



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

DESIGN PARA DESCONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES DE PROJETO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÕES¹

FARDIN, Rafaela de Alemar (1); PEINADO, Hugo Sefrian (2)

(1) Universidade Estadual de Maringá (UEM), rafaela.a.fardin@gmail.com

(2) Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), contato@hugosefrian.eng.br

RESUMO

A desconstrução é uma alternativa ao processo de demolição, que consiste na desmontagem cuidadosa de um edifício visando reaproveitar seus materiais e elementos. O design para desconstrução (DpD) visa condicionar a edificação à futura desconstrução, tomando decisões na concepção do projeto inicial da edificação para garantir segurança na desmontagem e recuperação dos materiais e elementos ao final de sua vida útil. No Brasil, as estruturas de concreto armado são amplamente empregadas na produção de edificações. Apesar da versatilidade desse sistema construtivo, há um grande ônus ambiental agregado nos materiais e processos utilizados. Nesse contexto, o presente trabalho visa identificar aspectos a serem considerados na elaboração do projeto de estruturas de concreto armado de modo a potencializar o processo de desconstrução ao final da vida útil. Para isso, procedeu-se à revisão da literatura acerca do tema e aplicação de questionário com profissionais, de forma que fosse possível elaborar propostas de diretrizes a partir da análise conjunta desses dados. Como resultado, foram formuladas recomendações de reaproveitamento, desmontagem, recuperabilidade e manutenção da desconstrutibilidade.

Palavras-chave: DpD. Concepção para Desconstrução. Sustentabilidade na construção civil.

ABSTRACT

Deconstruction is an alternative to the demolition process, which consists of carefully disassembling a building to reuse its materials and elements. The Design for Deconstruction (DfD) aims to condition the building for future deconstruction, making decisions in the early design stage to ensure safety in the disassembly and recovery of materials and elements at the end of its service life. In Brazil, the reinforced concrete structures are widely employed in building construction, and despite this system's versatility, the materials and processes used hold a significant environmental load. In this regard, this study aims to propose guidelines to be considered in the design of reinforced concrete structures in order to enhance the deconstruction process feasibility at the end of its service life. A literature review on the topic and a questionnaire with brazilian professionals were carried out so that it was possible to develop these proposals. As a result, recommendations were made for reuse, disassembly, recoverability, and maintenance of deconstructibility.

Keywords: DfD. Design for Disassembly. Sustainability in civil construction.

¹ FARDIN, Rafaela de Alemar; PEINADO, Hugo Sefrian. DESIGN PARA DESCONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES DE PROJETO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÕES. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

As atividades do setor da construção civil são algumas das mais importantes no desenvolvimento econômico e social do país, entretanto ela ainda gera grandes impactos ambientais, seja pelo consumo de recursos naturais, ou mesmo pela geração de resíduos (NASCIMENTO; LEÃO; ROCHA, 2016).

De acordo com Brasileiro e Matos (2015), os resíduos da construção civil (RCC) representam 50% do total gerado e, segundo Kibert (2013), do total desses RCC cerca de 50% são resíduos de demolições (RD). A recuperação desses componentes resultaria em ganhos econômicos para as empresas e proprietários, bem como em menor ônus ambiental.

A desconstrução, também conhecida como demolição sustentável, é a alternativa que surgiu ao sistema de demolição tradicional e descarte. Ela consiste na desmontagem da edificação feita de forma cuidadosa, com o intuito de separar e reaproveitar ao máximo as matérias-primas usadas, em um processo de reciclagem ou reutilização (SILVA; NAGALLI; COUTO, 2018).

Segundo Akinade *et al.* (2017), algumas barreiras técnicas que surgem no momento da desconstrução podem inviabilizar parcial ou completamente o processo. Em função disso, é necessário que haja a adoção de diretrizes de *Design* para Desconstrução (DpD), conceito que se configura no ato de preparar uma edificação para a desconstrução desde sua fase de projeto.

