

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ISADORA MIYUKI KANO CARMO

GUILHERME ROSSI SILVA

**Aplicação de práticas de economia circular para mitigação de geração de resíduos de
construção e demolição no Brasil**

São Carlos

2022

ISADORA MIYUKI KANO CARMO

GUILHERME ROSSI SILVA

Aplicação de práticas de economia circular para mitigação de geração de resíduos de construção e demolição no Brasil

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo para obtenção do
diploma de graduação

Orientador: Aldo Roberto Ometto

Co-orientadora: Nathália Feltrin

São Carlos

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

C287a Carmo, Isadora Miyuki Kano
Aplicação de práticas de economia circular para
mitigação de geração de resíduos de construção e demolição
no Brasil / Isadora Miyuki Kano Carmos, Guilherme Rossi
Silva; orientador Aldo Roberto Ometto; Coorientadora
Nathalia Feltrin. -- São Carlos, 2022.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2022.

1. RBS. 2. Economia circular. 3. Resíduos de construção
e demolição. I. Silva, Guilherme Rossi. II. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Guilherme Rossi Silva e Isadora Miyuki Kano Carmo**

Data da Defesa: 27/10/2022

Comissão Julgadora:

Resultado:

Aldo Roberto Ometto (Orientador(a))

APROVADOS

Ana Carolina Bertassini

APROVADOS

Danika Andrea Castillo Ospina

APROVADOS



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

RESUMO

CARMO, I. M. K.; SILVA, G. R. **Aplicação de práticas de economia circular para mitigação de geração de resíduos de construção e demolição no Brasil**. 2022. 74f. Trabalho de conclusão de curso - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

As atividades de construção e demolição geram, em todo o mundo, um dos fluxos de resíduos mais consideráveis em termos de massa e volume, os quais, em sua maioria, têm no descarte sua única alternativa de fim de vida. Nesse contexto, a busca por um conjunto de soluções que sejam capazes de gerar uma transformação sistêmica ao longo de toda cadeia é fundamental, sendo que a adoção de práticas de economia circular pode ser uma das chaves para melhorar a situação atual dos resíduos deste setor. Neste trabalho, buscou-se destacar as principais práticas de economia circular já aplicadas ao setor da construção civil ao longo dos últimos anos encontradas por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática, assim como sinalizadas, dentro do contexto brasileiro, as possibilidades para iniciar a transformação do setor rumo a uma economia circular. A RBS permitiu levantar 7 principais práticas estudadas e aplicadas: a **reutilização**, a **reciclagem**, o **design para desmontagem**, a **modularização**, o **passaporte de materiais**, o **BIM**, e a **demolição seletiva**. Um cenário ideal de circularidade para o Brasil seria pautado em um uso conjunto das práticas, que alavancam umas às outras, com suporte de partes interessadas inseridas ao longo de toda cadeia produtiva da indústria e oportunidades levantadas. Porém, diversas barreiras, destacadas no presente trabalho, tornam o processo bastante desafiador e complexo, demonstrando a necessidade de mudanças de *mindset* e incentivos do governo brasileiro.

Palavras chave: RBS. Economia Circular. Resíduos de construção e demolição.

ABSTRACT

SILVA, G. R.; CARMO, I. M. K. **Aplicação de práticas de Economia Circular para mitigação de geração de resíduos de construção e demolição no Brasil.** 2022. 74f. Trabalho de conclusão de curso - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

Construction and demolition activities worldwide generate one of the heaviest and most voluminous waste streams, most of which have their only end-of-life alternative in disposal. In this context, the search for a set of solutions that are capable of generating a systemic transformation throughout the entire chain is fundamental, and the adoption of circular economy strategies can be one of the keys to improving the current situation of waste in this sector. In this work, we sought to highlight the main circular economy practices already applied to the civil construction sector over the last few years found through a Systematic Literature Review (SLR), as well as signaled, within the Brazilian context, the possibilities to initiate the transformation of the sector. towards a circular economy. The SLR allowed to raise 7 main practices studied and applied: **reuse, recycling, design for disassembly, modularization, materials passport, BIM, and selective demolition.** An ideal scenario of circularity for Brazil would be based on a joint use of practices, which leverage each other, with the support of stakeholders inserted throughout the entire production chain of the industry and opportunities raised. However, several barriers, highlighted in the present work, make the process quite challenging and complex, demonstrating the need for changes in mindset and incentives from the Brazilian government.

Keywords: SLR. Circular Economy. Construction and demolition waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Refinamento da Pesquisa.....	28
Figura 2 - Distribuição de artigos por periódicos.....	30
Figura 3 - Distribuição de artigos por ano de publicação.....	31
Figura 4 - Distribuição de referências cruzadas por ano de publicação.....	31
Figura 5 - Sistema linear de produção e consumo no setor de construção civil no Brasil.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Filtragem na base de dados SCOPUS.....	26
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Práticas de Economia Circular para resíduos de construção e demolição.....	34
Quadro 2 - NBRs e seus anos de publicação.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AR	Agregado reciclado
BIM	<i>Building Information Models</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DpD	Design para Desmontagem
EC	Economia Circular
GEE	Gases de Efeito Estufa
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PIB	Produto Interno Bruto
PMC	Passaportes de Materiais de Construção
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
RCD	Resíduos de Construção e Demolição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	16
2 OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
4 METODOLOGIA	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
5.1.1 Reutilização	36
5.1.1.1 Design para Desmontagem	37
5.1.1.2 Modularização	39
5.1.2 Reciclagem	40
5.1.3 Demolição seletiva ou desconstrução	42
5.1.4 Passaporte de materiais	45
5.1.5 Building Information Models - BIM	46
5.1.6 Desafios e oportunidades	48
5.1.7 Brasil	51
5.2 DISCUSSÕES	54
6 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil é compreendido por todas as empresas e profissionais ligados a projetos e execuções de obras variadas, e aos fornecedores de materiais das mais diversas composições, como os materiais argilosos (tijolos, telhas e louças), materiais metálicos (estruturas internas, tubulações, janelas, portas e grades), cimento, madeira, materiais plásticos (vedações, tubulação e acabamentos) e vidros (LARA, 2013). Devido à grande capacidade de gerar impactos positivos na produção, renda e empregos, o setor de construção é considerado fundamental no desenvolvimento do Brasil (CUNHA, 2012). Seu desempenho promove o desdobramento de uma variedade de outras atividades econômicas, já que a indústria da construção é responsável pela infraestrutura, fundamental para o desempenho de todos os demais setores econômicos (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

No ano de 2019, cerca de 7,30% da população brasileira ocupada trabalhava no setor da construção civil, além disso, a participação no valor adicionado bruto desse setor ao país, foi por volta de 4,00% (CBIC, 2022). Mundialmente, estima-se que este setor representa 13% do PIB global (BARBOSA *et al.*, 2017).

Embora seja um setor de relevância global, suas práticas estão diretamente ligadas ao uso intensivo de recursos naturais, alto desperdício de materiais e uma baixa preocupação com a governança ambiental devido ao modelo linear de produção e consumo no qual se baseia.

Dentre os principais impactos ambientais relacionados ao setor, está a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e o uso de energia. As emissões incorporadas surgem principalmente durante a extração de recursos e processamento de materiais de construção (JAIN *et al.*, 2020), sendo que apenas o cimento, material mais consumido do mundo, é responsável por 7% da emissão global de gás carbônico (GCCA, 2021).

Já em relação ao consumo de materiais, a construção e manutenção de edifícios e infraestruturas representam quase 50% do consumo global de recursos (CIRCLE ECONOMY, 2019). Previsões futuras, como a do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, demonstram a crescente utilização de recursos por parte do setor, sendo que a extração global anual de material primário deve triplicar até 2050, com 90% da perda de biodiversidade causada pela extração e processamento de recursos (UNEP, 2019).

A areia usada no concreto, por exemplo, tem sua demanda crescendo mais rápido do que as fontes naturais podem sustentar (GAB, 2018), ameaçando sua existência em um futuro próximo. Prevê-se também que o zinco e o crômio, utilizados em coberturas, fachadas, serviços técnicos de construção, etc., atinjam o seu horizonte de oferta nos próximos 20 anos (REMONDIS SUSTAINABILITY, 2018).

Paralelamente, como consequência da demanda progressiva por recursos, os preços das matérias-primas de construção estão cada vez mais voláteis e crescentes (GALLEGO-SCHMID, 2020; KYLILI, 2017). Por exemplo, entre 2014 e 2018, os preços do cimento e dos metais utilizados na construção aumentaram 9,4% e 7,2%, respectivamente, no Reino Unido (DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY AND INDUSTRIAL STRATEGY, 2019). Tais questões são especialmente preocupantes quando se considera que o mercado global prevê que o parque imobiliário duplique até 2050 (ABERGEL *et al.*, 2019).

Ao passo que efeitos ambientais negativos ameaçam a estabilidade das economias e a integridade dos ecossistemas naturais essenciais para a sobrevivência da humanidade (GHISELLINI *et al.*, 2016), a crescente volatilidade dos preços das matérias-primas tem sido destacada como uma das principais razões para adotar princípios da economia circular (HEYES *et al.*, 2018).

Além dos impactos ambientais e econômicos diretos do consumo e da produção de materiais de construção, ressalta-se a consequente problemática da geração de resíduos por esse setor industrial. De maneira geral, a construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto, grande quantidade de resíduos de diversas naturezas (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Dessa forma, um dos principais problemas causados pela indústria é a geração dos resíduos de construção e demolição (RCD), uma mistura de materiais excedentes gerados a partir de atividades de construção, reforma e demolição, incluindo escavação ou formação de terrenos, construção civil e predial, limpeza de locais, atividades de demolição, obras nas estradas e reforma de edifícios (SHEN *et al.*, 2004).

Ainda, é importante citar que a geração de resíduos pela construção e demolição acontece durante todo o ciclo de vida das edificações, mesmo nas fases de planejamento e projeto, em geral por conta de uma falta de consideração em relação à gestão e redução de resíduos nas fases iniciais de um projeto (ESA *et al.*, 2016). Isso ocorre porque a maioria dos

materiais de construção são descartados no fim de vida, uma vez que não têm potencial de reutilização (AKANBI *et al.*, 2018).

Atualmente, a geração de resíduos de construção e demolição excede 3 bilhões de toneladas em torno do mundo que, se gerenciados adequadamente, poderiam economizar uma enorme quantidade de energia, com possibilidades de redução de emissões de GEE, tendo um consequente potencial para melhorar a economia global (AKHTAR, 2018). Ao mesmo tempo, o setor de construção vem enfrentando uma escassez de recursos (MALABI, 2021b).

Em termos de definição, no âmbito nacional, os RCD são conceituados na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), como: “[...] os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis” (BRASIL, 2010, art 13, inciso I).

De forma mais detalhada, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002, considera a seguinte definição:

[...] são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002, art. 2º, inciso I).

Em relação a volumes de geração, a indústria da construção, em países desenvolvidos, gera aproximadamente 40% do fluxo de resíduos sólidos (INTERNATIONAL RESOURCE PANEL, 2017), sendo que, apesar de terem uma infraestrutura robusta de gestão de resíduos e políticas favoráveis para a gestão, ainda encontram dificuldades para a reciclagem e alternativas mais sustentáveis para a gestão dos resíduos (HAAS *et al.*, 2015).

Por sua vez, a geração de resíduos de construção e demolição em países em desenvolvimento, como o Brasil, abrange mais de 60% dos fluxos de resíduos (ABRELPE, 2021), sendo que os desafios para implementação de práticas ligadas à uma nova abordagem de econômica de produção e consumo, a chamada economia circular (EC), são muitas vezes maiores do que em países desenvolvidos, devido à falta e/ou precariedade de infraestrutura para gestão de resíduos, à gestão inadequada de diferentes fluxos de resíduos, e às diversas externalidades ambientais e de saúde associadas aos processos de gestão e disposição de RCD (YUAN, 2017).

No total, o Brasil gera 47 milhões de toneladas por ano de resíduos de construção e demolição (ABRELPE, 2021), sendo que tais resíduos são massivamente descartados em aterros e raramente são reaproveitados. Também é importante ressaltar que ao longo do ciclo de produção de materiais de construção há a liberação de GEE, especialmente dentro da produção de cimento e concreto. Além disso, o transporte de materiais de construção no Brasil é realizado principalmente por rodovias, o que contribui de forma significativa para liberação desses gases poluentes (HOSSAIN; NG, 2018).

Após a publicação, em 2002, da Resolução 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de RCD, os municípios brasileiros tinham até 2004 para elaborar e implementar planos municipais de gestão integrada de RCD (NUNES *et al.*, 2020). No entanto, pela falta de adoção efetiva de políticas públicas municipais e o ínfimo desenvolvimento de programas e projetos voltados ao descarte correto desses resíduos - muitas vezes pontuais - , a maior parte dessa destinação ocorre de modo irregular e em áreas inapropriadas, o que decorre na poluição do solo e degradação da paisagem, além de ser uma ameaça à saúde pública (NUNES *et al.*, 2020).

Nesse contexto crítico de crescentes demandas por recursos e suas correspondentes perturbações ambientais causadas pelas atividades do setor de construção, coloca-se como emergencial e necessária haver uma mudança robusta e efetiva ao longo de todo o setor (HOORNWEG *et al.*, 2013), sendo a dissociação do crescimento econômico do consumo de recursos e da geração de externalidades negativas uma solução possível (CNI, 2018). O modelo econômico circular seria essa “saída”, por ser baseado no valor, no longo prazo e na visão sistêmica, associando o crescimento econômico a um modelo que promove a regeneração e restauração do capital natural e gera impactos sociais e econômicos positivos (CNI, 2018).

Segundo Iacovidou e Purnell (2016), a pesquisa científica acerca da construção civil, sob uma perspectiva de circularidade, se concentra mais nos recursos energéticos do que nos fluxos de materiais, embora a indústria da construção seja a indústria mais intensiva em recursos do mundo. Nesse sentido, para garantir que os impactos ambientais reais da EC trabalhem em direção à sustentabilidade, são necessárias mais pesquisas na busca de fechar os ciclos de materiais no nível das práticas de construção (POMPONI; MONCASTER, 2017), tais como, estratégias para gestão de resíduos de construção e demolição, que vão desde a rastreabilidade das fontes ou origens de materiais a sua reinserção no ciclo.

A melhoria dos indicadores econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento sustentável chama a atenção para a indústria da construção, um setor globalmente emergente, e uma indústria altamente ativa tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento (ORTIZ *et al.*, 2009). É nesse âmbito que se justifica o presente trabalho, o qual busca indicar práticas de economia circular para a minimização da geração de resíduos de construção e demolição no contexto do Brasil, que se dará a partir de um levantamento bibliográfico de práticas presentes na literatura para o cenário global e a identificação daquelas que sejam compatíveis com o panorama brasileiro.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um levantamento bibliográfico para indicar práticas de economia circular aplicáveis no âmbito da gestão de resíduos em múltiplas etapas do processo de construção e demolição no Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Levantar soluções circulares aplicadas para gestão de resíduos de construção civil;
- Observar e apresentar do cenário construtivo encontrado no Brasil;
- Identificar de possíveis soluções compatíveis com o panorama brasileiro;
- Levantar possíveis barreiras para adoção de práticas de economia circular nesse contexto.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O modelo linear de produção predominante na evolução da economia global é caracterizado pela tríade produção-consumo-descarte, que indica o desenvolvimento de uma série de externalidades, em âmbito social e ambiental, e geração de valor em que está embutido alto desperdício (EMF, 2012). À medida que o planeta é finito, limitado, não só em recursos materiais e energéticos, mas também em espaço e capacidade de assimilar a poluição gerada (LEITÃO, 2015), a perpetuação do modelo linear é conflitante. Dessa maneira, a transição para uma economia circular é fundamental.

