



**VIII SINGEP**

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade  
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability  
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



## **INDICADORES DE ECONOMIA CIRCULAR PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL BASEADOS NA LITERATURA INTERNACIONAL**

*CIRCULAR ECONOMY INDICATORS FOR CIVIL CONSTRUCTION BASED ON  
INTERNATIONAL LITERATURE*

**JOSIVAN LEITE ALVES**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI-UFCA

**IGOR BERNARDINO BORGES**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI-UFCA

**JENIFFER DE NADAE**

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**SIMONE DE LARA TEIXEIRA UCHÔA FREITAS**

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Nota de esclarecimento:**

Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o VIII SINGEP e a 8ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **01, 02 e 03 de outubro de 2020**.

Agradecimento à órgão de fomento:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico.



**VIII SINGEP**

Simposio Internacional de Gestao de Projetos, Inovacao e Sustentabilidade  
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability  
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



## **INDICADORES DE ECONOMIA CIRCULAR PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL BASEADOS NA LITERATURA INTERNACIONAL**

### **Objetivo do estudo**

Analisar as produções científicas internacionais sobre os indicadores de Economia Circular na construção civil e listar os indicadores mais recorrentes.

### **Relevância/originalidade**

A pesquisa contribui para a comunidade acadêmica com uma lista de indicadores de EC para a construção civil e materiais de construção, fundamentados a partir de uma amostra de produções científicas obtidas em duas bases de dados distintas.

### **Metodologia/abordagem**

O método utilizado no estudo é bibliometria e análise de conteúdo, utilizando a Scopus e a Web of Science para a composição da amostra. Dessa forma, selecionou-se em títulos, resumos e palavras-chave: [performance OR indicator\* OR measure\* OR metric\* OR index\*] AND ["circular economy"] AND [building\* OR construction\*].

### **Principais resultados**

A distribuição das produções científicas ao longo dos anos é dispersa. Em termos de medidas de dispersão, a média de publicações foi aproximadamente 22 publicações/ano com desvio padrão de 29. Os trabalhos possuem devido o Fator de Impacto (FI) elevado dos periódicos. Em relação a co-ocorrência de palavras-chave têm-se que a amostra possui 4 clusters.

### **Contribuições teóricas/metodológicas**

A análise de conteúdo possibilitou a criação de uma lista de indicadores de EC para a construção civil e expor os materiais de construção circulares mais recorrentes na amostra.

### **Contribuições sociais/para a gestão**

Os indicadores de EC na construção civil podem ser agrupados em duas categorias: indicadores de desempenho e indicadores de resistência. Ficou evidente, também, que o governo tem papel fundamental no que tange a implementação de uma Economia Circular ao propor políticas públicas e intermediários legislativos, tanto em nível regional quanto a nível nacional.

**Palavras-chave:** Economia Circular, Construção civil, Indicadores, Revisão da literatura



**VIII SINGEP**

Simposio Internacional de Gestao de Projetos, Inovacao e Sustentabilidade  
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability  
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



## *CIRCULAR ECONOMY INDICATORS FOR CIVIL CONSTRUCTION BASED ON INTERNATIONAL LITERATURE*

### **Study purpose**

Analyze the international scientific productions on the Circular Economy indicators in the civil construction and list the most recurrent indicators.

### **Relevance / originality**

The research contributes to the academic community with a list of EC indicators for civil construction and construction materials, based on a sample of scientific productions obtained from two different databases.

### **Methodology / approach**

The method used in the study is bibliometrics and content analysis, using Scopus and Web of Science for the sample composition. Thus, titles, abstracts and keywords were selected: [performance OR indicator \* OR measure \* OR metric \* OR index \*] AND ["circular economy"] AND [building \* OR construction \*].

### **Main results**

The distribution of scientific productions over the years is dispersed. In terms of dispersion measures, the average number of publications was approximately 22 publications / year with a standard deviation of 29. The papers have due to the high Impact Factor (FI) of the journals. Regarding the co-occurrence of keywords, the sample has 4 clusters.

### **Theoretical / methodological contributions**

The content analysis made it possible to create a list of EC indicators for civil construction and to expose the most recurrent circular construction materials in the sample.

