontes não confiáveis”; “Há também falta de regras e padrões para regular a construção com esses materiais”; “Outra questão é que o dano de materiais no local durante a desconstrução pode tornar alguns componentes inutilizáveis” (RIOS; CHONG; GRAU, 2015, p.1300). Os danos durante a desconstrução podem ser evitados ao criar componentes pensados para desmontagem.

Outras restrições relacionadas ao uso de materiais de reuso estão relacionadas aos sistemas de garantia e seguro. "O uso de produtos e materiais recuperados são frequentemente percebidos como propícios a aumentar o risco de falha em atender o desempenho exigido ou a durabilidade de um edifício ou elemento." (ADDIS; SCHOUTEN, 2004 *apud* NORDBY, 2009, p.26). Embora esses riscos possam ser eliminados por testes e recertificações, é preciso destacar que o custo para tais análises pode inviabilizar a reutilização.

A reciclagem incorpora esses materiais na geração de um produto novo, o que parece ser uma prática mais aceita socialmente, já que o material retorna como matéria-prima para a geração de um novo produto. A reciclagem representa uma alternativa para redução de consumo de matéria-prima, mas diferentemente do reuso, os impactos ambientais relacionados a fabricação e transporte podem se tornar um impacto ambiental relevante.

Apesar da questão ambiental ser a principal preocupação do DfD, alguns autores apontam que essa abordagem vai além de questões ambientais, possibilitando uma nova cadeia de geração de valor com impactos sociais e econômicos. Ao permitir que materiais empregados no edifício possam ser reincorporados ao metabolismo da construção, cria-se o funcionamento de uma economia circular, em que "berço e o túmulo" deixam de ser a principal questão em análise.

Catarina Thormark (2007) aborda no artigo "*Motives for design for disassembly in building construction*" motivos sociais e econômicos, além dos ambientais. O fato do DfD representar uma solução para permitir a adaptação dos edifícios a diferentes demandas de seus usuários, é uma solução aos problemas relacionados com as "alterações demográficas e mudanças na estrutura familiar" e com o fato de "edifícios serem demolidos antes do tempo de vida útil previsto". Sobre a questão econômica relaciona-se a aplicação do DfD como uma alternativa para valorização das construções ao estabilizar o valor de mercado do edifício a longo prazo e recuperar o valor dos componentes ao final da utilização.

Além dos benefícios ambientais, o DfD pode contribuir no âmbito social ao representar a oportunidade de geração de novos empregos, isso porque, diferentemente da

demolição - que utiliza máquinas de grande porte, a desmontagem prioriza a escala humana. Destaca-se, também, o potencial educacional do DfD para fornecer exemplos para o público em geral “sobre os processos de reutilização e reciclagem de materiais de construção, como um novo edifício pode usar materiais recuperados”. Os autores prospectam também que “a maturidade do mercado de material reutilizado / reciclado pode reduzir o custo dos materiais de construção e, assim, beneficiar a sociedade e a economia como um todo.” (RIOS; CHONG; GRAU 2015, p.1299).

Mesmo com os possíveis benefícios ambientais e sociais, o modelo econômico existente representa a principal barreira para implantação dessa prática do DfD no projeto nas edificações. Questões como a falta de garantias sobre desempenho, valor futuro do material, falta de padrões e quantidades para comercialização, são empecilhos para o incentivo da desmontagem. A desmontagem dentro da construção civil implica o funcionamento de uma nova dinâmica econômica, relacionado ao funcionamento de uma economia circular.

Apesar dos desafios para o reuso, quando um componente tem características que facilitam a sua desmontagem e utilização em novos usos, a sua reutilização se torna desejável. Além da facilidade de desmontagem, existem fatores econômicos e psicológicos capazes de incentivar a reutilização. Pode-se usar como exemplo de fator econômico quando a fabricação de um determinado material se torna financeiramente inviável em relação a um existente. Os fatores psicológicos estão relacionados à componentes que possuem valor simbólico (histórico, sentimental) agregado, tornando a sua reutilização desejável. Nas pesquisas sobre o DfD aplicados as construções são recorrentes as avaliações sobre o potencial de desmontagem relacionado ao sistema construtivo utilizado, podendo-se destacar: Madeira, Aço, Alvenaria e Concreto.

a) Madeira

A madeira destaca-se em diversos aspectos quanto à abordagem da sustentabilidade de edificações. O fato de ser um material renovável que sequestra carbono ao longo do seu crescimento, com biodegradabilidade potencial e, muitas vezes, produzida localmente representa um ciclo de vida desejável do ponto de vista do *Design for*

Environment. Além disso, “tem fácil trabalhabilidade, bom desempenho térmico e acústico, ótima relação resistência /peso, facilidade no transporte, na montagem e desmontagem do edifício. ” (MOLINA; CALIL JR, 2010 *apud* MATARRAIA, 2013, p.107)

Utilizada nas habitações ao longo da história da humanidade, as construções de madeira possuem séculos de tradição de técnicas construtivas que podem servir como base para o aprimoramento e aplicação de sistemas de conexões em projetos contemporâneos. Webster e Costello (2005) destacam que é desejável prever conexões mecânicas que não danifiquem as peças, sendo que parafusos são preferíveis ao uso de pregos e colas.

Sobre a lógica da economia circular, a madeira é considerada como pertencente ao ciclo biológico. A utilização de determinados tratamentos e vernizes, com o objetivo de ampliar a sua vida útil, pode comprometer a sua biodegradabilidade. É preciso que seja feito um detalhamento cuidadoso para prevenir problemas provenientes da umidade, proliferação de insetos e o uso de vernizes tóxicos.

Sobre o reuso da madeira de demolição Webster e Costello (2005) apontam que reutilizar as peças estruturais de madeira é preferível ao processo de remanufatura dessas em revestimentos ou mobiliários, conforme citado:

Infelizmente, grande parte da madeira de demolição não acaba em estruturas, mas é serrada para pisos e móveis. [...] considera-se isso um *down-grading* do material e seria preferível ver tais membros reutilizados para aplicações estruturais, particularmente porque peças grandes podem ser facilmente reutilizadas, várias vezes se mantidas intactas, mas são mais difíceis de serem recuperados se usados em pavimentos ou outros acabamentos. (WEBSTER; COSTELLO, 2005, p.6).

Matarraia (2013) demonstra um exemplo em que peças de madeira de antigas tulhas de café desativadas foram desmontadas e reutilizadas na criação da sede de um clube de golfe, na cidade de São Carlos-SP. Destaca-se que a forma de conexão entre as peças possibilitou a grande taxa de reutilização dessas no novo projeto.

Figura 14 – Detalhes das marcas das conexões nas peças de madeira reutilizadas



Fonte: MATTARAIA, 2011.

b) Aço

As estruturas de aço são citadas como um exemplo compatível com as estratégias do DfD. A padronização dos componentes, possibilidade de modulação, necessidade de racionalização do projeto e construção e as propriedades físicas do material contribuem para o grande aproveitamento na futura desmontagem das edificações. A conexão das peças, por meio de parafusos, facilita a desmontagem e remontagem de uma estrutura em outro local, sem perdas. Cabe destacar que a identificação desses componentes é de grande importância para viabilizar a futura remontagem.

Costello e Webster (2005) apontam para o fato de que quando o objetivo não é a remontagem da estrutura inicial, os furos dos parafusos podem se tornar um problema para a remanufatura das peças. No entanto, o processo de solda das peças dificulta o processo de desmontagem. Sendo assim, apontam para a necessidade de “desenvolver conexões fixas confiáveis para minimizar as modificações de fabricação, como furos de parafusos.” (WEBSTER; COSTELLO, 2005, p.8).

Matarraia (2009) apresenta o processo de desmontagem e remontagem de uma estrutura em aço, em que a estrutura de um antigo hangar desativado foi reutilizada na cobertura da construção de uma nova quadra poliesportiva do campus da USP de São Carlos. O projeto arquitetônico do ginásio foi desenvolvido considerando o reaproveitamento da estrutura existente. Foram apontados os seguintes benefícios da reutilização da antiga estrutura: economia financeira - o que viabilizou a construção do atual ginásio; não houve perdas - pois, todas as peças puderam ser reaproveitadas;

rapidez na montagem - a estrutura foi montada em apenas duas semanas. O processo de desmontagem e a reutilização da estrutura metálica são ilustrados a seguir.

Figura 15 - Cobertura do Hangar



Fonte: Prefeitura da USP-SC, 1998 *apud* MATARRAIA, 2013.

Figura 16 - Identificação das peças durante a desmontagem



Fonte: Prefeitura da USP-SC, 1998 *apud* MATARRAIA, 2013.

Figura 17 - Processo de montagem da cobertura do ginásio



Fonte: Prefeitura da USP-SC, 1998 *apud* MATARRAIA, 2013.

Figura 18 - Conclusão da cobertura do ginásio da USP-SC



Fonte: Prefeitura da USP-SC, 1998 *apud* MATARRAIA, 2013.

c) Alvenaria

A alvenaria de blocos cerâmicos é o principal sistema construtivo difundido no Brasil. Pode-se analisar esse material como sendo contrário à desmontagem, entretanto muito do desperdício ao utilizar esse componente deve-se à falta de racionalização e padronização no processo de projeto e construção.

Diferente dos problemas existentes com a utilização da alvenaria em construções atuais, os tijolinhos (*bricks*) em antigas construções são apontados como materiais com alto potencial de desmontagem. Eles são apresentados como materiais que atravessaram o tempo e que, graças ao uso da argamassa de cal, ao final da vida útil das edificações, são facilmente reaproveitados por serem mais resistente que o seu 'ligante', preservando assim a sua integridade.

Eles possuem um valor simbólico elevado, pois cada componente adquire uma característica única, que a padronização das fabricas não é capaz de reproduzir, estimulando assim o reuso desses. Acontece que, ao serem reutilizados em novas construções, utiliza-se a argamassa de cimento como ligante, inviabilizando, assim, o potencial de desmontagem dos tijolos por impedir que esses sejam desmembrados. "Paradoxalmente, juntamente com o desenvolvimento de tecnologia avançada, a inteligência dos métodos de construção que anteriormente apoiavam a flexibilidade e longa vida útil, desapareceu." (NORDBY, 2009, p.77).

Destaca-se assim a relação intrínseca do potencial de desmontagem com as escolhas feitas em projeto. Um exemplo contemporâneo em que os tijolos foram empregados pensando em estratégias de DfD é o IRCAM (Instituto de Pesquisa e Coordenação Acústica / Musique), do arquiteto Renzo Piano. Era necessário que os *bricks* fossem utilizados, como forma de integrar visualmente a nova construção às outras existentes, mas o arquiteto buscou novas formas de utiliza-los, conforme citado a seguir:

Ele queria encontrar uma nova maneira de trabalhar com o material e, finalmente, descobriu uma técnica que lhe permitia usar tijolos na fachada sem colá-los. Os tijolos são perfurados e amarrados juntos, como contas em um colar, e, em seguida, colocados em painéis e encaixados na estrutura de metal do edifício. (INVISIBLEPARIS, [201_])

Figura 19 - Fachada do IRCAM e edifício existente (esq.) e Detalhe construtivo utilizado na construção (foto à dir.)



Fonte: INVISIBLEPARIS, [201_]

d) Concreto

“O concreto é o material de construção mais consumido no mundo. ” (DEMOLINER; POSSAN, 2013). A utilização do concreto armado possibilitou a livre criação de estruturas que se moldam conforme o desejo de seus construtores. Essa liberdade resulta na falta de padronização dos componentes e inviabiliza a desmontagem dessas estruturas. Ao final da vida útil do concreto armado, geralmente essas estruturas se tornam resíduos que podem ser reciclados por meio de processos de *downcycle*, tornando-se agregados para fabricação de outros produtos.

Entretanto, é preciso destacar que o uso do concreto pré-moldado pode ser desejável para atender o DfD. A possibilidade de identificação dos componentes pré-fabricados, a conexão feita geralmente por meio de fixadores mecânicos e a modularidade do sistema podem permitir a desmontagem futura. “Um problema é que as lajes de cobertura moldadas no local são muitas vezes colocadas sobre os membros do pavimento pré-moldado” (WEBSTER; COSTELLO, 2005, p.10), inviabilizando o acesso a essas conexões e comprometendo o potencial de desmontagem.

A *Ellen Macarthur Foundation* fez um mapeamento de empresas que desenvolvem a economia circular no Brasil, inclusive na construção civil. Uma delas é a Precon Engenharia, que, ao adotar um processo de fabricação modular, reduz consideravelmente a geração de resíduos em relação aos métodos construtivos tradicionais no país. “O investimento em processos produtivos aumentou a flexibilidade das unidades residenciais, aumentando a possibilidade de alterar plantas e adaptá-las às necessidades dos usuários e estendendo a vida dos edifícios. ” (CE100, 2017, p.9)

Figura 20 - Processo de montagem da Solução Habitacional Precon (SHP)

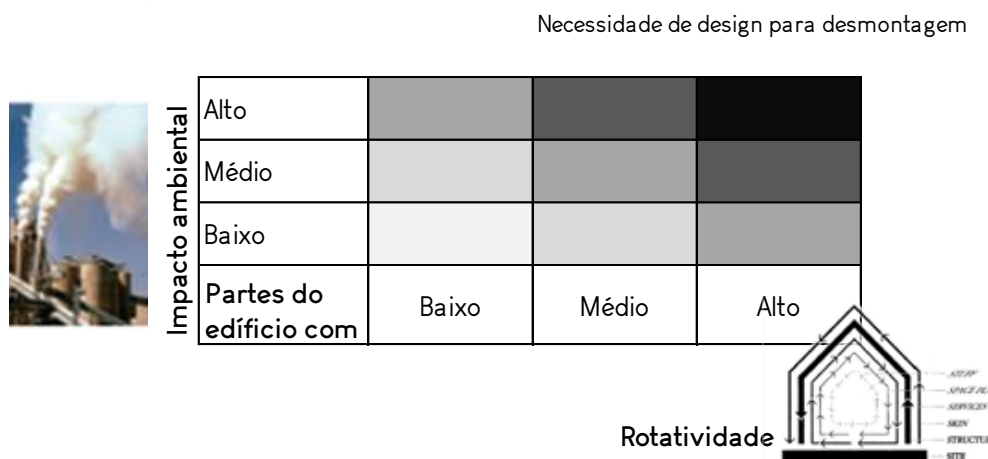


Fonte: AMCHAM BRASIL, 2015.

Analisando os exemplos citados, pode-se perceber que o DfD pode ser adotado para diversos sistemas construtivos. Portanto, é possível concluir que o potencial de desmontagem das edificações está mais relacionado às estratégias de desmontagem previstas em projeto do que ao uso de um sistema construtivo específico.

As análises sobre a estrutura das edificações têm importante contribuição para a aplicação do DfD, mas é necessário que todas as camadas que compõem o edifício possam ser planejadas para desmontagem. Conforme apontado por Nordby (2009), as camadas com curto período de vida útil e, conseqüentemente, altas “taxas de rotabilidade”, possuem maior necessidade de terem estratégias de desmontagem previstas. Criou-se, assim, uma matriz de avaliação que relaciona os impactos ambientais e as taxas de retorno de cada camada com a necessidade de prever estratégias de desmontagem, sendo que uma pontuação alta nos dois eixos exige a adoção de estratégia de DfD “Ao cruzar a taxa de retorno para a peça de construção em questão com o seu impacto ambiental incorporado, a necessidade de design desmontável é visualizada.” (NORDBY, 2009, p.58)

Figura 21 - Matriz de Avaliação do Design para desmontagem



Fonte: Adaptado de NORDBY, 2009.

