

Design for Disassembly em obras públicas: Análise do Potencial de Reuso no Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora

Design for Disassembly in Public Works: Analysis of Reuse Potential at University Hospital - Federal University of Juiz de Fora

Gabriela Maria Martins Ribeiro, Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora

gabi.ribeiro@estudante.ufjf.br

Maria Ávila Branquinho, Professora Doutora, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

maria.branquinho@ufjf.br

Número da sessão temática da submissão – [06]

Resumo

O estudo teve como objetivo a aplicação da metodologia *Design for Disassembly* (DforD) na obra do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora, por meio de um estudo de caso, visando avaliar e quantificar o potencial de desmontagem, recondicionamento e reaproveitamento dos sistemas construtivos. Como procedimento metodológico, utilizou-se fatores para a classificação do recondicionamento dos materiais a partir de referências presentes na literatura para mensurar o desempenho ambiental dos componentes estruturais. As análises indicaram alta desmontabilidade e elevado potencial de reuso, para elementos metálicos. O DforD favorece a adaptabilidade e previne a obsolescência precoce, o que justifica a sua adoção em obras públicas, evitando o abandono dos edifícios, como é o caso do HU UFJF.

Palavras-chave: Design for Disassembly; Sustentabilidade; Construção civil; Reutilização de materiais

Abstract

The study applied Design for Disassembly (DforD) in the University Hospital of the Federal University of Juiz de Fora, through a case study, aiming to assess and quantify the potential for dismantling, reconditioning and reuse of construction systems. As a methodological procedure, we used factors for the classification of reconditioning materials from references in the literature to measure the environmental performance of structural components. The results obtained by the analysis indicated that metal elements have a high disassembly and high potential for reuse.

Keywords: Design for Disassembly; Civil construction; Sustainability;

1. Introdução

O setor da construção civil é uma das esferas mais significativas dentro do desenvolvimento econômico e social da sociedade. Segundo Neto et al. (2025), a indústria da construção civil, embora necessária para o desenvolvimento econômico e social, é um dos principais responsáveis por significativos impactos ambientais devido à geração exacerbada de rejeitos, resultando em uma dualidade inerente ao setor. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo pontuar e analisar os componentes estruturais do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU UFJF), partindo da hipótese de que a aplicação do método DforD em obras públicas oferece a flexibilidade necessária para a longevidade do empreendimento a fim de mitigar o impacto gerado ao meio ambiente por estes edifícios.

As demandas sociais por sustentabilidade crescentes pressionam a indústria da construção civil a aderir metodologias e sistemas que favoreçam a durabilidade e a economia circular. Agopyan e John (2011) destacam a necessidade da integração dos seguintes critérios: (a) questões ambientais: o setor da construção proporciona o consumo exacerbado dos recursos naturais e energéticos, podendo gerar a escassez destes; e (b) questões econômicas: valor agregado pelo ambiente construído, custos anuais de gestão, manutenção e os custos durante todo o ciclo de vida das edificações interferindo na economia e concorrência.

O *Design for Disassembly* (DforD) é um conceito que visa a projetos com um melhor reaproveitamento de materiais. Esta metodologia busca maximizar a conservação de materiais, compreendida como a preservação de seu valor e funcionalidade ao longo do tempo, desde o planejamento da construção até o fim da vida dos edifícios (Oliveira et al., 2024). A metodologia DforD busca evitar a obsolescência prematura dos materiais e mitigar fatores econômicos, transformando o que seria resíduo em ativo de valor dentro da metodologia da economia circular (Oliveira et al., 2024).

A bibliografia recente sobre o DforD está associada com a sistematização de barreiras e oportunidades, voltada para a análise de métodos que representem de maneira efetiva a reintrodução dos elementos estruturais na cadeia produtiva. Kanter (2018) aponta que, embora os benefícios no quesito ambiental e econômico associados ao DfD sejam inúmeros, ainda há uma resistência na adoção do método devido à falta de ferramentas e compreensão da metodologia. Ribeiro e Branquinho (2025) destacam que a eficiência do processo de desmontabilidade está intrinsecamente atrelada às conexões e à integridade dos materiais recuperados. Portanto, a incorporação da estratégia DforD deve ser antecipada desde as fases iniciais dos projetos, a fim de garantir a viabilidade do futuro reuso dos componentes (Ribeiro e Branquinho, 2025).