### **Social / management contributions**

CE indicators in civil construction can be grouped into two categories: performance indicators and resistance indicators. It was also evident that the government has a fundamental role regarding the implementation of a Circular Economy when proposing public policies and legislative intermediaries, both at regional and national levels.

**Keywords:** Circular Economy, Civil construction, Indicators, Literature review



### 1 Introdução

O crescimento econômico e o aumento da população pressionam extensivamente o meio ambiente e os reservatórios de recursos disponíveis, devido ao aumento da demanda pela construção ou melhoramento da infraestrutura urbana. Dessa forma, a indústria da construção civil é responsável por 40% do consumo de energia, 30% da emissão de gases de efeito estufa, 30% do consumo de matérias-primas e 25% da produção de resíduos sólidos em todo o mundo. Esse cenário faz com que o setor necessite compreender o consumo de recursos no ciclo de vida das edificações e dos impactos ambientais incorporados a elas, com a finalidade utilizar as oportunidades de eficiência de recursos e buscar melhores soluções de projeto (Ronholt *et al.*, 2019).

Nessa perspectiva, com o objetivo de gerenciar recursos naturais e reduzir externalidades negativas ao consumo, a Economia Circular (EC) destaca-se como um modelo que visa atingir metas de desenvolvimento sustentável, preservando o capital natural e gerando valor econômico (Rahla *et al.*, 2019). Tal valor deriva da manutenção da integridade de um produto em um nível elevado (durabilidade técnica e econômica), do uso prolongado (repetitivo), do uso sequenciado em cadeias de valor adjacentes e da criação de matéria-prima pura e de alta qualidade (evitando contaminação e toxicidade) (Ajayabi *et al.*, 2019).

Dessa maneira, a indústria da construção civil possui potencial na aplicação da EC ao coordenar os principais atores e atividades do setor, na construção, no planejamento, na demolição, remanufatura de alto valor e circulação dos produtos no mercado (Ajayabi *et al.*, 2019). Como EC é uma modelo que evita impactos negativos da atividade econômica que levam ao desperdício de recursos valiosos que causam danos à saúde humana e aos sistemas naturais, a fase de planejamento do projeto desempenha papel fundamental pois possibilita a garantia de que os produtos e materiais sejam fabricados desde o início para serem mantidos em uso e/ou regenerar sistemas naturais (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

Portanto, a avaliação da EC desempenha um papel fundamental em informar as diferentes partes sobre o progresso e o desenvolvimento do conceito na indústria da construção civil, além de facilitar a transição ao expor falhas que devem ser solucionadas (Rahla *et al.*, 2019). Além disso, os indicadores são ferramentas que expõem informações, quantificando, medindo ou comunicando dados, de forma a tornar um determinado fenômeno compreensível e mensurável (Moldan *et al.*, 1997). Com relação a indicadores de EC, Barros, (2019) acrescenta que é necessário que a ferramentas de mensuração de circularidade, tanto de energia quando de materiais (entrada e saídas) sendo observados os respectivos os níveis para a utilização.

Os níveis podem se enquadrar nos aspectos micro (uma organização), meso (mais de uma organização), macro (uma rede de organizações). As métricas de circularidade são úteis para avaliar empiricamente os efeitos de uma economia circular em termos de lucratividade, criação de empregos e impactos ambientais (Linder *et al.*, 2017).

Assim, o objetivo dessa pesquisa é analisar as produções científicas internacionais sobre os indicadores de Economia Circular na construção civil e listar os indicadores mais recorrentes da amostra, através de parâmetros bibliométricos e análise de conteúdo. As bases de dados para a composição da amostra foram a *Scopus* e a *Web of Science* se que as buscas foram realizadas na primeira semana de janeiro de 2020. Dessa forma, as bases selecionaram em títulos, resumos e palavras-chave, as produções científicas que contém os termos: [performance OR indicator\* OR measure\* OR metric\* OR index\*] AND ["circular economy"] AND [building\* OR construction\*]. Limitou-se aos idiomas inglês e espanhol.