Tais diretrizes tradicionalmente se limitaram à aplicação do DpD apenas às edificações de aço e madeira. Porém os elementos de concreto armado são os mais usuais na construção de estruturas de edificações brasileiras e os benefícios do reaproveitamento desses materiais devem, também, ser possibilitados pelo DpD, apesar da sua desconstrução ser mais delicada e complexa (DURMISEVIC, 2006).

Nesse contexto, o presente trabalho visa identificar como a desconstrução pode ser prevista em um projeto estrutural em concreto armado, indicando aspectos de projeto que tornem o processo viável e seguro, quando a edificação chega ao fim de sua vida útil.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A desconstrução é um processo de desmonte dos componentes de uma edificação sem danificá-los, com o objetivo de reutilizar tais componentes ou reciclar os materiais de acordo com seu potencial, o que pode ocorrer durante uma reforma, adaptação ou no fim da vida útil da construção (ADDIS, 2010). Para Durmisevic (2006), quanto maior a capacidade de transformação e desmontagem de um edifício, menor será o impacto ambiental causado e maior a sustentabilidade. A falta de preparação de edificações para a desmontagem e reaproveitamento é uma das maiores determinantes no descarte da desconstrução como uma alternativa viável de demolição (SOUSA; DE BRITO; PEREIRA, 2005).

Assim, para sua efetividade, a desconstrução deve ser encarada como um conceito a ser adotado desde a fase de projeto das edificações. Essa prática é conhecida como *Design* para Desconstrução (DpD) (AKINADE *et al.*, 2017). A literatura coloca diversas orientações gerais de *design* para desconstrução. Em suma, essas orientações incluem: princípios relativos ao reaproveitamento; princípios relativos à desmontagem e recuperabilidade e; princípios relativos à manutenção da desconstrutibilidade.

Para Saraiva (2013), os engenheiros de estruturas têm a responsabilidade de garantir que seus sistemas estruturais sejam concebidos para a desconstrução. Lim *et al.*, (2014) apontam que a literatura costuma tachar a desconstrução de estruturas de concreto com avaliações qualitativas como “difícil de desmontar”, sem realizar uma análise de tempo ou energia do processo, reproduzindo dados não confiáveis. Nesse contexto, as estruturas de concreto foram ignoradas.

Devido a essa negligência, a reutilização de elementos de concreto não é feita em larga escala. Entretanto, há relatos de projetos em que essa reutilização foi empregada com sucesso, principalmente no caso de elementos pré-moldados, como nos trabalhos holandeses, que desenvolveram sistemas industriais em concreto desmontáveis (MACHADO; SOUZA; VERÍSSIMO, 2018). Salama (2017) aponta casos de sucesso nos quais o custo das novas construções foi cerca de 30% menor com a reutilização de estruturas de concreto.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esse estudo adota uma estratégia de pesquisa de natureza aplicada, com objetivos exploratórios, baseada em uma extensa análise da literatura e entrevistas com pequenas amostras, com o intuito de abordar o tema de forma complexa (TOLEDO; SHIAISHI, 2009).

O trabalho partiu de uma investigação da literatura nacional e internacional acerca da desconstrução e do design para desconstrução de edificações. A literatura foi analisada em busca da verificação de aspectos do projeto estrutural e da estrutura que contribuíssem com a desconstrução estrutural e da edificação como um todo.

Foi observada e fichada, para essa análise, toda a bibliografia revisada, de forma cruzada, e as propostas identificadas como possíveis diretrizes aplicadas foram organizadas de acordo com as diretrizes de DpD relativas ao reaproveitamento, desmontagem e manutenção da desconstrutibilidade das edificações, como apresentadas na revisão, para melhor entendimento. As referências utilizadas para a formulação das diretrizes são apresentadas a seguir, indicadas pelas letras A a Q.

