



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

ECONOMIA CIRCULAR E ARQUITETURA MODULAR: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Henrique Almeida Martins, UFMS, henrique_martins@ufms.br
Alexandre Meira Vasconcelos, UFMS, alexandre.meira@ufms.br

Resumo

Grande parte do Brasil e do mundo ainda utiliza o sistema econômico tradicional conhecido como economia linear, que consiste na produção e consumo baseados na extração/captação de recursos naturais, produção, uso e descarte de resíduos, gerando resultados negativos de impacto relevante e problemas no desenvolvimento sustentável. A economia circular (EC) se caracteriza como uma alternativa mais inteligente, e menos agressora dos recursos naturais se comparada a este modelo. Com todos os benefícios existentes neste sistema econômico de desenvolvimento sustentável, a arquitetura modular (AM) vem ganhando destaque nos últimos dez anos e sendo mais explorada no mundo e no Brasil. O objetivo geral desta pesquisa é documentar e revisar através de análise bibliométrica, e descrever através da literatura selecionada nas bases Scopus e Web of Science, no período entre 2010 a 2020, e de levantamentos bibliométricos, os estudos a respeito da implementação da EC na construção civil, por meio de arquitetura e construção modular como solução construtiva eficaz e sustentável. Foram selecionados 122 trabalhos entre artigos, livros, capítulos de livro e publicações em geral e concluiu-se que há um crescimento considerável de publicações acerca desses temas, e que países mais desenvolvidos, publicam mais sobre esses temas em diversos campos do conhecimento.

Palavras-chave: economia circular, recursos naturais, desenvolvimento sustentável, arquitetura modular.

1. Introdução

As edificações construídas pelo homem sejam elas em qualquer tipologia, casas ou prédios, são considerados como os lugares onde as pessoas passam a maior parte do tempo de suas vidas, seja com fins em moradia, trabalho ou lazer. A estimativa da população mundial em 2050 é de pelo menos 9,8 bilhões de pessoas, sendo que, em 2018, cerca de 1,7 bilhão de pessoas, o equivalente à, aproximadamente, 23% da população mundial já vivia em cidades com pelo menos um milhão de habitantes (UNITED NATIONS, 2018).

Perante esse cenário, ocorrerá o aumento da construção civil nas cidades, exigido pelo crescimento da população, com o objetivo de atender a demanda de espaços de lazer, trabalho e habitação com a construção de novas edificações (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). No entanto, a indústria da construção civil é responsável por uma quantidade significativa do consumo global de recursos naturais para a manufatura de matéria-prima (KIBERT, 2003). A demanda por esses recursos naturais aumentará significativamente com esse crescimento populacional no futuro. Além disso, essa indústria é responsável por mais de 50% do uso global de energia e mais de 35% das emissões de CO₂ (RASHID, 2015).

Essa problemática levanta ainda mais os questionamentos a respeito de como essas edificações deveriam ser construídas, a fim de mitigar essas consequências e principalmente



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

do modelo econômico atualmente utilizado, conhecido como Economia Linear, que também deveria contribuir para amenizar tais danos. A Economia Linear tem como base o conceito de “extrair, transformar e descartar”, como o próprio nome já diz. Conceito esse que tem por seus efeitos e consequências uma maior extração e esgotamento dos recursos naturais e principalmente na maior agressão ao meio ambiente ao realizar o descarte após o uso destruindo o ciclo de renovação dos recursos naturais e resultando num ciclo não renovável e impraticável como seus principais efeitos negativos (LAVOLA, 2017).

Essa projeção junto às tendências do mercado consumidor ameaça a estabilidade das economias e a integridade dos ecossistemas e dos recursos naturais que neles existem, os quais são essenciais para a sobrevivência humana. Tendo isso em vista, a economia circular (EC) vem na contramão desse sistema e se caracteriza como uma alternativa sustentável, mais inteligente e menos agressora dos recursos naturais e do meio ambiente (BRAUNGART et al., 2003).

A partir dessa ideia, o conceito de EC surgiu em 1989, pensado pelos economistas e ambientalistas britânicos David W. Pearce e R. Kerry Turner, na publicação de um artigo e com o livro “Economics of Natural Resources and the Environment,”, publicado em 1990. O conceito ganhou maior força em 2012, pela publicação do primeiro relatório “Towards the circular economy”, por Ellen MacArthur Foundation.

2. Fundamentação teórica

A EC funciona como ferramenta fundamental para o desenvolvimento humano de forma sustentável e consiste em conciliar os processos de produção para atender as altas demandas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das economias, diminuindo os impactos ambientais e, ao mesmo tempo, atendendo as necessidades da sociedade e do desenvolvimento econômico (BRIAN, 1997).

Ademais, propõe um equilíbrio no uso dos recursos naturais de forma eficiente, diminuindo cada vez mais a sua extração. A partir desses conceitos, a EC traz a filosofia dos “5Rs”: reutilizando, reaproveitando, reciclando, recusando e repensando o uso de recursos naturais e, em alguns casos, eliminando-os da cadeia produtiva através da reinserção dos resíduos no ciclo produtivo original ou em outros produtos e processos resultando no não esgotamento total dos recursos naturais e tornando viável a renovação de tais recursos pelo próprio ciclo natural (GHISELLINI, CIALANI, ULGIATI, 2016).