## 2 Referencial Teórico

Geralmente, discutem-se dois modelos de economia, um linear e outro circular. A economia linear ignora os impactos ambientais que acompanham o consumo de recursos e a disposição de resíduos e resulta em elevada extração, poluição e desperdício de recursos naturais. Já a EC considera o impacto do consumo de recursos e desperdícios no meio ambiente, criando um modelo de circularidade para os recursos no sistema de produção e consumo (Sauvé *et al.*, 2016). A Economia Circular é um modelo econômico em que o planejamento, recursos, compras, produção e reprocessamento são projetados e gerenciados, tanto como processo quanto como resultado, para maximizar o funcionamento do ecossistema e o bem-estar humano (Murray *et al.*, 2017). Visa dissociar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos e construir capital econômico, natural e social. Apoiado por uma transição para fontes de energia renováveis e pelo aumento do uso de materiais renováveis (Ellen MacArthur Foundation, 2019)

A EC não é apenas uma abordagem para o gerenciamento de resíduos, pois isso seria limitado, podendo levar à falha da EC uma vez que algumas opções de reciclagem, reutilização ou recuperação podem não ser apropriadas em um determinado contexto. Ou seja, a EC promove a interação entre o processo, o ambiente e a economia na qual está inserida, de modo que a regeneração não é apenas uma recuperação material ou energética, mas sim uma melhoria de todo o modelo de vida e economia. Tem potencial de compreender e implementar padrões novos e auxiliar a sociedade a alcançar maior sustentabilidade e bem-estar com baixos ou nenhuma matéria-prima, energia e custos ambientais (Ghisellini *et al.*, 2016). Além disso, envolve redes interativas de produção e existe uma difusão de responsabilidades em toda a essa cadeia, com o produtor e o consumidor não permanecendo eticamente neutros (Murray *et al.*, 2017).

De acordo com as informações da Ellen MacArthur Foundation (2018) o governo da China é pioneiro em políticas de Economia Circular, com foco no enfrentamento da poluição, promoção da eficiência de recursos e ecologia industrial. Com base nesses esforços, em 2017 o governo introduziu um novo conjunto de políticas, centrado em conceitos como redesenho de produtos e economia compartilhada, que destacam as oportunidades de inovação e criação de valor de uma abordagem da EC - principalmente para as cidades.

No contexto da construção civil, a Ellen MacArthur Foundation (2016) expõe que o concreto é o material mais utilizado na indústria e é composto basicamente por agregados graúdos e miúdos, areia, água e cimento. Ainda alerta que o cimento, o principal elemento de ligação do concreto, gera grandes quantidades de CO<sub>2</sub> durante sua produção. E sugere as que cinzas volantes, um subproduto do processo de combustão do carvão usado na geração de eletricidade, substitua parcialmente o cimento no concreto, promovendo assim a circularidade e sustentabilidade de ambos os produtos. Outro exemplo para a promoção da circularidade de materiais em edificações é o uso de tijolos modulares, combinada com a montagem no local, pois reduz os custos de construção, o tempo de conclusão e o desperdício. A modularização também pode contribuir para reduzir os custos operacionais e de manutenção no estágio final de um edifício, pois todos os seus componentes podem ser facilmente desmontados e/ou substituídos (Ellen MacArthur Foundation, 2018).

Dessa forma, indicadores são valiosos para gerenciar o desenvolvimento ambiental e fornece diretrizes para melhorar as políticas de EC. Mecanismos de planejamento e gerenciamento, portanto, são necessários no auxílio à pesquisa sobre indicadores de desempenho, ao integrar os resultados entre os pesquisadores e a aplicação no contexto prático (Geng *et al.*, 2013). Os indicadores devem ser simples e intuitivos para facilitar mensuração do progresso rumo às metas definidas entre as partes interessadas, bem como



avaliar o impacto ambiental e econômico resultante da fabricação ou do uso de um produto (Di Maio *et al.*, 2017).