A transição para uma economia circular não se limita a ajustes visando a reduzir os impactos negativos da economia linear. Ela representa uma mudança sistêmica que constrói resiliência e desenvolvimento a longo prazo, gera oportunidades econômicas e de negócios, e proporciona benefícios ambientais e sociais, fomentando sistemas circulares, regenerativos e saudáveis, como a própria natureza (EMF, 2017).

Originada de muitas escolas de pensamento, a economia circular era comumente entendida como uma “economia em loops” para minimizar os desperdícios e mostrar a superioridade de prolongar a vida útil do produto, reciclar e reutilizar bens (JOENSUU *et al.*, 2020; MUNARO *et al.*, 2020; MALABI *et al.*, 2021a). O conceito atualmente compreendido como EC é de um sistema econômico que se baseia em modelos de negócios que substituem o conceito de ‘fim de vida’ pela redução, reutilização alternativa, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção/distribuição e consumo (KIRCHHERR *et al.*, 2017).

Ellen MacArthur Foundation (2015) define três princípios importantes para economia circular: preservar e melhorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis; otimizar os rendimentos de recursos circulando produtos, componentes e materiais com a mais alta utilidade em todos os momentos, tanto nos ciclos técnicos quanto biológicos; e promover a eficácia do sistema revelando e projetando externalidades negativas. Segundo CNI (2018), a EC é direcionada pela efetividade sistêmica para geração de impactos positivos, na qual se busca, além da eficiência e eficácia, gerar consequências positivas para as partes envolvidas do sistema.

A economia circular é caracterizada por abordagens de circuito fechado, efetividade de recursos/produtividade, eficiência de recursos versus eficácia de recursos e otimização de

bens/ativos. Ela suporta a construção ou aumenta o valor da gestão de ativos/estoques, apoiando assim sua longevidade e durabilidade que, por sua vez, requer que o design para longevidade e adaptabilidade seja suportado, mantendo assim o valor de fim de vida. Do ponto de vista das emissões, a redução da demanda também reduz os recursos incorporados, como energia e água, reduzindo, por sua vez, as emissões associadas aos gases de efeito estufa e as emissões relacionadas (IODICE *et al.*, 2021).

No tocante à indústria da construção civil, esta possui tanto grande potencial para adotar os princípios de EC, quanto uma grande necessidade, sendo que a redução de RCD figura como uma prioridade na maioria das políticas globais de EC (BRAMBILLA *et al.*, 2019; LOPEZ *et al.*, 2020).

Segundo Shooshtarian *et al.* (2022), uma economia circular oferece, neste espaço, uma forma de minimizar os custos ambientais e econômicos dos resíduos, como a manutenção de aterros sanitários, extração de materiais virgens, taxas relativas ao uso de aterros sanitários, custos de transporte e de despejo ilegal. A EC propõe um sistema restaurador por design com foco estratégico central na reformulação e reorganização de materiais, informações e fluxo de energia para obter maior eficiência de recursos por meio da reutilização, remanufatura e reciclagem de materiais. Busca-se, assim, a minimização da geração de resíduos, além de atuar como uma nova fonte de valor para os negócios (MARTIN, 2019).

Como sabido, atualmente a indústria da construção utiliza um modelo econômico linear, baseado na ideia de “pegar, fazer, descartar” (EMF, 2015). Nesse modelo, as fases que caracterizam essa ideia começam com a extração de matérias-primas do meio ambiente, que são processadas em materiais de construção e montadas no canteiro de obras de formas que não podem ser desconstruídas, tornando-se obsoletas no final da vida das edificações, tendo de ser descartadas em aterros ou incineradas juntamente com todos os resíduos gerados ao longo de todo o processo (MANGIALARDO; MICELLI, 2018).

O foco da EC no setor de construção, por sua vez, está na utilização de avanços tecnológicos em design, construção e planejamento para lidar com os problemas econômicos e ambientais relacionados à finitude de recursos (ANASTASIADIS *et al.*, 2020). Com isso, a construção circular possui o potencial de aumentar a competitividade por proporcionar um novo modelo de negócio no setor, além de proteger as empresas contra a escassez de recursos

e preços instáveis, o que pode criar oportunidades de negócios inovadoras e métodos eficientes de produção e consumo (KIRCHHERR *et al.*, 2017; WITJES; LOZANO, 2016).

4 METODOLOGIA

Para a escolha do tema, foi realizada uma pesquisa inicial a fim de verificar a relevância da indústria da construção civil no cenários macroeconômico mundial e nacional, assim como a consequente dimensão de seus impactos ambientais, havendo um destaque maior na literatura para fluxo de recursos e resíduos, consumo de energia e geração de gases de efeito estufa (GEE), conforme verificado na introdução.

Para realizar a busca por referências bibliográficas, foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), um instrumento para mapear trabalhos publicados no tema de pesquisa para ser possível elaborar uma síntese do conhecimento existente sobre o assunto (BIOLCHINI *et al.*, 2007). A RBS foi realizada com base nos passos descritos por Biolchini *et al.* (2007), como sendo Planejamento da Revisão, a Execução da Revisão e a Análise dos Resultados.

Com base nos temas destacados no estudo inicial da literatura, foi observado um destaque ao tema de fluxo de resíduos, como um tema que pode gerar impactos em todos os outros temas levantados, fluxo de recursos, consumo de energia e geração de GEE. A partir da escolha do tema foram levantados critérios que seriam chave para seleção dos artigos dentro de cada etapa de filtragem.

Em relação à Execução da Revisão: inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico com o objetivo de eleger artigos científicos relevantes sobre a aplicação da economia circular de modo amplo no setor da construção civil e seus resíduos a partir da base de dados indexada Scopus. A base de dados Scopus foi escolhida por possuir o maior número de periódicos (FALAGAS *et al.*, 2008), inclusive relacionados ao desenvolvimento sustentável, engenharia e circularidade, além dos autores do trabalho já possuírem familiaridade com a base, o que facilitou seu uso. Na pesquisa foi possível encontrar 430 artigos após a aplicação dos filtros descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Filtragem na base de dados Scopus

Etapa do filtro	Filtro	Resultado em publicações
Strings de busca iniciais	“Circular economy” AND “build*”	2198
Strings de busca iniciais	“Circular economy” AND “construc*”	2333
Combinação de strings de busca iniciais	“Circular economy” AND “build* OR “construc*”	3606
Combinação de strings de busca iniciais e adição de termos	“Circular economy” AND “build* OR “construc* AND “industry”	1422
Combinação de strings de busca iniciais e adição de termos, gerando a string definitiva	“Circular economy” AND “build* OR “construc* AND “industry” AND “waste”	761
Filtro por áreas do conhecimento relacionadas ao presente trabalho	limitando aos artigos às áreas “environmental science”, “engineering”, “business, management and accounting”, “social sciences” e “earth and planetary sciences”	582
Filtro por áreas do conhecimento, excluindo subáreas sem relação com o presente trabalho	excluindo “Economics, Econometrics and Finance”, “Computer Science”, “Chemical Engineering”, “Physics and Astronomy”, “Mathematics”, “Medicine”, “Decision Sciences”, “Arts and Humanities”, “Biochemistry, Genetics and Molecular Biology”, “Chemistry”, “Agricultural and Biological Sciences”, “Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics”, “Immunology and Microbiology” e “Psychology”	441
Filtro de idioma	inglês	430

Fonte: Autoria própria (2022).

Como demonstrado na Tabela 1, as primeiras buscas foram realizadas com strings relativas ao tema central deste trabalho, buscando combinar termos ligados à economia circular e à construção civil, no caso, “Circular economy” AND “build*”, obtendo um resultado de 2198 artigos, e “Circular economy” AND “construc*”, encontrando 2333 artigos. Como “construc*” e “build*” são termos que muitas vezes são utilizados para intenções similares, foi realizada a busca “Circular economy” AND “build* OR “construc*”, obtendo

3606 publicações. Devido a quantidade de publicações encontradas, foi adicionado o termo *“industry”*, a fim de redirecionar a pesquisa ao universo da indústria da construção civil, reduzindo o resultado para 1422 publicações. Posteriormente adicionou-se o termo *“waste”*, adicionado devido à relevância da temática da gestão de resíduos no contexto do trabalho, tendo sido encontradas 761 publicações. Dessa forma, a string de busca final ficou da seguinte forma: *“Circular economy” AND “build*”, OR “construc*”, AND “industry”, AND “waste”*.

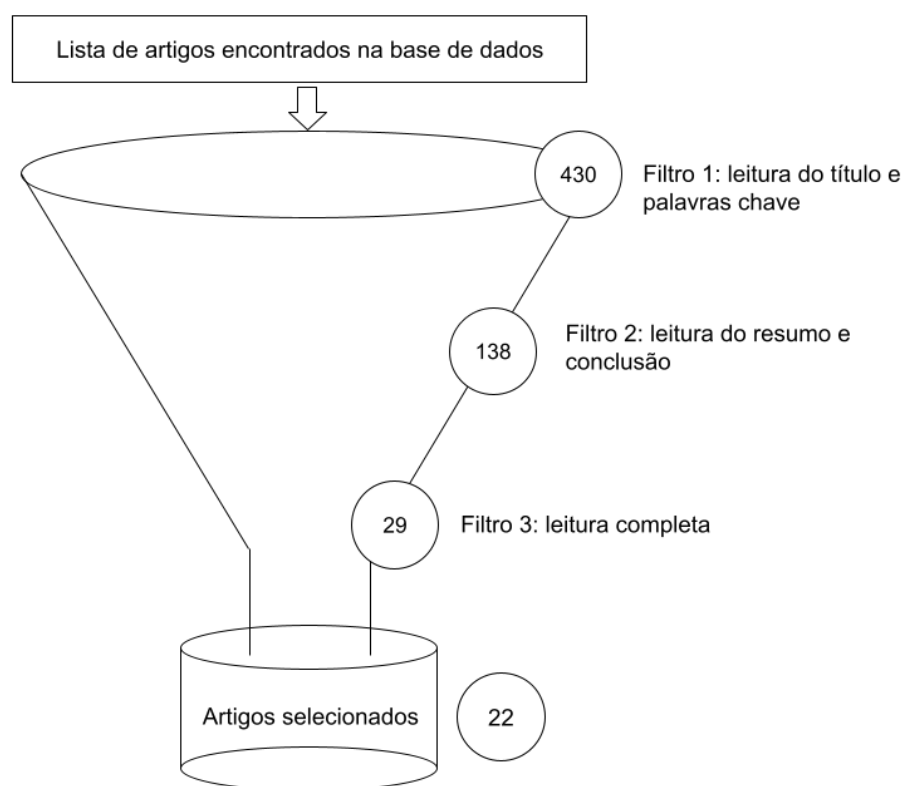
Em seguida, foi criado um filtro por tópico, limitando a busca aos artigos das áreas *“environmental science”*, *“engineering”*, *“business, management and accounting”*, *“social sciences”* e *“earth and planetary sciences”*, obtendo 582 papéis. Ainda havia documentos fora do tema, por tanto, outro filtro por tópico foi criado, excluindo *“Economics, Econometrics and Finance”*, *“Computer Science”*, *“Chemical Engineering”*, *“Physics and Astronomy”*, *“Mathematics”*, *“Medicine”*, *“Decision Sciences”*, *“Arts and Humanities”*, *“Biochemistry, Genetics and Molecular Biology”*, *“Chemistry”*, *“Agricultural and Biological Sciences”*, *“Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics”*, *“Immunology and Microbiology”* e *“Psychology”*, obtendo 441 artigos. Por fim, foram selecionados somente os arquivos em inglês, tendo em vista que não foram encontrados arquivos em português, e devido à capacidade inerente dos autores deste trabalho de lê-los e interpretá-los, restando 430 publicações a serem analisadas.

Após a aplicação de todos os filtros, foram obtidas um total de 430 correspondências identificadas até junho de 2022. Além disso, ocorreu uma restrição de áreas do conhecimento para maior convergência do conteúdo dos artigos com o tema proposto, limitando a temas relacionados a meio ambiente, engenharia, negócios, sociedade e Terra, excluindo temas que poderiam indicar pesquisas desconexas, como física, agricultura, medicina e astronomia.

Durante a seleção dos artigos, buscou-se por textos que abordavam diretamente a integração prática ou aplicação de estudos de caso da economia circular na construção civil, excluindo os documentos que falavam dos temas individualmente ou apenas os citavam de forma branda.

Para a seleção dos artigos a serem utilizados como base deste trabalho foi feito um refinamento da pesquisa, aplicando-se outros três filtros, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Refinamento da Pesquisa



Fonte: Autoria própria (2022)

O primeiro filtro utilizado considera a presença ou ausência de palavras-chave relacionadas com a pesquisa, como “economia circular”, “construção”, “indústria da construção”, “modelo construtivo”, “*Building Information Models* (BIM)”, “resíduos”, “demolição” e “desmontagem”, com base nos objetivos delimitados no início do trabalho. A seguir, os artigos foram direcionados para segunda filtragem, na qual foram lidos os resumos e selecionados aqueles com mais aderência ao tema. Por fim, para o terceiro filtro foram feitas as leituras completas dos artigos, analisando a relevância das temáticas abordadas para o cenário proposto.

Ainda, a fim de lapidar as informações encontradas nas bibliografias, novos artigos foram consultados buscando por definições mais claras de algumas terminologias e técnicas demonstradas nos 22 artigos iniciais, adicionando outros 25 artigos ao trabalho.

Com isso, foi possível iniciar a Análise dos Resultados. Durante essa etapa foi possível realizar um levantamento das práticas encontradas, permitindo destacar as mais relevantes e

com mais informações disponíveis. Além da quantidade de informação encontrada, outro critério para a seleção das práticas que seriam descritas neste trabalho foi a possibilidade de aplicação no Brasil, dado o cenário de construção, demolição e geração de resíduos deste setor no âmbito nacional, além do potencial de aceitação pela indústria/sistema de construção atual baseado nas informações encontradas nas bibliografias e exemplos cabíveis de comparação.

Após, foi possível realizar a fundamentação teórica do trabalho, feita através de uma revisão bibliográfica dos artigos selecionados, apresentando as descrições das práticas selecionadas, demonstrando seus principais aspectos, funcionalidades e etapas de aplicação. Posteriormente, foram levantados os desafios e oportunidades potenciais gerados com essas práticas, elencados com base em levantamentos feitos pelos autores nos artigos da RBS, legislações estudadas e análises próprias dos autores do presente trabalho.