Os efeitos negativos causados pela utilização do sistema econômico tradicional, a Economia Linear, ameaçam a estabilidade das economias mundiais e a integridade de ecossistemas naturais, essenciais para a sobrevivência humana (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

Em contraponto, a EC é vista como um modelo econômico que deve levar a um desenvolvimento sustentável e a uma sociedade mais harmoniosa, uma vez que tem suas origens enraizadas principalmente na ecologia industrial e na economia ecológica e ambiental (FENG, 2007). Existe um considerável número de publicações a respeito da implementação de EC na China, país que se demonstra fortemente comprometido e atraído pela por esse tipo de reaproveitamento de recursos naturais, devido aos enormes problemas ambientais, de saúde humana e social, decorrentes de seu padrão de desenvolvimento econômico que ocorreu de forma muito rápida e contínua (GENG, 2008).



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

O grande trunfo e objetivo de promover a EC é conciliar o crescimento econômico e a manutenção dos recursos naturais e do meio ambiente. No mundo todo, a sua implementação ainda se encontra nos estágios iniciais, principalmente com foco na reciclagem ao invés da reutilização. O setor de gestão e descarte de resíduos, que é um dos pontos que mais agride o meio ambiente, vem alcançando importantes resultados com o aumento de grandes taxas de reciclagem de resíduos nos países desenvolvidos do mundo (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Tendo isso em vista, o ramo da arquitetura e construção, com o conceito da Arquitetura Modular, concilia a teoria de EC com a construção e, torna executável, a otimização dos recursos naturais. Como o próprio nome sugere, a Arquitetura Modular (AM) é projetada a partir de módulos, que podem ou não se encaixar, diversificando pela capacidade e tipologia projetual e de construção, com propriedades construtivas variadas, cujas possibilidades se tornam infinitas permitindo que a edificação possa ser montada, desmontada e montada novamente em outro local (AL-HUSSEIN *et al.*, 2006).

Sendo assim, esse tipo de arquitetura faz com que o processo de construção seja produzido fora do canteiro de obras e muitas vezes em uma indústria, como numa linha de produção, de maneira organizada e com controle de qualidade em todas as etapas, podendo, assim, aumentar a qualidade da edificação, diminuir custos, aumentar a produtividade, evitar acidentes imprevistos e cumprir os prazos num curto espaço de tempo (TAGHADDOS *et al.*, 2014).

Atualmente, no Brasil, existem empresas que fabricam essas edificações utilizando-se de projetos de arquitetura modular, com módulos metálicos como o componente base para projeção. A construção modular é a combinação de um processo industrial de construção, na fabricação de módulos para constituir uma determinada edificação, produzido em um espaço fabril, unido ao trabalho de construção em um local de instalação. Essa combinação necessita de uma sincronia entre os trabalhos fora do local, na fabricação de unidades e o de trabalho no local, com a construção da fundação e instalação dos projetos elétricos e hidráulicos, resultando na adequação ideal do local para receber os módulos de maneira simples e prática no sistema conhecido como “*Plug and Play*” (MBI, 2015).

O “*Plug and Play*” é um sistema de instalação fácil e prática que permite com que os módulos se conectem aos sistemas hidráulicos e elétricos através de conectores simples, tornando a instalação dos módulos um sistema otimizado, para que, futuramente, quando for desmontada para outro local, sua desinstalação ou desmontagem seja feita de maneira rápida (MOHSEN., *et al.* 2008).

O termo módulo está intrinsecamente ligado a unidades de medida padrão e sua repetição. Ao longo das décadas, em diversos momentos da história após a revolução industrial, arquitetos se interessaram a respeito da produção de edificações industrializadas em um ambiente de fábrica. Durante todo esse tempo, foi possível extrair conclusões preciosas e importantes diante de diversas experiências dentro de todo o processo, através da possibilidade de produzir edificações como se produzem automóveis (MANSOOREH, *et al.* 2012).

Ainda hoje, este tema continua despertando profundo interesse no mercado da arquitetura, engenharia e construção civil no Brasil e no mundo e, com isso, as ferramentas digitais disponíveis, aliadas à grande oferta de materiais e sistemas industrializados, se configuram como recursos que proporcionam aos arquitetos, hoje mais do que nunca, a capacidade de



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

explorar as possibilidades de pré-fabricação na concepção e na execução de construções. O desenvolvimento de estudos conceituais de edificações produzidas através desse conceito de arquitetura e construção modular foi elaborado a partir de uma interação estabelecida entre arquiteto e ambiente produtivo, buscando reconhecer as capacidades tecnológicas das empresas envolvidas e avaliar em quais aspectos esta interação impacta no projeto arquitetônico, seu resultado e reduções de danos ambientais (HERMANN, *et al.*, 2010),

Na Alemanha pós-guerra, Walter Gropius, na tentativa de atender altas demandas geradas dos danos ocasionados pelos conflitos, industrializou a repetição na arquitetura. Entretanto, algumas dificuldades de conciliar forma, qualidade e agilidade foram encontradas já naquela época (BENÉVOLO, 2001).

Após a revolução digital, com o surgimento de novas ferramentas para o setor da construção, foi possível conciliar a agilidade da modularização sem comprometer o processo criativo. Mesmo sabendo que se investe mais tempo no ato de projetar, esse tempo gasto é essencial para o planejamento de todos os detalhes da edificação. Com isso, os resultados demonstram uma diminuição significativa no desperdício de material e, conseqüentemente, na compra de material. Isso resulta na diminuição da demanda de extração de recursos naturais para a produção de materiais para a construção civil (GOLPARVAR-FARD *et al.*, 2009).