Em termos de mensuração do modelo circular, a sua avaliação ainda é escassa e inexistente uma padronização mundialmente utilizada de um método sistemático para mensurar a economia circular de produtos (Barros, 2019). Linder et al. (2017) propõem que a circularidade dos materiais pode ser calculada para todos os fornecedores da cadeia de valor, incluindo fornecedores de componentes, fabricantes de equipamentos originais e varejistas. Portanto, os atores a jusante devem conhecer os valores de circularidade dos atores a montante para calcular a circularidade de seu próprio produto. Ou seja, não há incentivo para calcular a circularidade apenas para uma parte pequena e otimizada da cadeia de valor.

Outro aspecto relevante a ser considerado são as semelhanças entre os conceitos de EC e sustentabilidade, uma vez que ambos empregam abordagens multidisciplinares e concluem que o projeto e as inovações do sistema são os principais fatores para alcançar seus objetivos (Geissdoerfer *et al.*, 2017). A sustentabilidade visa beneficiar o meio ambiente, a economia e a sociedade em geral, definido pelo *Tiple Bottom Line* (Elkington, 1997), enquanto na EC as partes interessadas se beneficiam economicamente, há uma redução no consumo de recursos naturais e poluição, e a sociedade se beneficia das melhorias ambientais, e da geração de emprego e renda (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Ou seja, a EC auxilia na promoção da sustentabilidade.

Por fim, a eficiência dos recursos está diretamente relacionada ao desempenho ambiental do ciclo de vida das construções. Os projetistas devem avaliar o desempenho ambiental de seus projetos, juntamente com outros critérios de segurança e economia, principalmente nos estágios iniciais do processo de projeto, com objetivo de buscar melhorias no consumo de matérias-primas e produção de resíduos (Gervasio, 2019).

### 3 Metodologia

A metodologia utilizada para esse estudo foi a bibliometria seguida de uma análise de conteúdo. O termo bibliometria é explicado por Macias-Chapula, (1998) estudo dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação registra. Já Wormell, (1998) define como “uma variedade de regularidades tomadas de diferentes campos, exibindo uma variedade de formas”. Para Guedes e Borschiver (2005) bibliometria é um conjunto de leis e princípios empíricos que contribuem para estabelecer os fundamentos teóricos da Ciência da Informação.

As bases de dados para a composição da amostra foram a *Scopus* e a *Web of Science*. As buscas em tais bases foram feitas na primeira semana de janeiro de 2020, o que possibilitou conhecer o estado da arte até o ano de 2019, mas não foram excluídos da amostra os trabalhos indexados em 2020. Dessa forma, as bases selecionaram em títulos, resumos e palavras-chave, as produções científicas que contém os termos: [*performance OR indicator\* OR measure\* OR metric\* OR index\**] AND [*"circular economy"*] AND [*building\* OR construction\**]. Limitou-se aos idiomas inglês e espanhol, as amostras disponibilizadas pelas bases foram analisadas excluindo as duplicações e por fim quantificou-se a amostragem final, assim como mostra o Tabela 1.

Tabela 1: Composição da amostra

	Qtde. Scopus	Qtde. Web of Science
1- Amostras iniciais	278	222
2- Inglês e espanhol	258	217
3- Não duplicados	112	76



4- Duplicados	146
5- Amostra final	334

Fonte: Autores (2020).

Tendo o conjunto de dados distribuıdos por anos e por autores, calculou-se a variância da amostra, que é uma medida de dispersão que expõe o quão distante cada valor desse conjunto está da média total. Dessa forma, quanto menor é a variância, mais próximos os valores estão da média. A variância é dada na Equação (1). O desvio padrão também foi calculado que nada mais é que a raiz quadrada da variância.

$$(1) \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{Xi - \bar{X}}{n - 1}$$

A partir da distribuição da amostra por autoria, foi possível verificar a Lei de Lokta: Conhecida como Lei do quadrado inverso, que expõe a quantidade da produtividade dos pesquisadores, por meio de modelos distribuıdos em tamanho e frequência, dos vários pesquisadores em um conjunto de publicações, conforme mostra a Equação (2). Onde  $\alpha n$  é número de autores que publicam um n-artigos;  $\alpha 1$  é o número de autores que publicam um único artigo e n é o número de artigos (Lokta, 1926).

