



Integração BIM, Economia Circular e Racionalização Construtiva – uma Revisão da Literatura

Andréia de PAULA¹, Francisco Felipe Pedrosa BEZERRA²

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, paula_adp@yahoo.com.br

² Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, felipe.civilperosa@gmail.com

Resumo: Tendo em vista os impactos ambientais causados pela construção civil, este artigo traz, por meio de uma revisão bibliográfica, uma abordagem sobre os conceitos BIM, economia circular e racionalização construtiva, objetivando identificar e analisar de que forma estes conceitos se conectam para trazer benefícios para o setor da construção civil num cenário mais sustentável. Os resultados mostram uma maior interação entre BIM e economia circular e uma menor interação envolvendo racionalização construtiva. Além disso, são apresentados os principais gaps sobre o tema e propostas para pesquisas futuras, contribuindo assim para nortear novos estudos, justificando a necessidade da publicação do artigo.

Palavras-chave: BIM, economia circular, racionalização construtiva, sustentabilidade, construção.

1. Introdução

O setor da construção é o maior consumidor de matérias-primas, sendo as obras civis e a construção civil responsáveis por 60% das matérias-primas extraídas da litosfera (Bribián et al., 2011). De acordo com dados apresentados no relatório Global Status Report for Buildings and Construction (2021) para edifícios e construção, os edifícios representam em 2020, 36% da demanda global de energia e 37% das emissões de CO₂ relacionadas a energia. Além disso, apenas 20-30% dos resíduos de construção e demolição são recuperados na indústria da construção (EMF, 2016). De acordo com dados do SIENGE os resíduos sólidos da construção civil no Brasil representam mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos e as obras brasileiras geram cerca de 84 milhões de m³ de resíduos por ano, e destes apenas 17 milhões são reaproveitados. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) as atividades de demolição e construção produzem de 50% a 70% do lixo encaminhado para aterros sanitários nas cidades brasileiras. Globalmente, esta indústria contribui com cerca de 30% do fluxo de resíduos, gera cerca de 33% do CO₂ atmosférico e consome mais de 50% dos recursos naturais (DEFRA, 2015).

O atual modelo econômico linear de fazer, usar e descartar está crescendo de forma insustentável muito além dos limites finitos do planeta Terra (DELAGDO E OYEDELE, 2020). Esse modelo linear prescreve a extração de milhões de toneladas de recursos naturais todos os anos para transformá-los em materiais e produtos de consumo. Ao final da vida útil dos produtos, eles são descartados (DELAGDO E OYEDELE, 2020). Nesse sentido, a indústria tem sido estimulada a adotar o modelo da economia circular (EC) como uma tentativa de reduzir o volume de geração de resíduos, preservar os recursos naturais, reduzir a demanda por aterros e melhorar a sustentabilidade ambiental (Ganiyu et al, 2020).

Neste contexto integra-se a metodologia BIM - modelagem de informações da construção – e novos modelos promissores e eficientes por meio de métodos que buscam minimizar os diversos impactos ambientais. Entre eles está a racionalização construtiva (RC), um processo integrado a construção civil por meio dos novos modelos construtivos como, por exemplo, os pré-fabricados. A modelagem BIM é uma ferramenta para a eficiência da racionalização, uma vez que permite uma integração entre todos os projetos, evitando as

inúmeras perdas de materiais e consequente geração de resíduos que são observadas no modelo tradicional, devido a desorganização e falta de integração entre os modelos projetados.

Apesar dos esforços contínuos para alcançar os objetivos da economia circular por meio da racionalização construtiva e da adoção do BIM, ainda há poucos estudos sobre as competências de BIM integrada a racionalização para a entrega de projetos de construção com eficiência de resíduos que consiga atender ao modelo de economia circular, possibilitando a erradicação definitiva do modelo linear nas construções.

Neste sentido, este artigo buscar trazer uma abordagem a cerca dessa temática, fornecendo uma visão abrangente dos conceitos de BIM, EC e RC, objetivando identificar e analisar, por meio do mapeamento sistemático da literatura, as lacunas existentes nos estudos científicos atuais no que tange a integração da EC, processo BIM e RC, e de que forma eles podem se interligar de modo a trazer benefícios para o setor da construção civil em um cenário mais sustentável.

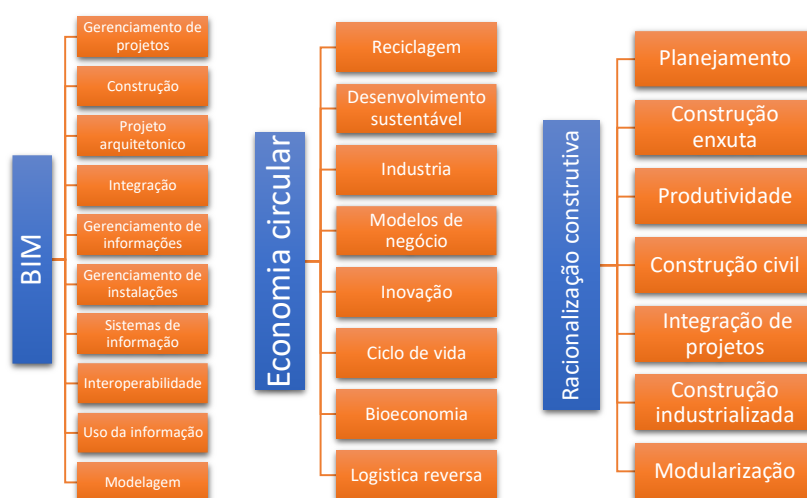
2. METODOLOGIA

Para elaborar o mapeamento sistemática da literatura foi necessário definir em primeiro lugar, de forma clara e objetiva a pergunta que a revisão da literatura buscará responder. No caso deste artigo, a questão direcionada é: “Como a Economia Circular, a racionalização e o BIM podem se interligar de forma a trazer benefícios para o setor da construção civil num cenário mais sustentável?”.

A fim de localizar a literatura relevante, as bases de dados escolhidas foram o banco de publicações da Web of Science e da Scopus encontradas na página do Periódicos Capes. Para realizar a pesquisa dos artigos mais relevantes, foi preciso delimitar a área de conhecimento (Engenharia civil), definir o espaço-tempo da pesquisa (últimos 10 anos) e definir o descritor das palavras-chaves, através dos filtros de busca, disponíveis na própria plataforma. Para avaliar a relevância das publicações, foi utilizado o critério de número de citações para cada artigo.