Desde que as pesquisas sobre a aplicação do DfD nas construções surgiram, as análises têm ganhado complexidade, devido à grande relação com a sustentabilidade e com a necessidade de abordagem holística que esse assunto necessita. Pensar na desmontagem implica mudanças na forma de projetar e construir, o que se relaciona diretamente com questões técnicas dos materiais, soluções construtivas, análises de

ciclo de vida e gestão de resíduos. O potencial de desmontagem de edifícios implica a transformação de um pensamento linear de construção para um modelo circular, no qual materiais e componentes são reincorporados ao ciclo da construção, em um modelo de construção reversível:

Se o design para desmontagem fosse adotado como uma prática comum de projeto, permitiria que o estoque existente e novo do edifício servisse como fonte de material construção nova, em vez de colher recursos do ambiente natural. A fim de avançar para tais cenários, precisamos mudar nossa percepção da composição técnica do edifício, de permanente e fixa, a ser mutável e aberto. (DURMISEVIC, 2006)

Em uma cultura de construção aproveitável, os edifícios podem ser vistos como “Bancos de material” para o futuro. Se pudéssemos reintroduzir a desconstrução futura e reutilização como premissa para novo design, vantagens ambientais poderiam ser obtidas através da redução de matérias-primas e necessidades de energia, bem como através da redução de emissões e resíduos. (NORDBY, 2009, p.16)

Projetando para o ciclo de vida completo significa projetar para durabilidade, projetando para adaptabilidade e concepção de um edifício que possa ser eficientemente extraído como fonte de reutilização materiais para novas construções quando chega ao final de sua vida útil. (WEBSTER; COSTELLO, 2005, p.2)

Essas citações representam esta que pode ser considerada como a principal contribuição do DfD aplicado às construções para a sustentabilidade: **a possibilidade de tratar os edifícios como banco de materiais para construções futuras.** Acredita-se que isso represente uma inovação significativa na forma de projetar, construir, utilizar e gerenciar as edificações no futuro, sendo esse o foco de análise do capítulo seguinte.

4.1 DIRETRIZES E FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DO DfD NAS EDIFICAÇÕES

O DfD tem um potencial para transformar toda a cadeia da construção civil, desde a extração de matéria-prima até ao gerenciamento de resíduos. Entretanto, essas mudanças só serão possíveis com a adoção de estratégias para desmontagem aplicadas na fase de projeto, por isso, os arquitetos tem grande responsabilidade para essa transformação.

A aplicação dos conceitos do DfD implica a criação de soluções que permitam a flexibilidade das edificações, contribuindo para ampliar a durabilidade dos espaços construídos, seja por meio de estratégias que facilitem a adaptação às necessidades

dos usuários ou por facilitarem as atividades de manutenção. Assim, previnem-se a obsolescência e o descarte das edificações, contribuindo para a sustentabilidade na construção civil. Pensar na desmontagem das edificações em projeto permite que o ciclo de vida dos materiais, componentes e sistemas sejam ponderados, transformando a forma de projetar e construir.

Desde que as pesquisas sobre o DfD começaram a surgir, diferentes autores têm feito diferentes análises que contribuem para o desenvolvimento desses conhecimentos, buscando a aplicação prática da desmontagem nos projetos de edificações. Mas os exemplos práticos dessas aplicações não são tão numerosos quanto a abordagem teórica. As diretrizes de DfD aplicadas às construções ainda se mostram complexas e confusas.

Nordby (2009) apresenta uma revisão bibliográfica das principais pesquisas a respeito do tema de forma cronológica, demonstrando as diferentes diretrizes e métodos abordados pelos autores de referência, conforme foram compilados na figura 22:

Figura 22 - Cronologia das pesquisas iniciais sobre DfD aplicado às construções



Fonte: Baseado em NORDBY, 2009.

Pode-se perceber que existe uma diferença tanto na quantidade de diretrizes apresentadas quanto nas diferenças no foco da abordagem de cada um. A diversidade dessas diretrizes e dos métodos de análise é uma importante contribuição teórica para o tema, mas dificulta a adoção das estratégias do DfD na atuação prática dos projetistas.

Basicamente, o objetivo global de toda a investigação do DfD é expresso como eficiência de recursos alcançada através da facilitação da reutilização e reciclagem. No entanto, nos diferentes conjuntos de diretrizes que descrevem como projetar edifícios reutilizáveis e recicláveis, aspectos relacionados aos processos de triagem, transporte, novo design e remontagem geralmente também são enfatizados. (NORDBY, 2009, p.22)

Os objetivos podem estar relacionados à escala de aplicação, escolha de materiais, ao design da construção e ao detalhamento das articulações e conexões. Também é possível que se analise possíveis cenários futuros para o edifício: ele será concebido para adaptabilidade, reutilização, reciclagem ou incineração? Os vários conjuntos de diretrizes apresentam diferentes estratégias de design para desmontagem de acordo com o foco do pesquisador. Portanto, a falta de uma metodologia a ser seguida torna a aplicação do DfD distante da prática de projeto.

Muito disso refere-se às diferentes possibilidades de escalas e objetivos em que a desmontagem poderá ser avaliada nas edificações. Crowther (1999), por exemplo, considera que o DfD possa ser usado em quatro diferentes níveis:

- **Realocação e reutilização de um edifício inteiro** - isso pode ocorrer quando um edifício é necessário por um período de tempo limitado, mas pode posteriormente ser reutilizado em outro lugar para o mesmo propósito ou similar.
- **Reutilização de componentes num novo edifício ou noutro local do mesmo edifício** - isso pode incluir elementos de revestimento ou elementos internos de ajuste que tenham um design "padrão".
- **Reprocessamento de componentes e materiais em novos componentes** - isso envolverá materiais ou produtos ainda em bom estado sendo utilizados na fabricação de novos componentes de construção.

- **Reciclagem de materiais em novos materiais** - isso envolverá o uso de materiais usados como um substituto para matérias-primas no processamento de materiais manufaturados.

Em 2001, Catarina Thormark, apresenta um esboço de um método para avaliação da facilidade de desmontagem. “Parâmetros avaliados para os objetivos da reutilização são: riscos no ambiente de trabalho, necessidade de tempo, ferramentas/equipamentos, acesso à conexões e danos no material causados pela desmontagem.” (THORMARK, 2001, p.70)

Paola Sassi (2002), ao apresentar uma ferramenta de análise, aborda diferentes critérios conforme a meta para desmontagem:

- **Parâmetros avaliados para fins gerais de desmontagem são:** sistemas de instalação e métodos de fixação, acesso e manipulação de elementos de construção, materiais perigos (toxinas, estruturais, manuseio), tempo e informações necessárias para desmontar elementos.
- **Parâmetros avaliados para fins de reutilização:** requisitos de reprocessamento para permitir a reutilização, durabilidade, componentes e subcomponentes, riscos, requisitos de conformidade de desempenho, informações necessárias para reinstalação e fixações necessárias para reinstalação. Um parâmetro analisado como um critério adicional para reutilização de componentes refere-se a garantir padrão estético.
- **Parâmetros avaliados para fins de *downcycle* e reciclagem** (avaliados separadamente) são: requisitos de reprocessamento, durabilidade e riscos.

Em 2006, Elma Durmisevic, analisa o DfD como chave para a flexibilidade dos espaços construídos. Em sua pesquisa, apresenta um método de avaliação da capacidade de transformação de estruturas. “O foco está no potencial de desmontagem (*disassembly potential*) apenas, e o modelo é dividido em quatro níveis de abstração. Os dois principais indicadores são independência e permutabilidade.” (DURMISEVIC, 2006, p.141). Durmisevic (2009) aponta que “o conceito introduz três dimensões de transformação para edifícios: espacial, estrutural e material”. Os parâmetros avaliados em todas essas três ferramentas são classificados de acordo

ao objetivo da desmontagem. Os objetivos referem-se à hierarquia de reciclagem e incluem: Desmontagem; Reuso; Reciclagem de materiais; Incineração.

O que pôde-se perceber é que as ferramentas de avaliações propostas sobre o DfD dependem do objetivo pretendido com a desmontagem e a sua escala de aplicação. Apesar da falta de padronização dessas diretrizes, alguns itens são recorrentes e podem ser considerados como os princípios básicos do *Design for Disassembly* aplicados às construções. Percebendo isso, Nordby (2009) propôs uma sistematização didática dos conceitos abordados por vários autores, de forma a facilitar a aplicação do DfD na rotina dos arquitetos e permitir que essas estratégias se tornassem possíveis de serem mensuradas.

A aplicação do método proposto integra outros princípios para utilizar o DfD como método para desenvolvimento de projetos sustentáveis. Por isso, Nordby (2009) analisa os critérios de desmontagem associados ao potencial de *Salvageability* (recuperabilidade) de materiais (QUADRO 8). A divisão de responsabilidades ao longo de todo o ciclo de vida da construção faz com que o DfD não seja apenas uma questão referente ao projeto, mas a todas etapas de produção, construção, uso e pós uso de um edifício.

Quadro 8 - Recuperabilidade

RECUPERABILIDADE			OBJETIVOS				
			MANUTENÇÃO	ADAPTAÇÃO	RELOCAÇÃO	REUSO	RECICLAGEM
ESCALA	CRITÉRIO	ESTRATÉGIAS					
COMPONENTE	Seleção de materiais limitada	1. Minimizar o número de diferentes tipos de materiais no componente, incluindo conexões para submontagens 2. Planejar o uso de um número mínimo de conectores e de diferentes tipos de conectores entre componentes 3. Evitar acabamentos secundários 4. Evitar materiais tóxicos e perigosos					
	Projeto Durável	5. Projetar componentes duráveis que podem suportar o uso repetido e durar mais que gerações de edifícios 6. Fornecer tolerâncias adequadas para desmontagem e remontagem repetidas					
	Alta generalidade	7. Vise dimensões padrão e design modular 8. Vise componentes de pequena escala e leves 9. Reduzir a complexidade dos componentes e planejar o uso de ferramentas e equipamentos comuns					
	Conexões flexíveis	10. Use conexões reversíveis para submontagens 11. Planejar o uso de conexão reversível entre componentes 12. Permitir a desmontagem paralela de componentes					
	Informação e Acesso	13. Fornecer identificação de materiais e tipos de componentes 14. Identificar e fornecer acesso a pontos de conexão					
CONSTRUÇÃO	Seleção limitada de componentes	15. Minimizar o número de componentes e diferentes tipos de componentes 16. Minimizar o número de conexões e diferentes tipos de conectores					
	Construção em camadas	17. Projetar uma construção em camadas com sistemas estruturalmente independentes 18. Organizar as camadas de acordo com os ciclos de vida funcionais e técnicos esperados dos componentes					
	Alta generalidade	19. Vise a construção modular e use uma grade estrutural padrão 20. Reduzir a complexidade das construções e planejar o uso de ferramentas e equipamentos comuns 21. Use conexões mecânicas e não químicas entre as partes do edifício 22. Permitir a desmontagem paralela 23. Articulações de design para suportar o uso repetido					
	Acesso e Informação e Acesso	24. Identificar e fornecer acesso a pontos de conexão 25. Fornecer atualização de registro de desenhos <i>as built</i> de materiais utilizados e orientação para desconstrução					
INDÚSTRIA	Legislação de apoio ao Ciclo de Vida	26. Introduzir / reforçar o imposto sobre aterros ou a proibição que limita / proíbe a deposição em aterro os resíduos aproveitáveis de construção e demolição 27. Introduzir / reforçar os regulamentos de construção que abordam o design do ciclo de vida					
	Incentivos financeiros	28. Apoiar o uso de materiais e construções reversíveis 29. Apoiar a pesquisa e desenvolvimento de projetos reversíveis					
	Informação fundamentada	30. Providenciar a disseminação de conhecimento para projetistas e construtores de benefícios ambientais, sociais e econômicos da 31. Fornecer quantificação de benefícios econômicos de salvaguarda no ciclo de vida de edifícios					

Fonte: Adaptado de NORBDY, 2007.

O quadro 8 representa a ferramenta de análise proposta por Norbdy (2007), abordando não apenas o potencial de desmontagem, mas a relação da desmontagem com a recuperabilidade dos materiais, tornando a avaliação mais relevante quanto à sustentabilidade. Essa avaliação está dividida entre diferentes escalas de aplicação com diferentes critérios de desempenho a serem considerados, sendo que as estratégias abordadas para os Componentes e Construção se relacionam diretamente com o projeto arquitetônico. Quanto ao projeto arquitetônico, são listados os seguintes temas como prioridades, por terem implicações diretas sobre o projeto arquitetônico:

a) Seleção limitada de materiais

- Minimizar o número de diferentes tipos de materiais no componente, incluindo conexões para submontagens;
- Planejar o uso de um número mínimo de conectores e de diferentes tipos de conectores entre componentes;
- Evitar acabamentos secundários;
- Evitar materiais tóxicos e perigosos;

Um dos desafios para a desmontagem dos edifícios existentes refere-se à dificuldade de classificar e desassociar os materiais empregados na construção, o que faz com que eles percam o seu potencial de reutilização e prejudica a sua reciclagem. Uma seleção limitada de materiais e componentes simplifica a desmontagem e a classificação desses, e permite o controle de qualidade dos componentes antes da reutilização.

Materiais visualmente semelhantes, mas que têm propriedades diferentes representam um desafio para a reutilização, por exemplo:

Um edifício usando várias espécies de madeira ou classes de aço produz uma matriz potencialmente confusa de materiais que podem não ser reutilizados de forma tão eficaz como materiais de um edifício construído usando um único grau de material. (WEBSTER; COSTELLO, 2005, p.4).

A previsão das conexões entre as partes da construção é essencial ao DfD. A padronização de conectores facilita tanto a montagem quanto a desmontagem, dando agilidade ao processo, considerando a importância que o tempo possui para tornar o processo de desconstrução viável economicamente.

Os materiais compósitos têm se tornado um grande desafio para as construções contemporâneas. A demanda por sistemas compostos por várias camadas e acabamentos para atender o desempenho esperado torna a combinação de materiais difíceis de serem desassociadas, prejudicando a futura reutilização.

Os materiais tóxicos e perigosos representam uma ameaça à saúde dos trabalhadores também durante a desconstrução. Além disso, o seu valor de reutilização e reciclagem torna-se inferior devido às restrições quanto a sua destinação.

b) Projeto durável

- Projetar componentes duráveis que podem suportar o uso repetido e durar mais que gerações de edifícios;
- Fornecer tolerâncias adequadas para desmontagem e remontagem repetidas;

Sob o ponto de vista da arquitetura, sabe-se que a questão da durabilidade é algo difícil de ser mensurada pois não depende apenas de questões técnicas, mas também de situações subjetivas de seus usuários. Entretanto, o design de componentes que possam ser facilmente desmontados e um correto detalhamento para aplicação desses é uma forma de prolongar a durabilidade tanto dos componentes quanto das edificações. Norbdy (2007) também aponta para o fato de que o detalhamento cuidadoso contribui para que o valor simbólico dos componentes e edifícios seja mantido.

c) Alta generalidade

- Visar dimensões padrão e design modular;
- Visar componentes de pequena escala e leves;
- Reduzir a complexidade dos componentes e planejar o uso de ferramentas e equipamentos comuns;

A generalidade tanto dos componentes quanto dos espaços facilita a adaptação a novas funções. Componentes muito específicos se restringem a um uso limitado, reduzindo o seu potencial de reutilização. Ao planejar componentes da construção visando a escala humana e o uso de ferramentas comuns, facilita-se o manuseio desses e o processo de desmontagem.

d) Conexões flexíveis

- Usar conexões reversíveis para submontagens;
- Planejar o uso de conexão reversível entre componentes;
- Permitir a desmontagem paralela de componentes;

Diferente do processo tradicional de construção, permitir a desmontagem paralela significa que os componentes e sistemas são independentes, sendo essa uma das principais contribuições do DfD para as construções. A desmontagem paralela significa que as partes são independentes e que o processo acontecerá com agilidade.

Favorecer conexões mecânicas ao invés de ligações químicas representa um dos requisitos primordiais para desmontagem de componentes. Materiais que estão permanentemente atrelados uns aos outros, como em situações em que estão permanentemente colados ou soldados, inviabilizam a desmontagem, seja pelo tempo necessário para separá-los ou pela incapacidade de manter sua integridade após o desmantelamento.

e) Camadas adequadas

- Projetar uma construção em camadas com sistemas estruturalmente independentes;
- Organizar as camadas de acordo com os ciclos de vida funcionais e técnicos esperados dos componentes;

Uma construção em camadas concederá estruturalmente partes de construção independentes e intercambiáveis. “Quando os sistemas mecânicos e os componentes da envoltória são misturado com a estrutura, é difícil substituir esses sistemas durante a vida útil do edifício e torna-se difícil extrair os elementos estruturais no final da vida do edifício.” (WEBSTER; COSTELLO, 2005, p.5).