$$(2) \alpha n = \alpha 1 * \left(\frac{1}{n^2}\right)$$

A partir de cada indicador bibliométrico analisou-se as pesquisas mais relevantes da amostra buscando as suas principais contribuições sobre a EC na construção civil e verificando se os autores listavam indicadores. Para a construção das redes de correlações usou-se o software livre *VOSviewer* para que fosse possível analisar os *clusters* das palavras-chave e co-citação de autores. Os resultados estão organizados de maneira que seja possível conhecer as principais contribuições dos trabalhos da amostra, os eixos temáticos mais frequentes, os 3 periódicos com mais trabalhos, as principais referências no assunto através de rede de co-citação de autores, a rede de co-ocorrência de palavras-chave e conhecer quais os materiais de construção possuem elevado potencial de incorporação na EC. Por fim, foi feita uma análise de conteúdo para a criação de uma lista de indicadores de EC para a construção civil e exposto os materiais de construção circulares mais recorrentes na amostra.

## 4 Análise dos resultados

### 4.1 Indicadores bibliométricos

A distribuição das produções científicas ao longo dos anos é bastante dispersa e apenas em 2017 a quantidade de publicações ultrapassa a média e o continua crescente até 2019. É válido ressaltar que a busca foi realizada no início de 2020 e por isso há um decréscimo. Em termos de medidas de dispersão, a média de publicações foi aproximadamente 22 publicações/ano, enquanto a variância foi igual a 860 e o desvio padrão de 29 publicações, o que comprova a grande dispersão dos dados. A Figura 1 mostra a distribuição das produções científicas por ano.

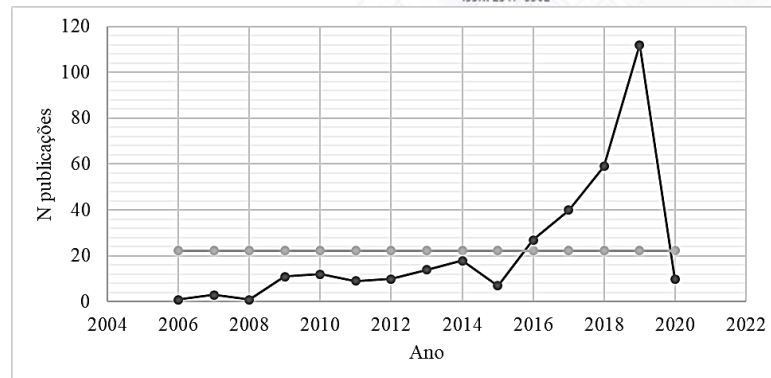


Figura 1. Distribuição das produções científicas por ano.  
Fonte: Autores (2020).

Pela análise da produtividade por autor, observou-se uma média de 1,21 trabalhos, com desvio padrão de 0,60, sendo que a amostra possui 608 autores onde: 85,03% produziram apenas um documento; 10,53% tiveram duas produções; 3,45% produziram 3 documentos; 0,66% produziram 4 documentos; 0,16% produziram 5; e por fim 0,16% produziu 7. Em comparação com o padrão da Lei de Lokta de 60,8%, a produtividade desses autores excedeu em 24,23 pontos percentuais, atendendo os pressupostos dessa lei em que a maioria dos autores publica somente um artigo e poucos autores com produções mais importantes. Além disso, a partir de sua formulação, pode-se visualizar tal distribuição na Figura 2.

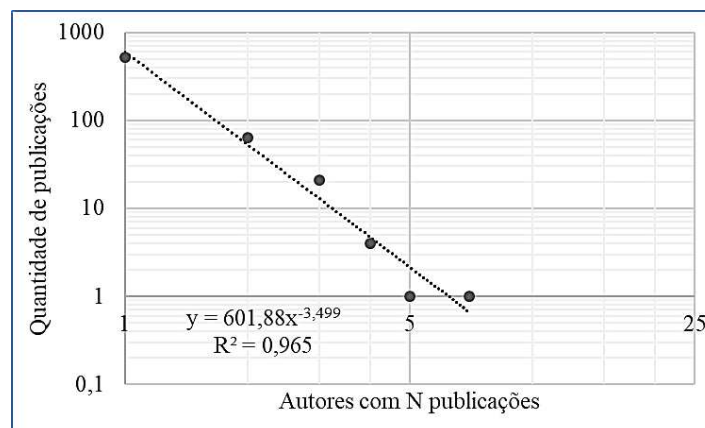


Figura 2. Distribuição de Lokta  
Fonte: Autores (2020).