Por se tratar de um tema atual e devido a literatura neste campo ser ainda muito limitada na língua portuguesa, foram utilizadas como palavras-chave termos em inglês que expressam à temática tratada: “Circular Economy” (Economia Circular), “Rationalization” (racionalização) e “BIM” (Building Information Modeling). A partir dessas palavras-chaves foram construídas três árvores de palavras, conforme a Figura 1, que permitiu uma pré-revisão de títulos e palavras-chaves selecionadas.

Figura 1 - Árvore de palavras



Fonte: os autores.

A próxima etapa se constituiu na seleção e avaliação dos artigos. Foram aplicados os critérios de exclusão do material encontrado. Por meio da análise dos títulos e dos resumos de cada um dos artigos, buscou-se aqueles que tinham aderência ao tema. Dessa forma, foram lidos os resultados e conclusões de todos os artigos que mostraram aderência ao tema. Posteriormente, foi realizada a leitura na íntegra dos artigos selecionados pelo critério de exclusão.

Passou-se então para a síntese e análise dos artigos selecionados, buscando através da bibliografia selecionada a definir e integrar os conceitos e métodos que envolvem BIM, EC e RC.

Para evidenciar a conectividade dos conceitos BIM, EC e RC, foi feito um mapeamento de co-ocorrências e foi gerada uma matriz de interrelação dos conceitos.

Para a geração do mapa de co-ocorrência foi utilizado o software de visualização de semelhanças VOSViewer versão 1.6.18. Este programa fornece uma indicação de relação entre o empenho dos pesquisadores em correlacionar os conceitos de BIM, EC e RC.

Os dados de entrada para geração do mapa de co-ocorrência são: 61 artigos de periódicos para os termos Bim e EC, 14 artigo de periódico para os termos RC e BIM e 09 artigos de periódicos para os termos RC e EC, listados apenas na base de dados da Web of Science quem incluem os termos: BIM e EC, BIM e RC, EC e RC em seus títulos, resumos e palavras-chave publicados até o momento em todas as áreas do conhecimento. Nesse cenário não foram aplicados os filtros de pesquisa delimitados na metodologia, pois o intuito era ter o maior número de artigos possíveis para verificar a conectividade dos conceitos. Vale salientar que a pesquisa não retornou nenhum artigo com os termos BIM, EC e RC, quando pesquisados simultaneamente. A utilização apenas da base de dados da Web of Science para geração do mapa de calor, se deve ao fato dos resultados obtidos serem semelhantes ao da base de dados da Scopus.

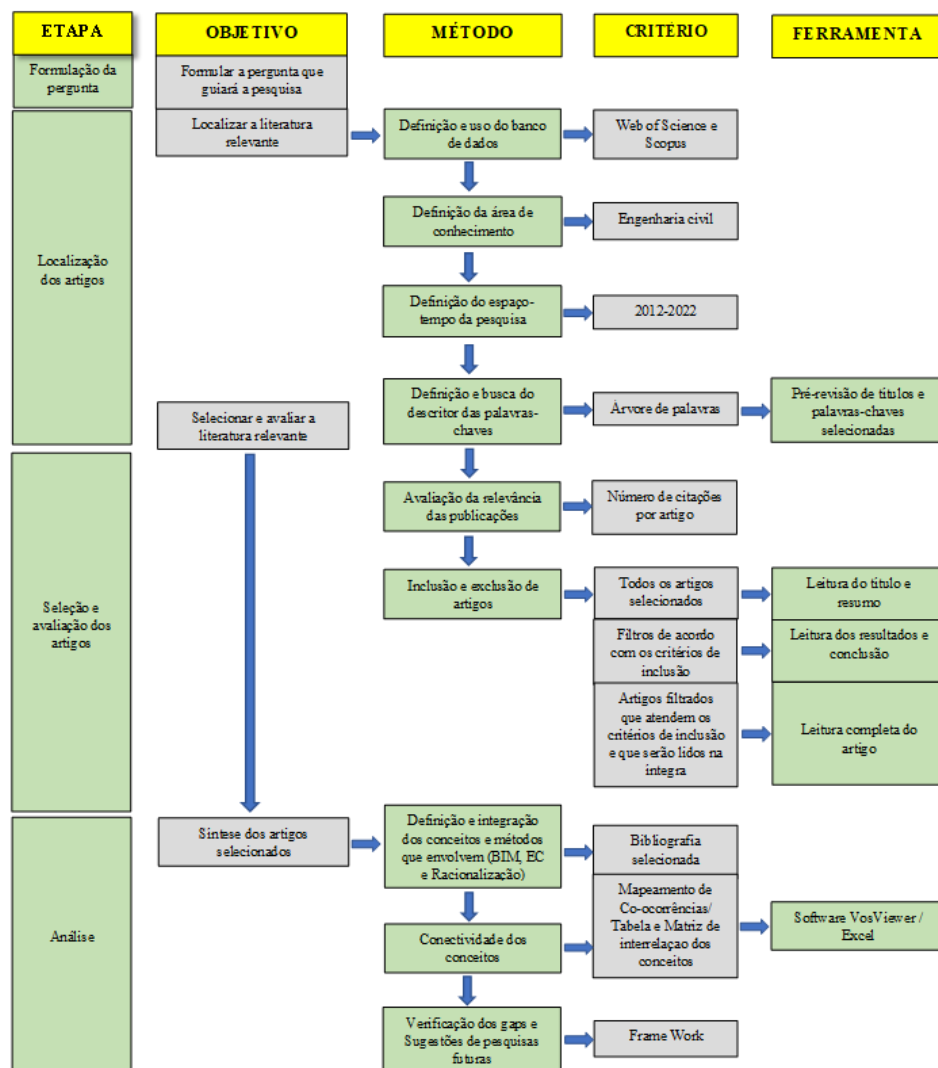
Para selecionar os artigos foram aplicados filtros na plataforma Periódicos Capes, na lista de base da Web of Science, de acordo com a metodologia proposta, ou seja, artigos selecionados apenas nos últimos 10 anos e na área de Engenharia Civil, geraram 13 artigos para os termos de pesquisa BIM e EC, 1 artigo para os termos de pesquisa BIM e RC e nenhum artigo para os termos RC e EC, totalizando assim 14 artigos para análise. Também foram aplicados os mesmos filtros na plataforma Periódicos Capes, na lista de base da Scopus, o que gerou 45 artigos para os termos de pesquisa BIM e EC, 07 artigo para os termos BIM e RC e 04 artigos para os termos RC e EC, totalizando assim 56 artigos para análise. Desta forma, ao todo 70 artigos foram selecionados para verificar a integração entre os conceitos. Dentre os 70 artigos selecionados, observando os critérios de exclusão adotados, um total de 27 correlacionavam pelo menos dois dos temas centrais desse estudo. Diante disso, foi desenvolvida o Quadro 1, com o objetivo de evidenciar essas correlações.