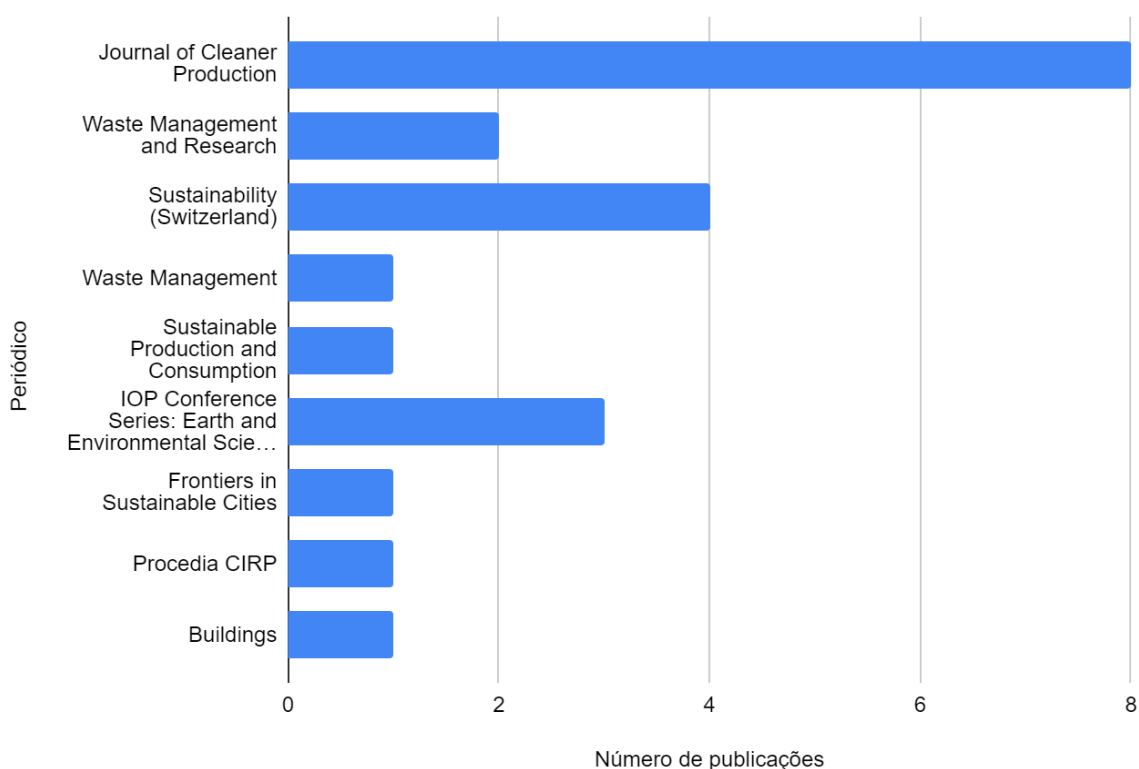
Em seguida, foi feita uma avaliação quantitativa de distribuição dos artigos selecionados, por meio de uma listagem dos artigos estudados com base em ano de publicação e periódico, juntamente com a análise qualitativa da literatura encontrada, com base em apontamentos e interpretações. Então, foram exibidas as potenciais aplicações no Brasil e quais seriam as possíveis barreiras para tal feito. Por fim, foram evidenciadas as limitações encontradas ao longo da pesquisa e expressas as considerações finais do trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A RBS realizada totalizou 22 artigos selecionados, somada a mais 25 artigos de referências cruzadas. As Figuras 2 e 3 representam, respectivamente, a quantidade de artigos publicados por periódico e a quantidade de artigos publicados por ano.

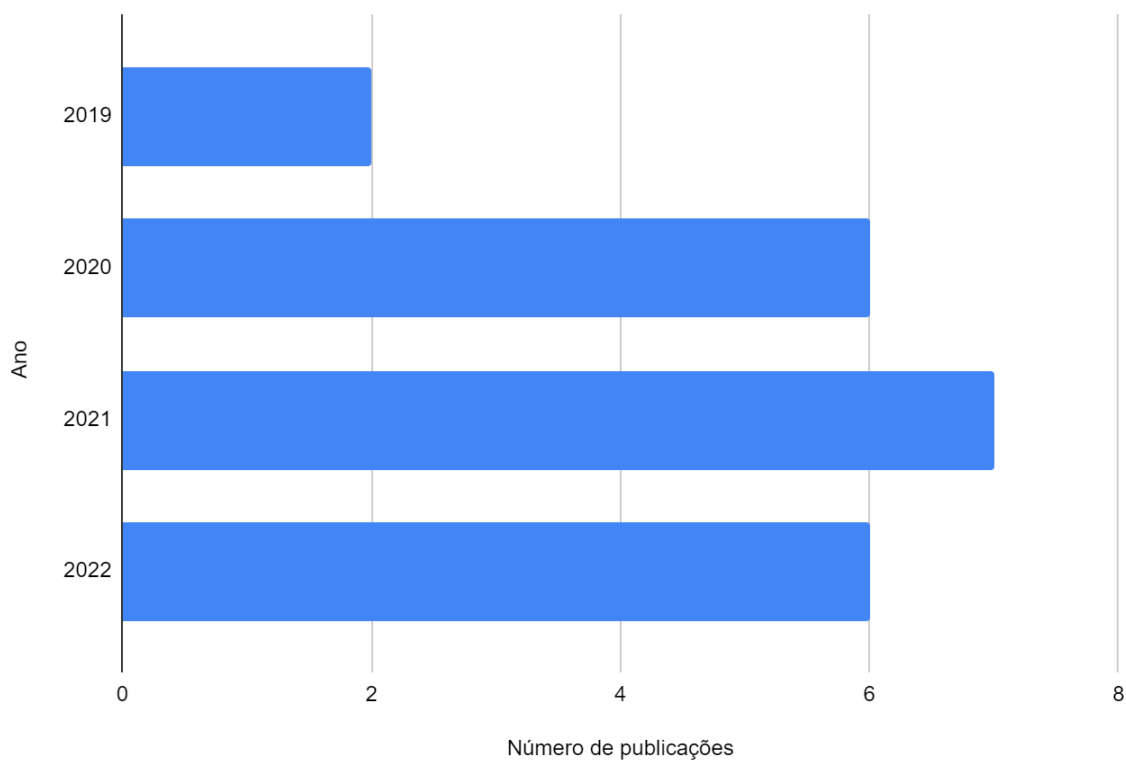
Embora a revisão bibliográfica tenha abordado anos anteriores, observa-se a grande concentração de artigos publicados nos últimos dois anos e meio, demonstrando como o tema é recente e ainda passa por pesquisas e consolidações de maneira intensa. Ainda, apesar dos artigos selecionados serem bastante recentes, as referências cruzadas são de artigos anteriores a 2020, o que demonstra que, embora o tema tenha uma consolidação maior atualmente, possui bases anteriores, principalmente a partir de 2013. A Figura 4 expõe a distribuição dos artigos de referências cruzadas encontradas durante a elaboração do trabalho.

Figura 2 - Distribuição de artigos por periódicos



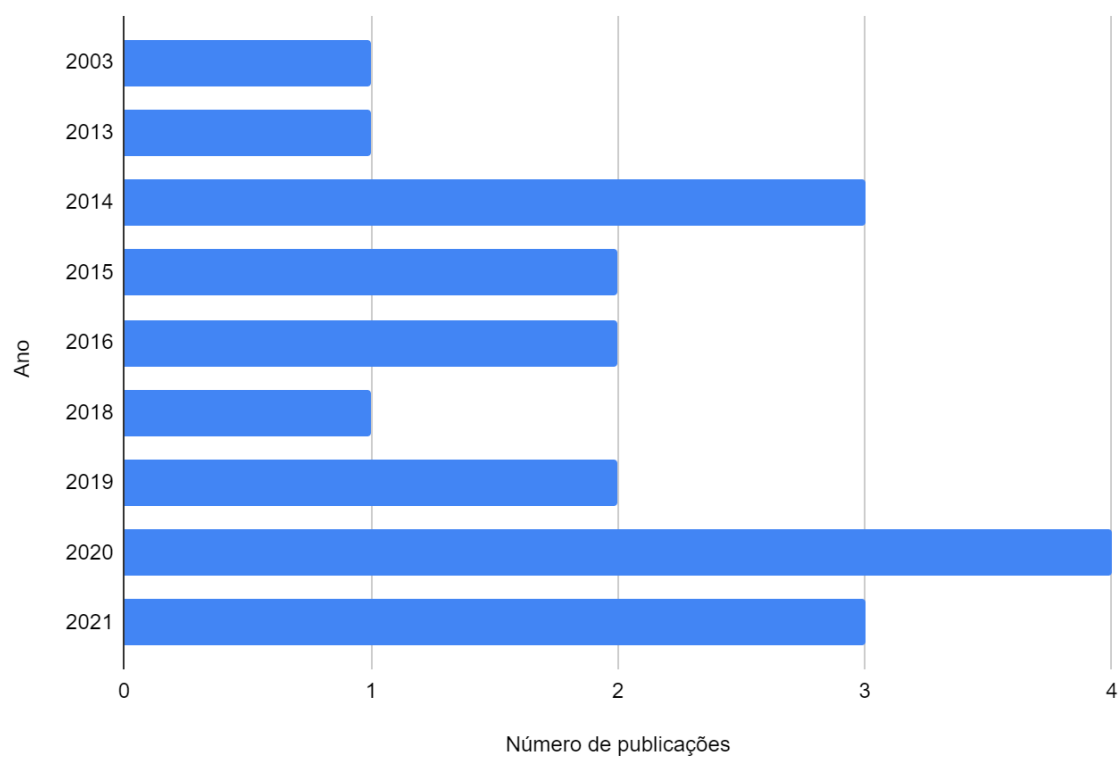
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 3 - Distribuição de artigos por ano de publicação



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 4 - Distribuição de referências cruzadas por ano de publicação



Fonte: Autoria própria (2022).

Em relação às publicações por periódico, observa-se a maior concentração de artigos em *Journal of Cleaner Production*, seguido dos periódicos *Waste Management and Research* e *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. A frequência maior nesses periódicos corrobora a justificativa para a seleção das áreas do conhecimento que estão presentes no filtro da RBS. Todos possuem em seu escopo temas relacionados ao desenvolvimento sustentável, meio ambiente e tecnologia, os dois primeiros (*Journal of Cleaner Production* e *Waste Management and Research*) apresentam tópicos diretamente relacionados ao reuso, reciclagem e gestão de resíduos na engenharia, indústria, gestão e planejamento.

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A implantação da EC no setor de construção e demolição no Brasil vem acompanhada de muitos desafios devido ao grande crescimento do setor nas últimas duas décadas. Esse crescimento impulsionou o surgimento de uma indústria baseada em um ciclo de extrativismo e disposição em aterros com pouco planejamento sobre os impactos ambientais. À medida que esse sistema se estabelece, são criadas dificuldades para a modificação da cultura adotada. No entanto, esse mesmo cenário cria oportunidades para inclusão de conceitos de EC na construção civil, visto que a EC pode trazer soluções para as problemáticas de um sistema linear (HENTGES *et al.*, 2022).

Segundo Shooshtarian *et al.* (2022), novas políticas de promoção da redução, reutilização e reciclagem de resíduos de construção e demolição proporcionam reduções essenciais no consumo de materiais virgens e em impactos associados à produção primária e transporte, além de criarem uma valorização de resíduos. A valorização de resíduos, por sua vez, pode ser descrita como qualquer operação em que o resultado principal são resíduos que servem um recurso útil, substituindo outros materiais que, de outra forma, teriam sido usados para cumprir uma função específica, ou resíduos sendo preparados para cumprir essa função, na fábrica ou na economia mais ampla (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022).

Segundo o Art. 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos, na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser adotada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). De acordo com essa percepção, também adotada no modelo de EC, que busca priorizar práticas que exigem menos mudanças em um elemento devido à economia potencial nas ações de material, trabalho e capital

incorporado e nas externalidades associadas (EMF, 2013), buscam-se práticas para remediação da problemática dos resíduos de construção e demolição.

Edifícios e infraestruturas estão expostos à ação mecânica de cargas de serviço e outros fatores, como os fatores ambientais, que tendem a deteriorá-los e destruí-los (ou seja, ações físicas, químicas e biológicas), levando ao término de seu ciclo de vida (FREITAS; DELGADO, 2013). Seguindo a ordem de prioridade dada pela EC, dependendo do nível de dano e dos recursos econômicos, as atividades de manutenção, reparo, reabilitação e repotenciação são priorizadas em relação à demolição de um edifício ou infraestrutura (IYER-RANIGA, 2019).

Segundo Maury-ramírez *et al.* (2022), essas atividades são priorizadas porque, com seu custo e impacto ambiental relativamente baixos, podem aumentar significativamente a vida útil de uma edificação ou infraestrutura, além da abordagem ser particularmente útil nos centros urbanos, onde também é possível preservar o patrimônio arquitetônico e histórico das cidades. A premissa acima levanta a necessidade de incorporar flexibilidade arquitetônica ou arquitetura transformável no projeto de edifícios e infraestrutura. (MAURY-RAMÍREZ *et al.*, 2022).

No entanto, nos casos em que, após uma análise integrada, for constatada a necessidade de demolição total ou parcial de uma edificação ou infraestrutura, o processo deve ser realizado considerando os impactos ambientais e sociais (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022) e buscando-se práticas alinhadas com a EC..

A partir da revisão bibliográfica realizada, foram selecionados artigos que abordam práticas de economia circular para lidar com os resíduos de construção civil e demolição, conforme exposto no Quadro 1.

Quadro 1 - Práticas de economia circular para resíduos de construção e demolição

(continua)

PRÁTICAS	ARTIGOS QUE DISCORREM SOBRE A PRÁTICA	REFERÊNCIAS CRUZADAS
Reutilização	GHAFFAR <i>et al.</i> (2020) BENACHIO <i>et al.</i> (2020) GALLEGO-SCHMID <i>et al.</i> (2020) IYER-RANIGA (2019) JAIN <i>et al.</i> (2020) OLULEYE <i>et al.</i> (2022) SHOOSHTARIAN <i>et al.</i> (2022) VAN DEN BERG <i>et al.</i> (2020)	
Design para desmontagem	BENACHIO <i>et al.</i> (2020) FATOUROU-SIPSI; SYMEONIDOU (2021) GALLEGO-SCHMID <i>et al.</i> (2020) HENTGES <i>et al.</i> (2022) IYER-RANIGA (2019) MALABI <i>et al.</i> (2021b) SHOOSHTARIAN <i>et al.</i> (2022) TLEUKEN (2022) VAN DEN BERG <i>et al.</i> (2020)	
Modularização	GHAFFAR <i>et al.</i> (2020) HENTGES (2022) IYER-RANIGA (2019) MAURY-RAMÍREZ <i>et al.</i> (2022)	TAM; HAO (2014)
Reciclagem	GALLEGO-SCHMID <i>et al.</i> (2020) GHAFFAR <i>et al.</i> (2020) IODICE <i>et al.</i> (2021) IYER-RANIGA (2019) JAIN <i>et al.</i> (2020) MAURY-RAMÍREZ <i>et al.</i> (2022) MESA <i>et al.</i> (2021) NUNES <i>et al.</i> (2020) OLULEYE <i>et al.</i> (2022) SILVA <i>et al.</i> (2019) SHOOSHTARIAN <i>et al.</i> (2022) VAN DEN BERG <i>et al.</i> (2020)	SILVA <i>et al.</i> (2014) GEBREMARIAM <i>et al.</i> (2020)
Demolição seletiva ou desconstrução	DYTIANQUIN (2021) IODICE <i>et al.</i> (2021) O'GRADY <i>et al.</i> (2021) SHOOSHTARIAN <i>et al.</i> (2022) IYER-RANIGA (2019) MAURY-RAMÍREZ <i>et al.</i> (2022) VAN DEN BERG <i>et al.</i> (2020)	PANTINI; RIGAMONTI (2020) NEWAZ <i>et al.</i> (2020) FORSYTHE; FINI (2018)
Passarte de materiais	BENACHIO <i>et al.</i> (2020) CHEN <i>et al.</i> (2021) IYER-RANIGA (2019) NADAZDI <i>et al.</i> (2022)	HONIC <i>et al.</i> (2019)

(conclusão)

<i>Building Information Models</i>	CHEN <i>et al.</i> (2021) HENTGES (2022) IYER-RANIGA (2019) MAURY-RAMÍREZ <i>et al.</i> (2022) MESA <i>et al.</i> (2021) SHOOSHTARIAN <i>et al.</i> (2022)	HONIC <i>et al.</i> (2019) MARTINS (2018) SANCHEZ <i>et al.</i> (2021)
------------------------------------	---	--

Fonte: Autoria própria (2022).

As práticas mais citadas nos artigos selecionados são focadas no término do primeiro ciclo de vida dos produtos ou fluxo de resíduos de construção e demolição, por isso o foco maior deste trabalho será nelas.

Van Den Berg *et al.* (2020) indicam que a principal prática para fechar os ciclos de materiais para edificações no final de sua vida útil é a **reutilização**, uma opção preferível, no caso de impossibilidade da reforma, na qual um elemento é usado novamente para sua finalidade original ou para uma finalidade familiar, sem alterar significativamente a forma física do mesmo. Embora muitas políticas sejam orientadas para a **reciclagem**, essa prática é menos preferível, já que a reciclagem envolve reprocessar elementos recuperados com um processo de fabricação e transformá-los em um elemento final novamente (KIBERT, 2016), logo, normalmente reduz a qualidade do elemento, potencial para usos futuros e valor econômico, sendo caracterizado como downcycling (VAN DEN BERG *et al.*, 2020). Ainda segundo Van Den Berg *et al.* (2020), a eliminação (através de aterros) e a recuperação de energia (através da incineração) são práticas comuns, mas que devem ser ainda menos priorizadas, pois desperdiçam recursos materiais fora do circuito. Assim, do ponto de vista da eficiência dos materiais, a **reutilização** de elementos é, portanto, a melhor prática para edifícios em seu fim de vida.