Este artigo propõe uma metodologia baseada em pontuação para avaliar o acondicionamento de componentes estruturais. Visando avaliar e quantificar o potencial

de desmontagem, recondicionamento e reaproveitamento dos materiais, analisando-se o método DforD e sua aplicabilidade em obras paralisadas. Para isso, é apresentado um estudo de caso na obra do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU UFJF).

2. Procedimentos Metodológicos

O presente trabalho apresenta um estudo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, fundamentando-se em pesquisas bibliográficas e observação *in loco*. Visando à classificação dos componentes estruturais utilizados na construção do Hospital Universitário de Juiz de Fora (HU UFJF), o presente estudo pode ser organizado em duas etapas.

Inicialmente, foram selecionados fatores para a classificação do recondicionamento dos materiais a partir de referências presentes na literatura. Já na segunda etapa, foram realizadas visitas técnicas ao local da obra, com o intuito de identificar os principais elementos estruturais empregados na construção e correlacionados aos parâmetros de recondicionamento identificados previamente.

A obra trata-se da execução do edifício do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora (HU-UFJF), localizado na UFJF, no bairro Dom Bosco em Juiz de Fora - MG. O edifício está vinculado à Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (Ebserh) e à Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) (G1, 2025). Ademais, o novo HU foi projetado para atender demandas três vezes maiores que a quantidade do HU atual (UFJF, 2025).

Para a adoção da caracterização da agressividade corrosiva do ambiente de exposição dos componentes do HU UFJF utilizou-se os critérios da NBR ISO 12944-2 (ABNT, 2018). A cidade de Juiz de Fora-MG está localizada na região sudeste do Brasil, em uma zona continental interiorana. Além disso, o HU UFJF está situado em uma atmosfera urbana com níveis moderados de poluentes. Levando em consideração estas características, o local onde está localizado o HU UFJF seria classificado na categoria de corrosividade C3, uma corrosividade média, segundo a ABNT (2023). Para fins comparativos de classificação, os elementos de concreto armado da obra devem ser analisados considerando uma Classe de Agressividade Ambiental (CAA) igual a CAA II à III típicas de áreas urbanas com poluição considerável, disponível na norma brasileira de estruturas de concreto NBR 6118 (ABNT, 2023). Portanto, a proteção dos elementos metálicos vai depender diretamente de barreiras físicas de proteção como pinturas e revestimentos.

Por fim, os materiais foram analisados e classificados conforme os critérios obtidos na literatura, considerando aspectos como tipo do material, tipo de ligação, facilidade de acesso e potencial de restauração, permitindo a identificação de oportunidade para práticas mais sustentáveis dentro do contexto da construção civil.

3. Resultados e Discussões

A viabilidade da metodologia DforD na economia circular depende da integridade física dos elementos pós-desmontagem. Bertino et al. (2021), a capacidade de recuperação dos elementos sem danos significativos é decisiva para o acondicionamento e sua reinserção na cadeia produtiva por meio de ativos econômicos.

3.1 Primeira etapa: fatores de *material reconditioning*

Material reconditioning, no português “recondicionamento dos materiais”, no âmbito do *Design for Disassembly* (DforD), envolve um conjunto de intervenções que visam à recuperação e recuperação funcional de componentes construtivos ao final de sua vida útil para um novo ciclo de vida (Bertino et al., 2021). De acordo com Kanter (2018), o recondicionamento está diretamente relacionado com a economia circular dentro dos sistemas construtivos, logo, uma construção que envolve a reciclagem ou reutilização dos componentes de edifícios, tais conceitos devem ser considerados na concepção dos projetos visando a uma desmontagem no futuro.

A fim de mensurar o critério de *material reconditioning*, foram avaliados os fatores principais para a desmontagem baseados nos estudos de Chiu e Le (2014) e Huuhka et al. (2020), os quais são apresentados e detalhados na tabela 1.