A partir do Quadro 1, foi possível gerar a matriz de interrelação dos conceitos, buscando integrar as funcionalidades do BIM, os princípios da RC e as estratégias de EC, definidos a partir da leitura dos 27 artigos selecionados. Dessa forma, foi possível estabelecer as relações entre os conceitos de forma aprofundada.

Por fim, a partir da análise da matriz de interrelação dos conceitos, foi possível identificar os gaps existentes neste campo de estudo e sugerir algumas propostas de pesquisas futuras, demonstrados através de frameworks.

Todo o processo metodológico anteriormente descrito está resumido no fluxograma da Figura 2.

Figura 2: Procedimentos Metodológicos



Fonte: os autores.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Economia Circular

Na busca por políticas para aumentar o desempenho econômico visando evitar um consumo de recursos naturais além da capacidade do planeta, o conceito de economia circular (EC) vem ganhando força na indústria. De acordo com Morsetto (2020) uma economia circular (EC) pode ser definida como um modelo econômico que visa o uso eficiente de recursos por meio da minimização de resíduos, retenção de valor a longo prazo, redução de recursos primários e ciclos fechados de produtos, peças de produtos e materiais dentro dos limites de proteção ambiental e benefícios socioeconômicos. Para Motta (2018) A base conceitual da EC desafia o sistema econômico predominante baseado no consumo exagerado que leva à finitude dos recursos naturais e a altos índices de geração de resíduos e impactos ambientais.

Para Xue et al (2021) o principal objetivo da EC é limitar a extração de novos materiais, mantendo a economia dos materiais extraídos por um longo tempo para reduzir os resíduos residuais. Isso é extremamente importante para a indústria da construção, que consome um grande número de recursos naturais globalmente e gera um volume considerável de resíduos anualmente.

Podemos dizer que a EC é caracterizada como restaurativa e regenerativa, pois fornece ao sistema econômico um fluxo processual cíclico que contribui para a redução dos impactos ambientais negativos. Contudo, ela busca a criação de valor para recursos finitos através de uma série de estratégias voltadas para a eficiência, produtividade e restauração, permitindo assim que produtos, componentes e materiais possam ser usados por mais tempo.

Entretanto, a adoção da EC e de estratégias sustentáveis pela indústria tem evoluído a passos lentos, com poucos avanços observados na direção contrária ao consumo linear de recursos. Segundo EMF 2016, ferramentas e tecnologias digitais, como internet das coisas, big data e inteligência artificial, provocaram uma mudança de paradigma na produção em todos os setores. Essas tecnologias são vistas como facilitadores críticos para uma transição acelerada para EC.

A EC tem potencial para mudar o ecossistema e a cadeia de valor para o projeto, construção, operação, renovação e reaproveitamento de edifícios, mas para isso, projetistas e investidores devem ter uma visão de longo prazo, focado no ciclo de vida das edificações.

3.2 BIM

O interesse do setor da construção civil em utilizar o BIM vem crescendo nas últimas décadas, devido aos benefícios e economia de recursos durante o projeto, planejamento e construção de novos edifícios. Segundo Azhar et al. (2012) o BIM é um processo integrado que envolve o desenvolvimento colaborativo e o uso de um modelo paramétrico de construção gerado por computador para facilitar o gerenciamento de toda a vida do edifício, desde o planejamento até a operação. Nesse sentido, muitas pesquisas têm sido feitas para incorporar a sustentabilidade ao BIM no ambiente construído.

O conceito de BIM segundo a National BIM Standard (2010) diz que o BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. O BIM é um recurso de conhecimento compartilhado para informações sobre uma instalação, formando uma base confiável para decisões durante seu ciclo de vida.

Desta forma, Kovacic e Honic (2021) afirma que o BIM pode ser usado para minimizar o consumo de matérias-primas, diminuir o volume de resíduos, principalmente na etapa de construção de uma determinada obra, minimização dos impactos ambientais e maximização das taxas de reciclagem. O BIM representa uma mudança de paradigma em todo o ciclo de vida do produto, tanto na forma de projetar, de construir, de gerenciar, de planejar, de entregar e de organizar as informações de forma prática.

O BIM revela-se como uma poderosa metodologia e uma ferramenta versátil que ajuda a prever e compreender possíveis melhorias e alterações numa edificação antes de serem adotadas em obra. Portanto, o BIM é considerado uma metodologia viável para resolver os problemas de desempenho dos projetos de construção em um estágio inicial, antes que um grande comprometimento de tempo ou dinheiro seja feito.

3.3. Racionalização Construtiva

Os setores produtivos industriais no Brasil estão cada vez mais envolvidos com o controle de qualidade de processos e produtos. Dentre estes setores, o segmento da indústria da construção civil precisa rever procedimentos, tendo em vista que neste setor o país apresenta grande desperdício de recursos, gerando uma produtividade bastante inferior, quando comparada à de outros segmentos industriais, tornando a construção civil ineficiente, uma vez que há desperdício dos recursos de toda ordem: materiais, humanos, energéticos e financeiros.

Diante desse cenário, destaca-se a necessidade de intervenções frente ao setor da construção civil, devido aos impactos ambientais gerados pelo setor. Assim, a racionalização de processos construtivos surge como um fator essencial, uma vez que coloca o processo da produção e o canteiro de obras como fontes de observação, considerando os fatores de qualidade e tempo através de ações sobre o fluxo de material, recursos, estoques e otimização de mão-de-obra e equipamentos.

Racionalizar é analisar metodicamente as estruturas e processos existentes, tendo como finalidade descobrir os pontos fracos do sistema de produção, perceber as possibilidades de melhoria, analisá-las e introduzi-las a fim de testar novas propostas de trabalho e verificar os efeitos no processo produtivo.

Para Auster et. al (2018) a racionalização é reconhecida como uma importante estratégia em projetos arquitetônicos contemporâneos, especialmente naqueles com geometrias complexas, construídos por meio de processos de fabricação digital. A fase de projeto é considerada o carro chefe em qualquer metodologia que objetive a busca por uma racionalização, para isso é analisada uma série de características do processo. Diante desse cenário, surge a construção industrializada que integra a racionalização arquitetônica e a pré-fabricação, promovendo a padronização, racionalização e construção eficiente do sistema, tendo como objetivo primordial alcançar maior vão, eficiência energética, construções mais leves com a menor quantidade possível de material aplicado e menor impacto ambiental (Ziemmermann & Werner, 2019).