O resultado encontrado nestas construções modulares é o de um melhor planejamento na gestão da obra como um todo, aumentando a eficácia da construção civil desde o planejamento até a conclusão da obra. Através do uso de tecnologias no início desse processo, no planejamento e na fase de projeto, nota-se uma redução no custo da obra, o que impacta diretamente no consumo de materiais de construção e uma melhor eficácia na gestão de resíduos. Nota-se também uma grande diminuição de consumo e gastos desnecessários quando se prevê um melhor planejamento de obra. Portanto, a arquitetura e construção modular, permite que ferramentas tecnológicas colaborem na hora de projetar e construir com menor impacto ambiental, prevendo todas as etapas da construção desde a extração ao descarte (WU *et al.*, 2011).

Sendo assim, A EC está presente na arquitetura e construção modular, seja através da reformulação dos setores da construção ou da reciclagem de materiais. Além disso, a introdução da EC na arquitetura e construção modular contribui para a redução do tempo de execução e uma melhor qualidade nos serviços entregues, uma vez que é gasto mais tempo pensando e planejando a obra e menos tempo na execução, com inconvenientes e possíveis surpresas já previstas no planejamento (RUPNIK, 2017).

No que diz respeito à sustentabilidade perante o desenvolvimento humano, o termo “desenvolvimento sustentável” é alvo de diversas críticas por sugerir que o desenvolvimento não pode ser, por si só, sustentável, pois a palavra desenvolvimento tem a sua origem nas ciências econômicas que indicam um crescimento infinito num ecossistema finito (VEIGA, 2006).

No entanto, a sustentabilidade pode ser pensada partir de diversos critérios: social, cultural, ecológico, ambiental, territorial, econômico e político, apontando que os critérios que vêm merecendo maior atenção por parte da sociedade se referem às atividades direcionadas para a ecoeficiência e para a produtividade dos recursos, como reciclagem, aproveitamento de resíduos, conservação de energia, água, manutenção de equipamentos, infraestruturas e edifícios visando à extensão de seu ciclo de vida. É importante notar que essas atividades estão diretamente ligadas à indústria da construção, formando assim os principais paradigmas da



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Construção Sustentável, que é um sistema construtivo que visa garantir qualidade de vida às gerações atuais e futuras (IDHEA, 1999).

Esse tipo de construção promove alterações no entorno da construção, de forma a atender as necessidades da edificação e do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais. A base da Sustentabilidade na Construção Civil é apoiada no Triple Bottom Line ou “3BL”, termo criado pelo acadêmico John Elkington, ilustrada na figura 1.

Figura 1 - Pilares da Sustentabilidade



Fonte: Autores.

O uso de materiais nas edificações urbanas que gastem menores quantidades de energia no processo construtivo gerem menos resíduos ou até os reutilizem é uma medida que contribui para o desenvolvimento sustentável (ROCHA,2013). Assim como mostra a Figura 1, a intersecção entre os pilares ambiental e econômico resulta na viabilidade, ou seja, é possível tornar executável. Este resultado gera uma relação de interdependência entre a obtenção de retorno financeiro e o uso racional dos recursos naturais. A manutenção e preservação destes recursos são a base para garantir a sobrevivência e o benefício das futuras gerações. Outro aspecto importante é a renovação do fornecimento de matéria-prima. O equilíbrio da inter-relação das áreas dessa tríade resulta na sustentabilidade e são essenciais para que o negócio perdure no tempo.

3. Metodologia

O roteiro de seleção, curadoria e todo o processo de análise dos materiais, seguiram o fluxograma que está identificado na Figura 2, e cada etapa encontrada neste fluxograma seguiu um roteiro de pesquisa que será descrito abaixo.

O processo de seleção do portfólio bibliográfico compreende as etapas:

- a) Seleção das bases de dados (bibliotecas eletrônicas) disponíveis no portal eletrônico de periódicos da Capes;
- b) Seleção dos artigos diretamente nas bases, por meio dos sistemas de busca eletrônica;
- c) Uso de filtros de pesquisa arbitrariamente definidos para selecionar artigos conforme escopo da pesquisa e decisões do pesquisador;



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

- d) Pré-análise dos artigos, com a intenção de extrair informações suficientes para selecionar os artigos mais apropriados à pesquisa.

Para este projeto, foram selecionadas as bases de dados *Scopus* e *Web of Science (WoS)* indexadas no portal de periódicos da Capes. A escolha das bases obedeceu aos critérios:

- a) Importância e abrangência da base
- b) Acesso livre a artigos científicos com textos completos;
- c) Possibilidade de exportação de metadados para o software EndNote®, usado para tratamento, manipulação, contagem de metadados e leitura dos artigos.

Os artigos que foram selecionados diretamente nas bases, respeitaram o seguinte processo de seleção para a sintaxe do portfólio bibliográfico:

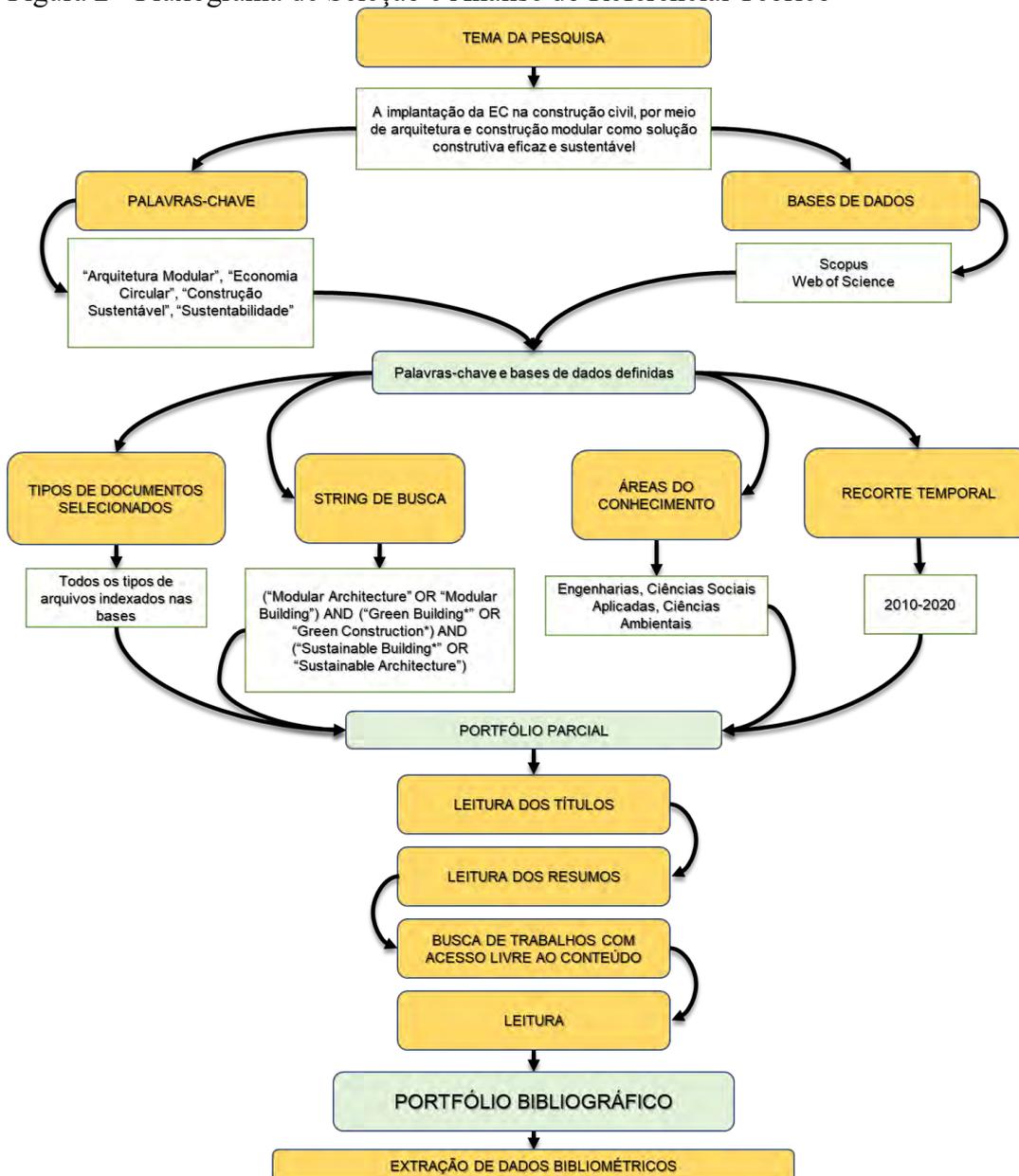
- a) Entendimento e compreensão da linha de pesquisa e suas vertentes de multidisciplinariedade;
- b) Seleção de palavras-chave complacentes com a linha de pesquisa para a formação de uma *string*;
- c) Seleção de bases de dados (bibliotecas eletrônicas) disponíveis no portal eletrônico de periódicos da Capes (*Scopus* e *WoS*);
- d) Utilização da *string* diretamente nas bases de dados, por meio dos sistemas de busca eletrônica, para selecionar e reunir artigos adjacentes a pesquisa;
- e) Análise dos artigos através da leitura dos títulos de cada artigo para selecionar os artigos mais complacentes à pesquisa;
- f) Leitura dos resumos de cada artigo para selecionar os que mais coadunam com a pesquisa;
- g) Pré-análise dos artigos, com a intenção de extrair informações suficientes para selecionar os artigos mais apropriados à pesquisa.

As palavras-chave utilizadas na seleção basearam-se na combinação das palavras “Arquitetura Modular”, “EC”, “Construção Sustentável”, com “Sustentabilidade”. Para chegar neste resultado foram considerados sinônimos ou expressões relacionadas, tais como Arquitetura, Arquitetura Sustentável, Arquitetura Modular, Produção Modular, Modular, Sistema Sustentável, Edificação, Edificação Sustentável, Edificação Modular, Construção, Construção Sustentável, Construção Modular, Módulo Tipo, Economia, EC, Economia Administrativa, Construção Verde, Sustentabilidade, Ecossistemas Renováveis, Preservação Ambiental, Impactos Ambientais, LEED, Certificação Ambiental, Flat-pack, Casa Desmontável, Transportável, Casa em Container. Após a seleção de palavras-chave, foi feita a tradução destas palavras para um melhor resultado nas bases de dados, uma vez que a língua inglesa é a que mais se comunica com sites ao redor do mundo.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Figura 2 - Fluxograma de Seleção e Análise do Referencial Teórico



Fonte: Autores

A partir desta seleção, foram selecionados documentos em formatos de artigos científicos e de revisão sejam em formato PDF ou HTML. Foi estabelecido um recorte temporal de aproximadamente 10 anos (2010-2020) para considerar publicações mais recentes sobre o assunto. Alguns livros e publicações foram consultados e citados, quando apropriado, para gerar mais conhecimento sobre o assunto estudado. O tratamento dos artigos selecionados que compõem a base teórica deste trabalho (Tabela 3), inicialmente teve como processo uma pré-análise de cada artigo separadamente, através de uma leitura dinâmica, adotando critérios de relevância