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| A. Akinade <i>et al.</i> (2017) | J. Mayer (2017) |
| B. Bertin <i>et al.</i> (2019) | K. Özkan e Tahira (2012) |
| C. BRE (2019) | L. Rios, Chong e Grau (2015) |
| D. Couto e Couto (2007) | M. Salama (2017) |
| E. Couto e Mendonça (2011) | N. Santos e De Brito (2010) |
| F. Freire e de Brito (2001) | O. Saraiva (2013) |
| G. Hurley <i>et al.</i> (2002) | P. Seemann, Schultmann e Rentz (2002) |
| H. Khan (2013) | Q. Shumaker e Lang (2010) |
| I. Machado, Souza e Veríssimo (2018) | |

Em seguida à análise da literatura, foi consultada a perspectiva de profissionais experientes sobre a prática da desconstrução de estruturas de concreto armado e as suas implicações no projeto estrutural. A consulta foi feita a partir de uma coleta de dados qualitativos, em formato de questionários, com profissionais brasileiros.

A estrutura do questionário envolveu perguntas abertas com ordem lógica de complexidade crescente: considerando os materiais separadamente para a reciclagem; considerando a reutilização dos elementos estruturais pré-moldados; depois, considerando a reutilização de elementos moldados in loco e; por fim, com menor especificidade, considerando a protensão dos dois tipos.

Os 15 profissionais que participaram da pesquisa foram: dez professores/pesquisadores doutores na área de estruturas e sustentabilidade

(indicados com a numeração 1 a 10 nos resultados), sendo oito com mais de 20 anos de experiência, um com mais de 10 anos e outro com mais de 5 anos de experiência em pesquisas na área; quatro projetistas estruturais (indicados com a numeração 11 a 14 nos resultados) com períodos variados de experiência em projeto e; um engenheiro de demolição com mais de 10 anos de experiência (indicado como 15 nos resultados). Foi observado na escolha dos entrevistados seu tempo de experiência na área de atuação, além do interesse em estruturas de concreto armado, repertório acadêmico e carreiras.

As respostas dos profissionais foram, também, elencadas de acordo com as diretrizes presentes na literatura. Essas foram, então, avaliadas em conjunto com a literatura consultada, com o intuito de extrair conclusões elaboradas e bem embasadas. Por fim, foram organizadas e propostas as diretrizes e considerações de projeto estrutural em concreto armado identificadas na análise.

4 RESULTADOS

Nos Quadros 1, 2 e 3, são apresentadas as propostas de diretrizes de DpD de estruturas de concreto armado identificadas a partir da análise da literatura e dos questionários, seguindo a estrutura e organização trazida na revisão da literatura.

Quadro 1 – Diretrizes de *Design* para Desconstrução de estruturas – Princípios relativos ao reaproveitamento (continua)

Princípio	Diretrizes sugeridas para Desconstrução	Profissionais e Literatura
Adaptabilidade e flexibilidade de edificações	Opção por grandes vãos	D
	Compartimentação arquitetônica independente do projeto estrutural	4, 6, H, N, O
Possibilidade de reutilização de componentes	Preferência pelo sistema pré-moldado/pré-fabricado	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, I
	Dimensionamento dos elementos moldados in loco para trabalhar independentes quando cortados	4, 10, I
	Definição das seções de corte de elementos ligados monoliticamente	1, 3, 4, 10, 11
	Previsão dos equipamentos de corte	1, 2, 3, 11
	Previsão de folga para regularização de bordas e ferragens após o corte	4
	Opção por componentes leves	5, 6, 7
	Dimensionamento considerando dimensões de transporte	4, 5, 11
	Utilização de concretos de alta resistência	7, 8, M
	Adesão às práticas normativas de projeto	1, 2, M
	Preferência por protensões aderentes	1, 2, 7, 10, 14
Possibilidade de reciclagem de materiais	Emprego de elementos reutilizados	B, O
	Pesquisa de critérios regionais de recebimento de resíduos	7, E, P
	Uso de agregados e ferragens recuperados	D
	Emprego de concreto de alta resistência com agregados de melhor qualidade	8
	Cuidado com as adições contaminantes ou desvalorizadoras do concreto, como o isopor ou matéria orgânica	8, 13, 15, D, G
	Preferência por aditivos e agregados reciclados com as mesmas propriedades do concreto	15, O