Segundo Low *et al.* (2020), para as nações industrializadas há uma variedade de caminhos potenciais para o gerenciamento de resíduos de construção que maximizam o desvio do aterro. A separação, reutilização e reciclagem de resíduos no local são opções viáveis para materiais de construção, no entanto, têm limitações que podem não ser superadas em alguns casos. Nas últimas décadas, o RCD foi usado principalmente em fundações e aterros de estradas (GHAFAR *et al.*, 2020).

Segundo o que pôde ser verificado na revisão bibliográfica, a principal barreira para uma economia circular para a indústria da construção é a falta de mercados em todo o mundo. Entende-se que somente reconhecendo o valor dos materiais de construção virgens brutos, *in*

situ e pós-desconstrução/demolição como recursos futuros, a oferta e a demanda por materiais recuperados podem ser sustentadas. Materiais de qualidade, por sua vez, precisam ser garantidos através da implementação de melhores práticas de gestão de resíduos e diligência em torno de materiais perigosos, pois isso promoverá a percepção de que os materiais recuperados são valiosos e que os edifícios atuais podem ser recursos futuros (LOW *et al.*, 2020).

Com a finalidade de compreender as práticas encontradas e perceber como poderiam ser aplicadas no Brasil, a seguir serão apresentadas as principais características e conceitos de cada uma das práticas conforme os autores encontrados na RBS.

5.1.1 Reutilização

Devido à predominância da linearidade em toda a cadeia construtiva, em poucas construções os materiais residuais de uma demolição são reutilizados, principalmente quando ocorre a mistura de diferentes matérias. No estudo realizado por Olaleye *et al.* (2022), foi identificado que o reuso direto comumente inclui solo escavado, painéis de fachada, materiais de construção patrimoniais e materiais pré-fabricados. Muitos desses resíduos gerados podem ser reutilizados para fins semelhantes, ou menores. Os materiais também podem precisar de reprocessamento para manter sua qualidade por meio de reparo e reforma.

Olaleye *et al.* (2022) ainda dizem que a reutilização, embora necessite da mais alta qualidade no final da vida útil dos materiais, fornece os produtos secundários mais rápidos e com o menor consumo de energia e custo. Portanto, a reutilização é uma prática adequada à EC para a gestão de resíduos nas fases de construção e demolição. Da mesma forma, a reutilização é mais preferível em relação à reciclagem porque tem pouco ou nenhum impacto ambiental negativo em relação à processar o material para nova aplicação.

Segundo Iyer-Raniga (2019), se um nível mais alto de circularidade de materiais é usado em uma cadeia de produtos, esses materiais permanecem na cadeia por um período mais longo e, portanto, o uso de materiais mais novos para fabricar produtos é reduzido ou eliminado, trazendo um impacto positivo direto no meio ambiente. Assim, não só a partir de uma abordagem estratégica, mas avançar para a crescente circularidade requer inovações na tecnologia central, inovações no design de produtos, inovações no modelo de receita e uma mudança sócio-institucional (IYER-RANIGA, 2019).

Já Van Den Berg *et al.* (2020) ressaltam que, de maneira geral, a pesquisa sobre os potenciais de reutilização, ou seja, da capacidade de um elemento de reter sua funcionalidade após o final de sua vida primária, tende a se concentrar em novos edifícios com novos elementos e, conseqüentemente, tem impacto limitado para o estoque de edifícios existentes.

Apesar das vantagens do reúso como prática de EC, sua adoção e implementação não estão livres de barreiras. Oluleye *et al.* (2022) identificaram em sua pesquisa que, muitos materiais secundários em construção e demolição são vistos e tratados como resíduos geralmente não comercializáveis devido à falta de demanda dos clientes, medo de baixa qualidade, padrões inadequados para materiais secundários e falta de conscientização sobre a melhor maneira de reutilizar materiais de construção. Um dos fatores críticos que afetam a reutilização de materiais em resíduos de construção e demolição inclui a falta de informação adequada sobre a qualidade dos materiais secundários e falta de regulamentação para a reutilização de resíduos de construção e demolição. Isso tem afetado a oferta desses materiais no mercado, pois muitos não têm certeza da qualidade do material secundário e da melhor forma de identificá-los.

Contudo, existem práticas emergentes que buscam potencializar a reutilização por meio da circularidade, apresentando novas formas de enxergar o mercado construtivo, que são detalhadas a seguir, dando destaque para o Design para Desmontagem, Desconstrução e Modularidade.

5.1.1.1 Design para Desmontagem

O design para desmontagem (DpD) se apresenta como uma solução-chave para facilitar a reutilização de materiais. O princípio fundamental do projeto para desmontagem é que os elementos devem ser facilmente recuperáveis, com a capacidade de reter sua funcionalidade após o final de sua vida primária, de maneira que o processo é uma importante prática para reutilização e para conservar matérias primas. A filosofia de design para desmontagem, visa eliminar o desperdício por meio de uma consideração cuidadosa no estágio inicial do design. Os edifícios são reinterpretados como coleções de recursos materiais valiosos que devem ser preservados ao longo de diferentes ciclos de vida (VAN DEN BERG *et al.*, 2020).

Segundo Fatourou-sipsi e Symeonidou (2021), o design para desmontagem é definido como o projeto de novos elementos com a capacidade de ser desmontado. Esse método, unido

à ideia de circularidade dos materiais, permite o reaproveitamento de partes ou cascas de edifícios antigos que ainda estejam em boas condições em novas estruturas que atendem aos requisitos de projeto, evitando o descarte completo no desmantelamento.

A estrutura DpD retarda e fecha os ciclos podendo fazer uso de materiais de longa duração e elementos pré-fabricados de concreto de tamanho padrão que são desmontáveis para reutilização direta, prolongando assim a vida útil dos elementos e evitando a produção onerosa de novo concreto. Essa técnica de DpD consiste em uma mistura de elementos de parede de concreto armado pré-fabricados virgens e secundários e lajes de piso de concreto armado de núcleo oco com conexões de aço desmontáveis. Nela é assumida uma vida útil funcional de 75 anos do edifício em que os elementos são colocados. No entanto, devido à longa vida teórica do concreto e das juntas de aço, assumem-se quatro (re)usos dos elementos (ou seja, em quatro locais diferentes), antes de serem reciclados (MALABI *et al.*, 2021b).

Para uma melhor aplicação da EC e os métodos que a acompanham na construção civil, como o design para desmontagem, destaca-se a importância do envolvimento da equipe de projeto no planejamento da gestão de resíduos. A equipe de projeto com foco em questões de resíduos, por sua vez, é multidisciplinar e composta idealmente por designers, arquitetos, engenheiros estruturais, consultores ambientais e coordenadores de gerenciamento de resíduos (SHOOSHTARIAN *et al.* 2022).

Shooshtarian *et al.* 2022 encontraram em sua pesquisa que, pode-se entender que projetistas e arquitetos desconhecem que a gestão de resíduos deve ser parte integrante do processo da construção e, por isso, designers tendem a não assumir a responsabilidade pelos resíduos ou a ver sua gestão como parte de seu papel. Essa tendência pode criar uma desconexão entre os objetivos do projeto e as práticas de construção, o que aumenta o custo de reutilização de material (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022).

Como exemplo da implementação do design para desmontagem, onde inicialmente a ideia não era popular, temos o estudo realizado por Tleuken *et al.* (2022), que foi baseado em entrevistas e revisões bibliográficas que demonstraram essa impopularidade do design para desmontagem no setor de construção do Cazaquistão. Apenas uma das dezessete empresas de construção mencionou que tenta deliberadamente adotar o princípio design para desmontagem em seus processos de construção. Algumas partes interessadas adotam conceitos de design para desmontagem apenas para edifícios temporários necessários durante a construção,

enquanto o projeto para desmontagem de estruturas permanentes não é tão comum (TLEUKEN *et al.*, 2022).

É fundamental mencionar que a principal motivação para os atores envolvidos na construção é a viabilidade econômica e rentabilidade do projeto, o que torna o custo o principal incentivo para seguir ou respeitar os princípios do design para desmontagem. Embora o processo de coleta de dados tenha sido feito territorialmente no Cazaquistão, acredita-se que os resultados e a conclusão possam ser, ao menos, ampliados para o setor de construção da Ásia Central (TLEUKEN *et al.*, 2022).

Apesar dos benefícios apresentados anteriormente de um modelo baseado em design para desmontagem em funcionamento, Malabi *et al.* (2021b) entendem que essa solução não é aplicável a curto prazo, visto que não reduz, necessariamente, os impactos ambientais e o consumo de recursos no presente, pois para a implementação das primeiras construções nesse modelo, o reuso de materiais não seria aplicado adequadamente, já que as construções pré-existentes têm baixo ou nenhum potencial de desmontagem e reuso efetivo.

5.1.1.2 Modularização

Segundo Maury-Ramírez *et al.* (2022), a modularização refere-se ao processo de fabricação de unidades funcionais em ambientes externos controlados para que possam ser transportadas em peças inteiras do local de fabricação até o local final. Os elementos pré-fabricados incluem elementos estruturais (por exemplo, vigas, colunas) e elementos não estruturais (por exemplo, pavimentação, meio-fio, calçadas) que compõem as unidades funcionais (por exemplo, sistema estrutural, fundação) (MAURY-RAMÍREZ *et al.*, 2022). Ainda segundo Maury-Ramírez *et al.* (2022), os benefícios do uso de pré-moldados e modularização na construção incluem economia de cronogramas de projetos, redução de contingências, otimização de custos com pessoal e materiais, segurança, qualidade, minimização de RCD e potencial de reaproveitamento de módulos e pré-moldados ao final do ciclo de vida das edificações e infraestrutura.

Para projetos em fase inicial de planejamento, o desenvolvimento de plantas modulares é uma grande oportunidade de otimização de recursos, já que a pré-fabricação permite um maior controle sobre o uso do material, apresentando perdas aproximadamente 50% menores quando comparadas à construção em obra (TAM; HAO, 2014). Além disso, a pré-fabricação permite a implantação de tecnologias de alto desempenho, permitindo que o

usuário altere o tipo de uso do edifício ao longo de sua vida útil e aproveite os módulos para outros usos (HENTGES, 2022).

5.1.2 Reciclagem

A reutilização de materiais de construção na indústria atualmente não recebe apoio no geral, mas a reciclagem tem recebido muita atenção devido à sua capacidade de usar os resíduos reciclados na mesma indústria em que foi gerado (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022). A reciclagem envolve reprocessar elementos recuperados com um processo de fabricação e transformá-los em um componente final, ou parte de um componente novamente (KIBERT, 2016). Elementos de concreto, por exemplo, podem ser transformados em agregados secundários e a madeira maciça pode ser reduzida a painéis de partículas (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022).

Segundo MAURY-RAMÍREZ *et al.* (2022), a reciclagem é concebida como um processo ecologicamente correto que busca converter resíduos de construção e demolição em novos produtos para posterior utilização no setor da construção e outros setores da economia regional. A reciclagem evita o desuso de materiais potencialmente valiosos que normalmente seriam descartados de forma inadequada ou com alto custo. Esta tecnologia reduz o consumo de novas matérias-primas para a fabricação de materiais de construção, garantindo as suas propriedades mecânicas e durabilidade juntamente com uma redução do impacto ambiental (MAURY-RAMÍREZ *et al.*, 2022)

Porém, o processo de reciclagem deve ser uma das práticas menos priorizadas dentro da EC, já que envolve o uso de recursos (energia, água, insumos adicionais) que podem ser significativos em comparação com a extração de material virgem (MESA *et al.*, 2021). Dessa maneira, um estudo de avaliação do ciclo de vida (ACV) pode ser benéfico para a avaliação de cada caso específico a fim de provar quais opções são melhores para um projeto (GHAFAR *et al.*, 2020).

Segundo a NBR ISO 14040 de 2009 (ABNT, 2009), a ACV é uma compilação e avaliação de entradas, saídas e impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. A ACV pode contribuir para identificação de oportunidades de melhoria no desempenho ambiental de produtos, no nível de conhecimento de líderes de indústrias e organizações, para planejamento estratégico, definições de materialidade e prioridades, por exemplo.

A demanda por agregados de construção está aumentando globalmente (SILVA *et al.*, 2019), assim, uma alternativa que se destaca dentro da reciclagem seria transformar RCDs em matérias-primas secundárias conhecidas como Agregados Reciclados (ARs) seguindo processos de reciclagem apropriados (SILVA *et al.*, 2014).

Os materiais de construção comuns geralmente reciclados incluem concreto, vidro, argila, gesso cartonado, materiais pré-fabricados, plástico, tijolos, argamassa de alvenaria, agregados reciclados, argamassa de cimento, vidro e gesso. A reciclagem tem sido mais utilizada no concreto nas fases de construção e demolição (GEBREMARIAM *et al.*, 2020), o que pode se dar devido à característica intrínseca do concreto, tornando-o muito fácil de reciclar em comparação com outros resíduos (OLULEYE *et al.*, 2022).

Para serem aceitos e utilizados no canteiro de obras, os ARs precisam cumprir requisitos técnicos e ambientais específicos (IODICE *et al.*, 2021). Atualmente, diversos fatores dificultam uma utilização mais generalizada dos ARs, como a desconfiança de algumas empresas de construção em relação aos materiais reciclados devido à sua origem a partir de resíduos (SILVA *et al.*, 2019) ou o desconhecimento dos seus desempenhos técnicos, mas também o baixo custo e a grande disponibilidade de materiais virgens no nível local (IODICE *et al.*, 2021).

O processo para obtenção de ARs de RCD também apresenta certo grau de dificuldade, já que busca separar materiais de papel, polímeros, madeira, aço, solo e outros contaminantes que devem seguir ao longo das etapas de reciclagem para garantir a obtenção de agregados reciclados adequados (MAURY-RAMÍREZ *et al.*, 2022). Segundo Silva *et al.* (2019), se os procedimentos adequados de controle de qualidade não forem aplicados durante a triagem dos resíduos, a presença considerável de constituintes não desejados poderá afetar as propriedades do material resultante, assim, a demolição seletiva seria uma prática bastante interessante para favorecer a reciclagem.

Os principais stakeholders que influenciam a gestão de reciclagem de resíduos de construção incluem operadores de usinas de reciclagem, o governo, a sociedade e os compradores de produtos de resíduo reciclado nesta fase (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022). Shooshtarian *et al.* (2022) também ressaltam que a falta de interesse e demanda dos clientes, atitudes em relação às práticas de reutilização e treinamento inadequado atuam como desincentivos à recuperação de resíduos proativa e sustentável.

Em sua pesquisa, Ghaffar *et al.* (2020), identificou constatações que a falta de conhecimento sobre a implementação de tecnologia avançada para reciclagem de resíduos é um fator que se destaca, além de que, do ponto de vista econômico, a reciclagem de RCD é apenas atrativa quando o produto obtido é competitivo em relação ao custo, quantidade e qualidade.

Oluleye *et al.* (2022) também identificaram em suas pesquisas que a reciclagem no setor da construção e demolição destrói a integridade dos produtos, degrada sua qualidade e valor. Além disso, o processo é muito tedioso e não é conveniente, especialmente para metais e materiais compósitos que são muito caros para reciclar e propensos à corrosão. Outro exemplo seria a reciclagem de vidro, que é muito cara, principalmente quando os resíduos estão quebrados e contaminados em cores diferentes.