Conforme foi abordado anteriormente, pensar na sustentabilidade das edificações implica considerar que o edifício é composto por diferentes camadas com diferentes períodos de vida útil, por isso é fundamental que as construções possam ser planejadas prevendo a independência desses sistemas.

f) Informação acessível

- Fornecer identificação de materiais e tipos de componentes;
- Identificar e fornecer acesso a pontos de conexão;
- Fornecer atualização de registro de desenhos *as built* de materiais utilizados e orientação para desconstrução.

“Finalmente, informação e o acesso às partes da construção facilitam o planejamento e o processo de desmontagem, e também simplifica o processo de classificação e reutilização. ” (NORDBY, 2009, p.70) A informação é um ativo precioso para a eficiência de recursos. No caso de obras de reforma, a falta de informação cria imprevistos que prejudicam o planejamento da obra. No processo de desmontagem, a falta de informação sobre os materiais utilizados, método de desmontagem e possibilidade de reaproveitamento dificulta a destinação desses, fazendo com que eles percam valor e sejam tratados como resíduos.

Desde o trabalho apresentado por Nordby (2009), as pesquisas sobre o DfD continuam em constante evolução, buscando a aplicação prática desse método. O design for Disassembly se mostrou como uma transformação necessária na forma de projetar e construir as edificações, mas os exemplos práticos continuam escassos.

Existem Guias prescritivos sobre a desmontagem das construções, buscando instruir os projetistas sobre estratégias de DfD para facilitar a reutilização de componentes e edifícios. Alguns exemplos são: “Design and Detailing for Deconstruction (SEDA) e Design for deconstruction: Principles of design to facilitate reuse and recycling (CIRIA); WRAP – Designing out Waste Guides and Information e Design for Deconstruction and Flexibility; BRE – Difficult Demolition Wastes: A Guide. ” (ADAMS, 2015)

Conforme Debacker et al. (2016), existem também guias que fornecem informações aos projetistas sobre o potencial de reciclagem como: Salvo; WRAP – Reclaimed Building Products Guide; BRE – Green Guide to Specification.

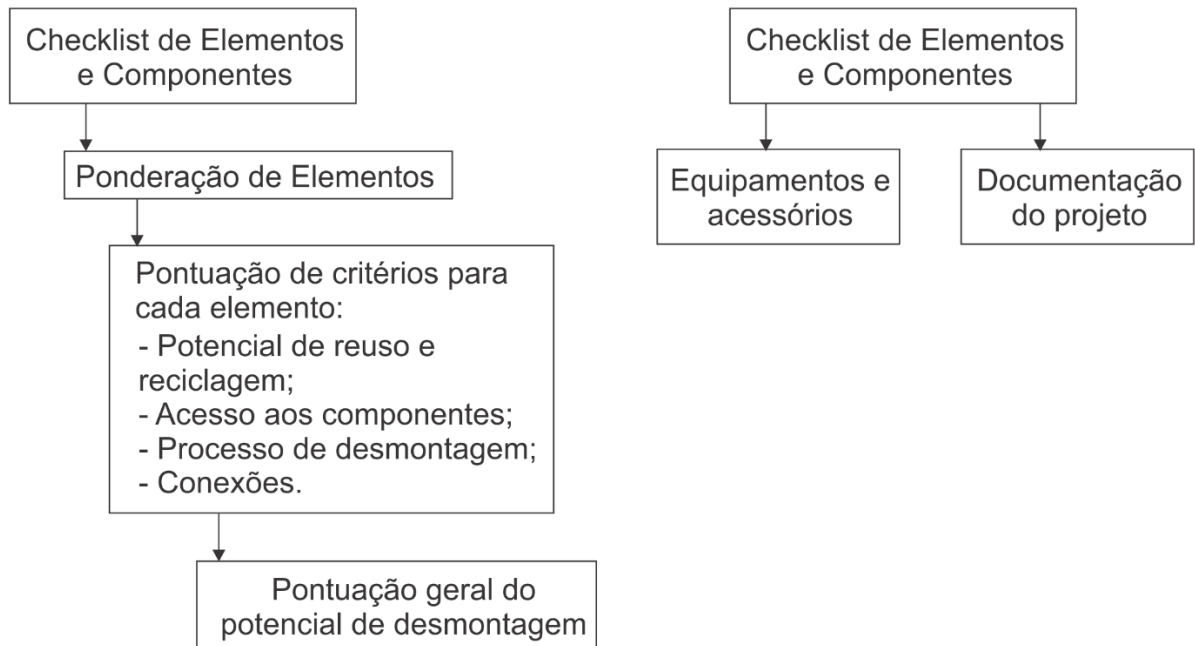
Cabe destacar a existência de duas ferramentas que permitem avaliar o potencial de desmontagem (ou a reversibilidade técnica) das construções: DGNB e BRE Trust, conforme descritas no trecho a seguir:

A ferramenta DGNB suporta os critérios de um novo esquema de escritório e possui indicadores de pontuação relacionados à facilidade de desmontagem, escopo de desmontagem e viabilidade de desmontagem. Recentemente, o BRE Trust desenvolveu um esboço de metodologia de Design for Deconstruction para edifícios residenciais de nova construção. (DEBACKER et al., 2016, p.58)

A metodologia do *Building Research Establishment (BRE) Design for Deconstruction* representa uma ferramenta de avaliação para o potencial de desmontagem das construções. A metodologia inclui a consideração de: materiais e escolhas de componentes; tipos de conexões usadas; a acessibilidade de componentes e conexões; o processo de desconstrução; e o nível das informações do projeto relacionadas à desconstrução. (ADAMS, 2015)

Os critérios do DfD aplicados a cada um dos elementos do edifício são ponderados e é obtida uma pontuação para cada elemento. Os critérios de pontuação são: Potencial de reutilização e reciclagem dos principais elementos e componentes incluídos; as conexões entre os elementos e componentes (uma abordagem de lista de verificação é usada para conexões para os primeiros estágios de design seguidos pela abordagem de pontuação); Acessibilidade de elementos e componentes; e o processo de desconstrução. “Cada um destes critérios é pontuado 1, 0,5 ou 0; depende se foi totalmente, parcialmente ou não considerado dentro do processo de design para cada elemento. ” (ADAMS, 2015) A seguir, apresenta-se um diagrama de sistematização do método BRE *Design Deconstruction*:

Figura 23 - Metodologia BRE Design for Deconstruction



Fonte: Adaptado de ADMS, 2015

A classificação da categoria alemã do *Green Building Council* (DGNB) para desconstrução e desmontagem considera quatro categorias de componentes: serviços de construção, componentes de construção não estruturais, componentes sem carga e com suporte de carga da estrutura do edifício. Uma breve visão geral de como os critérios de classificação funcionam é fornecida na figura 24. Os dois indicadores são ponderados igualmente e devem ser complementados por um plano descrevendo os meios e responsabilidades financeiras para a desmontagem controlada. (DEBACKER et al., 2016, p.59)

Figura 24 - Classificação baseada no critério Desconstrução e Desmontagem da DGNB

Indicadores	Categoria de pontuação	Descrição da categoria
Dificuldade de desmontagem	Muito Alto	a desmontagem requer um esforço muito considerável
	Alto	desmontagem requer um grande esforço considerável (como a demolição de revestimentos com ligantes resistentes)
	Médio	demolição exige esforço moderado (tal como remoção de piso)
	Baixo	demolição requer pouco esforço (como a remoção de materiais de enchimento)
	Muito Baixo	muito fácil desmontagem (como juntas fixas, suportes soltos, juntas de encaixe ou aparafusadas)
Escopo da desmontagem	Inviável	remoção de resíduos de material (por exemplo, argamassa, rejunte ou vedantes) em materiais como revestimento de piso ou caixilhos de janelas. Procedimentos de separação que não podem ser realizados no local.
	Viável	exige dedicação de mão de obra e máquinas adequadas para os locais: lixar, lascar, processo de moagem
	Fácil	pode ser feito manualmente por meio de ferramentas simples: levantar, puxar e tirar revestimentos (pisos, revestimentos de parede)

Fonte: DEBACKER et al., 2016 baseado em DGNB, 2014.

Cabe destacar que a importância do DfD para a sustentabilidade na construção civil é um tema crescente, por isso é preciso acompanhar o desenvolvimento de novos regulamentos que influenciarão diretamente a aplicação desses métodos de desmontagem nos projetos e na indústria da construção civil de forma geral. Uma importante contribuição refere-se à criação da **ISO 20887 Design for Disassembly and Adaptability of Buildings** (Projeto para Desmontagem e Adaptabilidade de edifícios) que ainda está em desenvolvimento, conforme apresentado:

Embora um novo projeto da Norma ISO 20887 para Desmontagem e Adaptabilidade de Edifícios esteja em desenvolvimento pela TC 59 / SC17, com base em um padrão existente do Canadá, não está claro se isso resultará em uma ferramenta de avaliação de projeto quantificável. (DEBACKER et al., 2016, p.58)

Apesar de ainda não se apresentarem evidências se a ISO 20887 se tornará uma ferramenta de avaliação para o potencial de desmontagem de edifícios, estima-se que essa será de grande contribuição para uma mudança na maneira de se projetar e construir edifícios. Espera-se que a instituição de uma ISO específica para a Desmontagem de Edificações represente um caminho para padronização de diretrizes e uma sistematização que permita uma abordagem internacional.

5 BUILDINGS AS MATERIALS BANC

O Projeto *Buildings as Materials Banc* (BAMB) - Edifícios como Banco de Materiais - da União Europeia tem como objetivo mudanças na forma de planejar, criar e gerenciar os espaços construídos “propondo ferramentas de design e protocolos que irão inverter os processos de fluxo de material linear para modelo circular”. (DURMISEVIC, 2016).

O projeto BAMB busca a redução dos impactos ambientais negativos da indústria da construção civil ao prever um modelo de economia circular em que os materiais de construção possam ser reincorporados ao metabolismo da construção após o seu uso inicial. O principal objetivo está na redução dos resíduos da construção civil e dos recursos naturais virgens. Essa abordagem torne-se possível ao projetar edifícios dinâmicos e flexíveis, conforme apresentado a seguir:

Por meio de cadeias de valor circulares e de design, os materiais nos edifícios mantêm seu valor - em um setor que produz menos resíduos e usa menos recursos virgens. Em vez de serem resíduos, os prédios funcionarão como bancos de materiais valiosos, materiais de construção e sistemas prediais - conservando o valor e a funcionalidade do material, para que materiais e componentes de construção possam ser reutilizados e diminuindo a necessidade de mineração primária de recursos. (BAMB, [2016])

Financiado pela Comissão da União Europeia no âmbito do Horizonte 2020³, o projeto reúne 16⁴ instituições de pesquisa de 8 países europeus que buscam aperfeiçoar um sistema circular que possa ser efetivamente posto em prática. Para isso, o projeto BAMB vem analisando o sistema da construção civil sobre diferentes aspectos: abordagem de processo (são definidas diferentes atividades e subatividades ao longo da cadeia de valor do edifício) e abordagem de rede de valor (relações ou vínculos entre os diferentes papéis que contribuem para a criação de valor), buscando, sobretudo, a criação de valor sistêmico que apoie o funcionamento dos edifícios como

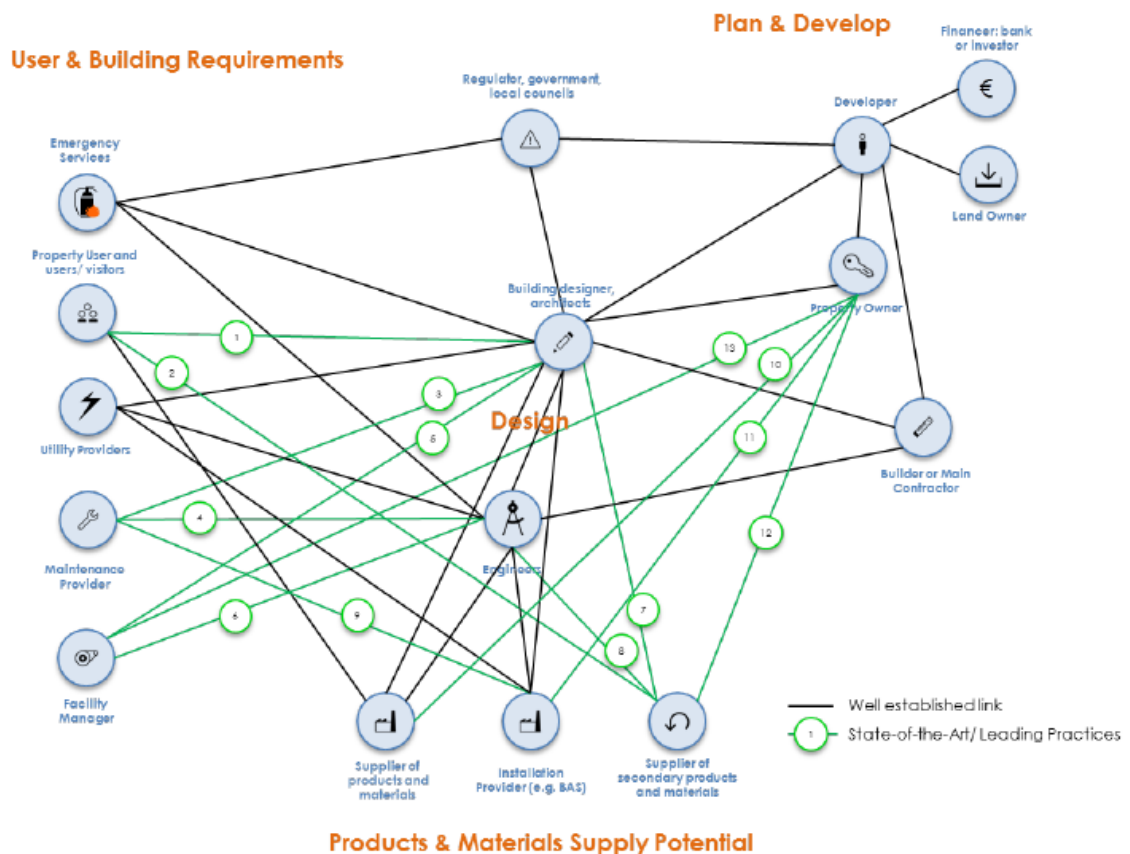
³ **Europa 2020** designa a estratégia de crescimento para a União Europeia de 2010 a 2020. Foi apresentada pela Comissão Europeia com o título “**EUROPA 2020 – Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo**” a 3 de março de 2010 com o objetivo primário de revitalizar a economia da União Europeia.

⁴ Ambiente de Bruxelas (IBGE-BIM), Agência de Incentivo à Proteção Ambiental (EPEA Holanda), Vrije Universitet Brussels (VUB), Instituto Flamengo de Pesquisas Tecnológicas (VITO), Estabelecimento de Pesquisa Predial (BRE), Universidade Zuyd, IBM Holanda, Sunda Hus i Linköping AB, Município de Ronneby, Universidade Técnica de Munique, Universidade de Twente, Universidade do Minho, Sarajevo Green Design Foundation, Drees & Sommer, BAM Construct UK.

bancos de materiais. Essas análises são apresentadas na forma de diagramas que demonstram a situação usual da relação entre os diferentes atores e as oportunidades percebidas, conforme as análises sobre o estado da arte, ao longo das diferentes fases da vida dos edifícios.

“A fase de projeto é um estágio inicial crítico e definidor no ciclo de vida de um edifício. Ele captura e integra os vários requisitos de uso e operação do edifício em uma forma física. ” (DEBACKER et al., 2016, p.28). A gestão de informação é a principal transformação necessária para que os edifícios possam funcionar como bancos de materiais, pois, dessa forma, é possível preservar o valor dos materiais e componentes, ao facilitar estratégias de manutenção, reparo e facilitar a reutilização desses na fase de (re)design.