No Brasil, ainda predominam os sistemas construtivos convencionais, apesar de, nos últimos anos, ter havido uma maior aplicação de sistemas construtivos inovadores, que ainda necessitam de referências normativas para avaliações eficientes em termos de desempenho.

4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

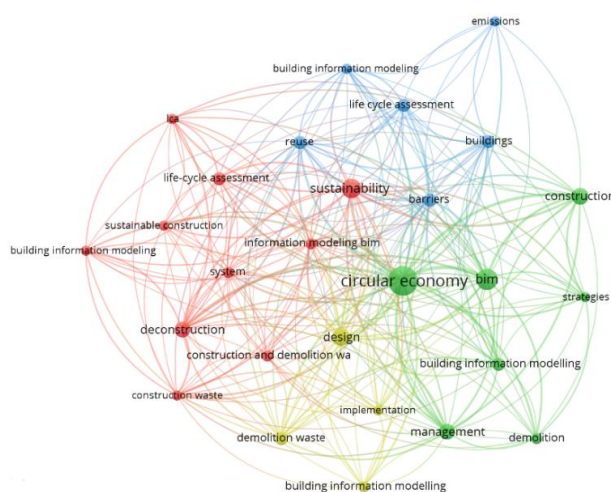
Este tópico apresenta os resultados das pesquisas a partir de uma integração entre os conceitos, BIM, EC e RC.

4.1 - INTEGRAÇÃO ENTRE OS CONCEITOS

Objetivando apresentar uma visualização dos pontos de convergência observados nos artigos que abordam a integração entre os conceitos de BIM/EC a Figura 3 abaixo relaciona a co-ocorrência dos termos.

Analisando esses resultados com o VOSviewer, a rede bibliométrica dividiu claramente as palavras mais utilizadas em três áreas de foco (clusters). Três clusters principais de termos semelhantes são identificados na Figura 3: sustentabilidade (cor vermelha), economia circular (cor verde), e análise do ciclo de vida (cor azul), sendo os dois clusters mais proeminentes a economia circular e a sustentabilidade. Os nós maiores representam palavras-chave com mais citações e uso na rede. Observa-se que o termo economia circular foi o mais citado ou utilizado nesta rede bibliométrica seguida de BIM e sustentabilidade. A rede mostra as correlações entre palavras-chave ou nós, que é uma ligação entre eles, com o comprimento das correspondências mostrando o quanto uma palavra-chave está relacionada com a outra. Os mapas de co-ocorrências para os termos RC/BIM e RC/EC não apresentou ligação entre os termos, e nem mesmo a formação de clusters, isso ocorreu devido a pequena quantidade de artigos encontrados com os termos da pesquisa.

Figura 3 - Mapeamento de co-ocorrência dos termos BIM e EC



Fonte: os autores.

O Quadro 1, reafirma as informações obtidas através do mapa de co-ocorrência, mostrando que na literatura pesquisada, não há correlação direta entre os três conceitos em um mesmo artigo, a maioria das publicações está focada na relação entre dois termos.