Tabela 1 - Fatores principais do *material reconditioning* na metodologia DforD

Fator	Descrição	Fonte
Tipo de material	Avaliação da integridade do material pós-uso.	Chiu & Le (2014)
Tipo de ligação	Facilidade das ligações: conexões mecânicas (parafusos, encaixes) facilitam o reuso. Ligações químicas (colas, argamassas, solda) dificultam o reuso.	Chiu & Le (2014); Huuhka et al. (2020)
Facilidade de acesso	Processo de desmontagem seletiva e acessibilidade física (risco de danificar os componentes no processo de desmontagem).	Huuhka et al (2020)
Potencial de restauração	Processos de limpeza, reparo ou retrofit para viabilizar o reuso funcional.	Huuhka et al. (2020)

Fonte: Os autores (2025).

Neste contexto, para avaliar os componentes do desmonte, o presente estudo propõe classificar cada elemento estrutural do edifício dentro dos fatores listados na Tabela 1. De acordo com o estado de cada componente, sendo atribuída uma nota de 1 a 5, onde:

- 1 - Sem possibilidade de condicionamento
- 2 -Recondicionamento difícil (altas intervenções e/ou descaracterização do material)
- 3 - Reaproveitamento moderado (intervenções pontuais)
- 4 - Bom potencial de reuso (mínima perda)
- 5 - Recondicionamento fácil (máximo aproveitamento)

A viabilidade do recondicionamento depende diretamente dos fatores escolhidos para os critérios de classificação, dentre eles, tipo de material, tipo de ligação, acessibilidade e facilidade de intervenção, os quais foram baseados nos estudos de Chiu & Le (2014) e Huuhka et al. (2020). Neste contexto, foi aplicada a metodologia de avaliação do recondicionamento dos materiais à obra paralisada do Hospital Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora.

3.2 Segunda etapa: estudo do HU UFJF

O novo HU da UFJF foi escolhido para a aplicação da metodologia de *material reconditioning* devido aos desafios reais existentes nas desmontagens e recondicionamento de edificações similares, principalmente em obras públicas. Para analisar o potencial de recondicionamento dos elementos estruturais do novo HU foram considerados quatro fatores previamente definidos: tipo de material, tipo de ligação, facilidade de desmontagem e potencial de restauração após a desmontagem. A proposta é que tal avaliação gere uma nota final de cada elemento analisado individualmente, o que contribuirá em uma nota final do indicador de recondicionamento do material no escopo do *Design for Disassembly*.

A obra trata-se de um hospital universitário de alta complexidade, atualmente paralisada, com uma grande parte da construção já concluída e exposta às intempéries. Além disso, o edifício possui elementos estruturais em estrutura de concreto armado, e elementos estruturais em aço, principalmente na parte exterior, vedação em blocos cerâmicos externos e vedação em *drywall* na parte interna. O levantamento destas informações foi realizado por meio de visitas técnicas ao canteiro de obras do novo HU, em agosto de 2025.

A Tabela 2 mostra a avaliação de cada elemento construtivo do novo Hospital Universitário da UFJF. A classificação proposta identifica, por meio do parâmetro denominado “Nota Final”, quais componentes presentes na edificação podem apresentar

maior viabilidade de reaproveitamento após o desmonte, alinhando-se com as práticas dos princípios do DforD.

Tabela 2: Avaliação Geral de Facilidade de Desmontagem e Potencial de Restauração.

Elemento	Material	Tipo de ligação	Facilidade de desmonte	Potencial de restauração	Nota Final (com base na Tabela 3)	Justificativa
Pilar metálico revestido	Aço + concreto	Parafusado	Baixa (2)	Médio (3)	Médio (3)	Desmonte difícil
Pilar de concreto armado	Concreto armado	Monolítico (concreto moldado in loco)	Baixa (2)	Baixo (1)	Baixo (2)	Demolição prejudica o material
Viga metálica revestida	Aço com revestimento	Parafusada	Alto (5)	Alto (5)	Alto (5)	Desmonte fácil
Laje mista de steel deck	Aço galvanizado	Conexão mecânica (parafuso e solda)	Médio (3)	Alto (5)	Alto (4)	Durável e fácil desmonte
Alvenaria de blocos cerâmico (vedação)	Bloco cerâmico	Argamassa	Baixo (1)	Baixo (1)	Baixo (1)	Difícil de remover e irrecuperável
Drywall (vedação)	Gesso acartonado	Parafusos em perfis metálicos	Alto (5)	Médio (3)	Alto (4)	Fácil de remover

Fonte: Os autores (2025).