Figura 25 - Principais práticas durante a fase de projeto

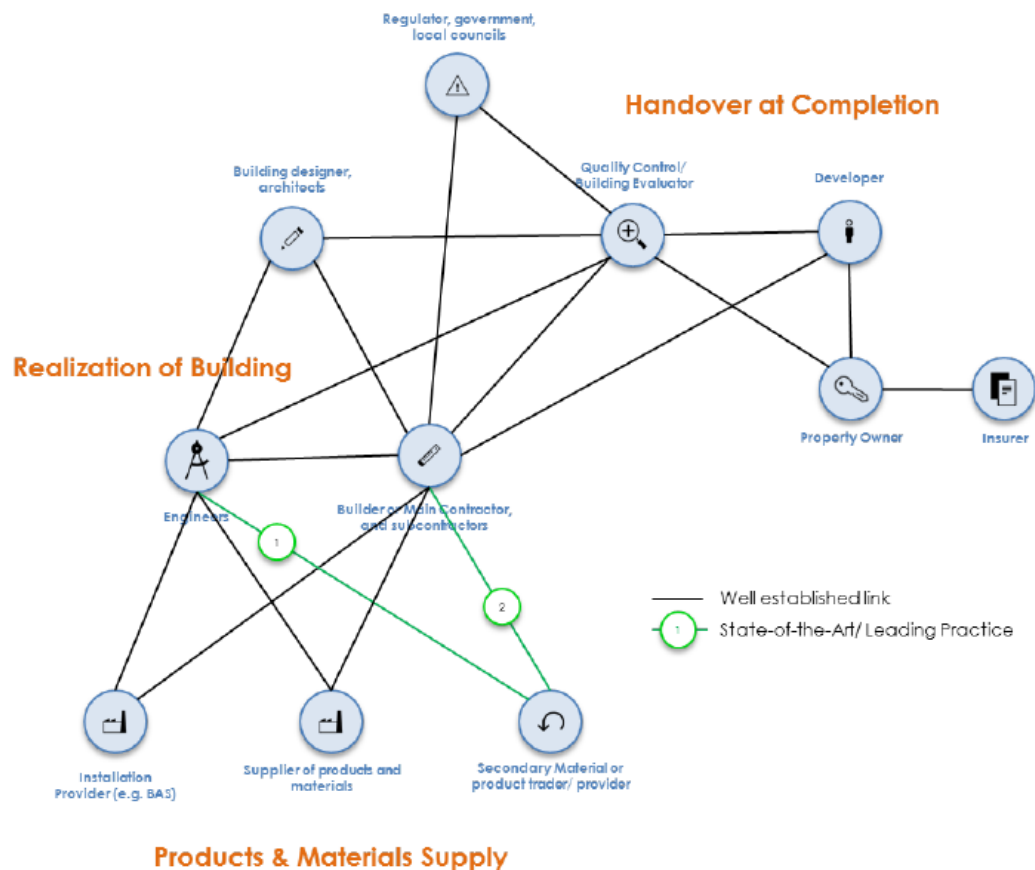


Fonte: DEBACKER et al, 2016.

Na fase de construção é importante garantir que as informações construtivas estejam documentadas e possam estar acessíveis aos proprietários e usuários. Informações

como localização dos materiais e a forma como estão sendo utilizados, facilidade de acesso para desmontagem e quantidade disponível, são exemplos de informações importantes para facilitar que as empresas de construção possam incluir materiais reutilizados em novas construções.

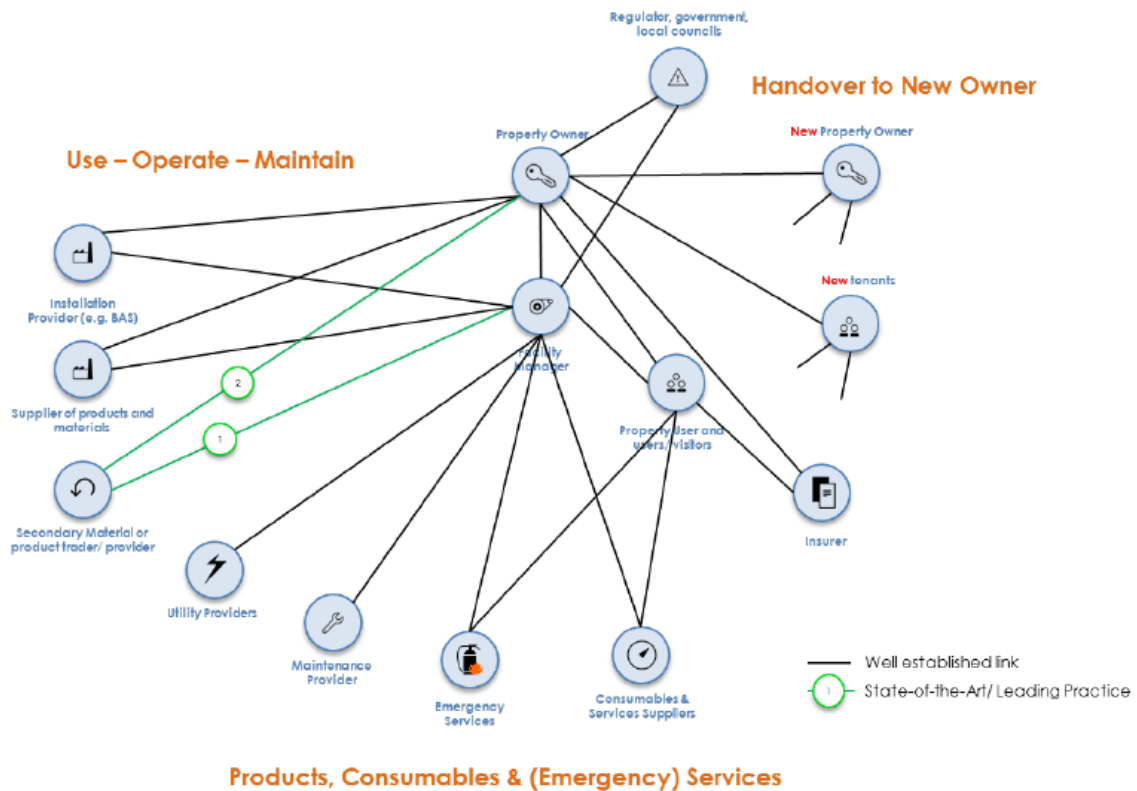
Figura 26 - Funções e interações durante a fase de construção



Fonte: DEBACKER et al. (2016)

A fase de uso demonstra, também, a necessidade de transferência de informações para os proprietários ao longo do período de utilização dos edifícios. Ao adquirir a propriedade de um imóvel é fundamental que os usuários tenham conhecimento sobre os materiais e componentes empregados, cuidados necessários quanto ao uso e a manutenção desses, auxiliando processos de tomada de decisão para reformas, reparos e reposição de componentes da edificação. Quanto ao futuro reaproveitamento dos materiais empregados em um edifício, torna-se necessário pensar quem terá o direito de comercialização desses materiais.

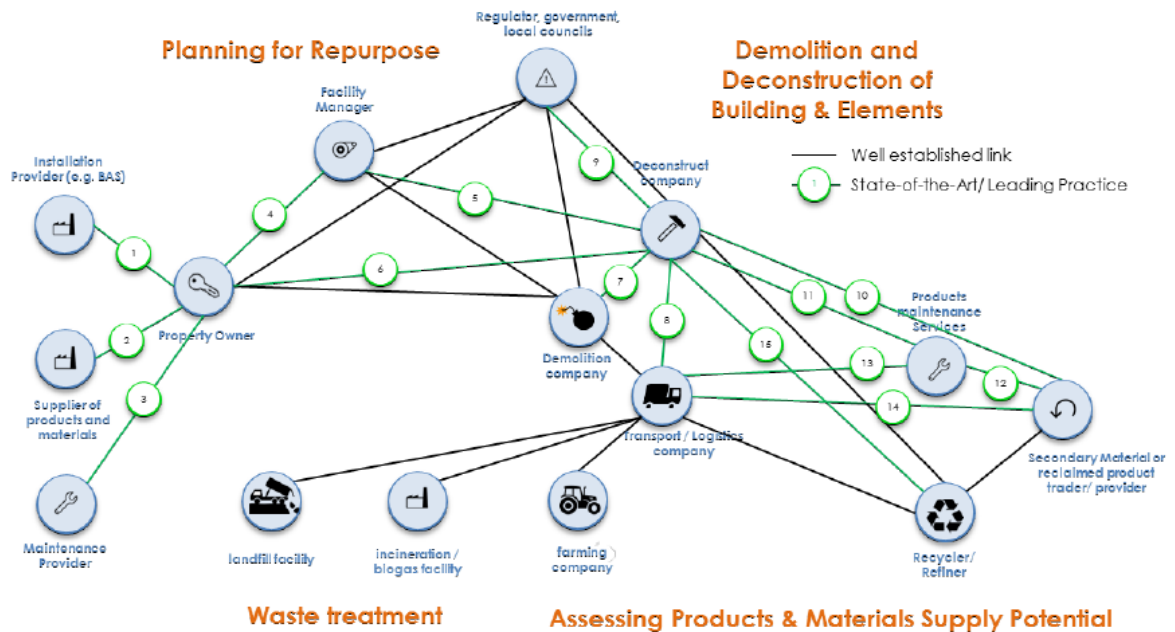
Figura 27 - Principais práticas durante a fase de uso e operação



Fonte: DEBACKER et al., 2016.

A principal transformação refere-se à fase de pós-uso do edifício. Convencionalmente, hoje os edifícios, ao final de sua vida útil, são transformados em resíduos pelo processo de demolição. A informação é a principal chave para essa transformação, pois permitir que empresas tenham conhecimento sobre o potencial de materiais a serem reaproveitados nas edificações, bem como facilidade de acesso e desmontagem, estado de conservação e quantidade disponível tornará a desmontagem um processo mais benéfico que a demolição, estimulando o surgimento de novos atores responsáveis por realizar a desmontagem e comercialização desses produtos.

Figura 28 - Papéis e interações durante a fase de reaproveitamento e demolição



Fonte: DEBACKER et al., 2016.

Perceber a complexidade dos atores e as diferentes relações estabelecidas por eles ao longo das fases da vida de um edifício representou parte fundamental da abordagem do BAMB. A partir disso, têm sido desenvolvidas novos métodos e ferramentas que permitirão a aplicação prática do BAMB. A fase de projeto se mostrou fundamental para a transformação de um cenário de edifícios estáticos para edifícios dinâmicos, por isso o desenvolvimento de ferramentas para auxiliar mudanças na forma de projetar os edifícios tem sido a principal contribuição do BAMB, tendo como princípio a adoção de: **“Passaportes de Materiais e o Design de Construções Reversíveis** - apoiados por novos modelos de negócios, proposições de políticas e modelos de gerenciamento e tomada de decisões.” (DEBACKER et al., 2016, p.6)

Dessa forma, o projeto se estrutura nos seguintes eixos temáticos: (1) Passaporte de Materiais; (2) Projeto de Construções Reversíveis; (3) Gerenciamento de Dados; (4) Modelos de Negócios para economia circular; (5) Políticas e Normas; (6) Estudo de Casos projetos-piloto; que serão melhor abordados a seguir.

5.1 PASSAPORTES DE MATERIAIS

Uma das principais ferramentas para permitir o funcionamento do BAMB refere-se à adoção de Passaportes de Materiais. Apesar de não haver uma definição oficial para o termo, o projeto adota a seguinte definição: "Passaportes de materiais são conjuntos de dados (digitais) que descrevem características definidas de materiais e componentes em produtos e sistemas que lhes dão valor para uso, recuperação e reutilização atuais". (EPEA et al., 2016 *apud* DEBACKER et al., 2016, p.54).

“Os Passaportes de Materiais reúnem dados de materiais, mantendo a confidencialidade quando necessário e oferecendo informações de que os usuários precisam.” (DEBACKER et al., 2016, p.54). Os materiais/componentes são avaliados sobre vários aspectos. A expectativa é conseguir manter o seu potencial de recuperação e reutilização, permitindo o funcionamento da economia circular. O papel dos Passaportes de Materiais “é triplo: (1) coleta de dados sobre materiais e rastreamento de materiais e produtos, (2) aplicações para organizar a logística reversa e (3) aceleração da inovação por meio do compartilhamento de informações.” (DEBACKER et al., 2016, p.54)

Conforme apresentado ao longo desta pesquisa, a falta de informação sobre a edificação e seus componentes - geralmente perdida devido à transferência de responsabilidades para múltiplos atores ao longo do ciclo de vida das edificações - é uma das principais causas da geração de resíduos da construção civil. Garantir o acesso a informações sobre materiais/componentes oferece “oportunidades para resgatar o valor de recuperabilidade e reutilização de materiais, produtos e sistemas usados em edifícios para as partes interessadas em toda a cadeia de valor.” Influencia-se, também o mercado para criação de produtos com ciclo fechado de materiais, criando-se, dessa forma, uma nova dimensão de análise quanto à qualidade dos materiais “Essa nova dimensão é baseada na adequação dos materiais para recuperação e reutilização como recursos em outros produtos e processos” (HANSEN et al., 2012; EPEA et al., 2016 *apud* DEBACKER et al., 2016, p.54).

Existem iniciativas de Passaportes de produtos em uso no mercado, não dedicados exclusivamente à construção civil, conforme apresentado a seguir:

Mulhall et al. (2016) identificou pelo menos 13 iniciativas de passaporte de produto: cinco estão no setor privado para produtos relacionados à construção; três são orientadas por agências governamentais - e entre elas, a Declaração de Desempenho (DoP) e a Folha de Dados de Segurança de Materiais (MSDS) - parecem mais estabelecidas; três são oferecidos por ONGs; uma é para produtos e materiais em navios; e dois não parecem estar no mercado ainda. (DEBACKER et al., 2017, p.54)

Figura 29 - Identificação dos Passaportes de Materiais/Produtos/Reciclagem existentes, baseados em MULHALL et al. (2016)

Nome do Passaporte	Criadores da Iniciativa
C-passport	<i>Cirmar</i>
Circularity passports	<i>EPEA</i>
Cradle to Cradle Passport	<i>Sustainable Shipping Initiative</i>
Declaration of Performance (DoP)	<i>EC Product Directives</i>
Environmental Product Declaration (EPD)	<i>ISO</i>
Health Product Declaration (HPD)	<i>Health Product Declaration Consortium</i>
Material Safety Data Sheet (MSDS) & Safety Data Sheets (SDS)	<i>The Hazard Communication Standard, OSHA</i>
Product Passport *	<i>European Resource Platform</i>
Raw Materials Passport	<i>Turntoo & Double Effect</i>
Recycling Passport	<i>Agfa-Gevaert & Electrocyling GmbH</i>
Resource Identity Tag or Tool *	<i>Groene Zaak/Metabolic/Fairmeter.org</i>
Technical passport for equipment	<i>Kazakhstan & Russia</i>
Workwear Passport	<i>Dutch Awareness</i>

* = ainda não disponível no mercado

Fonte: Adaptado de DEBACKER et al, 2016.

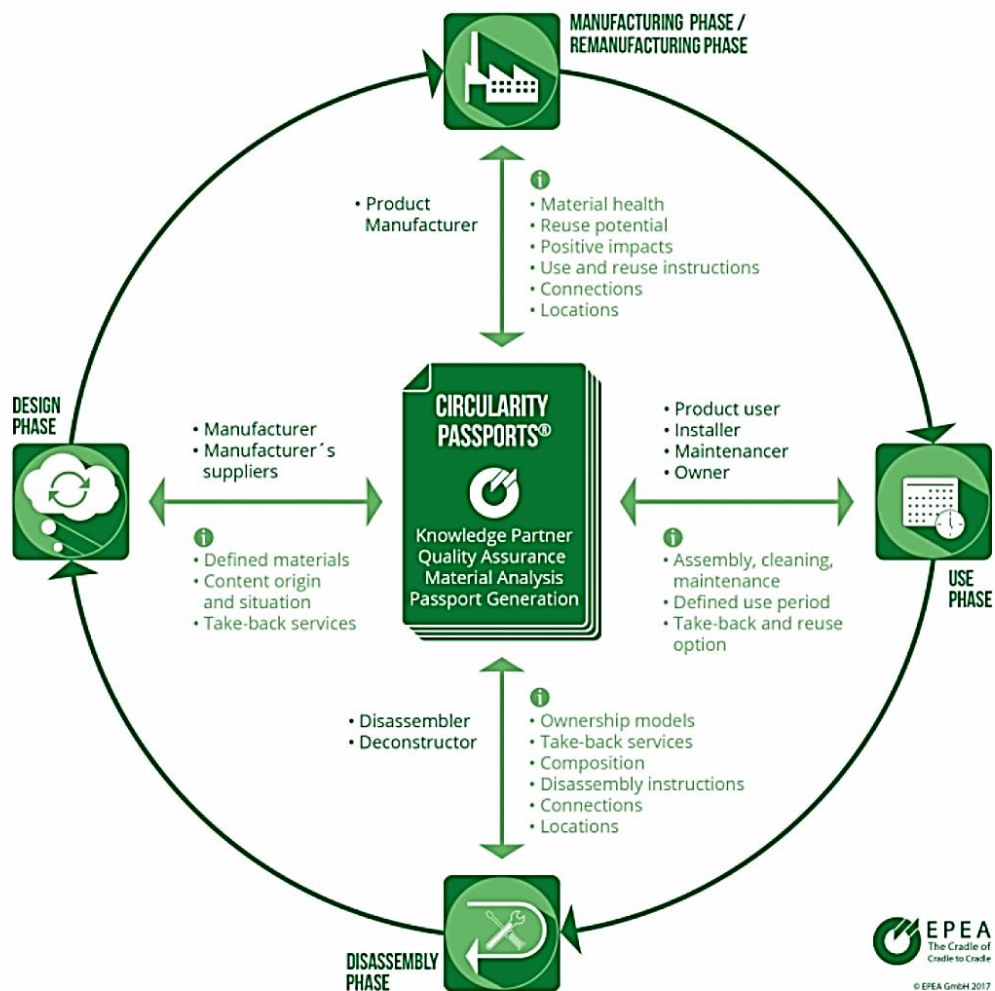
O quadro 10 apresenta os passaportes de materiais/produtos/reciclagem existentes. Os diferentes Passaportes apresentam diferentes níveis e quantidades de informações, abordados conforme as necessidades de sua iniciativa, podendo ser tendenciosos quanto a fornecer apenas informações convenientes dos produtos.