Yong Geng é o autor que possui mais publicações na amostra dessa pesquisa, totalizando 7 produções. Os trabalhos do autor apresentam o desenvolvimento da EC na China, descrevendo as medidas implementadas no país, incluindo a formulação de objetivos, legislação, políticas e medidas através de estudos de caso. Não tratam de uma abordagem única em relação as dimensões do TBL da sustentabilidade. Analisa a EC sob as perspectivas ambientais, sociais e econômicas. Os artigos ainda identificam uma série de barreiras e desafios para a implementação do conceito na China e enfatizam o papel do governo de dos *stackholders* no fornecimento de apoio financeiro, estipulando políticas apropriadas e conduzindo programas de capacitação.

Com 5 produções na amostra selecionada, os estudos de Lan Wang são uma sequência de testes em laboratório para analisar a incorporação de pó de borracha e pneus triturados na melhoria das propriedades dos asfaltos. Dentre os principais resultados identificaram a diminuição de trincas no pavimento. Tais estudos foram apresentados em conferências





voltadas para profissionais da Engenharia Civil, com foco em materiais de construção e pavimentação. E, por fim, justificam que a aplicação de pneus abandonados na construção de estradas é significativa na proteção do meio ambiente, reduzindo a poluição e desenvolvendo a EC na China. Com relação as dimensões do TBL, as pesquisas tratam principalmente da dimensão ambiental.

Em sequência, a amostra possui três autores com quatro publicações cada um. São eles: Miao Guo que aborda o tratamento de águas residuárias por métodos alternativos e uso de biopolímeros; Lukumon Oyedele que desenvolve análises da cadeia de suprimentos e dos resíduos sólidos gerados na construção e demolição de edificações a partir da tecnologia Building Information Modeling (BIM) sob a ótica da EC; e Martin Tenpierik explora as práticas circulares em residências multifamiliares sob a perspectiva dos usuários. Ademais, buscou-se conhecer as três produções científicas mais citadas nas bases utilizadas nesse estudo, assim como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Produções Científicas mais citadas nas bases

Título	Ano	Autoria	Citações
Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development	2008	(Y. Geng & Doberstein, 2008)	Scopus: 226 Web of Science: 185
Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use	2017	(Fridolin <i>et al.</i> )	Web of Science: 80
Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China	2015	(Yu <i>et al.</i> , 2015)	Scopus: 66

Fonte: Autores (2020).

A pesquisa de Geng e Doberstein (2008) descreve medidas adotadas na China para a implementação, a longo prazo, de uma Economia Circular. Não aborda métricas ou indicadores de EC, mas trata de assuntos pertinentes para sua implementação em escala industrial com incentivos governamentais. Sugerem que a EC é implementada em três fases: a nível micro através de um conjunto de iniciativas corporativas; a nível meso onde envolve aspectos interempresariais; e por fim, nível macro, onde aborda aspectos sociais tais como desenvolvimento de eco-cidades e eco-províncias. Ainda identificaram barreiras na implementação de EC na China: política, tecnologia e participação do público. Por fim, propõem os seguintes objetivos para implementar EC:

- Buscar modelos de desenvolvimento adequados para o mundo corporativo;
- Identificar as principais tecnologias para promover a EC e os principais campos de investimento;
- Estudar possíveis ligações entre indústrias relevantes para a construção de uma rede de interações industriais;
- Estabelecer indicadores para avaliar a ecoeficiência corporativa; e
- Preparar políticas apropriadas para incentivar a redução, reutilização e reciclagem.