Para definir a nota de cada componente foi utilizado uma combinação 5x5 onde é proposta a correlação entre o potencial de restauração e a facilidade de desmonte, os dois fatores que interferem diretamente para um bom acondicionamento do elemento em outros projetos. A matriz é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Combinação dos fatores para nota final.

Facilidade de desmonte x Potencial de restauração					
	1	2	3	4	5
1	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO
2	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO
3	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	ALTO
4	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
5	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

Fonte: Os autores (2025).

As imagens registradas *in loco* que deram embasamento para a avaliação mostrada na Tabela 2 são apresentadas nas Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20.



Figura 15: Componentes estruturais HU UFJF. Detalhe para a viga com revestimento. Fonte: Os autores (2025).



Figura 16: Componentes estruturais HU UFJF. Detalhe para vedação de cerâmica. Fonte: Os autores (2025).



Figura 17: Componentes estruturais HU UFJF. Detalhe para as conexões mecânicas. Fonte: Os autores (2025).



Figura 18: Componentes estruturais HU UFJF. Detalhe para estrutura metálica revestida. Fonte: Os autores (2025).



Figura 19: Componentes estruturais HU UFJF. Detalhe para vedação com revestimento. Fonte: Os autores (2025).

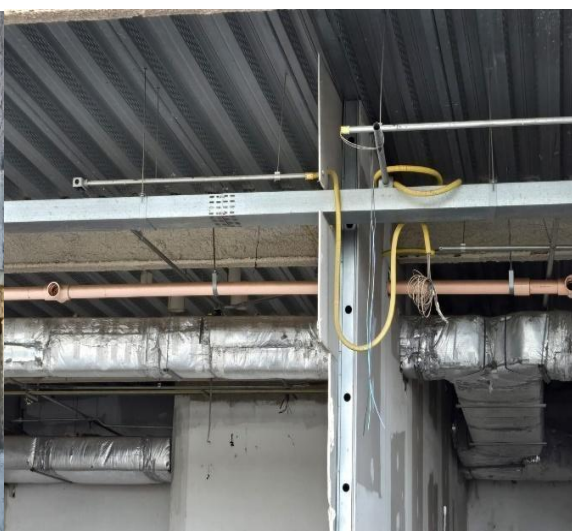


Figura 20: Componentes estruturais HU UFJF. Detalhe para laje steel deck e drywall. Fonte: Os autores (2025).

A averiguação visual dos componentes construtivos do HU UFJF, conforme representado nas Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20, revela o estado atual da exposição dos componentes que contribuíram para a avaliação do potencial de acondicionamento. Apesar da integridade estrutural geral, a presença de corrosão e degradação dos elementos metálicos e cerâmicos respectivamente, decorrente da exposição às intempéries, impactou a classificação dos componentes referentes à integridade e potencial de reuso.

Para o novo HU UFJF, observou-se que grande parte dos seus componentes estruturais podem ser reutilizados em outros projetos, desde que sejam submetidos a processos adequados de restauração. Ademais, é válido ressaltar que tais processos não podem interferir nas seções transversais dos elementos estruturais para que estes possam cumprir sua finalidade com maior segurança.

A definição da nota de reuso mostrou-se diretamente relacionada à eficiência do sistema de proteção preexistente contra agentes agressivos. Barreiras anticorrosivas, especificamente as pinturas, proteção contra incêndio, camadas de acabamento, atuaram como as principais defesas contra os agentes agressivos. Estes foram os fatores determinantes para a classificação dos componentes, visto que a exposição prolongada deste sem a devida proteção resulta em danos aos componentes estruturais. Elementos sem proteção mecânica demandam processos de intervenções profundas, estas intervenções podem reduzir a seção transversal dos perfis, violando as diretrizes de segurança estrutural. Portanto, componentes que apresentam proteção obtiveram pontuações superiores.

A avaliação do critério de acondicionamento dos materiais no estudo de caso do novo HU UFJF evidenciou que o potencial de reuso e aproveitamento dos elementos continua limitado devido à predominância das técnicas convencionais, com baixo nível de industrialização e, conseqüentemente, de desmobilização e reaproveitamento. Contudo, os elementos industrializados presentes no projeto apresentaram maior capacidade de acondicionamento e de serem reintegrados novamente na cadeia produtiva, o que acarreta benefícios ao meio ambiente, estimula inovações no setor e consolida a economia circular na construção brasileira.