Quadro 1 – Integração dos conceitos através da análise dos artigos selecionados

DADOS DOS ARTIGOS SELECIONADOS COM BASE NOS CRITÉRIOS DE INCLUSÃO					INTEGRAÇÃO DOS CONCEITOS		
AUTORES	ANO DA PUBLICAÇÃO	REVISTA	TÍTULO DO ARTIGO (tradução livre)	DESTAQUE DO ESTUDO	BIM	EC	RC
Zhengdao et al	2014	Habitat International	Critical review of research on the management of prefabricated construction	O estudo objetivou compreender como as metodologias de gestão da construção industrializada, ou seja, construções racionalizadas, cooperam com o desenvolvimento ambiental		X	X
Lung e Levrat	2014	Procedia CIRP	Advanced Maintenance Services for Promoting Sustainability	Investigar o papel da manutenção para contribuir com o desenvolvimento dos paradigmas entre ecologia industrial e da economia circular		X	X
BK & Zhu	2015	International Conference on Electrical Engineering and Mechanical Automation	Analysis of the Environmental Benefit of Prefabricated Construction	Apresenta em seu estudo os benefícios ambientais da construção pré-fabricada, portanto uma construção racionalizada, comparando com a construção in loco		X	X
Beazley et al	2017	Scienc Direct	Improving energy efficiency in residential buildings through the use of BIM: the case of incorporating parameters during design	Incorporar parâmetros em arquivos de modelos arquitetônicos para permitir o aprimoramento de eficiência energética na fase de projeto	X	X	
Auster et al	2018	Automation in construction	Rationalization methods in computer-aided manufacturing: a critical review	Demonstram que as capacidades do maquinário de fabricação usado são a restrição de racionalização mais frequentemente encontrada em projetos arquitetônicos realizados.	X		X
Akanbi et al	2018	Resources, Conservation and Recycling	Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator	Apresenta a modelagem matemática de um estimador de desempenho de salvamento de edifícios baseado em BIM para avaliar o desempenho de salvamento de componentes estruturais de edifícios desde a fase de projeto.	x	x	
Elmeraghy et al	2018	26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Chennai, India	An exploration of BIM and Lean interaction in optimizing demolition projects	Investiga a possibilidade de estender as funcionalidades do BIM para apoiar os processos de desconstrução em alinhamento com os Princípios Lean	X		X
Minunno et al	2018	Buildings	Strategies for Applying the Circular Economy to Prefabricated Buildings	Uma estrutura de economia circular é aplicada ao setor de construção pré-fabricada para explorar as vantagens ambientais da pré-fabricação em termos de redução, reutilização, adaptabilidade e reciclabilidade de seus componentes.		x	x
Long et al	2019	Journal of Cleaner Production	A new framework for industrialized construction in China: Towards industrialization in place	Este estudo propõe um novo método de construção industrializada, a industrialização no local. Incluindo cinco princípios básicos da industrialização, entre eles a sustentabilidade.	X		X
Kragh	2019	Scienc Direct	New design and rationalization possibilities with 3D-iExtrusion	Demonstram que a 3D-iExtrusion tem potencial para economizar muita energia e material permitindo a racionalização	X		X
Akinade e Oyedele	2019	Journal of Cleaner Production	Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS)	Desenvolvimento de uma plataforma BIM para as cadeias de suprimentos da construção para prever CVW a partir de projetos de construção.	X	X	
Akanbi et al	2019	Journal of Cleaner Production	Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy	Desenvolvendo um sistema de análise de desmontagem e desconstrução para integrar a análise de desempenho de fim de vida no projeto de construção e no processo de construção, utilizando o BIM	X	X	
Copeland e Bilec	2020	Procedia CIRP	Buildings as material banks using RFID and building information modeling in a circular economy	Com ênfase em projetos BAMB na economia circular, o artigo produz uma estrutura e propõe uma solução geoespacial para aplicar a tecnologia atual a projetos BAMB para facilitar as estratégias de EC.	X	X	
Ganiyu et al	2020	Developments in the Built Environment	BIM competencies to deliver waste-efficient construction projects in a circular economy	Identificar e investigar competências BIM críticas para a entrega de projetos de construção com eficiência de resíduos em uma economia circular.	x	x	
Delgado e Oyedele	2020	Journal of Engineering, Design and Technology	BIM data model requirements for asset monitoring and the circular economy	O artigo busca avançar na inclusão de princípios de economia circular na abordagem BIM para a fase operacional do ciclo de vida de um ativo construído.	X	X	
Kovacic et al	2020	Engineering Project Organization Journal	Digital Platform for Circular Economy in AEC Industry	Exploração de potencialidades de várias tecnologias digitais, sua usabilidade na prática, bem como os principais desafios na ampla adoção dessas tecnologias e, portanto, na realização dos objetivos da EC na construção, usando projetos de pesquisa em andamento	x	x	
O'Grady et al	2021	Energies	Circular Economy and Virtual Reality in Advanced BIM-Based Prefabricated Construction	Incorporação de design de jogos e um gêmeo digital de modelagem de informações de construção (BIM) de um edifício de protótipo EC proposto	x	x	
Olawumi et al	2021	Journal of Building Engineering	Automating the modular construction process: A review of digital technologies and future directions with blockchain technology	Revisar e analisar a implementação de ferramentas e tecnologias digitais (TDT) em projetos de construção integrada modular (MiC)	x		x
Kovacic e Honic	2021	- Journal of Information Technology in Construction	Scanning and Data Capturing for BIM-supported resources assessment: a case study	Explorar o potencial do método Integrated Data Assessment and Modeling (IDAM) para a geração de um modelo BIM	x	x	
Machado e Morioka	2021	Journal of Building Engineering	Contributions of modularity to the circular economy: A systematic review of literature	Identificar como a modularidade pode contribuir para a economia circular.		x	x
Charef e Emmitt	2021	Journal of Cleaner Production	Uses of building information modeling for overcoming barriers to a circular economy	Explorar quais seriam os usos do BIM que podem ajudar os profissionais da indústria da construção a adotar uma abordagem de economia circular.	x	x	
Xue et al	2021	Sustainability	BIM Integrated LCA for Promoting Circular Economy towards Sustainable Construction: An Analytical Review	Identificar as implicações, considerações, contribuições e desafios da ACV integrada BIM e a adoção de CE na indústria	x	x	
Berg et al	2021	Construction Management and Economics	BIM uses for deconstruction: an activitytheoretical perspective on reorganising end-of-life practices	Elaboração de um processo aberto e expansivo de implementação do BIM em um projeto único de desconstrução do mundo real.	X	X	
Honic et al	2021	Journal of Cleaner Production	Material Passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials	Avaliar o potencial da proposta de passaporte de material edifícios existentes, aplicando o método em um caso de uso real – um edifício que atingiu seu estágio de fim de vida.	X	X	
Chen et al	2022	Journal of Cleaner Production	Revamping construction supply chain processes with circular economy strategies: A systematic literature review	O artigo apresenta a extensão da literatura sobre estratégias de economia circular e drivers adequados para melhorar a sustentabilidade em projetos de construção.	x	x	
Rabia Charef	2022	Cleaner Engineering and Technology	The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D)	Apresentar o entendimento atual do ciclo de vida dos ativos no contexto do Reino Unido e incorporar a fase de fim de vida do ativo (EOL) sustentável nas etapas do Plano de Trabalho do RIBA (Royal Institution of British Architects).	x	x	
Charef	2022	Cleaner Engineering and Technology	Supporting construction stakeholders with the circular economy: A trans-scaler framework to understand the holistic approach	Apresentar os vários modelos BIM desenvolvidos ao longo do ciclo de vida do ativo no contexto da EC e definir qual poderia ser o conteúdo do modelo de informação de desconstrução (DIM)	X	X	

Fonte: os autores.

Com base na integração entre os conceitos, apresentadas no Quadro 1 para cada um dos artigos selecionados, foram desenvolvidas três Matrizes de Interação, buscando correlacionar as funcionalidades do BIM, os princípios da RC e as estratégias da EC, com o objetivo de demonstrar como estes conceitos se integram.

Matriz 1 – Interação RC e EC

Princípios da RC \ Estratégia da EC	Novos modelos de negócio e desmaterialização	Design, Eco-concepção	Produção "limpa"/eco-eficiência	Extensão do ciclo de vida: reutilização, remanufatura, recondição	Sensibilização e envolvimento social
Padronização	Minunno et al (2018)	BK & Zhu (2015)	Minunno et al (2018)	Minunno et al (2018)	
Modularização	Minunno et al (2018)	BK & Zhu (2015); Minunno et al (2018)	BK & Zhu (2015); Zhengdao et al (2014)	Minunno et al (2018)	
Pré-fabricação	Zhengdao et al (2014); Minunno et al (2018); Lunga e Levrata (2014)	BK & Zhu (2015)	BK & Zhu (2015); Zhengdao et al (2014); Minunno et al (2018)	Minunno et al (2018)	
Lean				Minunno et al (2018)	
Sustentabilidade	Zhengdao et al (2014); Lunga e Levrata (2014)	BK & Zhu (2015); Zhengdao et al (2014); Lunga e Levrata (2014)	BK & Zhu (2015); Minunno et al (2018)	Zhengdao et al (2014); Minunno et al (2018); Lunga e Levrata (2014)	Zhengdao et al (2014)

Fonte: os autores.