Tem-se assim que, embora a reciclagem seja menos atraente do que outras práticas, continua a ser a prática mais importante e amplamente utilizada na gestão de resíduos de construção e demolição na atualidade (OLULEYE *et al.*, 2022).

5.1.3 Demolição seletiva ou desconstrução

A partir do uso do design adequado permite-se a aplicação sistemática da demolição seletiva, também conhecida como ‘construção ao contrário’ ou ‘desconstrução’ (PANTINI; RIGAMONTI, 2020), já que práticas de design conscientes do desperdício podem facilitar a desconstrução em projetos. Este tipo de demolição ainda é pouco aplicado, mas tem um grande potencial. A diferença com a demolição tradicional está na separação dos resíduos no local de geração graças a uma sequência de atividades de demolição, que permite separar e classificar componentes e materiais da construção (PANTINI; RIGAMONTI, 2020). Isso aumenta a taxa de captura e a qualidade dos resíduos (ou seja, a reciclabilidade geral) (IODICE *et al.*, 2021).

A técnica consiste no desmantelamento dos acabamentos arquitetônicos (pavimentos, janelas, portas), dos sistemas de aquecimento-ventilação e, por fim, a demolição da estrutura, começando pela superestrutura e depois pelas fundações. É importante também mencionar que os resíduos de fundação são difíceis de usar devido à sua exposição contínua às águas subterrâneas e minerais do solo (MAURY-RAMÍREZ *et al.*, 2022).

A atividade de demolição, uma fonte primária de RCD na indústria, de modo geral, apresenta três técnicas utilizadas nas atividades: demolição mecânica, desconstrução e desconstrução seletiva. A demolição mecânica geralmente é mais difícil de controlar e oferece pouco espaço para separar os materiais (NEWAZ *et al.*, 2020), sendo que a maioria dos resíduos mistos resultantes da demolição acelerada é enviada para aterros (FORSYTHE; FINI, 2018). Nesse espaço, a técnica de desconstrução gera menos descarte de resíduos, além do que, alguns materiais podem ser direcionados para reutilização e reciclagem (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022).

Embora a desconstrução gere menos descarte de resíduos, facilite processos como reutilização e reciclagem e tenha grandes vantagens econômicas, a demolição regular requer menos tempo do que a desconstrução, incluindo mão de obra (total de homem-hora) e custos ativos da planta (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022).

Segundo Van Den Berg *et al.* (2020), uma série de condições são necessárias para que o processo de demolição seletiva seja aplicado: identificação da demanda econômica, adoção de rotinas de desmontagem e controle de desempenho futuro.

Um empreiteiro de demolição normalmente não tenta recuperar um elemento de construção para reutilização, o foco da empresa é, por padrão, estabelecer um fluxo de resíduos rápido e econômico durante a destruição de um edifício (VAN DEN BERG *et al.*, 2020). O processo de demolição só passa a tratar a recuperação quando há uma identificação por parte do empreiteiro de uma demanda econômica de um elemento, ou seja, quando a recuperação é considerada lucrativa (VAN DEN BERG *et al.*, 2020).

Van Den Berg *et al.* (2020) ressaltam, mesmo depois que um empreiteiro de demolição perceber que a demanda por um determinado elemento de construção justifica sua desmontagem, a recuperação do elemento pode não ocorrer, já que a potencial reaplicação de um elemento requer rotinas de desmontagem mais hábeis e disciplinadas do que a redução desse mesmo elemento a resíduos de demolição (recicláveis). Assim, a decisão de recuperar um elemento também é influenciada pela capacidade e disposição do empreiteiro de demolição em adotar essas rotinas. Além de que rotinas de desmontagem também se estendem ao manuseio mais cuidadoso de elementos adjacentes e à adoção habilidosa de ferramentas específicas (VAN DEN BERG *et al.*, 2020).

Por último, do ponto de vista do empreiteiro de demolição, só faz sentido desmontar um elemento de um edifício recuperado quando esse elemento pode (eventualmente) também for ser integrado em um novo edifício (VAN DEN BERG *et al.*, 2020). Para isso, deve haver tempo suficiente disponível para a desmontagem adequada e que o empreiteiro de demolição possa garantir que o elemento mantenha suas propriedades físicas e estruturais durante o armazenamento e manuseio posterior. Isso implica que as possibilidades práticas de um empreiteiro de demolição controlar o desempenho de um elemento até uma futura reintegração também influenciam a decisão dessa empresa de recuperar um elemento para posterior reutilização ou não (VAN DEN BERG *et al.*, 2020).

Shooshtarian *et al.* (2022) citam análises de custo-benefício para decidir o destino dos resíduos, abrangendo o custo de separação, as taxas de transporte, o número de resíduos e os benefícios da reciclagem. Devido à falta de práticas padronizadas para recuperação de resíduos de demolição e motivações financeiras, os operadores de demolição tendem a usar a demolição, resultando na geração de resíduos mistos que acabam em aterro (TENNAKOON *et al.*, 2021).

O'Grady *et al.* (2021) também reforçam a dificuldade na rotina de desmontagem. A maioria dos canteiros de obras têm espaço limitado para a triagem de resíduos no local e as ligações dos edifícios são predominantemente químicas, assim, muitas vezes requerem força para remover, levando ao dano dos próprios componentes. A dificuldade da desconexão é agravada pela inclusão de variáveis associadas à construção no local, como intempéries, falta de educação e altas taxas de mão de obra. Portanto, a demolição ainda é preferida como o método em relação à desconstrução e desmontagem.

Como exemplo, no estudo de Dytianquin *et al.* (2021) concluiu-se que projetar para desmontagem cria possibilidades para o modelo de negócios da economia compartilhada, onde diferentes reconfigurações de um edifício criam flexibilidade para escritórios e espaços de convivência, fomentando não apenas o potencial de renda dos empreendedores, mas também a formação de capital social, baseado nos estudos de casos belgas que foram apresentados em seu trabalho. Um primeiro passo fundamental para implantar essa prática seria selecionar materiais para o ambiente construído e avaliar sua poluição incorporada, além dos níveis de toxicidade para a saúde humana, o que foi evidente na maioria dos projetos, permitindo assim um sistema de passaporte de materiais (DYTIANQUIN *et al.*, 2021).

5.1.4 Passaporte de materiais

Os Passaportes de Materiais de Construção (PMC), podem ser usados para armazenar dados importantes de componentes construtivos para uso em seu fim de vida, auxiliando na incorporação dos materiais no laço circular, ao invés de descartá-los (BENACHIO *et al.*, 2020). A existência de um banco de dados consolidado de PMC pode auxiliar na avaliação e otimização do potencial de reciclagem e impactos ambientais (HONIC *et al.*, 2019), o que vem ao encontro de outras áreas de pesquisa mostrando o imenso potencial do uso de ferramentas e práticas da EC no início do projeto para reduzir os impactos ambientais negativos que as construções podem ter.

De acordo com Nadazdi *et al.* (2022), um banco de dados de estoque de materiais construídos com passaporte, pode ser um recurso valioso para o planejamento da economia circular, já que esse banco de dados pode dimensionar o tipo e a quantidade de materiais construídos no estoque de edifícios existentes. Em algum momento esse material se tornará resíduo devido à atividade de reforma e demolição e conhecendo a sua quantidade e composição, podem ser desenvolvidas diferentes estratégias de gestão de RCD com maiores taxas de reutilização e reciclagem que apoiam a economia circular (NADAZDI *et al.*, 2022). Porém ainda faz-se necessário desenvolvimento de pesquisas e melhor colaboração entre os stakeholders para tornar esse processo mais acessível e viável. (BENACHIO *et al.*, 2020).

Iyer-Ranga (2019), cita como exemplo de aplicação do banco de materiais o projeto Horizon 2020, um projeto financiado pela União Europeia que busca a transparência do uso de materiais por meio de passaportes de materiais de construção, pensando em projetos de construções reversíveis. Na busca de uma mudança sistêmica, o projeto uniu diversos stakeholders para atingir o objetivo de uma criação de soluções circulares.

Os passaportes de materiais podem ser registrados de diferentes maneiras, sendo uma forma completa e interessante para aplicação de EC na construção civil a base em modelos de informações de construção (em inglês, *Building Information Models* ou BIM), porque podem fornecer informações suficientes a respeito dos materiais, dos valores financeiros restantes e impactos ambientais na fase de fim de vida de cada material, o que pode melhorar ainda mais a decisão dos designers na seleção de materiais. Além disso, o BIM permite uma visualização espacial da estrutura (CHEN *et al.*, 2021).

5.1.5 Building Information Models - BIM

Existem ferramentas que auxiliam no desempenho e agregam resultados que promovem a sustentabilidade na projeção e construção, dentre eles, uma grande oportunidade para a construção civil brasileira é a adoção de modelos de informações de construção. Essa tecnologia se destaca no setor de arquitetura, engenharia, construção e operação como uma importante ferramenta para integrar o ciclo de vida dos edifícios e a avaliação da sustentabilidade (BENACHIO *et al.*, 2020).

Através da prototipagem BIM, é possível desenvolver simulações que melhoram a especificação de materiais e o gerenciamento da construção. Isso ocorre pois a proposta do BIM é demonstrar o desenvolvimento preciso do passaporte de material e a verificação de dados (CHEN *et al.*, 2021), já que é realizado o armazenamento de diferentes tipos de informações em seu modelo digital, tornando-se uma importante ferramenta para a adoção da economia circular no ambiente construído (BENACHIO *et al.*, 2020).

Essa ferramenta permite uma visualização tridimensional dos projetos onde, ao selecionar cada componente presente, é possível registrar e visualizar informações de cada individualidade, como paredes, tubulações, pilares, escadas e outros. Isso permite que os projetos para de montagem tenham as informações necessárias coletadas de forma otimizada.

Sanchez *et al.* (2021) propuseram uma metodologia de planejamento em fases baseada em BIM para desmontagem, sendo ela total ou parcial das estruturas de uma construção de forma que permita a reutilização futura, buscando minimizar o impacto ambiental e o custo de construção. Essa metodologia mostra a provável sequência de desmontagem para a reutilização adaptativa de componentes de construção, sendo que a compensação entre o impacto ambiental e o custo de construção pode ser encontrada através de algoritmos de otimização.

A ACV, por sua vez, pode ser realizada em conjunto com o BIM. Em sua pesquisa, Chen *et al.* (2021) apresentam uma sugestão para incorporar as informações ambientais nos processos de projeto paramétrico BIM para permitir que os projetistas otimizem as opções de projeto e a seleção deliberada de materiais.

Hentges *et al.* (2022) citam que a integração do BIM com o ACV permite rastrear os impactos ambientais em cada atividade desenvolvida. Isso facilita a seleção de materiais alternativos e soluções arquitetônicas, ao mesmo tempo em que é possível prever seu impacto no consumo de energia, geração de resíduos e emissões de carbono. Entre as soluções tecnológicas que integram BIM e ACV, destacam-se: Tally, Impact, eveBim-elodie, Arquimedes, One Click LCA e Revit Energy Analysis (MARTINS, 2018).

Honic *et al.* (2019) desenvolveram um sistema de passaporte de material baseado em BIM, acoplando os catálogos de construção e eco-repositórios ao BIM software de design, que foi usado para avaliar com eficiência e precisão o potencial de reciclagem e o impacto ambiental de edifícios, demonstrando uma forma eficiente do uso das duas práticas unidas. Muitos pesquisadores consideraram que os passaportes de materiais baseados em BIM servem como uma ferramenta de otimização de design e um inventário de materiais incorporados, levando a uma implicação importante no estágio inicial do projeto, facilitando a escolha dos materiais reutilizáveis e recicláveis quando as mudanças necessárias com alto impacto puderem ser realizadas a baixo custo (CHEN *et al.*, 2021)

O uso do BIM no Brasil vem crescendo nos últimos anos, e normas regulatórias para sua aplicação já foram desenvolvidas, como mostra o Quadro 2. Essas regras são a base para recentes regulamentações emitidas pelo governo federal brasileiro que buscam difundir mais usos do BIM.

Quadro 2 - NBRs e seus anos de publicação

Standard	Título	Data de publicação
ABNT NBR ISO 16354	Diretrizes para bibliotecas e objetos de conhecimento	2018
ABNT NBR ISO 16757-1	Estruturas de dados para catálogos de produtos eletrônicos de serviços prediais. Parte 1: Conceitos, arquitetura e modelo	2018
ABNT NBR ISO 16757-2	Estruturas de dados para catálogos eletrônicos de produtos para serviços de construção. Parte 2: Geometria	2018
ABNT NBR ISO 12006-2	Construção de edifícios - Organização de informações sobre obras de construção. Parte 2: Estrutura de classificação	2018
ABNT NBR 15965-1	Sistema de classificação da informação da construção. Parte 1: Terminologia e estrutura	2011
ABNT NBR 15965-2	Sistema de classificação da informação da construção. Parte 2. Características dos objetos de construção	2012
ABNT NBR 15965.0	Sistema de classificação da informação da construção. Parte 3: Processo de construção	2014
ABNT NBR 15965.7	Sistema de classificação da informação da construção. Parte 7: Informações de construção	2015

Fonte: Adaptado de HENTGES *et al.*, 2022.

Mais recentemente, o Decreto Federal 10.306 de 2020 estabeleceu a obrigatoriedade da implantação do BIM nas obras públicas federais construídas a partir de 2021 com exigências crescentes entre 2024 e 2028 (BRASIL, 2020).

5.1.6 Desafios e oportunidades

Atualmente, o aterro é o método preferido da indústria da construção para gerenciar resíduos de construção e demolição devido à sua conveniência e menor custo (valores relativamente baixos para a taxa cobrada pelos aterros) em relação a outras opções de gerenciamento de resíduos, além de suas horas de operação estendidas. Udawatta *et al.* (2015a) afirmam que os subempreiteiros não estão interessados na minimização de resíduos devido ao baixo retorno financeiro e falta de incentivos. Isso também é destacado por Newaz *et al.* (2020), que sustentam que a natureza heterogênea da construção não permite a priorização da gestão de resíduos no desenvolvimento de projetos para obras (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022).

Ratnasabapathy *et al.* (2021) relatam que os especialistas classificam as barreiras mais significativas para o desenvolvimento de um mercado para o fluxo de RCD são fatores como:

o alto custo da triagem de resíduos no local; falta de um sistema consistente de relatórios de dados de resíduos; a demanda e oferta insustentáveis; comunicações e incentivos inadequados em toda a cadeia de suprimentos; e complicados sistemas de troca baseados na web (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022).

Segundo Ghaffar *et al.* (2020), uma barreira significativa é que a fabricação secundária de produtos de valor agregado é muito alta, devido a etapas como triagem e reprocessamento de materiais que colocam as empresas de tratamento de RCD sob pressão para gerar lucro. Do ponto de vista econômico, o fluxo de RCD é apenas atrativo quando o produto obtido é competitivo em relação ao custo, quantidade e qualidade, assim, pode assim ser incentivado aumentando o preço das matérias-primas virgens através da tributação (GHAFAR *et al.*, 2020). Outros fatores devem ser incluídos em uma análise de viabilidade, como prazos logísticos, disponibilidade de recursos, questões de transporte, impactos ambientais, entre outros (KLANG, 2003).

Gorgolewski (2008), destaca alguns desafios para os projetistas que trabalham com elementos construtivos recuperados, como complexidades devido ao tempo e disponibilidade de materiais e a falta de uma cadeia de suprimentos coordenada. Uma importante percepção compartilhada é que a recuperação de elementos não é apenas desafiadora devido às incertezas específicas do projeto, mas também devido à organização sociotécnica do processo (seletivo) de demolição (VAN DEN BERG *et al.*, 2020).

Dada a natureza complexa dos projetos de construção, a diversidade de partes interessadas e o ambiente incerto, uma abordagem colaborativa dentro da equipe do projeto resultará em uma melhor gestão de resíduos (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022). Ainda segundo Shooshtarian *et al.* (2022) recomendam um envolvimento precoce e prolongado de empreiteiros e Udawatta *et al.* (2015b) sugerem que as partes interessadas devem prestar atenção às consequências ambientais da geração de resíduos e evitá-las o mais cedo possível.