Conforme análise das informações contidas nos diferentes Passaportes existentes, o projeto toma como base o *Circularity passports* (Passaporte de Circularidade) desenvolvidos pelo EPEA. “Os Passaportes de Circularidade, desenvolvidos pelo EPEA, parecem ser um bom ponto de partida para o desenvolvimento dos

Passaportes de Materiais BAMB e da plataforma de TI relacionada”. (DEBACKER et al., 2016)

A figura 30 apresenta um diagrama do Passaporte de Circularidade do EPEA. As informações dividem-se em diferentes etapas do ciclo de vida de um produto, sendo elas: Fase de Design; Fase de Manufatura/Remanufatura; Fase de Uso; Fase de Desmontagem.

Figura 30 - Passaportes de Circularidade desenvolvidos pelo EPEA



Fonte: EPEA, 2018.

Os critérios abordados nos Passaportes de Materiais do BAMB foram resultado da análise dos demais passaportes de materiais/produtos/reciclagem existentes. Os critérios referem-se a: Composição; Uso sustentável de recursos durante a produção;

saúde dos materiais; projeto para desmontagem; ciclo bio/técnico; potencial de reutilização de produto / componente; Desempenho quanto a ruído / segurança / propagação de chamas; Impactos positivos; certificações; créditos fiscais; custos de remoção/ valor residual; contexto de construção; entrada automática de dados existentes; atualização durante uso.

Além da referência dos dados a serem fornecidos sobre matérias/ componentes, as análises dos passaportes existentes também contribuíram para avaliar a maneira como os dados estão organizados e como as informações poderão ser apresentadas no Passaporte de Materiais do BAMB, destacando a integração de softwares BIM e realidade aumentada.

O software de realidade aumentada chegou ao ponto de etiquetar produtos em edifícios e poder visualizá-los apontando com um *tablet* para o produto enquanto caminhava pelo prédio ou de uma mesa onde a pessoa está, independentemente da localização. (DEBACKER et al., 2016, p.55)

Portanto, a grande contribuição do BAMB quanto ao Passaporte de Materiais diz respeito à criação de um “balcão único” com a padronização de informações sobre materiais/componentes, apoiando o design reversível e a transição para um modelo de economia circular.

Os Passaportes de Materiais no BAMB têm o potencial de superar as barreiras enfrentadas por outros passaportes, além de consolidar os pontos fortes de outros passaportes, por ser um ‘balcão único’ em uma plataforma amplamente acessível. (DEBACKER et al., 2016, p.85)

Possibilitar fácil acesso à essas informação permitirá que os usuários identifiquem o potencial de valor em todo o ciclo de construção, desde o planejamento e construção até ocupação, reparos, renovações, reaproveitamento e desativação, fornecendo uma capacidade contínua para rastrear componentes, qualidade e modificações dos materiais, mantendo valor para funcionamento da Economia Circular em todo o ciclo de construção, especialmente para usar e reutilizar componentes e materiais e reduzir a geração de resíduos.

Os Passaportes de Materiais desenvolvidos pelo BAMB têm como objetivo:

- Aumentar o valor ou manter o valor de materiais, produtos e componentes ao longo do tempo;
- Criar incentivos para os fornecedores produzirem materiais / produtos de construção saudáveis, sustentáveis e circulares;
- Opções de materiais de suporte em projetos de Design de construção reversível;
- Facilitar aos desenvolvedores, gerentes e renovadores a escolha de materiais de construção saudáveis, sustentáveis e circulares;
- Facilitar a logística reversa e retirar produtos, materiais e componentes.

Os benefícios dos Passaportes de Materiais dependem da disseminação e livre acesso às informações, por isso está sendo desenvolvido, em conjunto, uma plataforma com solução de software para permitir o acesso a essas informações de diversos produtos, componentes e materiais da construção, denominada como “Protótipo de Plataforma de Passaporte de Materiais”. O software facilitará a acessibilidade apropriada de informações para diferentes partes interessadas em etapas específicas do processo.

5.1.1 Protótipo de Plataforma de Passaporte de Materiais

O BAMB possui um Protótipo de Plataforma de Passaporte de Materiais em curso. O software de livre acesso permite que diferentes atores envolvidos na construção civil e usuários tenham acesso a informação, auxiliando o processo de tomada de decisão nas diferentes etapas do ciclo de vida dos edifícios.

O software compartilha informações sobre produtos, construções e instâncias, permitindo que em cada um desses segmentos sejam abordadas informações pertinentes ao potencial de recuperabilidade dos materiais, conforme será apresentado a seguir.

5.1.1.1 Produtos

As informações sobre os produtos contidas na aba *Products* são estratificadas conforme as características dos produtos quanto a: Informações; Valor de Uso; Instalação; Resíduos; Potenciais; Saúde dos Materiais; e Componentes. As informações

disponibilizadas permitem a avaliação do potencial de recuperabilidade desses produtos e facilitam a adoção de estratégias de design reversível.

Ao abordar questões como o valor para o usuário, instalação e resíduos, pretende-se avaliar o potencial de reuso desse produto, já que um material com alto potencial de reuso é um material com alto valor agregado dentro da economia circular. Indicar a saúde dos materiais e sua composição permite avaliar se o produto terá o seu reuso, reciclagem ou descarte dificultado pela existência de compostos tóxicos e se irá afetar a saúde dos usuários.

a) Identificação

Refere-se à identificação informações como nome comercial do produto, fabricante, marca, registro do fabricante, país de origem, função básica do produto, número GTIN ou EAN⁵, imagem do produto, função básica do produto e complexidade.

b) Valor de Uso

Refere-se à avaliação se o produto terá valor de reuso, analisando se ele foi projetado considerando a desmontagem ou para atender a normas de desempenho e certificações.

c) Instalação

Refere-se à disponibilização de informações quanto a instalação do produto, período de uso estimado, instruções sobre manutenção e peças de reposição disponíveis.

d) Resíduos

São considerados e classificados todos os resíduos resultantes do uso do produto, desde os resíduos de embalagem até a logística reversa desses. São avaliados: resíduo ou produto gerado pela embalagem no local da obra; custos de descarte de materiais; resíduos gerados durante o período de uso do produto; se o produto foi planejado para desmontagem e se as informações para desmontagem são disponibilizadas; se existem riscos de contaminação durante a desmontagem do

⁵ São os números que compõem o código de barras, responsáveis pela identificação de produtos.

produto; designação do profissional para desmontagem; e a quem incorrer sobre os custos de logística reversa.

e) Potenciais

Pretende-se estimar o potencial de reutilização do produto, estando esse aspecto diretamente relacionado à adoção do DfD.

f) Saúde dos Materiais

A análise da saúde dos materiais refere-se a questões sobre a utilização e a fabricação desses. Avalia-se se o produto foi inserido em uma camada dinâmica do edifício e se foram desenvolvidos cenários que possibilitem ao usuário avaliar o desempenho do produto nas condições de uso a que ele será empregado.

Espera-se que o fabricante disponibilize informações sobre a Classificação do Ciclo de Nutrientes do Produto, permitindo saber se o produto ou algum de seus componentes foi avaliado de acordo com uma avaliação ou certificação de saúde de materiais reconhecido. Sobre a produção, são avaliados os consumos de recursos naturais e de energia, uso de matéria-prima renovável ou reciclada, se é utilizado algum material tóxico, potencial de reciclagem do produto e questões ligadas à responsabilidade social da empresa.

g) Componentes

Pretende-se que os produtos possam ser analisados quanto a sua composição, sendo possível avaliar, por exemplo, a quantidade de material reciclado utilizado em sua composição.

5.1.1.2 Edifícios

As informações demandadas sobre os edifícios pretendem analisar a quantidade de materiais empregados e as condições de uso a que eles estão sujeitos. Dessa forma, torna-se possível avaliar 'o valor estocado naquele banco de materiais'. Espera-se obter informações sobre as condições de uso dos materiais e se existe um plano de manutenção previsto. As informações extraídas referem-se a: **Detalhes** - Informações que permitam o georreferenciamento da construção, identificação da empresa

responsável pela construção e do proprietário – contribuindo para questões relacionadas a propriedade dos materiais na futura desmontagem; **Produtos** - São analisados os produtos utilizados na edificação, bem como a quantidade e o fabricante responsável; e **Instâncias**.

5.1.1.3 Instâncias

Sabendo que a durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, na 'aba' *instances* as informações referem-se a manutenção, destinação pós-uso, o contexto em que o produto foi utilizado e construções em que o material tenha sido aplicado, permitindo uma análise de desempenho desses materiais, ao avaliar o comportamento em diferentes usos e contextos.

a) Detalhes

São coletadas informações sobre identificação do componente, fabricante, quantidade e valor pago na instalação da obra. Analisa-se a existência do componente como um objeto BIM, em que uma base de dados aliado a um software de monitoramento forneça dados sobre a manutenção e estado do mesmo.

b) Manutenção

Estima-se que os edifícios possuam um banco de dados sobre manutenção. Dessa forma, os produtos e componentes são avaliados por disponibilizarem informações sobre manutenção, limpeza e uso de produtos que não prejudiquem a qualidade do ar no interior dos edifícios.

c) Pós-uso

Sobre as análises de pós-uso, o que se pretende é avaliar questões relacionadas ao valor desses materiais para futura reutilização e a propriedade dos direitos desses, por isso procura-se definir se existe algum acordo entre o fabricante/ fornecedor e o proprietário/ocupante do edifício para recuperar o valor do produto.

d) Contextualização

Identificação do local e das condições de utilização que o produto/ componente esteja sendo submetido.

e) Construções

Disponibilização das informações sobre edifícios em que o material esteja sendo utilizado, o que tanto permite uma futura avaliação de desempenho do material quanto facilita que esses produtos sejam encontrados nos edifícios.

5.2 PROJETO DE CONSTRUÇÃO REVERSÍVEL

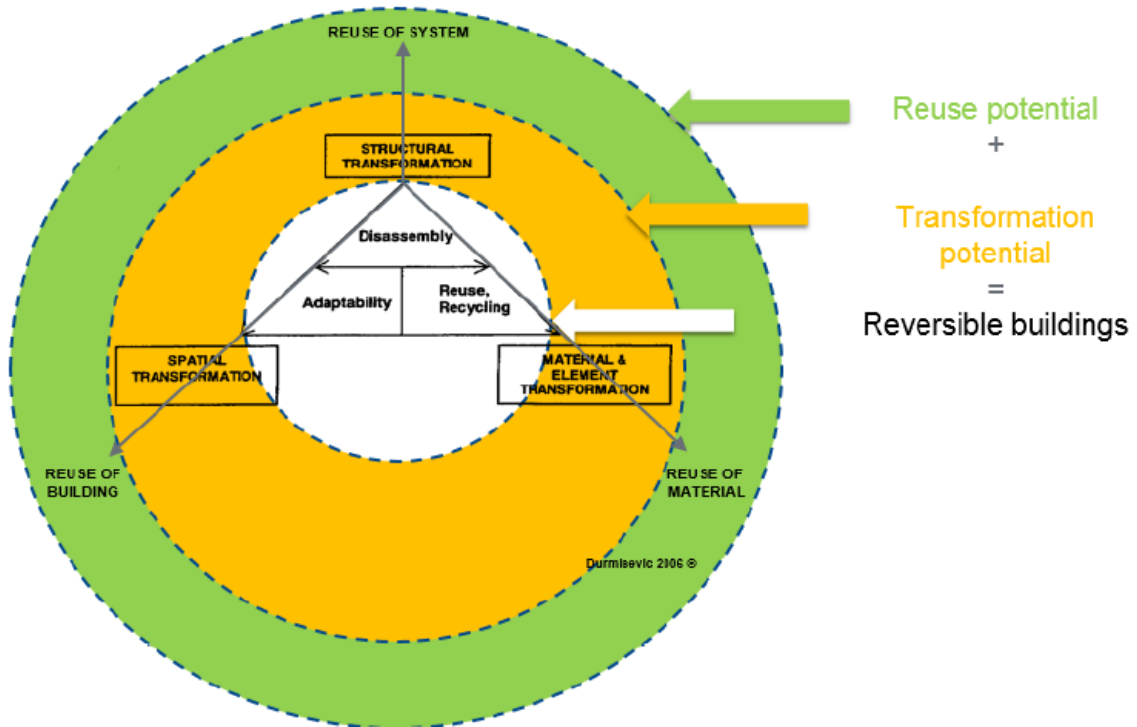
Conforme apresentado pelo BAMB, um de seus eixos de abordagem refere-se ao Projeto de Edifícios Reversíveis (Reversible Building Design), abordagem que altera a dinâmica de projeto existente hoje. Para isso, serão desenvolvidas três ferramentas para orientar projetistas e demais partes interessadas da rede de valor da construção a implementar estratégias e abordagens de design reversíveis, apresentadas a seguir:

1. **Ferramenta de potencial de reutilização**, para avaliar a reversibilidade técnica dos projetos de construção e suas partes constituintes, a fim de preservar o valor residual dos edifícios, seus componentes e materiais e promover a reutilização de alta qualidade.
2. **Ferramenta de capacidade de transformação**, para avaliar a reversibilidade espacial dos projetos de edifícios e suas partes constituintes, a fim de ampliar (futuro) as possibilidades de transformação na construção, no sistema e no nível dos componentes.
3. **Protocolos de Design de Edifícios Reversíveis**, integrando as duas ferramentas descritas acima com o objetivo de informar os projetistas e tomadores de decisão sobre a reversibilidade técnica e espacial do (s) projeto (s) do edifício e os impactos das soluções de projeto durante a fase de projeto conceitual.

Apesar de essas ferramentas só serem apresentadas com a conclusão do projeto BAMB, pode-se prospectar o sentido da abordagem. Baseando-se nos estudos de Durmisevic (2016) sobre os edifícios reversíveis, aponta-se que as transformações dos edifícios podem ocorrer sobre dois aspectos: reversibilidade espacial e a

reversibilidade técnica, ambas avaliadas sobre os aspectos: espacial, estrutural e material. É preciso destacar que o potencial de transformação das edificações está diretamente relacionado ao potencial de desmontagem.

Figura 31 - Três dimensões da transformação dos edifícios



Fonte: DEBACKER et al., 2016.

A reversibilidade espacial está ligada ao potencial dos edifícios de se transformarem para se adaptarem a novas funções ao longo da sua vida útil. As rápidas transformações referentes às necessidades da sociedade contemporânea exigem que os edifícios possam se adequar a essas novas demandas, tornando necessário que projetistas sejam capazes de projetar espaços pensando no uso ao longo do tempo, como citado a seguir:

A pergunta é como podemos antecipar essas **mudanças e levar uma quarta dimensão (o fator tempo) para o design** para que os edifícios possam ser atualizados e adotados para novos programas, usuários e suas necessidades em vez de serem demolidos. (DURMISEVIC, 2016, p.93)

Para tornar isso possível, é necessário prever cenários de transformação para diferentes usos, já que “não existe um modelo de transformação ideal” (DURMISEVIC, 2016, p.93). Diferentes cenários de transformação irão requerer diferentes arranjos,

hierarquias e números de camadas, cabendo ao projetista avaliar quais combinações fornecem melhor aproveitamento para os diferentes cenários de uso. É nesse sentido que a Ferramenta de Capacidade de Transformação atuará, “auxiliando os projetistas no processo de tomada de decisão para permitir um aproveitamento máximo do potencial de transformação das estruturas” (DEBACKER et al., 2016, p.52).