Outro fator de destaque se trata das paralisações e abandonos de obras públicas, a incorporação de metodologias alinhadas com os princípios do DforD no cenário nacional promoveria a redução de resíduos, otimizaria o uso de recursos naturais e o incentivo a prática da economia circular. Ademais, tais elementos estruturais destas obras poderiam ser reaproveitados em outras demandas, otimizando assim a verba pública.

4. Considerações Finais

O estudo realizado no novo Hospital Universitário da UFJF apresentou a importância de aplicar metodologias como o *Design for Disassembly* no projeto de obras, principalmente, públicas. A análise dos elementos estruturais evidenciou a coexistência de métodos construtivos convencionais, como concreto armado e alvenaria de vedação, contudo, há

uma expressiva presença de componentes metálicos e sistemas industrializados. Os Elementos metálicos representam um potencial significativo para o acondicionamento e reaproveitamento de materiais, favorecendo a implementação de estratégias efetivas de reaproveitamento dos componentes.

Os resultados demonstram que elementos como vigas metálicas e lajes mistas possuem uma alta capacidade de desmontagem e restauração, podendo ser reutilizados em outros projetos com pequenos ajustes. Contudo, elementos predominantes nos métodos construtivos tradicionais, como o concreto moldado *in loco*, apresentaram baixa viabilidade de reuso e dificuldade no desmonte, devido à sua natureza monolítica. Nesse cenário, destaca-se como alternativa o uso de sistemas pré-moldados e sistemas industrializados, que permitem maior padronização, controle de qualidade e desmontagem parcial ou total dos elementos ampliando seu potencial de reutilização.

Portanto, conclui-se que a inclusão dos conceitos de desmontabilidade e reutilização dos componentes no ciclo de vida das edificações é de extrema importância para o desenvolvimento sustentável no setor da construção civil. É válido ressaltar que a consolidação destas práticas no Brasil ainda é lenta devido a mudança necessária nos paradigmas culturais da sociedade. Por fim, é extremamente importante o estudo e aplicação de metodologias que visem projetos e desmontes mais sustentáveis, visando o desenvolvimento sustentável do setor.

Ressalta-se que a métrica de pontuação proposta na definição das notas (escala 1-5) e resultados finais (Tabela 3) apresentam caráter subjetivo, apresentando limitações intrínsecas ao método proposto, especialmente no caráter subjetivo da avaliação visual. Para contornar as dificuldades, pesquisas futuras devem focar na expansão do método em novas tipologias construtivas, necessário para validar a eficácia do estudo apresentado, permitindo aferir sua robustez e propor ajustes que reduzam as limitações do método.

Agradecimentos

O presente estudo foi realizado com apoio dos Programas Institucionais de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) XXXVII BIC/UFJF - 2024/2025 e VIII VIC 2024/2025, projeto nº 56253.

Referências

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. O desafio da sustentabilidade na construção civil, 2011.

ATENAS. *Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil*. Juiz de Fora: Atenas, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 12944-2**: tintas e vernizes: proteção de estruturas de aço por sistemas de pintura: parte 2: classificação dos ambientes. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BERTINO, M. et al. Design for disassembly and sustainability in construction: a comprehensive review. *Applied Sciences*, v. 11, n. 3, p. 939, 2021.

CHIU, Y.; LE, T. Evaluation of green port factors and performance: a fuzzy AHP analysis. 2014.

G1. Hospital Universitário da UFJF terá obras retomadas em julho de 2025.

HUUHK, S. et al. Design for disassembly in building construction: a state-of-the-art review. *Buildings and Cities*, v. 1, n. 1, p. 309-325, 2020.

KANTERS, J. Design for disassembly in the built environment. *Buildings*, v. 8, n. 11, p. 150, 2018.

NETO, J. M. P. N. et al. Impactos ambientais do descarte de resíduos da construção civil e soluções sustentáveis, v. 4, n. 20, 2025.

OLIVEIRA, J. de et al. Análise do projeto para desmontagem e desconstrução como ferramenta da economia circular da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e13452, 2024.

RIBEIRO, G. M. M.; BRANQUINHO, M. A. A proposal of ecological indicators for assessing the disassemblability category in the sustainability of civil construction designs, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, v. 1536, 2025.