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

para o tema abordado (sendo aderentes ao tema da pesquisa) e de homogeneidade (artigos que tem relevância e profundidade no tema pesquisado). Portanto, foi feita uma avaliação qualitativa de análise, através de uma leitura dinâmica e flutuante, para que se desenvolvesse uma seleção dinâmica e eficaz dos conteúdos extraídos, sem aprofundar na leitura (BARDIN, 2011). Os critérios para esta análise foram:

- a) Aderência do conteúdo aos objetivos da pesquisa - o texto apresenta um estudo sobre definição dos termos “Economia Circular” e “Arquitetura Modular”;
- b) Contribuição teórico-empírica dos mesmos para a pesquisa - considera os resultados obtidos e a originalidade/relevância acadêmica;
- c) Robustez do aporte teórico - considera a qualidade e quantidade do aporte teórico apresentado pelos autores.

Cada critério recebeu pontuação em uma escala Likert de 1 a 3 e uma nota foi atribuída a cada artigo pela soma das pontuações dos critérios, ou seja, a pontuação de cada artigo teve o valor mínimo de 1 e o máximo de 9. Os 196 artigos com notas mínimas de 1, 2 ou 3 no critério de aderência foram considerados “não aderentes” e excluídos desta pesquisa. Os demais, num total de 122 artigos, com notas entre 4 e 9 no critério de aderência foram considerados “aderentes”, e foram lidos na íntegra para a construção do referencial teórico que dá suporte a esta pesquisa.

Tabela 1 - Resultado da Pré-análise dos artigos

Etapa da seleção	Pontuação	Frequência	Total
Não aderentes e eliminados	1	81	196
	2	56	
	3	59	
	4	15	
	5	17	
Portfólio Bibliográfico	6	19	122
	7	20	
	8	24	
	9	27	
TOTAL		318	

Fonte: Autores.

As análises bibliométricas e de conteúdo foram realizadas nos 122 artigos que, a partir de então, serão tratados somente como portfólio bibliográfico. Os resultados principais destas análises são a identificação das contribuições teóricas e empíricas do material consultado e as lacunas de pesquisa que justificam a execução deste trabalho que serão tratadas em uma seção à parte.

A abordagem da pesquisa teve como intenção documentar as produções técnico científicas existentes relacionados à arquitetura modular, o setor da construção civil e a EC publicados nas bases *Scopus* e *WoS*, as duas principais plataformas de busca por trabalhos científicos



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

e acadêmicos de repercussão global, contendo publicações de diversos periódicos. Uma forma de absorver as informações centrais do tema em ambas as bases foi realizando o mapeamento cientométrico, identificando, de forma quantitativa e qualitativa, e realizando uma classificação de acordo com o tema, a ocorrência de palavras-chave e suas cadeias de palavras, os principais periódicos e seus respectivos índices. Através deste roteiro de pesquisa, foi utilizado o método para identificar a base de conhecimento que correlaciona a EC com a arquitetura modular e estruturar a base conceitual na comunidade científica.

Dentre várias filtragens de termos de pesquisa, foram analisados quais responderam melhor ao conteúdo procurado para a análise bibliométrica. Foram eliminados documentos em duplicidade, documentos que eram de outras disciplinas que não são de interesse para esse estudo em questão, como: química, medicina e mecânica, por exemplo. A filtragem final foi norteadada pela escolha de artigos que abordassem como tema a Arquitetura modular como solução construtiva em um contexto de EC como guia mestre para a sustentabilidade do setor da construção civil, no amplo significado do termo. Essa etapa final resultou em um portfólio contendo 122 artigos, na janela temporal de 2007 ao início do ano de 2021.

4. Resultados

O total de 2666 artigos passou por sucessivos filtros (Tabela 3) até obter um resultado mais aderente aos objetivos da pesquisa. Estes filtros têm a função de eliminar artigos indesejáveis e igualmente de aperfeiçoar o processo de pesquisa para não ter que dedicar tempo desnecessário à leitura exaustiva de textos que não agregam valor aos propósitos do trabalho.

Tabela 2 - Filtros de seleção dos artigos

Filtro	Nº Artigos
<i>SCOPUS (Elsevier)</i>	2181
<i>WoS</i>	485
Artigos não Duplicados	2483
Títulos e Resumos Aderentes à Linha de Pesquisa	739
PDF	258
URL	60
Portfólio Bibliográfico	318

Fonte: Autores.

O primeiro filtro para eliminar artigos duplicados, com o auxílio do EndNote®, foi por meio do comando “*Find Duplicates*”, que culminou na eliminação de 183 artigos.

Na sequência, foi feita a leitura dos títulos e resumos de todos os artigos não duplicados para eliminar aqueles não alinhados com os objetivos da pesquisa. Este filtro realizou o corte mais drástico no conjunto de artigos, totalizando 1744 artigos excluídos, reduzindo esta seleção em 739 publicações. O terceiro filtro foi utilizando a ferramenta de busca “*Find Full Text*” para localizar a disponibilidade dos artigos completos, verificando o acesso aos artigos em arquivos em formato PDF ou sua disponibilidade em HTML. Neste filtro foram eliminados desta seleção um total de 421 artigos, culminando no portfólio final e definitivo para esta pesquisa, com o total de 318 artigos.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Vale registrar que dentre os 318 artigos que compõem o portfólio bibliográfico que deu base teórica para este artigo, estão divididos entre 258 artigos, classificados como disponíveis no Brasil e com acesso gratuito em formato .PDF, e outros 60 artigos também disponíveis no Brasil, gratuitamente em html.