Quanto à Ferramenta de potencial de reutilização, o que se espera é fornecer informações necessárias para tomada de decisão de projeto que consigam preservar o valor dos materiais e componentes da construção ao facilitar ações de troca, manutenção e substituição, sendo que o DfD está diretamente ligado a esse potencial de reutilização. Unindo essas duas ferramentas, o Protocolo de Design Reversível deverá servir como um guia para auxiliar a adoção de medidas para garantir a reversibilidade dos espaços construídos.

Segundo o BAMB, o design de construção reversível permitirá:

- Edifícios flexíveis e transformáveis, fáceis de reparar, recondicionar ou mudar, gerando menos resíduos;
- Edifícios que funcionem como bancos de materiais valiosos, já que materiais valiosos são fáceis de acessar e recuperar;
- Manutenção eficiente de recursos, reparo, bem como flexibilidade no uso de espaço e sistemas;
- O projeto de edifícios reversíveis elimina o desperdício e permite o funcionamento de um setor de construção circular, quando usado em conjunto com materiais, produtos e componentes reutilizáveis.

5.3 GERENCIAMENTO DE DADOS (BIM)

Ao projetar edifícios para se tornarem bancos de materiais futuros, será necessário que projetistas assumam mais atribuições ao processo de projeto. Sabendo disso, um dos eixos estruturadores do BAMB refere-se à adoção de uma ferramenta que contenha informações fáceis e acessíveis para facilitar o processo de tomada de decisão pelas equipes de projeto, “tornando possível comparar e visualizar resultados para diferentes materiais de construção e escolhas de projeto em relação à produtividade dos recursos”. (DEBACKER et al., 2016, p.92).

O Relatório de Estado da Arte elaborado pelo BAMB aponta que “objetos *BIM* estão sendo identificados como um fator-chave para os passaportes de materiais e design reversível. ” (DEBACKER et al., 2016, p.92). Os objetos BIM são entidades digitais formadas pela combinação de informações detalhadas que definem o produto e a geometria que representa as características físicas do produto.

O *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção tem representado a principal ferramenta de projeto para controle de complexidade de informações referentes à construção de edificações. Por isso, o projeto BAMB prevê que o modelo de tomada de decisões, o *Building Level Integrated Decision Making Model* (Modelo de Tomada de Decisão Integrada de Nível de Construção) seja desenvolvido como um protótipo compatível com o BIM, tendo como objetivo:

[...] fornecer um protótipo útil como uma prova de conceito de como o modelo de avaliação e tomada de decisão poderia ajudar os usuários de BIM do mundo real a fazer escolhas e projetos melhores para aumentar o potencial de reutilização e capacidade de transformação através das diferentes fases do ciclo de vida do edifício (concepção, construção, gestão e manutenção, renovação, desmontagem). (DEBACKER et al., 2016, p.92).

Dessa forma, espera-se que os projetistas sejam capazes de avaliar o potencial de reutilização da construção com base nas estratégias de projeto e componentes utilizados. Por exemplo, um produto de construção tem um potencial de reutilização de 100% imediatamente antes da instalação em um prédio. Se a decisão de projeto inviabilizar a desmontagem dos componentes comprometendo a sua reutilização, reduz-se assim 100% o potencial de reutilização desse. Caso o projeto permita a desmontagem, outras atividades poderão afetar o potencial de reutilização ao longo do ciclo de vida deste, como redução da vida útil, aplicação de tintas ou manutenção incorreta. Devido à complexidade de informações referentes a essa abordagem, é necessário o uso de uma ferramenta que facilite esse processo.

Como já abordado ao longo deste trabalho, o controle da informação é um fator essencial para o DfD. Um componente que não tenha informações suficientes sobre sua composição, características, processo de montagem e desmontagem tem as chances reutilização reduzidas, podendo comprometer até mesmo o processo de reciclagem. Além disso, a descentralização da propriedade/responsabilidade das

camadas de construção e componentes ao longo da vida útil do edifício torna necessário manter a integridade dessas informações e permitir que elas possam ser facilmente acessadas por todos os envolvidos ao longo da vida útil das construções. Por isso, vale destacar a prospecção de dois novos atores necessários para articular as informações dentro de uma rede que permita o funcionamento dos edifícios como banco de materiais: o **arquiteto digital** (Digital Architect) e o **digitalizador de edifícios** (Building Dizitizer).

Conforme Debacker et al. (2016), o papel do Arquiteto Digital se concentrará em todos os aspectos tecnológicos de um edifício e apoiará a realização do edifício, sendo o responsável por reunir todas as informações relevantes para as fases de design e construção entre todas as partes interessadas, conforme apresentado por Peters et al., (2016) *apud* Debacker et al. (2016):

- **Infraestrutura de TI:** infraestrutura de TI física, na qual sensores, sistemas, instalações prediais, sistemas de conectividade / comunicação, etc. são facilmente “plugados” / integrados.
- **Acesso a dados / segurança / privacidade:** a troca de informações e dados de sensores, instalações prediais, etc. é crucial para monitorar o desempenho, os perfis corretos de manutenção e o status do produto no final do serviço.
- **Protocolos e padrões (de integração):** a troca de dados do sensor de IoT ou das instalações prediais precisa seguir os protocolos padrão para garantir que os dados possam ser usados para mais de um propósito, servindo para monitoramento ou gerenciamento do dispositivo ou sistema.
- **Tecnologia capacitadora:** integração do uso correto de tecnologias facilitadoras como BIM / IFC, sistemas de gerenciamento de ativos, sistemas de gerenciamento de instalações, passaporte de materiais, ferramentas 3D, etc. para apoiar a realização e as operações do edifício.

Com base no banco de dados estruturado preparado pelo Arquiteto Digital, o projeto real do edifício ou o projeto de redirecionamento podem ser elaborados. Além da presença do Arquiteto Digital na fase de projeto, será fundamental que esse participe

do processo de construção do edifício, “a fim de garantir a captura de dados sobre a situação *as built*. ” (DEBACKER et al., 2016, p.65)

Sobre o gerenciamento da informação, o relatório aponta também para a necessidade de manter o controle na fase de uso durante pequenas alterações no edifício, como obras de reparo, pequenas reformas, etc. A coleta dessas informações e a transferência para o novo proprietário e usuários é uma tarefa importante para o funcionamento do BAMB.

Na fase de Reaproveitamento, Demolição e Desconstrução, será necessária a existência do **Digitalizador de Edifícios**, responsável por fazer um “BIM invertido”, digitalizando todos os produtos/ componentes de construção com suas características (físicas, químicas e de uso), por meio do uso e integração das tecnologias com o passaporte de materiais e plataforma BIM. A digitalização do edifício irá colaborar, ao fornecer informações precisas para as equipes de projeto, facilitando a inserção de componentes reutilizados em seus projetos.

5.4 MODELOS DE NEGÓCIOS PARA ECONOMIA CIRCULAR

Para permitir uma mudança efetiva para a promoção de sustentabilidade, é necessário que sejam criados novos modelos de produção e consumo. A economia circular tem representado o principal deles. A transição para um modelo de economia circular está diretamente relacionada às mudanças na forma de projetar e construir os produtos criados pelos seres humanos. A definição de economia circular surge por meio da abordagem das várias pesquisas precedentes fundamentais para a criação desse conceito, tais como:

O modelo de economia circular sintetiza uma série de importantes escolas de pensamento, incluindo a economia de performance de Walter Stahel; a filosofia de design Cradle to Cradle de William McDonough e Michael Braungart; a ideia de biomimética articulada por Janine Benyus; a economia industrial de Reid Lifset e Thomas Graedel; o capitalismo natural de Amory e Hunter Lovins e Paul Hawken; e a abordagem blue economy como descrita por Gunter Pauli. (EMF, [201_], *online*)

A economia circular diferencia os produtos em ciclos biológicos e ciclos técnicos. Conforme a *Ellen Macarthur Foundation* (EMF), pretende-se, dessa forma, que o consumo de materiais de origem biológica (como a madeira e algodão) possam

retornar aos ecossistemas por meio de processos de decomposição natural, como a compostagem e digestão anaeróbica. Enquanto que os Ciclos Técnicos “recuperam e restauram produtos, componentes e materiais através de estratégias como reuso, reparo, remanufatura ou (em última instância) reciclagem” (EMF, [201_]), sendo o DfD a principal estratégia para viabilizar os ciclos técnicos contínuos.

O DfD, visando a sustentabilidade, tem como principal barreira para sua aplicação na construção civil a incompatibilidade entre o modelo econômico capitalista e a lógica de reaproveitamento. Isso porque a desmontagem e a reutilização precisam ser financeiramente viáveis para serem incentivadas. Caso contrário, a demolição seguida de reciclagem para fabricação de novos produtos permaneceria sendo uma medida praticável e satisfatória.

Por isso, um dos eixos temáticos do BAMB refere-se à adoção de novos modelos de negócios para apoiar o funcionamento dos edifícios como banco de materiais. “Para possibilitar a reutilização, o reparo e o fluxo de materiais circulares na simbiose industrial, precisamos de novas maneiras de calcular e usar as vantagens financeiras de um setor de construção circular. ” (DEBACKER et. al., 2017). Para que o projeto da UE2020 seja praticável, estão sendo redefinidas novas estratégias para geração de valor que apoiem a transição para um modelo de economia circular, sendo que “o desenvolvimento de Protocolos de Passaporte de Materiais e Projeto de Construção Reversível são considerados como o primeiro passo para apoiar a transição. ” (DEBACKER et. al., 2017, p.116).

O artigo “*Circular economy and design for change within the built environment: preparing the transition*” (2017), baseado nas experiências com o BAMB, demonstra que a transição para a economia circular no setor de construção civil necessita de uma perspectiva diferente sobre modelos de negócios. São apresentadas as possibilidades e obstáculos para a transição entre o modelo econômico atual e a econômica circular, conforme citados a seguir:

As principais oportunidades são: (1) antecipar mudanças demográficas e mudanças nas necessidades dos usuários, (2) erradicar os resíduos de C & D, (3) reduzir as pressões ambientais e de saúde do ambiente construído. (4)

desenvolvimento de soluções sociotécnicas aplicadas, (5) desenvolvimento de diretrizes e instrumentos de avaliação, (6) troca de informações valiosas (de recursos) dentro da rede de valores; (7) introdução de novos serviços comerciais no mercado; (8) introdução de modelos de negócios inovadores; (9) aumentar a adaptabilidade e o uso versátil do espaço; (10) aumento da expectativa de vida e valor real dos imóveis; (11) redução dos custos de renovação e valor acrescentado de componentes de construção reutilizáveis; (12) redução dos custos de manutenção periódica e substituição.

As principais barreiras são: (1) quadro político fragmentado: da UE para os municípios (um problema também aplicado à realidade brasileira); (2) energia e conflitos. Medidas de política ambiental; (3) falta de padronização de dados / informações qualitativas ao longo de toda a cadeia de valor do produto / edifício; (4) propriedade intelectual de dados relativos a materiais e produtos, (5) indústria de construção linear modelos; (6) maior complexidade de desmontagem em relação à demolição; (7) percepção geral de que soluções reversíveis de design acarretam altos custos financeiros; (8) falta de certificação e garantia de qualidade para produtos recuperados e materiais reciclados; (9) falta de um modelo de negócio relacionado à construção circular e reversível; (10) O edifício reversível é, em grande parte, desconhecido do público em geral.

5.5 POLÍTICAS E NORMAS

O quinto eixo estratégico do BAMB refere-se às políticas e normas. Políticas, leis e normas influenciam a criação de valor e são direcionadores da cadeia de produção, podendo incentivar ou impedir transformações no setor, como é citado a seguir:

Por exemplo, a experiência dos pilotos da BAMB mostrou como as políticas atuais podem não ser adequadas para apoiar um setor de construção circular. Dificuldades têm sido enfrentadas ao solicitar licenças de construção, já que as regras atuais não refletem ambições circulares de reversibilidade e adaptações rápidas, e a rigidez dos códigos de construção tornou difícil para alguns fornecedores desenvolver modelos inovadores de *leasing* para seus produtos. (BAMB, [2016])

Além disso, o BAMB aponta as autoridades públicas como tendo um papel fundamental como pioneiros para normalização do uso de ferramentas circulares

como os Passaportes de Materiais, Projeto de Construção Reversível e Ferramentas de Avaliação de Construção Circular desenvolvidas no projeto BAMB.

5.6 PROJETOS-PILOTO

Para permitir o funcionamento efetivo do BAMB, foram adotados seis projetos-piloto para aplicação prática de novas abordagens de projeto, fabricação, construção e manutenção de edifícios dinâmicos e circulares. Eles possibilitam identificar os obstáculos e potenciais reais, e ajustes necessários para o funcionamento dos edifícios como bancos de materiais.

Os casos-piloto variam em função, tipo e status atual de construção, e estão espalhados geograficamente por diferentes países da EU. Seguindo o objetivo principal de adotar as práticas de edifício reversível e dos Passaportes de Materiais, pôde-se perceber que os princípios do DfD são a base para essa nova mentalidade para produção dos projetos de construção contemporâneos.

As construções apresentam diferentes materiais, produtos e componentes para alcançar as estratégias arquitetônicas pretendidas em cada projeto. Vale destacar que as empresas parceiras estão atuando nesse processo, percebendo a oportunidade para criação e adaptação de seus produtos para atender a esse mercado.

Outro aspecto que demonstra uma transformação para a prática arquitetônica futura refere-se aos estudos de cenários, conforme proposto por Durmisevic (2006). Por meio do estudo das possíveis novas funções que possam vir a ser desempenhadas pelo edifício, são definidas as estratégias de projeto e materiais e sistemas mais adequados para alcançar esses objetivos.

A construção desses projetos-piloto servirá como balizador para a concepção de novos edifícios para que funcionem como banco de materiais. Além disso, todas essas construções piloto estarão em locais físicos e poderão ser visitadas, servindo para que as pessoas possam ter acesso a essa nova forma de construir, colaborando para a disseminação do BAMB.

Os projetos-piloto são: *Green Transformable Building Lab (GTBL)*; *The Reversible Experience Modules (Rems)*; *Green Design Center (GDC)*; *Build Reversible In*

Conception (B.R.I.C.); Circular Retrofit Lab (CRL); News Offices Buildings. A seguir, um dos projetos em desenvolvimento será apresentado para demonstrar as aplicações dos conceitos de desenvolvimento do BAMB.

5.6.1 Circular Retrofit Lab (CRL)

O Laboratório de Retrofit Circular consiste na elaboração de projeto para transformação de estruturas de concreto existentes. Soluções construtivas estão sendo testadas sobre a lógica do design reversível e dos passaportes de materiais.

O protótipo do GTB Lab considera quatro dos Critérios de Projeto do Edifício Reversível: a separação de funções, o design de elementos intermediários, a geometria e as conexões (design e as partes externas do produto que permitem as conexões). O projeto testará a simplicidade da (des)montagem, reutilização e sensibilidade a danos, a estética da conexão e suas tolerâncias dimensionais.

Figura 32- Processo de montagem do sistema Variel, no campus da VUB



Fonte: PADUART, 2018.

Localizados no campus da faculdade Vrije Univesiteit Brussel (VUB), Etterbeek, os módulos pré-fabricados de concreto (também conhecidos como sistema Variel), nos

anos 1970, idealizados pelo arquiteto Willy Van Der Meeren, seguiam a lógica da pré-montagem e racionalização do sistema construtivo. A finalidade inicial da construção destinava-se à fabricação de unidades de alojamentos estudantis. Entretanto, tornou-se necessário que esses passassem por um processo de *retrofit*, para atendimento aos critérios atuais de desempenho quanto ao conforto térmico.