Quadro 1 – Diretrizes de *Design* para Desconstrução de estruturas – Princípios relativos ao reaproveitamento (continuação)

Princípio	Diretrizes sugeridas para Desconstrução	Profissionais e Literatura
Durabilidade estendida das partes	Previsão de mais de uma vida útil de projeto para os elementos estruturais reutilizáveis	I, O
	Previsão do desempenho e deterioração dos elementos e materiais empregados	E, M
	Adoção de cobrimentos de armaduras superiores ao mínimo normatizado	2, 4, 12
	Previsão de possíveis mudanças de ambiente	2
	Dimensionamento para aparecimento mínimo de fissuras e deformações permanentes	12
	Prescrição das manutenções necessárias ao longo da vida útil da estrutura	7
	Adoção de camadas protetoras contra possíveis contaminantes, como pinturas impermeabilizantes	M
Padronização	Adoção da modularidade de projeto	5, 6, 7, O
	Uniformização dos perfis estruturais quanto às dimensões e armaduras	6, 8, 12, 14, I, Q
	Minimização dos tipos de ligação	1, 4, 7, I, O, Q
	Simplificação do comportamento dos elementos independentes	1, 3, 4, B
	Diminuição da variabilidade das peças	1, 8, 12
Toxicidade e periculosidade	Não adição de materiais que possam ser tóxicos ou perigosos aos trabalhadores da desconstrução, como agregados de borracha de pneus	8, 15, D, I

Fonte: A autora e o autor

Quadro 2 – Diretrizes de *Design* para Desconstrução de estruturas – Princípios relativos à desmontagem e recuperabilidade (continua)

Princípio	Diretrizes sugeridas para Desconstrução	Profissionais e Literatura
Construção em camadas	Isolamento construtivo do sistema estrutural para com as outras camadas	2, 4, I, O
	Emprego de ligações por conexões mais frágeis ou por encaixe	3
	Consideração do processo de desconstrução dos outros sistemas	1, 2, 4
Simplicidade do sistema	Simplificação do arranjo estrutural	1, 3, 4, 5, 7, 9, H
	Preferência por estruturas isostáticas	9, 12
	Adoção de sistemas convencionais e conhecidos	15, D, H, I, O
Processo de desconstrução (continua)	Previsão de espaço para escoramento dos elementos estruturais durante a desconstrução	13, 14, 15, I
	Previsão de armaduras para o futuro içamento e transporte dos elementos	1, 4, 5, 11, 13, 15
	Dimensionamento de alças e ganchos para movimentação dos componentes	4, 11, 15, O
	Previsão de mais de um caminho das cargas para a desmontagem	4, 11, 14
	Simulações de estabilidade e ordem de desmonte	4, 5, 11, 13, I

Quadro 2 – Diretrizes de *Design* para Desconstrução de estruturas – Princípios relativos à desmontagem e recuperabilidade (continuação)