Matriz 2 – Interação BIM e RC

Funcionalidades do BIM \ Princípios da RC	Padronização	Modularização	Pré-fabricação	Lean	Sustentabilidade
Visualização em 3D					
Ensaio de obra no computador	Machado e Morioka (2021); Auster et al (2017); Olawmi et al. (2022)	Machado e Morioka (2021); Olawmi et al. (2022)	Krag (2019)	Elmaraghy et al (2018)	
Extração automática de quantitativos em projetos					
Simulações e ensaios virtuais			Krag (2019); Auster et al (2017)	Elmaraghy et al (2018)	
Identificação automática de interferências (geométricas e funcionais)		Machado e Morioka (2021)	Auster et al (2017); Krag (2019)		
Regras de verificação	Krag (2019)		Auster et al (2017); Krag (2019)	Elmaraghy et al (2018)	
Geração de documentos mais consistentes e integros	Olawmi et al. (2022)	Olawmi et al. (2022)			
Maior facilidade em desenvolver projetos e executar construções mais complexas	Auster et al (2017)		Auster et al (2017); Krag (2019)		
Percepção do processo de industrialização na construção		Machado e Morioka (2021); Olawmi et al. (2022)			
Laser scanning					
Análises de construtibilidade		Machado e Morioka (2021)	Krag (2019); Auster et al (2017);	Elmaraghy et al (2018)	
Desenvolvimento de maquetes eletrônicas	Auster et al (2017)				
Registro e controle visual de diferentes versões dos modelos		Machado e Morioka (2021); Olawmi et al. (2022)	Auster et al (2017)		
Rastreamento e controle de componentes	Long et al, (2019); Auster et al (2017)	Long et al, (2019)	Long et al, (2019); Krag (2019)		
Processos de gestão de ativos					
Fabricação digital	Long et al, (2019); Auster et al (2017)	Long et al, (2019); Machado e Morioka (2021); Olawmi et al. (2022)	Long et al, (2019); Auster et al (2017); Krag (2019)	Elmaraghy et al (2018)	Long et al, (2019); Machado e Morioka (2021)
Verificações de locações e níveis de obra					

Fonte: os autores.

Matriz 3 – Interação BIM e EC

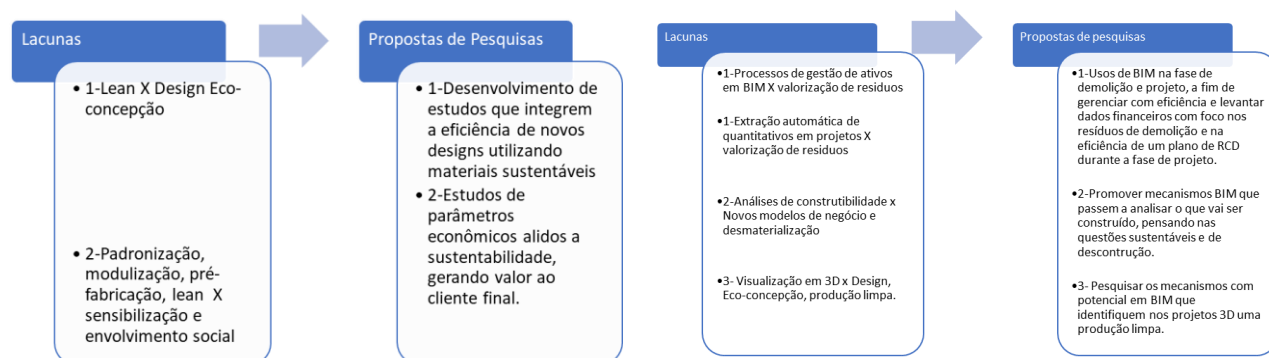
Funcionalidades do BIM da EC	Estratégia	Novos modelos de negócio e desmaterialização	Design, Eco-concepção	Produção "limpa" / eco-eficiência	Extensão do ciclo reutilização, remanufatura, recondição	Simbolos industriais (urbanas, locais, regionais)	Valorização de subprodutos e resíduos	Sensibilização e envolvimento social
Visualização em 3D		Berg et al (2021)			Berg et al (2021)			Berg et al (2021)
Ensaio de obra no computador		Xue et al (2021); Charef e Emmittb (2022); Rabia Charef (2022)	Xue et al (2021); Beazley et al (2017); Chen et al. (2022)	Xue et al (2021); Chen et al. (2022); Akinade e Oyedele (2019); Honic et al (2021)	Charef e Emmittb (2022); O'Grady et al (2021); Akanbi et al (2019); Honic et al (2021); Rabia Charef (2022)	Akinade e Oyedele (2019); Kovacic e Honic (2021)	Ganiyu et al (2020); Chen et al. (2022); Kovacic et al (2020); Akinade e Oyedele (2019); Akinade e Oyedele (2019); Copeland e Bilec (2020)	
Extração automática de quantitativos em projetos			Xue et al (2021); Beazley et al (2017); Delgado e Oedele (2021)	Xue et al (2021); Beazley et al (2017); O'Grady et al (2021); Kovacic et al (2020); Berg et al (2021)	Charef e Emmittb (2021)			
Simulações e ensaios virtuais		Beazley et al (2017); Delgado e Oedele (2021)	Xue et al (2021); Beazley et al (2017); Delgado e Oedele (2021); Kovacic et al (2020)	Xue et al (2021); Beazley et al (2017); O'Grady et al (2021); Kovacic et al (2020); Berg et al (2021)	Charef e Emmittb (2022); Delgado e Oedele (2021); Copeland e Bilec (2020); Berg et al (2021)	Kovacic e Honic (2021)	Chen et al. (2022); Kovacic e Honic (2021)	Charef e Emmittb (2022); Berg et al (2021); Ganiyu et al (2020)
Identificação automática de interferências (geométricas e funcionais)			Xue et al (2021)		Kovacic e Honic (2021)			
Regras de verificação		Chen et al. (2022)	Xue et al (2021); O'Grady et al (2021)	Xue et al (2021); Copeland e Bilec (2020)	Charef e Emmittb (2022); Delgado e Oedele (2021); Akinade e Oyedele (2019)		Delgado e Oedele (2021)	
Geração de documentos mais consistentes e integros			Chen et al. (2022)	Chen et al. (2022); Kovacic et al (2020); Copeland e Bilec (2020)	Charef e Emmittb (2022); Kovacic et al (2020); Akinade e Oyedele (2019); Honic et al (2021)		Kovacic et al (2020); Akinade e Oyedele (2019)	Xue et al (2021)
Maior facilidade em desenvolver projetos e executar construções mais complexas								
Percepção do processo de industrialização na construção		Xue et al (2021); Charef e Emmittb (2022)	Chen et al. (2022); O'Grady et al (2021)		O'Grady et al (2021)		Akinade e Oyedele (2019)	Xue et al (2021)
Laser scanning					Akinade e Oyedele (2019)			
Análises de construtibilidade		passa a analisar o que vai ser construir pensando nas questões sustentáveis e desconstrução	Xue et al (2021)	Chen et al. (2022)	Akinade e Oyedele (2019); Akanbi et al (2019); Copeland e Bilec (2020)		Akinade e Oyedele (2019)	Charef e Emmittb (2022); Ganiyu et al (2020)
Desenvolvimento de maquetes eletrônicas			Xue et al (2021); Beazley et al (2017); O'Grady et al (2021)					
Registro e controle visual de diferentes versões dos modelos		Kovacic et al (2020)			Akinade e Oyedele (2019); Akanbi et al (2019)	Akinade e Oyedele (2019)	Akinade e Oyedele (2019)	Beazley et al (2017)
Rastreamento e controle de componentes		O'Grady et al (2021)	Beazley et al (2017)	Xue et al (2021)	Akanbi et al (2019); Berg et al (2021); Honic et al (2021); Rabia Charef (2022)		Honic et al (2021)	
Processos de gestão de ativos			Beazley et al (2017)		Charef e Emmittb (2021)			
Fabricação digital		Charef e Emmittb (2022)	Xue et al (2021)	Chen et al. (2022); O'Grady et al (2021)	Akanbi et al (2019); Copeland e Bilec (2020); Charef e Emmittb (2021)		Chen et al. (2022); Akinade e Oyedele (2019); Akanbi et al (2019)	
Verificações de locações e níveis de obra					Copeland e Bilec (2020); Charef e Emmittb (2021)			