Na generalidade, especialistas classificam o desenvolvimento de mercado para os produtos reciclados e reutilizados como uma das principais soluções para RCD na indústria da construção. Além disso, avanços tecnológicos e as infraestruturas de adaptação são citados como facilitadores significativos nas atividades de minimização de resíduos durante a recuperação de resíduos (SHOOSHTARIAN *et al.*, 2022). Para Ghaffar *et al.* (2020) o

desenvolvimento de tecnologias que permitem a produção de materiais com maior pureza a partir de RCD é fundamental na construção circular.

Como possibilidade para incentivar processos circulares, Hentges (2022) sugere a criação de legislação que reduza ou elimine taxas para projetos que tenham implementado os princípios da EC. Além disso, instiga a elaboração de um manual que conscientize, detalhe as formas de aplicação e dê a possibilidade de medir a EC na construção para certificar e destacar formas sustentáveis de produção. Mesa *et al.* (2021) sugerem a necessidade de ter um banco de dados completo de dados ambientais e técnicos de todas as matérias-primas (incluindo origem geográfica) para desenvolver análises robustas baseadas em uma perspectiva de sustentabilidade que inclua aspectos ambientais e sociais.

Outras sugestões também foram discutidas por Hentges (2022), como projetos com módulos pré-fabricados, equipe para triagem, retirada e destinação de resíduos e benefícios fiscais para projetos que aproveitam RCD. Este último pode ser adotado por desenvolvedores, projetistas e construtores em todas as etapas do projeto. Outra sugestão é a criação de decretos que tornam obrigatório o uso do BIM em novos edifícios públicos, um movimento no sentido de melhorar o projeto e o planejamento da construção (HENTGES, 2022).

Iyer-Raniga (2019) ressalta, dentre incentivos da implementação de recirculação de resíduos, o impacto em emissões da indústria de CO₂. A recirculação oferece as melhores oportunidades, pois reduz as emissões de CO₂ e requer muito menos energia para produzir materiais em comparação ao mesmo a partir de materiais virgens. Em uma indústria com fortes pressões externas e compromissos de diminuir emissões de GEE, esse fator torna-se uma grande oportunidade.

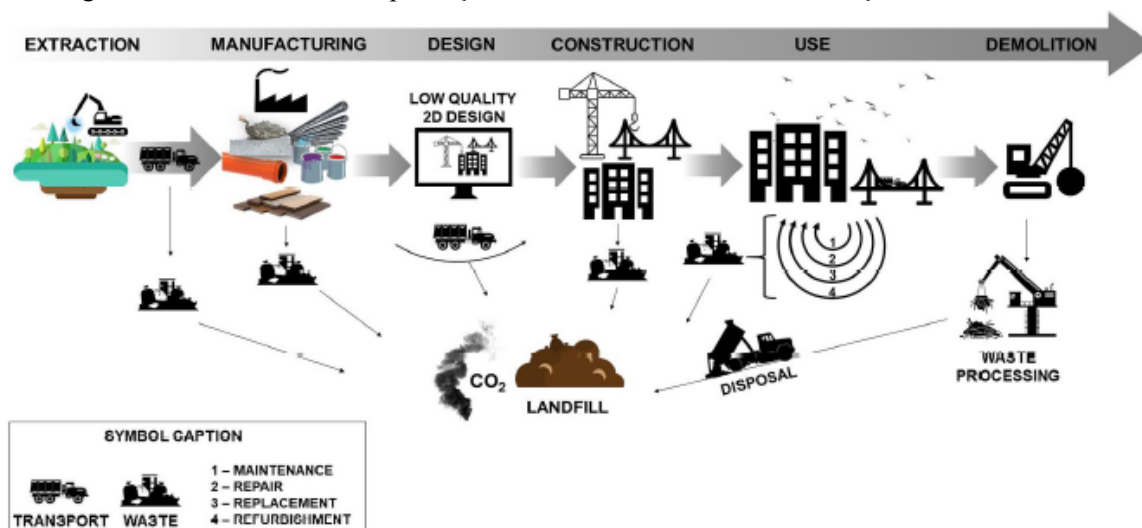
Jain *et al.* (2020) apresentam uma perspectiva de como fatores comportamentais e sociais influenciam a gestão de RCD. Um dos apontamentos indicados foi que à medida que há um aumento de rendimento e estilo de vida, as práticas de segregação, reciclagem e reutilização deixam de ser praticadas, mas a conscientização tem um impacto positivo na gestão sustentável do RCD. Em seu estudo, Jain *et al.* (2020) ressaltam, principalmente, o impacto que as pressões sociais externas, por parte de stakeholders diversos, têm dentro do fluxo de RCD e uma correlação significativa entre preocupações ambientais da sociedade e gestão de resíduos.

O potencial para pesquisar e desenvolver novos produtos de materiais de construção compostos por RCD pode ser ampliado com a criação de um ecossistema de produção sustentável de todas as empresas relacionadas ao setor de construção, em conjunto com os atores do descarte (MAURY-RAMÍREZ *et al.*, 2022). Ainda segundo Maury-Ramírez *et al.* (2022), o desenvolvimento de uma comunidade consciente de usuários sustentáveis impulsionará o portfólio de produtos, além do papel de formuladores de políticas promovendo o consumo e a produção sustentáveis para responder aos desafios ambientais nacionais e internacionais. Atualmente inúmeras pesquisas e iniciativas já podem ser observadas na reciclagem e na fabricação de materiais de construção, essas duas áreas são destacadas como as principais oportunidades para aproximar a EC da construção brasileira (HENTGES, 2022), mas ainda há muito a ser desenvolvido.

5.1.7 Brasil

A economia circular ainda não é aplicada de forma ampla no Brasil, incluindo no setor da construção civil. O atual ciclo linear de produção e consumo na construção civil brasileira é caracterizado por uma cadeia complexa com várias etapas, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Sistema linear de produção e consumo no setor de construção civil no Brasil



Fonte: HENTGES, 2021.

Na etapa de processamento dos recursos naturais, destacam-se a produção de aço, cimento, revestimentos, tijolos cerâmicos, tubos e beneficiamento de madeira e agregados. As perdas materiais começam já nesta fase, por exemplo, os tijolos cerâmicos têm uma perda estimada entre 1,6% e 8,4%, o que representa mais de 400.000 toneladas/ano (HANSEN *et*

al., 2016). A perda e o desperdício de materiais também ocorrem durante a construção de edifícios ou infraestrutura. Esta etapa representa a quarta etapa do ciclo linear da construção, sendo um processo mais artesanal quando comparado à produção de materiais de construção na etapa anterior. Assim, há menos controle durante todo o processo, apresentando perdas estimadas em cerca de 30% desde o recebimento até o armazenamento e uso dos materiais (PINTO, 1999; SILVA *et al.*, 2018).

Em relação a legislação brasileira, em 2002, a Resolução 307 do CONAMA estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de RCD, os municípios brasileiros tinham até 2004 para elaborar e implementar planos municipais de gestão integrada de RCD. Dentre as diretrizes estabelecidas, destaca-se que os RCD não podiam mais ser descartados em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos ou aterros abertos, as frações recicláveis de RCD devem ser reinseridas em novos processos produtivos ou descartadas em aterros inertes (para usos futuros) (BRASILEIRO; MATOS, 2015). No entanto, apesar dessa resolução, a maior parte dos RCD coletados ainda não é reciclada ou armazenada para uso futuro (NUNES *et al.*, 2020).

Em 2010, a Lei nº 12.305 estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e fortaleceu a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 2002, na qual os geradores de resíduos e os municípios foram responsabilizados pela elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos da construção civil. Além da responsabilidade, a lei estabeleceu taxas a serem pagas por volume e tipo (HENTGES *et al.*, 2022).

Além da Política Nacional de Resíduos Sólidos, um conjunto de normas técnicas brasileiras (NBRs) regulam alguns procedimentos. No campo da reutilização de resíduos de construção, eles incluem a designação de áreas de triagem, aterros sanitários e áreas de reciclagem. Também inclui o uso de agregados reciclados em pavimentação e concreto não estrutural, e construção de camadas de pavimento contendo resíduos (respectivamente: NBR 15112, NBR 15113, NBR 15114, NBR 15116, NBR 15115). No entanto, esses padrões foram atualizados pela última vez em 2004, e as pesquisas publicadas desde então ampliaram as possibilidades de uso de construção e demolição desperdício. Além disso, não há menção de EC em nenhum dos esses padrões (HENTGES *et al.*, 2022)

A legislação brasileira ainda não aborda aspectos relacionados à simbiose industrial, modulação do produto e uso compartilhado de um bem ou serviço. Também não menciona

necessidade de planejar o processo produtivo para minimizar o desperdício, nem a destinação do produto para seu uso após o término de sua vida útil (HENTGES *et al.*, 2022).

De acordo com o levantamento de Nunes *et al.* (2020), a ineficiência no controle da destinação dos RCD e a rastreabilidade ineficiente do transportador de RCD prejudicam a viabilidade dos centros de reciclagem. Além disso, no país é comum observar a prática de descarte ilegal de RCD em locais públicos, cursos d'água e encostas (NUNES *et al.*, 2020).

O Brasil tem um percentual maior de população vivendo em áreas urbanas (85,77%). Este fato poderia ser mais explorado pelas autoridades locais brasileiras para melhorar a logística reversa de RCD, principalmente reduzindo transportes e localização de instalações de processamento próximas à geração de RCD (NUNES *et al.*, 2020), apoiando a viabilidade de usinas de reciclagem e possivelmente aumentando a taxa de reciclagem.

Já em relação ao mercado no Brasil, entre as causas para a baixa demanda por agregados reciclados e adversidades da viabilidade econômica, estão principalmente: a falta de legislação que obrigue o poder público a consumir agregados reciclados, a alta carga tributária dos agregados reciclados, a falta de conhecimento do mercado sobre o fornecimento de agregados reciclados, a ineficiência no controle do transportador e destino dos RCD (NUNES *et al.*, 2020).

Como outro exemplo dentro do mercado brasileiro, os preços da areia reciclada e da brita correspondem a 48,8% e 27,1%, respectivamente, de recursos virgens no Brasil. Considerando a baixa qualidade do material reciclado produzido nas unidades brasileiras de reciclagem de RCD e abundância dos recursos no território brasileiro, tornando-os recursos com baixo preço, a viabilidade econômica dos materiais reciclados é negativamente afetada, principalmente para areia reciclada. (NUNES *et al.*, 2020).

Já o aproveitamento de resíduos plásticos reciclados é uma oportunidade que a construção civil brasileira está aproveitando. Em 2019, o setor consumiu 13,3% das 757,6 mil toneladas de resinas plásticas pós-consumo recicladas brasileiras, ficando em segundo lugar como setor que mais consome (ABIPLAST, 2019). Este material pode ser utilizado como componente em compósitos cimentícios, base e sub-base de estradas, componentes em asfalto, paredes e tijolos (AWOYERA; ADESINA, 2020).

5.2 DISCUSSÕES

A transição para o modelo de economia circular ainda é bastante incipiente no Brasil. Embora seja uma atraente alternativa para a economia linear, com geração de valor e oportunidades, enfrenta grandes barreiras em sua aplicação.

A visão imediatista e fragmentada ainda presente em uma indústria bastante tradicional e consolidada enfrenta uma conjuntura em crise. A identificação de rotas para desenvolvimento e valorização de subprodutos dentro do setor de construção civil tem amplas perspectivas de fortalecimento, em um cenário de necessidade de crescimento econômico, desenvolvimento social e mitigação de impactos ambientais.

As bibliografias exploradas, de modo geral, destacam a destinação de RCD em aterros sanitários como a solução mais prática e amplamente aplicada, principalmente para cargas de resíduos mistos, reforçando a necessidade de incentivos que tornem soluções alternativas mais atrativas.

A transição do sistema linear para o circular depende de ações originadas da sociedade como um todo, mas deve ser organizada e regulada pelo governo. Como o aumento da abordagem de EC é recente, poucas políticas e padrões são encontrados no mundo (HENTGES *et al.*, 2022), mas já existem vastas pesquisas sobre possíveis estratégias de busca por um setor de construção civil mais circular, como as abordadas no presente trabalho.

Dentre as práticas estudadas, a reutilização é a mais preferível para o RCD. A reutilização propõe a valorização e aplicação de um produto ou material para um novo fim, sem passar por algum tipo de transformação que demande uso de novos recursos, como energia, água ou matéria prima. Dentro da reutilização existem algumas práticas que podem ser implementadas para favorecimento do processo, tal como o design para desmontagem ou a modularização.

A modularização, assim como o design para desmontagem, é um processo que facilita a reutilização de materiais, a partir do conceito da pré-fabricação de unidades funcionais que podem ser transportadas por inteiro. Esses pré-moldados promovem um controle maior sobre uso do material, diminuindo perdas e otimizando recursos. A modularidade pode ser aplicada de forma mais simples como as construções que utilizam container como estrutura principal,

fazendo um bom reuso desse material de forma criativa, mas construções mais grandiosas e complexas teriam que usar outras estratégias de modularidade.

O design para desmontagem visa a retenção da funcionalidade de um elemento após o fim de vida primário, de maneira que promove um design de elementos construídos que podem ser desmontados e reaproveitados, evitando o descarte e desperdício do material. O DpD, unido à modularidade, apresentam-se como alternativas bem próximas da circularidade, contudo, sua aplicação é a mais complexa e demorada, visto que seria necessário uma mudança drástica na forma de preparação dos materiais, no modo de construir e na forma que o fim de vida das construções é tratado, portanto é mais interessante que práticas menos agressivas sejam implementadas antes do DpD.

De maneira geral, a pesquisa sobre potenciais de reutilização, da capacidade de um elemento de reter sua funcionalidade após o final de sua vida primária, tende a se concentrar em novos edifícios com novos elementos e, conseqüentemente, tem impacto limitado para o estoque de edifícios existentes.

A reciclagem também se trata de outro processo que evita o desuso de materiais normalmente descartados, embora seja menos preferível que a reutilização, é mais aplicada e estruturada. Ela compreende o reprocessamento de elementos recuperados, assim envolve o uso de recursos, podendo também gerar um impacto ambiental. A reciclagem é um processo já conhecido e utilizado no Brasil, contudo, em uma fração muito pequena do total de RCD, apenas cerca de 8% (NUNES *et al.*, 2020). Isso ocorre devido a forma que os RCD são descartados, muitas vezes não ocorrendo a separação durante a construção e a demolição, inviabilizando a reciclagem. Com a aplicação da desconstrução seletiva e com as informações registradas em BIM, a reciclagem apresentaria um potencial maior utilização.

Algumas práticas podem ser implementadas para facilitação dos processos de reciclagem e reutilização, como a demolição seletiva, o passaporte de materiais e o BIM. A Demolição seletiva é uma técnica que gera menos descarte do que a demolição, pois promove a separação e classificação de resíduos no próprio local de geração, facilitando processos seguintes para o fluxo reverso do RCD.

Por sua vez, o passaporte de materiais é uma proposta de banco de dados que pode auxiliar na otimização de práticas de economia circular, à medida que possui informações referentes ao tipo, quantidade e outros detalhamentos de materiais presentes em uma

construção. Essa prática depende de uma união de stakeholders e pode facilitar a implementação de soluções como reutilização e reciclagem.

Já o BIM é uma ferramenta que auxilia no desempenho e agrega resultado em projeção de construções, integrando o ciclo de vida de edifícios e avaliações de sustentabilidade. É uma ferramenta que pode ser implementada como passaporte de materiais, por exemplo, além de permitir uma visualização tridimensional de projetos, possibilitando maiores facilidades para desmontagens ou outras metodologias.