Fridolin *et al.* (2017) realizam uma pesquisa que quantifica o desenvolvimento de estoques e indicadores de fluxo, com a finalidade de desenvolver estratégias para uma Economia Circular e reduções no uso de material e energia. Identificaram que areia e brita são os materiais primários mais estocados e com grande potencial participação na EC, usados basicamente em concreto e asfalto ou em fundações e camadas de base. Como indicadores de EC e sua relação com a estocagem de materiais, usaram entradas e saídas de materiais e sua relação com o crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO<sub>2</sub>, geração de



resíduos sólidos e disponibilidade de materiais para reciclagem em termos de quantidade, qualidade e tempo.

Yu, Han e Cui (2015) possuem o foco de seu estudo na análise da associação industrial e a construção de parques eco-industriais na China, usando o Parque Eco-Industrial de Demonstração Nacional. O foco principal do estudo também não é relacionado a indicadores de EC. Centra-se no estudo de quais materiais e fatores influenciam e são mais frequentes nas práticas de EC do estudo de caso. Assim, identificam que a associação de empresas para o reuso de água e energia de forma sustentável é a menor, devido altos custos de investimento. Outros aspectos como padrão ambiental mais rigoroso, preferência tributária, benefícios da substituição de material e subsídios financeiros são os fatores econômicos críticos para que os stakeholders se interessem ou não por uma EC.

No que se refere aos 3 periódicos com a maior quantidade de trabalhos dentro da amostra, observou-se que os trabalhos possuem uma grande relevância na comunidade científica devidos ao Fator de Impacto (FI), conforme mostra a Tabela 3. FI é um parâmetro bibliométrico que mensura a relevância de periódicos científicos, assim quanto maior o FI, maior será a qualidade dos trabalhos publicados.

Tabela 3: Periódicos da amostra

Jornal	Qtde.	FI	Abordagem
Journal Of Cleaner Production	43	6,395	Questões ambientais e de sustentabilidade em empresas, governos, instituições de ensino, regiões e sociedades.
Iop Conference Series Earth And Environmental Science	19	-	-
Resources Conservation And Recycling	16	7,044	Gerenciamento sustentável e a conservação de recursos

Fonte: Autores (2020).

A maioria dos estudos do *Journal of Cleaner Production* possuem metodologias quantitativas, onde usam dados de indústrias para quantificar a produção, consumo e coleta de resíduos. Deixam subentendido que os consumidores, bem como seus estilos de vida, são os principais agentes na inserção, bem como aceitação de uma EC, mas que o governo é o principal agente intermediador para o fomento da aplicação de fundamentos da EC. Tal afirmação é comprovada devidos aos estudos feitos na China, sob a perspectiva da EC após a aplicação de políticas públicas e incentivos governamentais. Outros trabalhos abordam o uso de ferramentas aplicadas às organizações na análise estratégica e na estruturação de processos complexos de tomada de decisão, a fim de identificar potenciais de otimização dos resíduos em seus processos de produção. As principais indústrias pesquisadas são da construção civil, produção de energia, telefonia e produção alimentícia.

*Iop Conference Series Earth and Environmental Science* possui 17 produções publicadas em 2019, sendo uma em 2017 e uma em 2018. Todos os trabalhos abordam temáticas de aplicação, mensuração ou avaliação da EC na construção de edifícios ou obras hidráulicas. Alguns trabalhos abordam uma revisão crítica de indicadores de resíduos de construção e demolição e como a EC pode reduzir as barreiras financeiras para a reutilização de materiais.

O periódico *Resources Conservation and Recycling* possui estudos voltados para a avaliação de custos e benefícios ambientais relacionados a EC. Alguns dos seus trabalhos expõem a importância da cooperação industrial a partir do conhecimento da cadeia de produtiva, como forma de gerar melhores práticas vinculadas ao gerenciamento de resíduos da construção civil. Os estudos possuem, também, temáticas relacionadas a geração de resíduos,



os impactos no transporte, a reutilização e a reciclagem, e o controle de qualidade dos materiais secundários.

Em relação a co-ocorrência de palavras-chave têm-se que a amostra possui 4 *clusters* bem definidos ao se aplicar como critério limitante um número mínimo de pelo menos 15 ocorrência de cada termo, conforme mostra a Figura 3.