5. Discussão

A respeito do universo da arquitetura e da EC, nota-se que, apesar da construção civil impactar fortemente na extração de recursos naturais e no descarte incorreto de resíduos sólidos no meio ambiente, existem outros setores que movem a economia mundial e que também precisam de um olhar mais crítico e atento para a necessidade da inserção da EC, tais como agricultura, pecuária, turismo, entretenimento, entre outros. A EC é considerada um sistema de desenvolvimento econômico sustentável, porém que precisa estar inserido em todos os níveis do desenvolvimento humano.

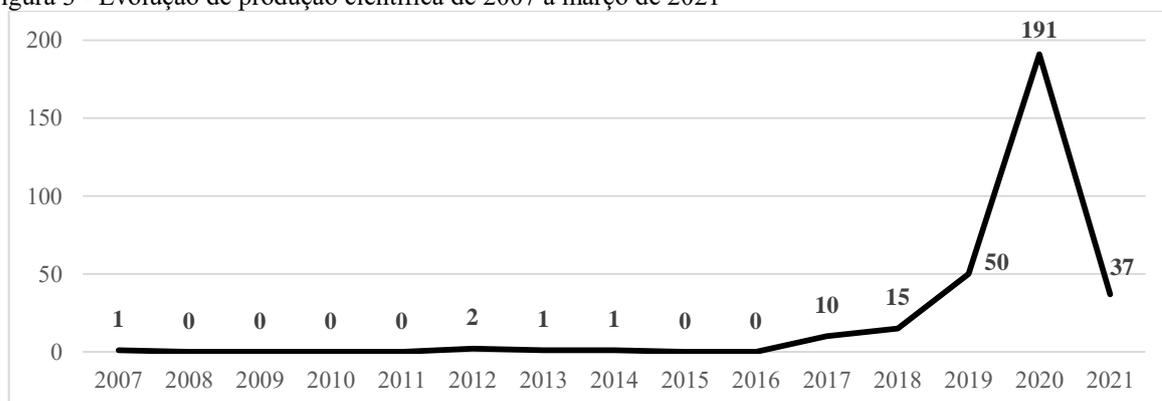
Para tanto, se faz importante a publicação de artigos nesse tema, que tratam de Sustentabilidade, EC, Arquitetura e Recursos Naturais, por salientar, acrescentar e aquecer o campo científico.

5.1 Discussão da análise bibliométrica

O objetivo da análise bibliométrica aqui realizada é a de evidenciar os autores, periódicos, locais onde os artigos foram publicados e palavras-chave de maior destaque no portfólio da pesquisa, entre outros elementos para compreender a influência dos autores, temas e instituições no campo estudado.

A Figura 3 mostra a evolução das publicações ao longo dos anos e observa-se a tendência de crescimento a partir de 2007 com pico em 2020 e nos últimos meses já foram coletadas 37 publicações. É possível afirmar que podemos prever um aumento do número de artigos publicados até o final deste ano de 2021 e nos próximos anos, sobre arquitetura modular correlacionada com EC porque a EC é um tema em voga e cada vez mais vai ser estudada a fundo, por ser uma solução ao modelo de consumo e produção linear, além de que a arquitetura modular está criando cada vez mais espaço no mercado da arquitetura e construção civil.

Figura 3 - Evolução de produção científica de 2007 a março de 2021



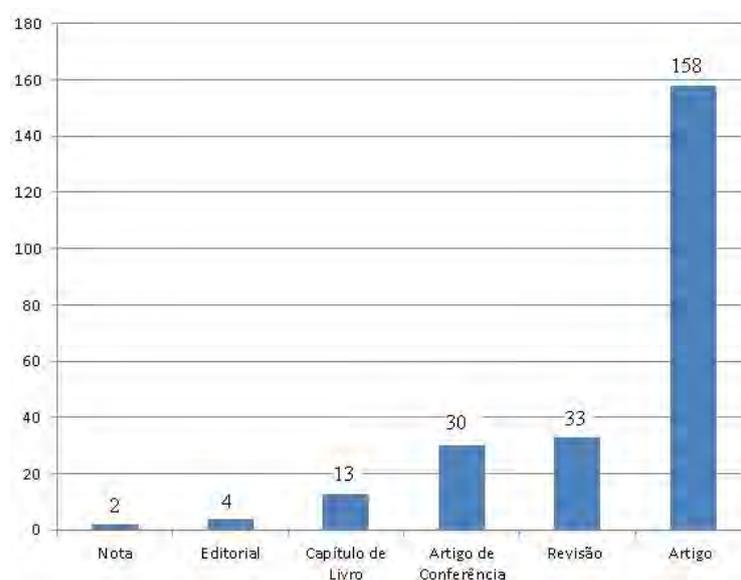
Fonte: Autores



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Quanto aos tipos de publicação, conforme a Figura 4, conclui-se que as publicações em artigos são as mais escolhidas pelos autores, ultrapassando 50% das publicações identificadas neste portfólio, seguidas das revisões (Review) e Artigos de Conferência (Conference Paper). A opção por priorizar relatórios avaliados por pares reforça a importância do portfólio selecionado.