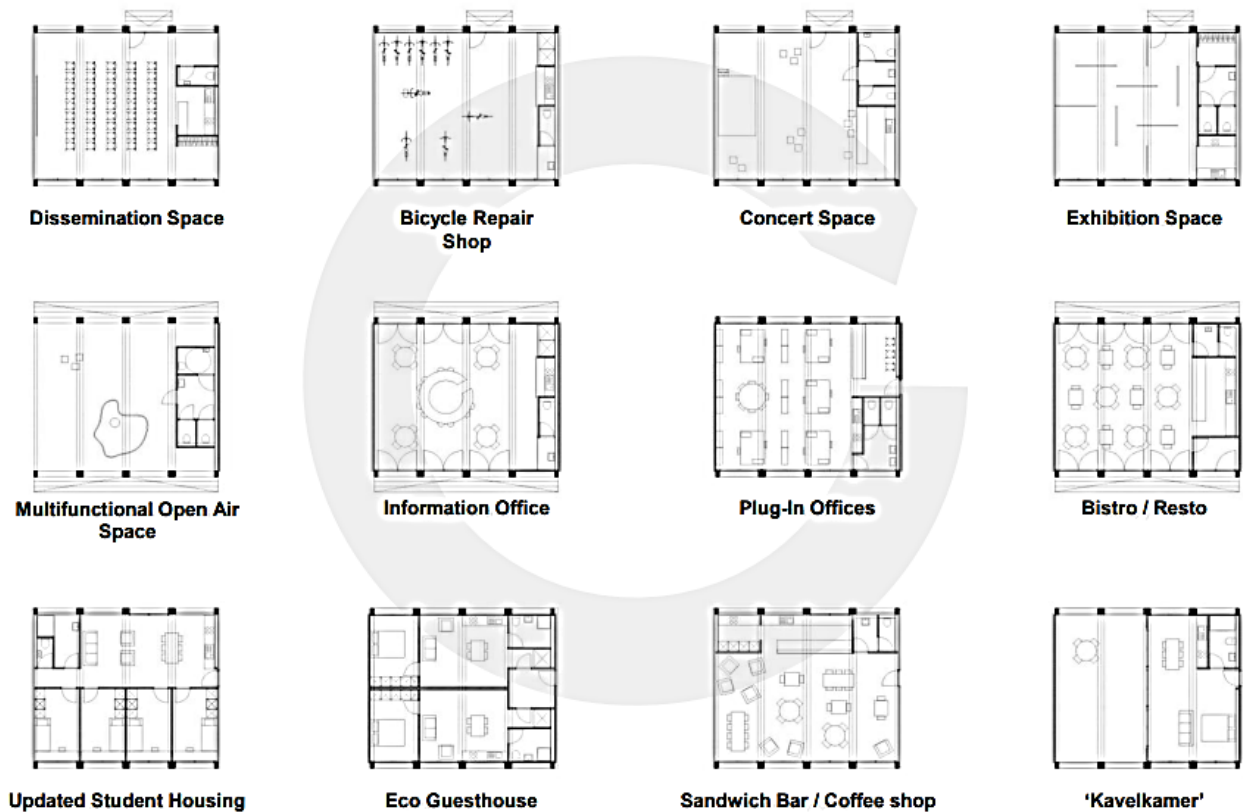
Figura 33 – Estrutura existentes no campus da Vrije Univesiteit Bruss (VUB)



Fonte: PADUART, 2018.

Nos estudos para aplicação de estratégias que permitam o design reversível e funcionamento da economia circular, torna-se necessário que sejam feitos estudos de cenários que permitam a criação de uma solução que atenda o maior número de cenários previstos. Dentre os diversos cenários possíveis identificados, foram escolhidos três que pudessem ser aplicados durante o período em que o projeto BAMB esteja em curso. Alguns exemplos de novas funções na configuração dos módulos são: um espaço de exposição, casa de hóspedes ecológicos, oficina de bicicletas, ponto de informação para os estudantes, escritório, um café com loja, etc. A previsão desses cenários possíveis permite que a universidade possa transformar os módulos conforme suas necessidades futuras.

Figura 34 - Estudos de cenários para o CRL



Fonte: PADUART, 2018.

Para o estudo do projeto dentro dos projetos-piloto do BAMB, os cenários escolhidos se diferenciam quanto a tipologia de uso, pois “ao selecionar funções divergentes, os benefícios das soluções reversíveis podem ser investigados e demonstrados”, sendo os seguintes: público (espaço de exposição), comercial (espaço de *coworking*) e residencial (quarto de hóspedes ecológico). O espaço de exposição será criado no piso térreo, permitindo a divulgação do projeto BAMB para os alunos do campus, enquanto que no 1º piso, o espaço criado para atender o uso inicial como *coworking*, será transformado em um “eco alojamento”, permitindo testar os conceitos de design reversível e capacidade de transformação adotados em projeto. Além disso, os CRL serão usados para:

[...] verificar como os Passaportes de Materiais podem ser integrados com um modelo BIM, permitindo visualizar as propriedades reversíveis do projeto-piloto e como os participantes industriais podem estar envolvidos no desenvolvimento de soluções reversíveis inovadoras. (BAMB, 2017)

Figura 35 - Configuração espacial dos cenários escolhidos

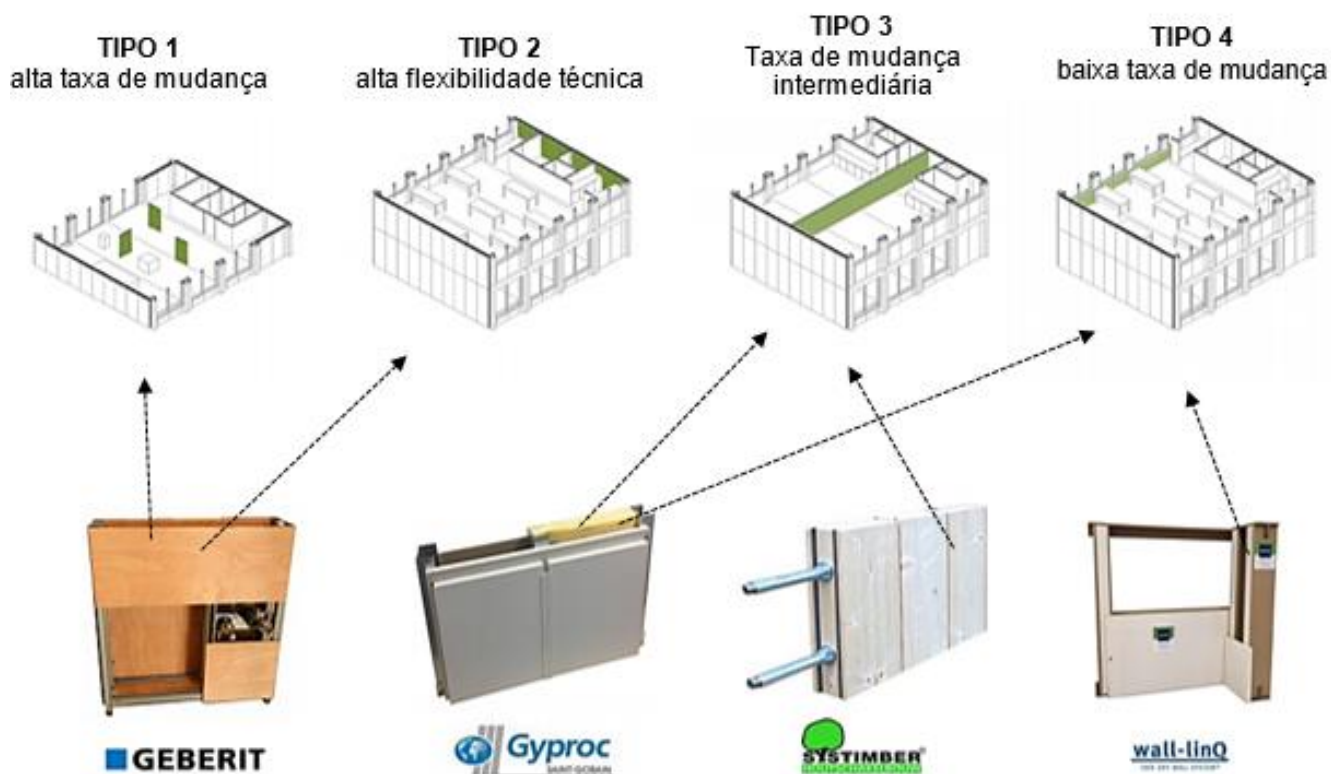


Fonte: PADUARTE, 2018.

Três estratégias gerais de renovação estão sendo testadas: (1) transformação interna dos módulos; (2) transformação externa dos módulos; e (3) transformação dos módulos com base na reconfiguração da estrutura estrutural dos módulos de concreto existentes. Do ponto de vista arquitetônico, todos os planos originais foram projetados com uma certa lógica para a sua estrutura e serviços. Zonas com máxima luz natural são preenchidas com espaços de convívio; todos os serviços sanitários e técnicos estão agrupados em zonas mais escuras, onde o edifício se conecta a um edifício adjacente.

Quanto à transformação interna dos módulos, estão sendo testadas diferentes soluções. Duas soluções de divisórias estão sendo transformados em sistemas reversíveis e comparadas com outros dois sistemas de divisórias reversíveis existentes. O objetivo desse exercício tem sido criar um catálogo contendo diferentes soluções de divisórias adaptáveis aplicadas a diferentes contextos, necessidades dos usuários, condições econômicas e requisitos funcionais. Os sistemas de divisórias testados dentro da CRL são os seguintes:

Figura 36 - Sistemas testados conforme o nível de necessidade de reversibilidade técnica



Fonte: PADUART, 2018.

O sistema **Geberit GIS.**, foi desenvolvido pela Geberit para pré-fabricação de instalações sanitárias. Ao adaptar e adicionar elementos ao Geberit GIS (P1), o CRL se concentra no desenvolvimento de um kit de peças para soluções flexíveis e multifuncionais.

Figura 37 - Sistema Gebrit



Fonte: PADUART, 2018

Figura 38 - Aplicação do Gebrit no CRL



Fonte: PADUART, 2018.

Gyproc, desenvolvido pela Saint-Gobain, consiste em um sistema de moldura de madeira pré-montado com revestimento de gesso cartonado desmontável.

Figura 39 - Sistema Gyproc



Fonte: PADUART, 2018.

Figura 40 - Aplicação do Gyproc no CRL



Fonte: PADUART, 2018.

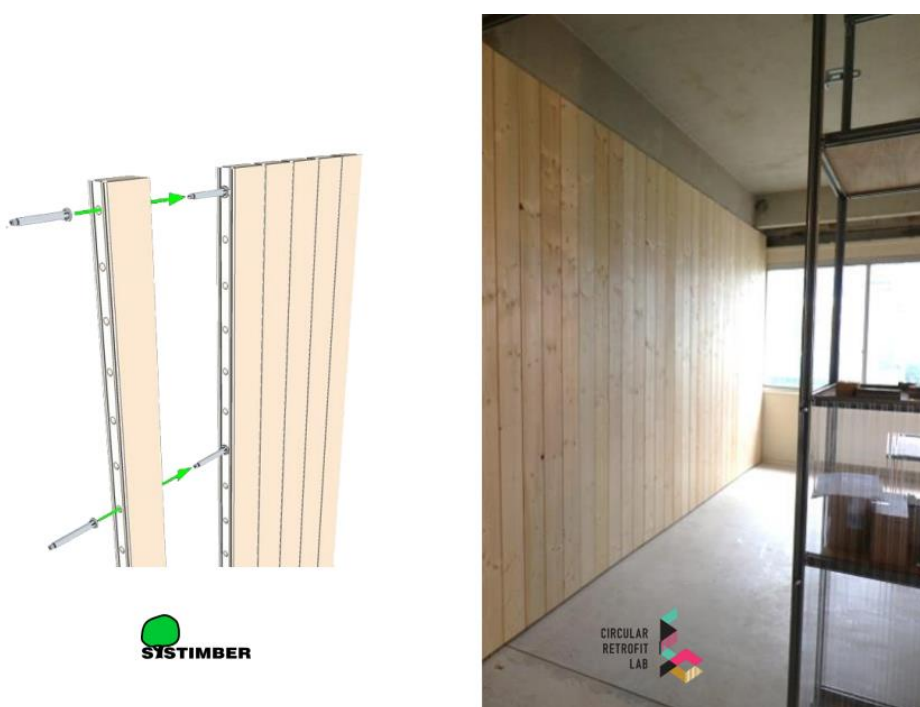
O **Systimber** é um sistema pré-fabricado utilizado para criação de paredes e pisos, em interiores e/ou exteriores, constituído por peças de madeira laminada ligadas por conectores de aço. As tiras de borracha entre os encaixes macho e fêmea garantem junções herméticas e estanques.

Figura 41 - Sistema Systimber



Fonte: PADUART, 2018.

Figura 42 - Aplicação do Systimber no CRL



Fonte: PADUART, 2018.

Wall-linQ é um sistema adequado para uma menor taxa de mudança. Consiste em um conjunto de parede, combinando os benefícios de *drywall* com um baixo impacto ambiental de estrutura de papelão. Oferece um impacto ambiental menor e uma solução financeira interessante.

Figura 43 - Sistema Wall-linQ



Fonte: PADUART, 2018.

Os testes realizados permitiram observar falhas e soluções necessárias para obter maior potencial para a reversibilidade técnica do projeto, por exemplo: o desenvolvimento de novos tipos de conexões. Cabe destacar que o DfD se encontra no cerne dessas soluções, demonstrando que o projeto para desmontagem será um conceito necessário para viabilização dos projetos arquitetônicos contemporâneos. É preciso acompanhar os resultados que serão alcançados ao final do projeto BAMB.

6 CONCLUSÃO

Este estudo buscou compreender como a adoção do *Design for Disassembly* poderia contribuir com a sustentabilidade na construção civil. Ao permitir a criação de edifícios adaptáveis e com maior potencial de recuperação de materiais e componentes, contribui-se para a concepção de edificações mais sustentáveis.

Por meio de uma revisão bibliográfica, foi possível indicar o estado da arte sobre a aplicação do DfD nas edificações. O referencial teórico apresentado possibilitou uma argumentação a respeito dos impactos ambientais, sobretudo quanto à geração de resíduos, resultantes da forma como as edificações têm sido projetadas e construídas.

Tornou-se necessário observar o passado da arquitetura, buscando perceber a relação entre as necessidades dos usuários e a desmontagem dos edifícios. Pôde-se perceber que transformações significativas ocorreram à medida que a permanência e a estabilidade tornaram-se padrões desejáveis, sobretudo no período pós-guerra, passando a desmontagem futura a ser desconsiderada nas construções.

Entretanto, observando as necessidades da sociedade contemporânea, apoiando-se na definição de modernidade líquida, é possível dizer que as rápidas transformações sentidas nas estruturas da sociedade, bem como na percepção de tempo e espaço, tornam necessário o potencial de adaptação dos edifícios. Outra característica refere-se à relação intrínseca que a sociedade na Era da Informação tem desenvolvido com as tecnologias, sendo que os edifícios têm caminhado para tornarem-se cognitivos. Para transformações eficientes no ambiente construído, é necessário que as novas tecnologias sejam empregados desde a fase de projeto e construção desses edifícios, sendo o BIM a principal inovação no setor de arquitetura, engenharia e construção.

Pôde-se esclarecer que a durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, pois depende das condições de uso e está diretamente ligada ao desempenho esperado pelo usuário. Portanto, projetar edifícios como uma entidade estática, sem a previsão de como esses se comportarão ao longo do tempo, significa condená-los à obsolescência. Isso porque diferentes camadas dos edifícios estão sujeitas a diferentes prazos de vida útil. Ao ligá-las de forma permanente prejudica-se a manutenção e adaptação dos espaços construídos, ficando os edifícios

condicionados à demolição, fazendo que componentes com longa vida técnica tenham sua vida útil encerrada devido à incapacidade de separá-los.

Diferente da demolição, a desmontagem prevê que as partes da construção possam ser facilmente desmontadas facilitando manutenção, reparo, substituição e reutilização. Dessa forma, a desmontagem colabora para ampliar a vida útil dos componentes e edifícios, e reduzir o impacto ambiental negativo seja pela redução de resíduos sólidos, seja pela redução da demanda por matérias virgens.