As práticas apresentadas possuem grande potencial de desenvolvimento para aplicação no contexto de circularidade na construção civil, mas precisam de investimentos e incentivos em diferentes setores para se desenvolverem e perpetuar. Ações para mudar a situação atual devem envolver autoridades públicas, organizações certificadoras de qualidade, empresas de construção, produtores de materiais de construção, empresas de tratamento de resíduos, empresas de transporte e logística e empresas de reciclagem (NUNES *et al.*, 2020).

Dado o atual cenário brasileiro, uma mudança muito brusca no modelo de negócio utilizado pode não ser favorável para a transição para a economia circular, sendo assim, o decreto Decreto Federal 10.306:2020 citado no tópico 4.6 já foi um excelente primeiro passo, disseminando o uso do BIM em obras públicas. Se essa prática for aliada ao passaporte de materiais e a ACV, o banco de dados tornar-se-ia muito mais completo, com uma riqueza de detalhes que abriria espaço para implementação de outras práticas além de otimizar as já existentes.

Um exemplo, já citado anteriormente, de implementação de modelos relacionados a economia circular na construção civil, é o caso do Cazaquistão trazido por Tleuken *et al.* (2022), em que um país sem incentivos fiscais/legais para implementação de design para desmontagem ou práticas de circularidade apresentou modelos circulares por parte de alguma empreiteiras devido a visão do potencial econômico gerado. Embora o processo de coleta de dados tenha sido feito territorialmente no Cazaquistão, acredita-se que os resultados e a conclusão sejam ampliados, de forma geral, para todo o setor de construção em países subdesenvolvidos.

Tleuken *et al.* (2022) também afirmam que se a manutenção e renovação do edifício refletisse no custo total do ciclo de vida (incluindo os contratos), o setor de construção acharia mais atraente adotar práticas de design para desmontagem para obter mais lucro. Portanto,

antes de desenvolver leis e regulamentos locais, é essencial desenvolver um estudo da quantificação do lucro, para as empresas adotarem o design para desmontagem, pois, caso contrário, colocaria em risco o mercado local devido à necessidade de altos investimentos.

Em termos de materiais, as alternativas de gestão para RCD precisam ser abordadas individualmente devido à grande quantidade e variedade de materiais de construção atualmente disponíveis, posteriormente, a promoção da consolidação de bases de dados, incluindo preferencialmente a origem e destino das matérias-primas (MESA *et al.*, 2021) facilitariam o processo de gestão no ciclo de vida dos materiais. Ao atingir uma base de dados sólida, a união de propostas e práticas diversas durante o ciclo de vida promoveria um ecossistema mais circular e sistêmico, estimulando a EC. A mensagem chave para os mercados emergentes, portanto, é considerar processos holísticos no projeto e construção de edifícios. O setor privado pode assumir a liderança, mas se os governos conseguirem respaldar políticas e regulamentações, isso permitirá que o setor privado apoie a inovação e assuma o risco onde os mercados estabelecidos ainda estão em formação (IYER-RANIGA, 2019).

Reflete-se também sobre a afirmação de Van Den Berg *et al.* (2020), sobre pesquisas e trabalhos relacionados a potenciais de reutilização tenderem a se concentrar em novos edifícios com novos elementos, e de Mesa *et al.* (2021) de que a maioria dos edifícios existentes foram construídos sem considerar as implicações do ciclo de vida, portanto há menores possibilidades de aplicação das práticas de EC. A reciclagem se destaca como a prática possivelmente aplicável em construções atuais, mas ainda com certas limitações. A projeção de novas construções com base nas práticas circulares podem criar um ambiente favorável para reutilização e outras soluções sustentáveis.

O desenvolvimento de mercado de RCD, avanços tecnológicos, infraestruturas de adaptação, criação de legislações e decretos com obrigatoriedades na implementação de práticas circulares, criações de certificações, conscientização e incentivos ao modelo circular por todos os stakeholders envolvidos são alguns dos principais movimentos necessários, levantados nas literaturas, para implementação de um ecossistema mais circular no setor de construção civil. Nesse movimento, no cenário brasileiro, já existem legislações que impulsionariam a implementação do modelo circular, porém barreiras como a falta de equilíbrio entre demanda e oferta no mercado de reciclagem e reutilização, a desconfiança do mercado em materiais provindos do RCD, entre outros, dificultam o processo de aderência à

circularidade. Um dos fatores mais importantes para a transição para a circularidade seria uma precificação dos custos embutidos, emissões de carbono e recursos materiais. Ao não reconhecer as externalidades ambientais de processos produtivos permite-se um sistema destrutivo.

Vinte anos se passaram desde o prazo para os municípios brasileiros implementarem planos de gestão integrada de RCD preconizados pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Os RCDs não poderiam mais ser dispostos em lixões, aterros e encostas, mas apenas cerca de 16% do que é coletado no Brasil é destinado à reciclagem ou alternativas circulares (ABRECON, 2021). Porém, segundo a ABRECON (2021), mais da metade do RCD é descartada de forma clandestina e irregular no país.

A ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição) é um instrumento fundamental na transição brasileira para um futuro mais circular. A associação é a principal produtora de pesquisas e conteúdos relacionados à reciclagem de RCD, possibilitando e incentivando o debate público do tema e a criação de empresas recicladoras. Dentre as pesquisas levantadas na ABRECON, encontram-se o volume de agregado reciclado no Brasil, de 25 milhões de metros cúbicos, a estrutura de negócio das usinas de reciclagem, suas fragilidades, entre outros.

Em meio a esse panorama crítico de necessidades de avanços, existem oportunidades de geração de valor e desenvolvimento de novos modelos de negócio mais circulares a partir dos fluxos de RCD que devem ser explorados nos próximos anos. Tem-se, então, que a implementação de incentivos, aplicações graduais e conjuntas das práticas citadas podem alavancar uma economia mais circular no Brasil.

6 CONCLUSÃO

A visão imediatista e fragmentada ainda presente em uma indústria bastante tradicional e consolidada enfrenta uma conjuntura em crise. A identificação de rotas para desenvolvimento e valorização de subprodutos dentro do setor de construção civil tem amplas perspectivas de fortalecimento, em um cenário de necessidade de crescimento econômico, desenvolvimento social e mitigação de impactos ambientais

No Brasil, a construção civil está entre os maiores setores em termos de extração de recursos naturais, geração de resíduos e consumo energético. Como resultado, a implementação da EC no setor geraria um notável impacto ambiental positivo ao mesmo tempo em que contribuiria para o desenvolvimento tecnológico de outras indústrias.

O presente estudo identificou diferentes práticas de EC com aplicabilidade em distintas etapas do processo de construção civil, mas com principal foco no fim do primeiro ciclo de vida do material. Os resultados indicaram um crescimento do tema nos últimos anos, demonstrando um aumento de preocupação com a questão ambiental, mais especificamente, de resíduos sólidos.

No contexto brasileiro, o cenário da aplicação de práticas ligadas à EC no âmbito dos RCD até o presente, encontra-se bastante embrionário. O país ainda enfrenta problemas básicos relacionados à ineficiência do controle de destinação do resíduos, além da falta de viabilidade econômica e incentivos relacionados à logística reversa, embora haja grandes oportunidades no tema devido à urbanização intensa. Visto que o país ainda precisa desenvolver bastante o tema internamente, poucas alternativas circulares já estão sendo aplicadas e/ou com perspectivas para aplicação no curto prazo, porém a grande necessidade global e nacional por um desenvolvimento mais sustentável indicam a rápida evolução tanto em pesquisas, quanto da aplicação da abordagem da EC no tema. Dessa maneira, acredita-se que haverá grandes avanços nos próximos anos.

Mais especificamente em relação à RBS desenvolvida, o periódico com maior número de artigos publicados relativos ao tema foi o *Journal of Cleaner Production*, o que corrobora com a ideia de que o desenvolvimento da temática vem sendo tratado, em sua maioria, por estudiosos e profissionais de ramos ligados à engenharia, desenvolvimento e produção.

Além disso, observou-se a maior presença dos temas de reciclagem e reuso na RBS, além do que muitos dos artigos que falavam de reuso abordavam o tema do DpD. Isso demonstra o potencial dessa prática, visto que não depende de uma tecnologia extremamente complexa ou de um material raro, mas sim de pensar em uma nova forma de construir que facilite a desmontagem e o reuso.

A reciclagem, por sua vez, foi o tema que apresentou mais casos aplicados, inclusive no Brasil, visto que é uma tecnologia já conhecida há mais tempo e não interfere diretamente na metodologia linear que a precede, por isso acaba sendo mais utilizada. Mesmo não sendo a prática mais aderente aos princípios da EC, sua presença é importante para que as partes interessadas comecem a compreender e aplicar outras práticas.

O DpD, outro tema de destaque, foi trazido de forma experimental, demonstrando seu potencial em futuras aplicações. Ainda não há muitos exemplos de seu uso em larga escala, principalmente por alterar de forma mais drástica a abordagem linear majoritariamente aplicada, mas o aprofundamento de suas aplicações poderá trazer grandes avanços para a redução da geração de resíduos de construção e demolição.

A principal conclusão obtida a partir das análises dos artigos, foi em relação à necessidade de mudança de mindset. Por ser uma cadeia de valor bastante complexa e com diversos atores, a indústria de construção civil precisa passar por uma mudança sistêmica de seus modelos de negócio e das formas e métodos construtivos a fim de incluir a EC desde o início do processo de desenho e produção de materiais de construção, o que favorece uma menor geração de resíduos ao final do primeiro ciclo de vida do material.

Tendo em vista todas as informações dispostas, seria interessante que pesquisas futuras buscassem meios para demonstrar como deveria ser realizado o incentivo para a implementação das práticas citadas, assim como de mais estudos sobre as viabilidades econômicas de suas utilizações, pois esse foi um argumento importante para exemplos internacionais como o demonstrado no caso do Cazaquistão.

Algumas limitações observadas na realização do projeto foram do uso de uma única base de dados para levantamento dos artigos trabalhados, o Scopus, o uso de strings de busca específicos, para limitação do tema, e os filtros aplicados para seleção dos artigos, incluindo a língua.

Embora a base de dados Scopus seja uma das principais de produção científica, a pesquisa pode não ter abrangido estudos de caso ou análises providas de outras fontes interessantes de serem exploradas, como startups, ou mesmo artigos presentes apenas em outras bases científicas. As strings de busca e filtros, apesar de terem possibilitado a leitura de artigos mais direcionados ao tema proposto, limitaram considerações que poderiam agregar no trabalho. Por último, um fator limitante que pode ser pontuado é o da língua, embora o inglês seja considerado uma língua universal, podem ser observados grandes avanços no tema de EC na China, por exemplo, e que podem ter sido publicados em outra língua. Assim, uma pesquisa que pudesse abranger publicações em outras línguas poderia ser interessante de ser considerada, principalmente por refletir uma cultura diferente das mais expostas nos artigos encontrados - porém demandaria um conhecimento de línguas além do possível para o presente trabalho.

Além disso, a falta de estudos de caso brasileiros e artigos sobre EC em RCD podem indicar tanto uma lacuna de aplicação e estudos do tema no país, como também podem ser fruto de uma falha na metodologia utilizada na RBS no presente trabalho.

Em suma, a indústria de construção civil tem um grande potencial para atuar de forma efetiva no desenvolvimento sustentável da sociedade se for associada a novos modelos de negócio e estratégias ligadas à EC. Além de ser um motor econômico fundamental, é um serviço essencial para a garantia do direito à moradia, o qual é assegurado pela constituição brasileira. Ainda, o desenvolvimento do setor atrelado à EC tem ainda um potencial para alavancar a implementação e o atingimento, nos próximos 8 anos, das metas relativas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU - cujo compromisso nacional de colaboração se deu na assinatura da Agenda 2030 da ONU, mas que ainda se encontram longe de serem atingidos.

REFERÊNCIAS

- ABCEM. **Estatísticas da construção metálica**. Associação Brasileira da Construção Metálica, 2019. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/site/arquivos/ABCEM-Estatisticas-setembro-2019-rev.pdf>. Acesso em: agosto de 2022.
- ABERGEL, T.; DULAC, J.; HAMILTON, I.; JORDAN, M.; PRADEEP, A.; International Energy Agency. **Global Status Report for Buildings and Construction towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector**; United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya, 2019.
- ABIPLAST. **Perfil 2019 Indústria de Transformação e Reciclagem de Plástico no Brasil**. Associação Brasileira da Indústria de Plástico, São Paulo 2019.
- ABIPLAST. **Perfil 2020 Indústria de Transformação e Reciclagem de Plástico no Brasil**. Associação Brasileira da Indústria de Plástico, São Paulo 2021.
- ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas]. **ABNT NBR ISO 14040: 2009 Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Estrutura**. Brasil, 2009.
- ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Pesquisa Setorial Abrecon 2020 - Levantamento sobre resíduos da construção e demolição (RCD) apresentado no Encontro Nacional das Usinas de Reciclagem de RCD 2021 em 24 de novembro de 2021. Disponível em: <https://abrecon.org.br/encontro-nacional-das-usinas-de-reciclagem-de-rcd-apresenta-dados-ineditos-sobre-a-reciclagem-de-entulho-no-brasil/>. Acesso em: 20 de setembro de 2022
- ABRELPE, 2021. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: agosto de 2022.
- AKANBI, L.A., OYEDELE, L.O., AKINADE, O.O., *et al.*, 2018. **Salvaging building materials in a circular economy: a BIM-based whole-life performance estimator**. *Resour. Conserv. Recycl.* 129, 175 e 186. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec>.
- AKHTAR, A.; SARMAH, AK. **Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective**. *Journal of Cleaner Production*, 2018. 186: 262–281.
- ANASTASIADES, K., BLOM, J., BUYLE, M., AUDENAERT, A., 2020. **Translating the circular economy to bridge construction: lessons learnt from a critical literature review**. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 117 (September 2019), 109522 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109522>.
- AWOYERA, P.O.; ADESINA, A. Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. **Case Studies in Construction Materials**, Volume 12, 2020
- BARBOSA, F.; WOETZEL, J.; MISCHKE, J.; RIBEIRINHO, M. J.; SRIDHAR, M.; PARSONS, M.; BERTRAM, N.; BROWN, S. Reinventing Construction through a Productivity Revolution. **McKinsey Global Institute**. Fevereiro, 2017. Disponível em:

<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution> . Acesso em: outubro de 2022

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. C. D.; TAVARES, S F. **Circular economy in the construction industry: A systematic literature review**. Journal of Cleaner Production, v. 260, p. 121046, 2020.

BERTOL, M. **Abimci apresenta cenário da madeira no Brasil durante Workshop Embrapa Florestas**. Embrapa Notícias, Brasília, pp.1–3, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42321160/abimci-apresenta-cenario-da-madeira-no-brasil-durante-workshop-embrapa-florestasapre> (Acesso em: agosto de 2022).

BIOLCHINI, J.C.A., MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C; CONTE, T. U.; TRAVASSOS , G. H. **Scientific research ontology to support systematic review in software engineering**. Advanced Engineering Informatics, v.21, n.2, p.133-151, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006>.

BRAMBILLA, G., LAVAGNA, M., VASDRAVELLIS, G., CASTIGLIONI, C.A., 2019. **Environmental benefits arising from demountable steel-concrete144 composite floor systems in buildings**. Resour. Conserv. Recycl. 141 (October 2018), 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.014>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução n.º 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

BRASIL. Secretaria-Geral, **Decreto nº 10.306:2020, de 2 de abril de 2020**. Subchefia para Assuntos Jurídicos. [S. l.], 2 abr. 2020.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União: Brasília**, 03 de ago. de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm . Acesso em: 20/04/2022.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica [online]. 2015, v. 61, n. 358 [Acessado 19 Setembro 2022] , pp. 178-189.