Figura 4 - Tipos de publicação



Fonte: Autores

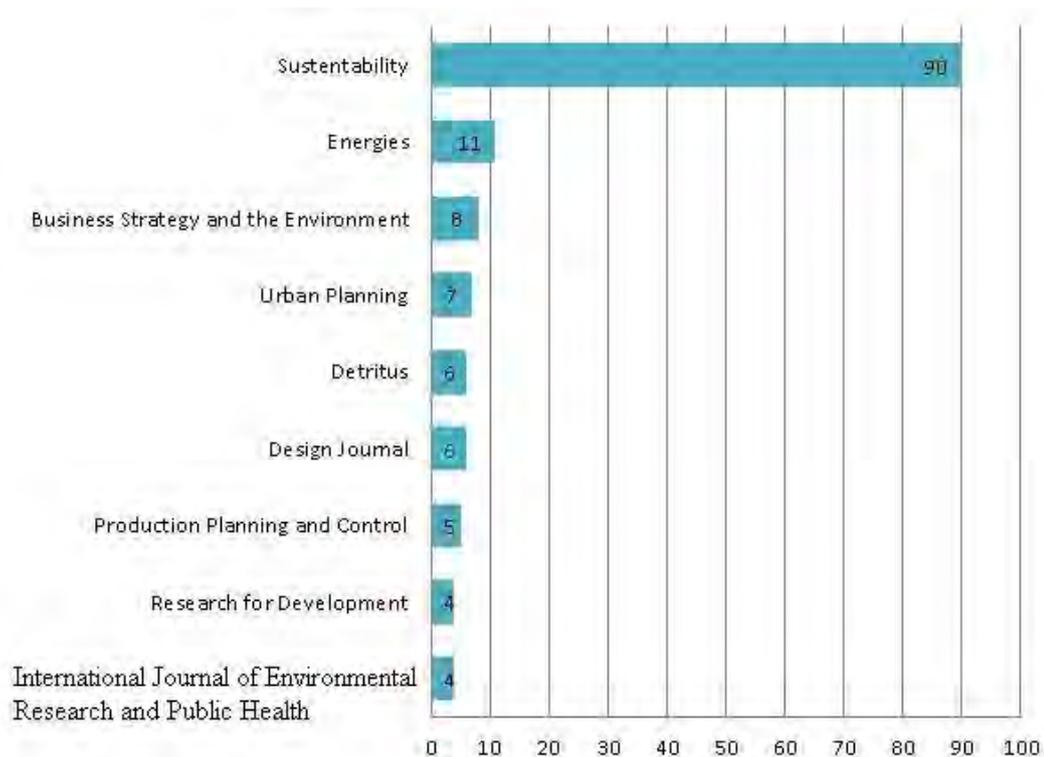
A Figura 5 apresenta os dez periódicos de maior destaque, que totalizam 191 artigos ou 61,21% do total de artigos do portfólio. Pela Lei de Bradford (ARAÚJO, 2007), os periódicos mais importantes são aqueles que compõem um terço do total sobre o assunto, o que para este estudo equivalem aos seis primeiros da tabela.

Também são apresentados nesta seção os resultados por ano em cada um dos periódicos de maior destaque na amostra.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Figura 5 - Periódicos de maior destaque no portfólio bibliográfico



Fonte: Autores

As palavras-chave mais citadas são apresentadas na Figura 6, no qual se observa a ocorrência de sua maioria usadas na busca inicial nas bases indexadas, o que de certa forma valida o processo de seleção do referencial. Conclui-se que a palavra-chave “Arquitetura Modular” ou “*Modular Architecture*” não foi encontrada em nenhuma das publicações dentro deste portfólio, porém percebe-se que este termo não é utilizado para este tipo de solução construtiva. Conclui-se também que para este tipo de solução construtiva utilizam-se termos como “Construção Industrial” e “Construção Sustentável”.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Figura 6 - Palavras-chave



Fonte: Autores

Há um considerável número de ocorrências de palavras-chave associadas ao setor da construção em geral. Em conjunto, também existem muitas ocorrências de palavras-chave associadas ao setor de sustentabilidade. Todas essas palavras e setores estão diretamente relacionados à EC. Dentre todas as publicações coletadas neste portfólio, foi feita uma análise dos locais mais publicados e dos locais com menos publicações, em todo o território mundial chegando ao resultado demonstrado na Tabela 3, respectivamente.

Tabela 3 - Número de publicações por país de origem do autor

Nº Artigos	País
128	Suíça
49	E.U.A.
28	Reino Unido
17	Alemanha
9	Itália
6	França
4	Portugal
2	Polônia
1	China
1	Croácia
1	Índia
1	Japão
1	Países Baixos

Fonte: Autores



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Dentre as publicações encontradas neste portfólio, de acordo com a tabela 3, foi criado um mapa com a localização dos países que tiveram publicações a respeito do tema deste artigo e, posteriormente, um mapa com legenda de cada país publicado.

6. Conclusão

Conclui-se, a partir destes dados e através da análise bibliométrica feita neste portfólio, que países mais desenvolvidos, com maior poder econômico e com maior poder de mercado em proporções mundiais, têm um maior avanço tecnológico, em desenvolvimento e maiores resultados em publicações de pesquisas. Dentre eles se destacam a Suíça, E.U.A., Reino Unido e Alemanha, respectivamente, com maior número de publicações, como sendo os principais países que publicam acerca desses temas na esfera mundial.

Contudo, a respeito das temáticas EC e AM, países como Suíça, Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha, que tem um maior número de publicações sobre o tema, também são países que durante décadas, se mantiveram no topo do desenvolvimento tecnológico e econômico muito expressivo.

Estes fatores podem abrir uma oportunidade para pesquisadores questionarem e analisarem o que mais se pode contribuir para que países desenvolvidos, subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, possam colaborar em pesquisas nos diversos campos do conhecimento.