Fonte: os autores.

5. GAPS DA LITERATURA E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

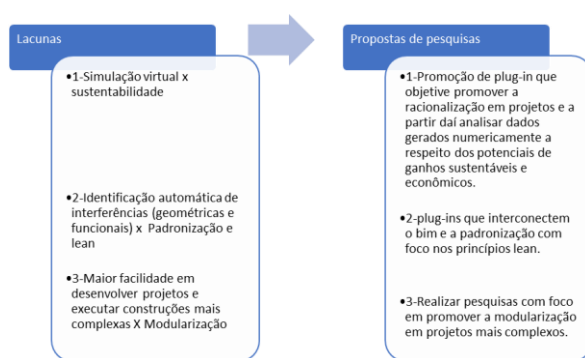
A partir da análise das matrizes de interrelação, foram identificadas algumas lacunas na literatura e propostas de trabalhos futuros, que são apresentados nos frameworks a seguir.

Framework 1– RC x EC e BIM x EC



Fonte: os autores.

Framework 3– BIM x RC



Fonte: os autores.

6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa explorou a integração dos conceitos BIM, EC e RC, a partir de uma revisão bibliográfica, buscando comprovar a existência de integração entre os conceitos e como isso poderia ajudar o setor da construção civil a obter um processo produtivo mais sustentável.

Por meio das análises da bibliografia, pode-se observar que a relação entre BIM, EC e RC ainda não é um tema muito pesquisado. Isso pode ser confirmado pelo mapeamento de co-ocorrências que evidenciou uma forte relação entre BIM e EC e uma fraca relação entre BIM e RC e entre EC e RC, não evidenciando nenhuma interrelação entre os três temas. Todavia, através da Matriz de interrelação dos conceitos, podemos ver que a parte de ensaio de obras em computador voltado a metodologia BIM, e a estratégia da EC relacionada a extensão do ciclo de vida, reutilização, remanufatura e recondicionamento, bem como valorização de subprodutos e resíduos, são os pontos com maior interrelação entre os conceitos BIM e EC. Por outro lado, a estratégia de EC que mais se interrelacionou com os princípios de RC foi a produção limpa e ecoeficiente. O princípio da RC que mais se interrelacionou com a funcionalidade do BIM foi a pré-fabricação.

A Economia Circular, a racionalização e o BIM podem se interligar de forma a trazer benefícios para o setor da construção civil num cenário mais sustentável, uma vez que o BIM possibilita a modelagem de edificações em computador e geração de banco de dados, gerando desta forma parâmetros que viabilizam a sustentabilidade através de visualização virtual dos produtos, bem como a geração de projetos modulares, racionais e enxutos, que permitem uma produção limpa, com menor geração de resíduos e menor consumo de energia, possibilitando no futuro a desconstrução de edificações, novos modelos de negócios e a inserção desses materiais novamente no ciclo produtivo, contribuindo assim para a EC.

Por fim, foram identificados alguns gaps em relação à pesquisa e foram propostos alguns temas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Ao identificar a correlação entre os conceitos, damos uma contribuição científica no sentido de nortear novos estudos, visando a utilização dos conceitos de forma integrada, gerando benefícios para uma economia mais sustentável. Portanto, futuros esforços de pesquisa devem ser feitos para testar e validar nossas descobertas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKANBI, LA; OYEDELE, LO; AKINADE, OO; AJAYI, AO; DELGADO, MD; BIAL, M.; BELLO, S.A. Recuperação de materiais de construção em uma economia circular: um estimador de desempenho de vida inteira baseado em BIM. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 129, 175-186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>