BÖES, J.S. **Proposta de plano de implantação do BIM na indústria da construção civil**. Tese, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

BOCKEN, N. M. P.; PAUW, I. de; BAKKER, C.; GRINTEN, B. van der. Product design and business model strategies for a circular economy, **Journal of Industrial and Production Engineering**, 33:5, 308-320.Abril de 2016. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124

BOGOVIKU, L.; WALDMANN, D. **Modelling of mineral construction and demolition waste dynamics through a combination of geospatial and image analysis**. Journal of Environmental Management, v. 282, p. 111879, 2021.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção -. **PIB Brasil e Construção Civil**. 2022. Disponível em: <

<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 02/05/2022.

CHEN, Q.; FENG, H.; SOTO, B. G. **Revamping construction supply chain processes with circular economy strategies: A systematic literature review**. Journal of Cleaner Production, Volume 335, 2022.

CHINDA, T., AMMARAPALA, V., 2016. **Decision-making on reverse logistics in the construction industry**. Songklanakarin J. Sci. Technol. 38 (1), 7–14.

CIRCLE ECONOMY. **The Circularity Gap Report-Closing the Circularity Gap in a 9%World**; Circle Economy: Amsterdam, The Netherlands, 2019.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília: CNI, 2018. 64p

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002. **Resolução nº 2307**, 17 de Julho de 2002. Ministério do Meio Ambiente.

CUNHA, G.C.C. **A importância do setor de construção civil para o desenvolvimento da economia brasileira e as alternativas complementares para o *funding* do crédito imobiliário no Brasil**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

DYTIANQUIN, N. *et al.* **Circularity in Selected EU Countries: The Case of Construction and Demolition Industry**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. p. 012017.

DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY AND INDUSTRIAL STRATEGY. **Monthly Statistics of Building Materials and Components**. Department for Environment, Food and Rural Affairs and National Statistics, London, United Kingdom, 2018. Disponível em: <https://www.data.gov.uk/dataset/75ee36ed-21f7-4d7b-9e7c-f5bf4546145d/monthly-statistics-of-building-materials-and-components>. Acesso em: maio de 2022.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Economia Circular**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>. Acesso em: 30 ago. 2022.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy - Vol. 1: Economic and business rationale for an accelerated transition**. Isle of Wight: EMF, 2012.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: Business rationale for an accelerated transition**. 2015.

ESA, M.R., HALOG, A., RIGAMONTI, L., 2016. **Developing strategies for managing construction and demolition wastes in Malaysia based on the concept of circular economy**. J. Mater. Cycles Waste Manag. 19 (3), 1144e1154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0516-x>.

FALAGAS, M.; PITSOUNI E. I.; MALIETZIS G. A.; PAPPAS, G. **Comparison of Pubmed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses**. The FASEB Journal, 22(2):338–342, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>.

FATOUROU-SIPSI, A.; SYMEONIDOU, I. **Designing [for] the future: Managing architectural parts through the principles of circular economy**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/899/1/012014>

FORSYTHE, P.; FINI, A. Quantifying demolition fitout waste from Australian office buildings. **Facilities**. 2018. 36. 10.1108/F-11-2017-0114.

FREITAS, V.P.; DELGADO, J.M.P.Q. **Durability of Building Materials and Components**. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; Volume 3, ISBN 3642374751

GAB. **Report Sand Scarcity in the Construction Industry**, 2018. Available online: <https://www.gabreport.com/sand-scarcity-in-the-construction-industry> (Acesso em: 23 de agosto de 2022).

GALLEGO-SCHMID, A.; CHEN, H.M.; SHARMINA, M.; MENDOZA, J.M.F. **Links between circular economy and climate change mitigation in the built environment**. J. Clean. Prod. 2020, 260, 121115.

GCCA - Global Cement and Concrete Association. **Global Cement And Concrete Industry Announces Roadmap To Achieve Groundbreaking ‘Net Zero’ Co2 Emissions By 2050**. Londres, 12 de outubro de 2021. Disponível em: <https://gccassociation.org/news/global-cement-and-concrete-industry-announces-roadmap-to-achieve-groundbreaking-net-zero-co2-emissions-by-2050/>. Acesso em: agosto de 2022.

GEBREMARIAM, A.T.; DI MAIO, F.; VAHIDI, A.; REM, P.. **Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment [Article]**. Resour. Conserv. Recycl. 163, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104911>. Article 104911.

GHAFFAR, S. H.; BURMAN, M.; BRAIMAH, Nuhu. **Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery**. Journal of cleaner production, v. 244, p. 118710, 2020.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C; ULGIATI, S. **A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems**. Journal of Cleaner Production, 114. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.

GUERRA, B. C. *et al.* **Circular economy applications in the construction industry: A global scan of trends and opportunities**. Journal of Cleaner Production, v. 324, p. 129125, 2021

HAAS W.; KRAUSMANN, F.; WIEDENHOFER, D.; HEINZ, M. **How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005**. Journal of Industrial Ecology. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12244>.

HANSEN, D.M.; BREHM, F.A.; KULAKOWSKI, M.P. Avaliação da geração e quantificação do resíduo de cerâmica vermelha. **7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre, Instituto Venturi, 2016, pp.1–9. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/issue/view/1>

HENTGES, T.I. MOTTA, E. A. M. FANTIN, T. V. L. , *et al.* **Circular economy in Brazilian construction industry: Current scenario, challenges and opportunities**. Waste Management & Research. 2022;40(6):642-653

HEYES, G. SHARMINA, M. MENDOZA, J.M.F. GALLEGOSCHMID, A. AZAPAGIC, A. **Developing and implementing circular economy business models in service-oriented technology companies.** J. Clean. Prod., 177 (2018), pp. 621-632

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P.; KENNEDY, C. **Waste production must peak this century.** Nature, 502 (2013), pp. 615-617

HONIC, M.; KOVACIC, I.; RECHBERGER, H. Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): an Austrian case study. **J. Clean. Prod.** 217, 787e797, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.21>

HOSSAIN, U.; NG, S.T. **Critical consideration of buildings' environmental impact assessment towards adoption of circular economy: an analytical review.** Journal of Cleaner Production, 205. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.120

International Resource Panel. **Assessing Global Resource Use: A Systems Approach to Resource Efficiency and Pollution Reduction (a Report of the International Resource Panel)**; United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya, 2017

IBRAM. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira. Instituto Brasileiro de Mineração, 2012.

IACOVIDOU, E.; PURNELL P. **Mining the physical infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural components reuse.** Science of The Total Environment, Volumes 557–558, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.098>.

IODICE, S.; GARBARINO, E.; CERRETA, M., TONINI, D. **Sustainability assessment of Construction and Demolition Waste management applied to an Italian case.** Waste Management, v. 128, p. 83-98, 2021.

IYER-RANIGA, U. **Using the ReSOLVE framework for circularity in the building and construction industry in emerging markets.** In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. p. 012002.

ANDRADE, J. *et al.*, 2019. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 225 012037

JAIN, Sourabh *et al.* **Construction and demolition waste recycling: Investigating the role of theory of planned behavior, institutional pressures and environmental consciousness.** Journal of Cleaner Production, v. 263, p. 121405, 2020.

JOENSUU, T.; EDELMAN, H., SAARI, A., 2020. **Circular economy practices in the built environment.** J. Clean. Prod. 276, 124215 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215>.

KIBERT, C.J.. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery.** John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Estados Unidos, Março de 2016.

KIRCHHERR, J.; REIKE, DHEKKERT, M. **Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions** Resour. Conserv. Recycl., 127 (2017), pp. 221-232

KYLILI, A.; FOKAIDES, P.A. **Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review .** Sustain. Cities Soc. 2017, 35, 280–288.

KLANG, A.; VIKMAN, P.Å.; BRATTEBO, H. **Sustainable management of demolition waste - An integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects**. *Resour. Conserv. Recycl.* 2003, 38, 317–334. [CrossRef]

LARA, L. A. M. **Materiais de construção**. IFMG. Ouro Preto, 2013. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjt__Pa7ov7AhWtq5UCHSbzBnMQFnoECC0QAQ&url=https%3A%2F%2Fifmg.edu.br%2Fceadop3%2Fapostilas%2Fmateriais-de-construcao%2F%40%40download%2Ffile%2Fmateriais_construcao.pdf&usg=AOvVaw3PAqwglg_RivxqEk4JmEDg. Acesso em: junho de 2022

LEITÃO, A. **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI**. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, v. 1, n. 2, p. 150-171, 2015.

LLATAS, C. **A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list**. *Waste Management*. Sevilla, Espanha. 2011.

LOPEZ, R. L.; ROCA R.; X., GASS'O, D. S., 2020. **The circular economy in the construction and demolition waste sector – a review and an integrative model approach**. *J. Clean. Prod.* 248 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238>.

LOW, J. K. *et al.* **Encouraging circular waste economies for the New Zealand construction industry: Opportunities and barriers**. *Frontiers in Sustainable Cities*, v. 2, p. 35, 2020.

MAHPOUR, A. **Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management**. *Resour. Conserv. Recycl.*, 134. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>.

MALABI E.L.C., RONHOLT, J., BIRKVED, M., BIRGISDOTTIR, H., 2021a. **Circular Economy potential within the building stock - mapping the embodied greenhouse gas emissions of four Danish examples**. *J. Build. Eng.* 33, 101845 <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101845>.

MALABI E.L.C.; VAN S, A.; KRISTENSEN S, L.; BIRKVED, M.; BIRGISDOTTIR, H. 2021b. **Environmental Design Guidelines for Circular Building Components: The Case of the Circular Building Structure**. *Sustainability* 2021, 13, 5621. <https://doi.org/10.3390/su13105621>

MANGIALARDO, A.; MICELLI, E. **Rethinking the Construction Industry Under the Circular Economy: Principles and Case Studies**. R. In: Bisello, A., Vettorato, D., Laconte, P., Costa, S. (eds) *Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions*. Green Energy and Technology. Springer, Cham. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75774-2_23.

MARTIN, S. **Australia ranked worst of 57 countries on climate change policy**. *The Guardian*, v. 11, 2019.

MARTINS, B. F. B. **Utilização de BIM e métodos De Sustentabilidade Em Elementos Na Construção**. Tese, Universidade do Porto, Porto. 2018.

MAURY-RAMÍREZ, A.; ILLERA-PEROZO, D.; MESA, J. A. **Circular Economy in the Construction Sector: A Case Study of Santiago de Cali (Colombia)**. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1923, 2022.

MESA, J. A.; FÚQUENE-RETAMOSO, C.; MAURY-RAMÍREZ, A. **Life cycle assessment on construction and demolition waste: A systematic literature review.** Sustainability, v. 13, n. 14, p. 7676, 2021.

MUNARO, M.R.; TAVARES, S.F., BRAGANÇA, L. **Towards circular and more sustainable buildings: a systematic literature review on the circular economy in the built environment.** Journal of Cleaner Production 260. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121134>.

NEWAZ, A. I.; SIKDER, A. K.; BADUN, L.; ULUAGAC, A. S. HEKA: A Novel Intrusion Detection System for Attacks to Personal Medical Devices. **2020 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)**. 2020, pp. 1-9, doi: 10.1109/CNS48642.2020.9162311.

NUNES, K. R. A.; MAHLER, C. F. **Comparison of construction and demolition waste management between Brazil, European Union and USA.** Waste Management & Research, v. 38, n. 4, p. 415-422, 2020.

O'GRADY, T. M.; MINUNNO, R.; CHONG, H.-Y.; MORRISON, G.M.. **Interconnections: An Analysis of Disassemblable Building Connection Systems towards a Circular Economy.** Buildings, v. 11, n. 11, p. 535, 2021.

OLULEYE, B. I.; CHAN, D.W.M.; SAKA, A.B.; OLAWUMI, T.O.. **Circular economy research on building construction and demolition waste: A global review of current trends and future research directions.** Journal of Cleaner Production, p. 131927, 2022.

ORTIZ, O. R.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. **Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA.** Construction and Building Materials. 23. 28-39. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>.

Pantini, S. Rigamonti, L. Is selective demolition always a sustainable choice? **Waste Management**, Volume 103, 2020, Pages 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.033>.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. **Circular economy for the built environment: A research framework.** Journal of cleaner production, v. 143, p. 710-718, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>.

RATNASABAPATHY, S.; ALASHWAL, A.; PERERA, S. Exploring the barriers for implementing waste trading practices in the construction industry in Australia. **Built Environment Project and Asset Management**, 2021. doi:10.1108/BEPAM-04-2020-0077.

Remondis Sustainability. Shortage of Raw Materials. 2018. Disponível em: <https://www.remondis-sustainability.com/en/sharing/shortage-of-raw-materials/> (Acesso em 23 Agosto 2022).

ROSE, C.M., STEGEMANN, J.A., 2018. **Characterising existing buildings as material**

banks (E-BAMB) to enable component reuse. Proc. Inst. Civ. Eng.: Eng. Sustain. 172 (3), 129–140. <https://doi.org/10.1680/jensu.17.00074>.

SANCHEZ, B.; RAUSCH, C.; HAAS, C.; SAARI, R. A selective disassembly multi-objective optimization approach for adaptive reuse of building components. **Resour. Conserv. Recycl.** 2021. 156, 104605 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104605>.

SHEN, D.H.; DU, J.C. **Evaluation of building materials recycling on HMA permanent deformation.** Construction and building materials, v. 18, n. 6, p. 391-397, 2004.

SHOOSHTARIAN, S. MAQSOOD, T.; CALDERA, S.; RYLEY, T. **Transformation towards a circular economy in the Australian construction and demolition waste management system.** Sustainable Production and Consumption, v. 30, p. 89-106, 2022.

SILVA, D. H.; SANTANA, E. S.; SILVA, J. F. T.; *et al.* **Construção Sustentável Na Engenharia Civil.** Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT. ALAGOAS, 2018.

SILVA, R. V.; BRITO, J; DHIR, R. K. **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production.** Construction and Building Materials, Volume 65. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. **Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications.** Journal of Cleaner Production, v. 236, p. 117629, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117629>.

TAM, V. W. Y.; Hao, J. J. L. Prefabrication as a mean of minimizing construction waste on site, **International Journal of Construction Management**, 14:2, 113-121, 2014. DOI: 10.1080/15623599.2014.899129

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. **A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira.** Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba, Iparides, ano 12, n. 109. 2005.

TENNAKOON, G.; RAMEEZDEEN R.; CHILESHE N. **Diverting demolition waste toward secondary markets through integrated reverse logistics supply chains: A systematic literature review.** Waste Management & Research. 2022;40(3):274-293. doi:10.1177/0734242X211021478

TLEUKEN, Aidana *et al.* **Design for Deconstruction and Disassembly: Barriers, Opportunities, and Practices in Developing Economies of Central Asia.** Procedia CIRP, v. 106, p. 15-20, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.148>.

UDAWATTA, N.; ZUO, J.; CHIVERALLS, K.; ZILLANTE, G. 2015a. Attitudinal and behavioural approaches to improving waste management on construction projects in Australia: benefits and limitations. **International Journal of Construction Management** 15, 137–147.

UDAWATTA, N.; ZUO, J.; CHIVERALLS, K.; ZILLANTE, G. 2015b. Improving waste management in construction projects: An Australian study. **Resources, Conservation and Recycling** 101, 73–83.

UNEP. **Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want**. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. 2019.

VAN DEN BERG, M.; VOORDIJK, H.; ADRIAANSE, A. **Recovering building elements for reuse (or not)—ethnographic insights into selective demolition practices**. *Journal of cleaner production*, v. 256, p. 120332, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120332>.

WITJES, S; LOZANO, R. **Towards a more Circular Economy: proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models**. *Resources Conservation and Recycling*, 112. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.015>.

YEHEYIS, M.; HEWAGE, K.; ALAM, M.S.; ESKICIOGLU, C.; SADIQ, R. **An overview of construction and demolition waste management in Canada: a life cycle analysis approach to sustainability**. *Clean Technol. Environ. Policy* 15 (1), 81e91. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0481-6>.

YUAN, H. **Barriers and countermeasures for managing construction and demolition waste: A case of Shenzhen in China**. *Journal of Cleaner Production*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.137>.