O DfD representa a principal estratégia para facilitar a adaptação dos edifícios às necessidades dos usuários e facilitar a manutenção, contribuindo para o objetivo principal de não geração de resíduos. Entretanto, diferentemente do modelo centralizado das indústrias de eletrônicos e automóveis em que as práticas do DfD encontram-se bem difundidas, a aplicação desses conceitos nos edifícios tem se mostrado complexa. Isso deve-se ao fato de que a indústria da construção civil é composta por diversos atores e o projeto para desmontagem exige uma mudança em toda essa cadeia.

O projeto arquitetônico é fundamental para iniciar essa transformação do setor da construção, auxiliando uma mudança de um modelo linear estático para circular e dinâmico. Por isso, as pesquisas de referência sobre o DfD nas construções foram analisadas buscando apresentar um possível modo de tornar essas diretrizes um método possível de ser padronizado e mensurável, facilitando a adoção dessas estratégias no projeto arquitetônico.

Buscou-se apresentar como resultados da pesquisa diretrizes fundamentais do DfD para aplicação no projeto arquitetônico e ferramentas capazes de mensurar o potencial de desmontagem das construções. Cabe destacar a importância da ISO 20887: *Design for Disassembly and Adaptability of Buildings* (Projeto para Desmontagem e Adaptabilidade de edifícios), ainda em desenvolvimento, mas espera-se que essa possa ser uma forma de padronização das estratégias de DfD para o projeto arquitetônico.

A análise da evolução das pesquisas do DfD nas construções possibilitou a percepção das relações de complexidade entre a desmontagem e a recuperabilidade dos

materiais. É possível destacar, como sendo a principal contribuição deste estudo, a abordagem dos **edifícios como banco de materiais**, demonstrando como essas transformações podem alterar o funcionamento de toda cadeia da indústria da construção civil, desde a concepção dos projetos até ao funcionamento da economia circular.

Apesar das pesquisas e projetos em desenvolvimento, o DfD aplicado à construção civil ainda representa um desafio para aplicação prática. Torna-se necessário que esses conceitos possam ser discutidos e tornem-se um requisito em projetos que busquem a sustentabilidade. É fundamental também que questões sobre a viabilidade financeira, propriedade do direito dos materiais e o funcionamento da economia circular sejam bem definidas para tornar o DfD algo desejável. Transformações significativas serão necessárias para aplicação do DfD ao incorporar novos conceitos para projetar, construir, fabricar componentes, gerir e compartilhar informações sobre as construções e seus componentes. A maior mudança, porém, deverá ocorrer sobre a fase de uso e pós-uso das edificações em que, ao invés de resíduos para descarte, tenham materiais como ativos de uma economia circular. Dessa forma, questionamentos sobre quem será o responsável por essa comercialização são pertinentes.

Desse modo, o presente estudo espera contribuir para disseminar os conhecimentos sobre o DfD, sobretudo no Brasil, incentivando o desenvolvimento de novas pesquisas e projetos que permitam a aplicação do DfD às novas construções como preceito das construções sustentáveis.

6.1 Recomendações sobre novas pesquisas

Devido à pertinência do DfD para resolver problemas dos edifícios contemporâneos e à relação com métodos de projeto e construção sustentáveis, incentiva-se que novas pesquisas possam analisar o resultado final do projeto BAMB. Espera-se que possam aplicar em projetos arquitetônicos algumas das ferramentas que estão sendo desenvolvidas e demonstrar como essas alteram os métodos tradicionais de projeto.

Entre as possíveis contribuições para trabalhos futuros, pode-se destacar:

- Projetar edificações considerando o uso dos Passaportes de Materiais;
- Utilização da Ferramenta de potencial de reutilização;
- Utilização da Ferramenta de capacidade de transformação;
- Consideração dos Protocolos de Design de Edifícios Reversíveis;
- Utilização do *Building Level Integrated Decision Making Model*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:2013 Edificações Habitacionais — Desempenho**. Parte 1: Requisitos gerais. ABNT, 2013.

ADAMS, Katherine. **Design for deconstruction**: helping construction unlock the benefits of the circular economy. 2015. BreeBuzz. Disponível em: <<http://breebuzz.net/2015/12/04/design-for-deconstruction-helping-construction-unlock-the-benefits-of-the-circular-economy/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

AECweb. **Os verdadeiros impactos da construção civil**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2206>. Acesso em 16 jun. 2018

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O DESAFIO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**: volume 5. (Série Sustentabilidade). São Paulo: Blucher, 2011.

AMCHAM BRASIL. **FÁBRICA DE CONSTRUÇÕES RENDE PRÊMIO ECO PARA A PRECON ENGENHARIA**. 2015. Disponível em: <<https://www.amcham.com.br/noticias/sustentabilidade/fabrica-de-construcoes-rende-premio-eco-para-a-precon-engenharia-7304.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ASHTON, Elisa; NAIME, Roberto; HUPFFER, Haide Maria. **DO DESIGN AO ECODESIGN: PEQUENA HISTÓRIA, CONCEITOS E PRINCÍPIOS**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia [online]. 2012, vol. 7, nº 7, p. 1510-1519. ISSN: 2236-1170.

BAUMAN, Zygmunt. **MODERNIDADE LÍQUIDA**. Tradução: Plínio Dentzien. Rio de Janeiro: Zahar. 2001.

BORCHARDT, Miriam et al. **CONSIDERAÇÕES SOBRE ECODESIGN**: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. Ambient. soc. [online]. Campinas, vol.11, n.2, pp.341-353, 2008. ISSN 1414-753X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2008000200009>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

BRAND, Stewart. **HOW BUILDINGS LEARN**: What Happens After They're Built. Viking, 1994. 243 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n.º 307, de 5 de Julho de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 136, 17 jul. de 2002.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de ago. de 2010: **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF 2010.

BRASIL. Ministério do meio ambiente. **Agenda 21 Global**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

BRITO, Fernanda. **Clássicos da Arquitetura: Nakagin Capsule Tower/ Kisho Kurokawa**. ArchDaily, 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-36195/classicos-da-arquitetura-nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

BUILDINGS AS MATERIALS BANCKS. **ABOUT BAMB**. [2016]. Disponível em: <<https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

BUILDINGS AS MATERIALS BANCKS. **D12 FEASIBILITY REPORT + FEEDBACK REPORT: Testing BAMB results through prototyping and Pilot Projects**. 2017. Disponível em: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/09/D12-feasibility-report-and-feedback-report_web.pdf>. Acesso em 16 jun. 2018.

BUILDINGS AS MATERIALS BANCKS. **D13 PROTOTYPNG + FEEDBACK REPORT: testing BAMB results trough prototyping and Pilot Projects**. 2017. Disponível em: <<https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/05/20180502-BAMB-WP4-D13.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

BUILDINGS BLOG. **O Que Fazer Com Os Edifícios Classe “B” Que Estão Vagos?** 2016. Disponível em: <<http://blog.buildings.com.br/o-que-fazer-com-os-edificios-classe-b-que-estao-vagos/>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

CALLAHAN, Aleesha. **DYMAXION HOUSE**. Architectuul, 2013. Disponível em: <<http://architectuul.com/architecture/dymaxion-house>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

CARDOSO, Afrodite da Conceição Fabiana; GALATTO, Sérgio Luciano; GUADAGNIN, Mario Ricardo. Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n. 31, mar de 2014.

CARELI, Élcio. **Resíduos da construção exigem gestão**. AECWEB. [201_]. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/residuos-da-construcao-exigem-gestao_2305_10_0>. Acesso em: 15 jun. 2018.

CE100 BRASIL. **UMA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL: apêndice dos estudos de caso**. Ellen MacArthur Foundation. 2017. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_-Ape%CC%82ndice-de-Estudos-de-Caso.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CE100 BRASIL. **UMA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL: Uma abordagem exploratória inicial**. Ellen MacArthur Foundation. 2017. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2018.

CENTER FOR DIGITAL BUILT BRITAIN (CDBB). **BUILDING INFORMATION MODELLING**. Disponível em: <<https://www.cdbb.cam.ac.uk/BIMLevels>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

CROWTHER, Philip. **Design for Disassembly (DfD)**. Environmental design guide. Nov, 1999. Disponível em: <http://www.bot.yildiz.edu.tr/ids09/_data/_readings/DESIGN%20FOR%20DISASSEMBLY----.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2018.

CROWTHER, Philip. **Design for Disassembly: themes and principles**. 2005. Disponível em: <<https://eprints.qut.edu.au/2888/1/Crowther-RAIA-2005.PDF>>. Acesso em: 15 jun. 2018

CUNHA, Carolina. **ZYGMUNT BAUMAN: o pensamento do sociólogo da "modernidade líquida"**. 2017. Disponível em: <<https://vestibular.uol.com.br/resumo-das-disciplinas/atualidades/zygmunt-bauman-o-pensamento-do-sociologo-da-modernidade-liquida.htm>>. Acesso em: 14 jun. 2017.

DEBACKER, Wim et al. **CIRCULAR ECONOMY AND DESIGN FOR CHANGE WITHIN THE BUILT ENVIRONMENT: preparing the transition**. In: International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands. 2017.

DEBACKER, Wim et al. **D1 SYNTHESIS OF THE STATE-OF-THE-ART: Key barriers and opportunities for Materials Passports and Reversible Design in the current system**. 2016. Disponível em: <www.bamb2020.eu/topics/overview/state-of-the-art/>. Acesso em 21 jun. 2018.

DURMISEVIC, Elma. **DYNAMIC AND CIRCULAR BUILDINGS BY HIGH TRANSFORMATION AND REUSE CAPACITY**. Sustainable Innovation, 2016. Disponível em: <<https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2016/11/Elma-sustainable-innovation-paper.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

DURMISEVIC, Elma. **GREEN DESIGN CENTER MOSTAR: presentations & visits pilot projects**. 2017. Disponível em: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/10/GDC-presentation-171013_WP4Elma.pdf>. Acesso em 15 jun. 2018.

DURMISEVIC, Elma. **TRANSFORMABLE BUILDING STRUCTURES: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction**. 2006. Tese (Doutorado) Universiteit Sarajevo, Sarajevo, 2006. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:9d2406e5-0cce-4788-8ee0-c19cbf38ea9a/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

DURMISEVIC, Elma; YEANG, Ken. **DESIGNING FOR DISASSEMBLY (DfD)**. Novembro, 2009. Disponível em: <<https://onlinelibrary-wiley.ez27.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1002/ad.994>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **ECONOMIA CIRCULAR**. [201_]. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/conceito>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ENVIRONMENTAL PROTECTION ENCOURAGEMENT AGENCY (EPEA). **CIRCULARITY PASSPORTS**. [2018]. Disponível em: <<http://www.epea.nl/circularity-passports/>>. Acesso em 21 jun. 2018

EYNON, J. **BIM, Digital Life and the Third Industrial Revolution**. PLANNING & BUILDING CONTROL TODAY. 2015. Disponível em: <<http://planningandbuildingcontrolday.co.uk/bim-today-002/bim-digital-life-third-industrial-revolution/18480/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). **HABITARE**: resultados de impacto 1995/2007. Programa de Tecnologia da Habitação. Rio de Janeiro, [2007]. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/doc/divulgacao/relatorio_1995-2007.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2018.

FRACALOSSI, Igor. **CLÁSSICOS DA ARQUITETURA: CASA DYMAXION 4D / BUCKMINSTER FULLER**. ArchDaily, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320270002_Classicos_da_Arquitetura_Casa_Dymaxion_4D_Buckminster_Fuller?enrichId=rgreq-0cf779d1d34b392e2c6930b11faf2732-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMDI3MDAwMjtBUzo1NDY5NDYwMjE2Mjk5NTJAMTUwNzQxMzUwMTMwNg%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf> . Acesso em: 16 jun. 2018.

FREITAS, Ludmila de Souza. **VIDA ÚTIL ÓTIMA DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES CONSIDERANDO CONSUMO ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO, SOB A ÓTICA DO ECODESIGN**. 2017. 200f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Design. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GARCIA, Juan Carlos Claros. **ECODESIGN**: estudo de caso em uma indústria de móveis de escritório. 2007.157f. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

GRINDLAY, Steve. **CRYSTAL PALACE PARADE**. 2002. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/stevegrindlay/3182716436/in/photostream/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

HOLT, Nick. **Nissen Huts**. The Museum of Thin Objects, 2013. Disponível em: <<https://inlanding.wordpress.com/2013/02/04/nissen-huts/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

IBM GLOBAL BUSINESS SERVICES. **WHITE PAPER**: Embracing the Internet of Things in the new era of cognitive buildings. 2016. Disponível em: <<https://ibm.ent.box.com/s/ieuoxqj58pl7q0v9etmirrkd96i27wng>> Acesso em: 16 jun. 2018.

INVISIBLEPARIS. **L'IRCAM (EXTENSION)**. [201_]. Disponível em: <<http://bricksinparis.blogspot.com/2009/06/lircam-extension.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/CD 20887: Design for Disassembly and Adaptability of Buildings**, Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/69370.html>>. Acesso em 21 jun. 2018.

JOHN, V. M. et al. **Durabilidade e Sustentabilidade**: desafios para a construção civil brasileira. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2., São José dos Campos, 2002.

MACEDO, Danielly Borges Garcia. **METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS**: aplicação em um sistema estruturado em aço. 2011. 265 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9ACGQD/29.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

MATARRAIA, Letícia França. **ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE**: Considerações sobre o Desmonte das Edificações. 2013. 218f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-14012014-101132/en.php>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

MELO, Leonardo Menezes; MERINO, Eugênio Andrés Diaz; MERINO, Giselle Schmidt Aves Diaz. **UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE DESING FOR X**. Revista GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 12, nº 4, out-dez/2017, p. 78-99.

NADALIN, Vanessa Gapriotti; BALBIM, Renato. **Padrões Espaciais da Vacância Residencial Brasileira**. 2011. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/code2011/chamada2011/pdf/area7/area7-artigo6.pdf>>. Acesso em 21 jun. 2018.

NASCIMENTO, Douglas. A HISTÓRIA DO EDIFÍCIO WILTON PAES DE ALMEIDA NO LARGO DO PAISSANDU. **Pragmatismo político**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.pragmatismopolitico.com.br/2018/05/historia-edificio-wilton-paes-de-almeida.html>>. Acesso em: 15 jun. 2018

NORDBY, Anne Sigrid. **Salvageability of building materials**: Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling. 2009.179f. Tese (Doutorado) Faculty of Architecture and Fine Art of Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, 2009. Disponível em: <<https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/231092>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

PADUART, Anne. **Circular Retrofit Lab**: A Brussels' renovation experiment on how to re-design existing buildings into circular buildings. WASCON Conference, 2018. Disponível em: < https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/06/Circular_Retrofit_Lab_-_A_Brussels_renovation_experiment_on_how_to_re-design_buildings_into_circular__05.06.18_web-2.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2018.

PAZ, Daniel. Arquitetura efêmera ou transitória: Esboços de uma caracterização. **Arquitextos** n. 102.06, 2008. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.102/97>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS EDIFICAÇÕES: ABORDAGEM GERAL. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**. 1ª edição. 2013. ISSN 2358-5420. Disponível em: <<http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/view/14/10>>. Acesso em 21 jun. 2018.

RIOS, Fernanda Cruz; CHONG, Wai K.; GRAU, David. **Design For Disassembly And Deconstruction: Challenges and Opportunities**. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. 2015. Procedia Engineering, vol. 118, 2015, p. 1296-1304. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485>>. Acesso em 21 jun. 2018.

SARAIVA, Tatiana Santos. **DIRETRIZES DE PROJETO PARA POSSIBILITAR A DESCONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES E SEUS COMPONENTES**. 2013. 111f Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

THORMARK, Catarina. **Motives for design for disassembly in building construction**. 2007. Disponível em: <<https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11732.pdf> >. Acesso em 21 jun. 2018.

THORMARK, Catarina. **RECYCLING POTENTIAL AND DESIGN FOR DISASSEMBLY IN BUILDINGS**. Lund Institute of Technology. 2001. Disponível em: <<http://portal.research.lu.se/portal/files/4809710/1693314.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

WEBSTER, Mark D.; COSTELLO, Daniel T. **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 November, 2005. Disponível em: <<http://www.lifecyclebuilding.org/docs/Designing%20Structural%20Systems%20for%20Deconstruction.pdf>>. Acesso em 21 jun. 2018.

YEANG, Ken. **ECODESIGN: a manual for ecological design**. London: Wiley-Academy, 2006. 499 p.