Princípio	Diretrizes sugeridas para Desconstrução	Profissionais e Literatura
Processo de desconstrução (continuação)	Projeto de juntas preferenciais de desmontagem	5, 6, 11
	Estrutura com componentes maiores em menor quantidade	4, I, O, Q
	Não adoção de seções muito esbeltas	4, 12, 13, 15
	Previsão do espaço para desprotensão	13
	Previsão da ordem de desprotensão	4, 12, 14
Acessibilidade	Previsão do espaço para fixação de equipamentos com folga	1, 10, H, I, O
	Previsão de alcance dos elementos por guindastes	1, I
Conexões	Preferência por ligantes metálicos, parafusados ou por encaixe	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, K, I, Q
	Simplificação do arranjo estrutural	4, 11, 13, 14
	Previsão de cortes e separação de juntas monolíticas	1, 3, 10, 11, D
	Previsão dos métodos de recuperação das componentes	13, C
	Utilização de conexões reversíveis	15, J
Espaço para equipamentos, materiais e manobras	Previsão de espaço para maquinário pesado	2, 14, 15, I, K
	Previsão dos pontos de içamento	11, 15, I
	Previsão de espaço de recuperação inicial dos materiais	2, 15, F, I, O
Análise de riscos	Realização da análise de riscos do projeto	14, F, I
	Dimensionamento de ancoragem para os equipamentos de proteção coletivas especiais para a desmontagem	M
	Previsão de espaço para relaxação de cabos de protensão	M
	Realização de simulação de desmontagem contra o colapso progressivo	12, M
	Dimensionamento das lajes considerando sobrecargas de impacto	12, M

Fonte: A autora e o autor

 Quadro 3 – Diretrizes de *Design* para Desconstrução de estruturas – Princípios relativos à manutenção da desconstrutibilidade (continua)

Princípio	Diretrizes sugeridas para Desconstrução	Profissionais e Literatura
Identificação de materiais de construção	Boa documentação dos materiais e elementos e orientação de sua localização em campo	I, L, O, Q
	Prever a durabilidade física dos códigos físicos adotados para reconhecimento dos elementos e materiais	D
	Adoção de estratégia de indicação das características das peças no local e virtual	3, I, O
	Indicação de locais de corte	1, I

Quadro 3 – Diretrizes de *Design* para Desconstrução de estruturas – Princípios relativos à manutenção da desconstrutibilidade (continuação)

Princípio	Diretrizes sugeridas para Desconstrução	Profissionais e Literatura
Sistema de documentação informação e manutenção	Informação acerca dos materiais e elementos centralizada com a dos outros sistemas da edificação	3, 14, B, C, L
	Resguardo das informações de cálculo e execução	3, 11, 14, I, O
	Preparação de manual de manutenção	7, H, O
	Especificação dos materiais	3, 5, 7, 14, B, I, O
	Disponibilizar informações sobre as vidas úteis estendidas das peças	11, B, G
	Atualização frequente das informações	B
<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	Plataforma de documentação para a manutenção de informação para a desconstrutibilidade	5, 11, A, B, C
	Simulações de arranjos estruturais e da desmontagem	5, 14, A
	Previsão da análise econômica do aproveitamento de materiais e elementos empregados na novo projeto	A

Fonte: A autora e o autor

De modo geral, observa-se que as respostas dos profissionais foram concisas com a literatura consultada. Algumas das recomendações são de concordância geral e não intervêm significativamente no processo estabelecido de projeto. É interessante, porém, observar o surgimento das diretrizes discordantes. Um exemplo é a diretriz de padronização dos vãos, que mantém a liberdade de leiaute das edificações e pode implicar na adoção de grandes vãos e elementos protendidos, o que contrasta com a recomendação de adoção de componentes estruturais pequenos para a reutilização, que são mais facilmente transportáveis. Nesses casos, as opções devem ser ponderadas pelos projetistas, para decidir o equilíbrio cabível ao empreendimento.

Dessa forma as diretrizes reunidas não são, de forma alguma, absolutas, mas recomendações. O projetista tem a liberdade e a criatividade para adotar variadas estratégias para as questões apresentadas neste trabalho e possibilitar a desconstrução segura e viável de seu projeto.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi possível realizar a identificação de vários aspectos do projeto estrutural que têm influência na viabilidade técnica da desconstrução estrutural das edificações em concreto armado. As recomendações reunidas abrangeram a reutilização e reciclagem dos materiais, sua montagem, desmontagem, transporte, manutenção e documentação. Essas propostas podem auxiliar na preparação das edificações para a futura desconstrução e, por conseguinte, potencializar práticas sustentáveis no emprego do concreto armado na construção civil, tendo em vista a presença massiva das estruturas de concreto no contexto nacional, que apresentam elevado grau de impacto ao ambiente.