Além desta análise sobre a contribuição de pesquisas ao redor do mundo, também foi feita uma análise de dados a partir do presente portfólio, de que se pode constar que as discussões acerca dos temas Sustentabilidade, AM e EC estão aumentando e se tornando mais estudados, uma vez que temos um aumento expressivo no número de publicações no mundo a respeito desses temas, levando em consideração um aumento expressivo desde 2007, com uma publicação, até 2020, com 191 publicações, e até março de 2021, já com 37 publicações.

7. Referências

AL-HUSSEIN, M.; NIAZ M.A.; YU H.; KIM H. Integrating 3D visualization and simulation for tower crane operations on construction sites. *Automation in Construction*, Vol. 15, No. 5. p. 554-562.2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-780: standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6461: blocos cerâmicos para alvenaria: verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983a. NBR 7211: agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 1983b.

BARROS, M. M. B., Metodologia Para Implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas na Produção de Edifícios. São Paulo, 1996. 410 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BENEVOLO, Leonardo. História da arquitetura moderna. São Paulo: Perspectiva, 2001.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

BLEDZIK, A. K. *et al.* A Comparison of Compounding Process and Wood Type For Wood Fibre-pp Composites. *Composites Part A: applied Science and Manufacturing*, v. 36, p. 789-797, 2005.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; ANASTAS, P. T.; ZIMMERMAN, J. B. Applying the principles engineering of green cradle-to-cradle design. *Environmental Science and Technology*, p. 434-441. 2003.

EUROPEAN COMMISSION , Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *Towards a Circular Economy: a Zero Waste Programme for Europe*. p. 398. Bruxelas, 2014.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Towards the circular economy 1: economic and business rationale for an accelerated transition*. Cowes, 2012.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Cities in the Circular Economy: An Initial Exploration*. Cowes, 2017.

FISKEL, J. *Design for environment: a guide for sustainable product development* (2nd ed.). McGrawHill, New York, 2009.

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*. 2016.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; ARBOLEDA C.A.; LEE S.H.. Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs. *Journal of Computing in Civil Engineering*, p. 391–404. 2009.

HERMANN, U.R.; HENDI, A.; OLEARCZYK, J.; AL-HUSSEIN, M. An Integrated System to Select, Position, and Simulate Mobile Cranes for Complex Industrial Projects, *Construction Research Congress, Canadá*. p. 267–276. 2010.

ELKINGTON, John. *Triple bottom-line reporting: Looking for balance*. Australian CPA, v. 69, p. 18-21, 1999.

KIBERT, C.J. *Deconstruction: The start of a sustainable materials strategy for the built environment*. *Ind. Environ.* 26, 84–88, 2003.

LAVELLE, J. A. *Acrylic Latex-Modified Portland Cement*. *ACI Materials Journal*, Detroit, v. 6, n. 1, p. 41-48, jan/feb. 1988.

LAVOLA SUSTAINABILITY. *¿Estamos preparados para implementar la economía circular?* Barcelona, España. 2017.

MANSOOREH MOGHADAM, MOHAMED AL-HUSSEIN, SAAD AL-JIBOURI, and AVI TELYAS, *Canadian Journal of Civil Engineering* Volume 39, Number 9, September 2012

MBI (Modular Building Institute). 2015. *Introduction to commercial modular construction*. 1st ed. Bedford, VA: Bison Printing.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

MOHSEN, O.M., KNYTL, P.J., ABDULAAL, B., OLEARCZYK, J., and AL-HUSSEIN, M. 2008. Simulation of modular building construction, Winter Simulation Conference, Austin, TX, USA. pp. 2471–2478.

PINHEIRO, M. D. “Ambiente e Construção Sustentável”. Instituto do Ambiente. Amadora, 2006

RAPOPORT, A. Environmental Cognition in Cross-Cultural Perspective. In: MOORE, G. T.; GOLLEDGE, R. G. (Eds.). Environmental Knowing. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson and Ross, 1976. p. 220-234.

RASHID, A.F.A.; YUSOFF, S. A review of life cycle assessment method for building industry. *Renew. Sustain. Rev.* 2015, 45, 244–248

ROAF, S. “Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável”. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROCHA, F. M. D.; MELO, A. B.; SILVA, E. P.; Torres, S. M. Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social. *REVISTA ELETRÔNICA: AMBIENTE CONSTRUÍDO*, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 47-60, abr./jun. 2013.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W., “Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil”. In: SATTER, Miguel Aloysio; RUTTKAY, Fernando Oscar (Eds), *Construção e Meio Ambiente*. Porto Alegre, ANTAC, 2006, Coletânea Habitare, v7, cap.4, p.97.

TAGHADDOS, H., U. HERMANN, S. ABOURIZK, and Y. MOHAMED. 2014. “Simulation based multiagent approach for scheduling modular construction.” *J. Comput. Civ. Eng.* 28 (2): 263–274.

UNITED NATIONS. *The World’s Cities in 2018 - Data Booklet (ST/ESA/ SER.A/417)*; United Nations: New York, NY, USA, 2018; p. 34.

UNITED NATIONS. *UN World Population Prospects The 2017 Revision*; United Nations: New York, NY, USA, 2017; Volume 136.

WU, D., LIN, Y., WANG, X., GAO, S. 2011. Algorithm of crane selection for heavy lifts. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25(1): 57–65.

Y. GENG, B. DOBERSTEIN, Developing the circular economy in China: challenges and opportunities for achieving “leapfrog development”. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, 15 (2008), pp. 231-239.

FENG Zhijun, YAN Nai-ling, Putting a circular economy into practice in China *Sustain. Sci.*, 2 (2007), pp. 95-101.