- AKANBIA, LUKMAN A., OYEDELEA, LUKUMON O., AKINADEA, OLUGBENGA O., AJAYIA, ANUOLUWAPO O., DELGADO, MANUEL DAVILA, BILALA, MUHAMMAD, BELLOB, SURURAH A. Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 129, February 2018, Pages 175-186; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>.
- AKINADE, OLUGBENGA O., OYEDELE, LUKUMON O. Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). *Journal of Cleaner Production*; v. 229, 20 August 2019, Pages 863-873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232>
- AUSTERN, GUY, CAPELUTO, ISAAC GUEDI, GROBMA, YASHA JACOB. Métodos de racionalização na fabricação assistida por computador: uma revisão crítica. *Automation in Construction*. Volume 90, June 2018, Pag 281-293; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.027>
- AZHAR, S., KHALFAN, M., MAQSOOD, T.: Modelagem de informações de construção (BIM): agora e além. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12 (2012) 4, pp. 15-28. DOI: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v12i4.3032>.
- BEAZLEY, SCOTT, HEFFERNAN, EMMA, TIMOTHY, J MCCARTHY. Melhorando a eficiência energética em edifícios residenciais por meio do uso do BIM: o caso da incorporação de parâmetros durante o projeto. *ScienceDirect Energy Procedia* v 121 (2017) p 57-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.479>
- BERG, MARC VAN DEN, HANS, VOORDIJK E., ARJEN, ADRIANO. Usos do BIM para desconstrução: uma perspectiva teórica da atividade na reorganização das práticas de fim de vida. *Construction Management and Economics* V 39:4, 323-339 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1876894>
- BK QI, ZHU YA. Análise do Benefício Ambiental da Construção Pré-fabricada. *Conferência internacional de engenharia elétrica e automação mecânica (ICEEMA 2015)* P 84-87.
- BRIBIÁN, IGNACIO ZABALZA, ANTONIO, VALERO CAPILLA, ALFONSO, ARANDA USÓN. Avaliação do ciclo de vida dos materiais de construção: Análise comparativa dos impactos energéticos e ambientais e avaliação do potencial de melhoria da ecoeficiência. *Building and Environment* V 46, Issue 5, May 2011, Pag 1133-1140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>
- CHAREF, RABIA. Apoiar os atores da construção com a economia circular: um quadro trans-scaler para entender a abordagem holística. *Cleaner Engineering and Technology* Volume 8, June 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100454>
- CHAREF, RABIA, EMMITT, STEPHEN. Usos da modelagem de informações de construção para superar as barreiras para uma economia circular. *Journal cleaner production* V 285 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124854>
- CHEN, QIAN, HAIBO, FENG, BORJA, GARCIA DE SOTO. Renovando os processos da cadeia de suprimentos da construção com estratégias de economia circular: uma revisão sistemática da literatura. *Jornal de Produção Mais Limpa* 335 (2022) 130-240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130240>
- COPELAND, SAMUEL, BILAC, MELISSA. Edifícios como bancos de materiais usando RFID e modelagem de informações de construção em uma economia circular. *CIRP proceeded* V 90 (2020). DOI: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- DELGADO, JUAN MANUEL DAVILA, OYEDELE, LUKUMON O. Requisitos do modelo de dados BIM para monitoramento de ativos e economia circular. *Journal of Engineering, Design and Technology*; v. 18 Nº 5, 2020 pp. 1269-1285; DOI: <https://doi.org/10.1108/JEDT-10-2019-0284>
- DEFRA, 2015. Digestão de Estatísticas de Resíduos e Recursos, Departamento de Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais - Digestão de Estatísticas de Resíduos e Recursos. Disponível em: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/482255/Digest_of_waste_En_gland_-finalv3.pdf. Acesso em 10 de abril de 2022.
- ELMARAGHY, A., VOORDIJK, H., AND MARZOUK, M. (2018). An exploration of BIM and Lean interaction in optimizing demolition projects. In: *Proc. 26 th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC)*, González, V.A. (ed.), Chennai, India, pp. 112–122. DOI: doi.org/10.24928/2018/0474. Available at: www.iglc.net.
- EMF, 2016. *Intelligent Assets: Unlocking the Circular Economy Potencial*. Ellen MacArthur Found, Cowes, UK.

- GANIYU, SIKIRU ABIODUN, OYEDELE, LUKUMON O, AKINADE, OLUGBENGA, OWOLABI, HAKEEM, AKANBI, LUKMAN, GBADAMOSI, ABDULQAYUM. Competências BIM para entregar projetos de construção com eficiência de resíduos em uma economia circular. *Developments in the Built Environment*. v. 4, November 2020, 100036. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100036>
- HONIC, MELIHA, KOVACIC, IVA, ASCHENBRENNER, PHILIPP, RAGOSSNIG, ARNE. Material Passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*;v. 319, 15 October 2021, 128702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128702>
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. 2012. SIENGE. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>
- LONG LI, ZHONGFU LI , XIAODONG LI , SHENGXI ZHANG, XIAOWEI LUO C. Um novo quadro de construção industrializada na China: Rumo industrialização no local. *Journal of Cleaner Production* v. 244 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118469>
- LUNG, BENOIT, LEVRAT, ERIC. Serviços Avançados de Manutenção para Promover a Sustentabilidade. *Procedia CIRP* 22 (2014) 15 – 22; <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.018>
- KOVACIC, IVA, HONIC, MELIHA, SRECKOVIC, E. MARIJANA. Plataforma Digital para Economia Circular na Indústria AEC. *Engineering Project Organization Journal* (October 2020) Volume 9.
- KOVACIC, IVA, HONIC, MELIHA. Digitalização e captura de dados para BIM suportado avaliação de recursos: um estudo de caso. *ITcon* Vol. 26 (2021). DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.032>
- KRAGH, MARK JANSSON. Novas possibilidades de design e racionalização com 3D-iExtrusion. *ScienceDirect Materiais Hoje: Processos*. V. 10 (2019) 209–216. DOI: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- MACHADO, NATÁLIA, MORIOKA, SANDRA NAOMI. Contribuições da modularidade para a economia circular: uma revisão sistemática da literatura. *Journal of Building Engineering* 44 (2021) 103322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103322>
- MORSELETTI, PIERO. Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*; v. 153, February 2020, 104553; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>
- MOTTA, W.H.. Cross Fertilization Between Eco-innovation and Life Cycle Assessment: a pathway to circular economy. *Proceedings of LCA XVIII*, Fort Collins, CO, USA, 18, 2018.
- MINUNNO, ROBERTO, TIMOTHY, O'GRADY, GREGORY, M. MORRISON, RICHARD, L. GRUNER, MICHAEL, COLLING. Estratégias para a aplicação da economia circular em edifícios pré-fabricados. *Building*, 6 de setembro de 2018. <https://doi.org/10.3390/buildings8090125>
- NBIMS (2010) NATIONAL BUILDING INFORMATION MODELING STANDARD. Disponível em: http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSV1_p1.pdf
- OLAWUMI, TIMOTHY, DANIEL, W.M. CHAN, STEPHEN OJO , MICHAEL C.H.YAMBD. Automatizando o processo de construção modular: Uma revisão das tecnologias digitais e direções futuras com a tecnologia blockchain. *Journal of Building Engineering* Volume 46,1 April 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103720>
- O'GRADY, TIMOTHY M., NICHOLAS, BRAJKOVICH, ROBERTO, MINUNNO, GREGORY M. MORRISON. Economia Circular e Realidade Virtual em BIM Avançado Construção pré-fabricada. *Energies* 2021, V 14, 40-65. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14134065>
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (2021). Relatório de status global 2021 para edifícios e construção: rumo a um setor de edifícios e construção com zero emissão, eficientes e resilientes. Nairóbi. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf
- XUE, KAI, MD. UZZAL HOSSAIN, MENG LIU, MINGJUN MA , YIZHI ZHANG , MENGQIANG HU , XIAOYI CHEN E GUANGYU CAO. ACV Integrada BIM para Promoção da Economia Circular para Construção Sustentável: Uma Revisão Analítica. *Sustainability* 2021, 13(3), 1310. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031310>