Mais estudos são julgados necessários para sedimentar o *design* para a desconstrução de estruturas como uma ideia confiável, como pesquisas de desempenho, durabilidade e deterioração dos componentes de concreto armado, padrões normativos para o *upcycling* de estruturas, dentre outros.

REFERÊNCIAS

- ADDIS, W. **Reuso de materiais e elementos de construção**. 1. ed. tradução Christina Del Posso, São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- AKINADE, O. O.; OYEDELE, L. O.; OMOTESO, K.; AJAYI, S. O.; BILAL, M.; OWOLABI, H. A.; ALAKA, H. A.; AYRIS, L.; LOONEY, J. H. BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities. **International Journal of Sustainable Built Environment**, UK, v. 6, p. 260-271, 2017.
- BERTIN, I.; LEBRUN, F.; BRAHAM, N.; LE ROY, R. Construction, deconstruction, reuse of the structural elements: the circular economy to reach zero carbon. In: SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT CONFERENCE 2019 (SBE19) Graz, Austria. **IOP Publishing Conf. Series: Earth and Environmental Science**, 323, 2019.
- BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil, **Cerâmica 61**, Terezina, 2015.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT – BRE. **Design for Deconstruction** – helping construction unlock the benefits of the Circular Economy. London, UK. Disponível em <https://www.bregroup.com/buzz/design-for-deconstruction-helping-construction-unlock-the-benefits-of-the-circular-economy/>. Acesso em 23 set. 2019.
- COUTO, J. P.; COUTO, A. M. Reasons to consider the deconstruction process as an important practice to sustainable construction. **Proceedings Portugal SB**, v. 7, p. 76-81, 2007.
- DURMISEVIC, E. **Transformable Building Structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction**. 1. ed. Delft: Cedris M&CC, 2006.
- KIBERT, C.J. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**. 3 ed. New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC, 2013
- LIM, M.; CHOI, H.; CHOI, H.; KITAGAKI, R.; NOGUCHI, T. Development of Eco-friendly deconstruction Technologies for recycling construction waste. **Journal of Environmental Protection**, 5, p. 647-661, 2014.
- MACHADO, R. C.; SOUZA, H. A.; VERÍSSIMO, G. S. Analysis of Guidelines and Identification of Characteristics Influencing the Deconstruction Potential of Buildings. **MDPI Sustainability Journal**, 20, 2604, Basel, Switzerland, jul. 2018.
- MARTINS, A. S. M.; REIS, D. C.; FABRICIO, M. M. Diretrizes para o planejamento de uma demolição seletiva em edifícios. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, MS, v. 20, n. 2, p. 487-507, abr./jun. 2019.
- NASCIMENTO, T., L.; LEÃO, D., C.; ROCHA, J., S., M. Certificação Ambiental Na Construção Civil Brasileira. **Revista Acadêmica FEOL**, Minas Gerais, v. 1, 2016, p. 104-119.
- RIOS, F. C.; CHONG, W. K.; GRAU, D. Design for disassembly and deconstruction – challenges and opportunities, 2015, Abu Dhabi, United Arab Emirates. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 1296-1304, 2015.
- SALAMA, W. Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review. **International Journal of the Built Environment**, Germany, 6, p. 617-635, 2017.
- SANTOS, A.; DE BRITO, J. Building deconstruction: A contribution to sustainable building. In: International Postgraduate Research Conference on the Built Environment (IPGRC), 1, CIB 10666, 2010, UK. **Proceedings [...]**, Salford: University of Salford, 2010.
- SARAIVA, T. S. **Diretrizes de projeto para possibilitar a desconstrução de edificações e seus componentes**. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído)- Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.