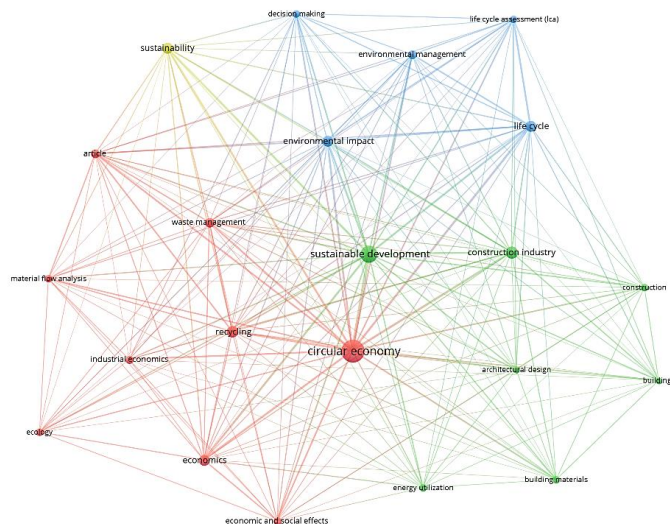


Figura 3. Co-ocorrência de palavras-chave  
Fonte: Autores (2020).

Com maior ocorrência têm-se as palavras *circular economy* e *sustainable development*, o que faz com que todos os clusters sejam interligados a elas. Mesmo cada um possuindo algumas particularidades, os termos denotam que a Economia Circular em projetos da construção civil possui grande dependência com o gerenciamento de projeto e o ciclo de vida dos materiais. Além disso, como trata-se de materiais de construção, o *cluster* em vermelho aglomera os termos usados pelas produções que utilizaram parâmetros de segurança, resistência e durabilidade, através de ensaios em laboratório, para comprovar a circularidade dos produtos sem comprometer a estabilidade estrutural da edificação ou o desempenho econômico. A co-citação de autores entre os artigos da amostra está representada na Figura 4.

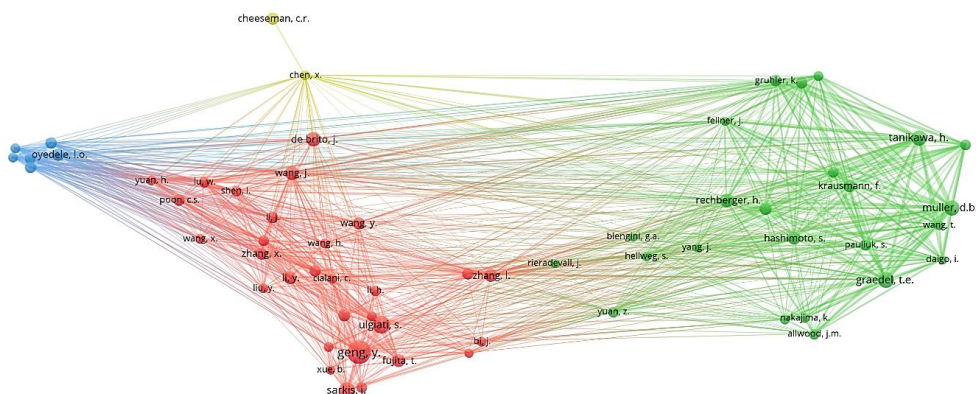


Figura 4. Co-citação de autores  
Fonte: Autores (2020).

O *cluster* em vermelho tem como destaque o autor Y. Geng. Os trabalhos desse cluster se referem a estudos de caso realizados na China e possuem como tema a apresentação do desenvolvimento do modelo de EC e a situação atual da prática de Economia Circular no país.



A exemplo tem-se: um estudo de caso em Xangai relacionados a importância do tempo humano e o uso de terra em uma mega cidade; o desenvolvimento de uma análise integrada dos fluxos de materiais; um modelo de avaliação de emergências para investigar os benefícios ambientais e ecológicos da implementação da simbiose industrial urbana em uma cidade industrial típica da China; e métodos aplicados em uma província chinesa que, apesar de possuir grande biodiversidade e recursos, enfrenta desafios relacionados a seu rápido desenvolvimento.

O autor L. O. Oyedele se destaca no cluster azul. Os trabalhos do autor, bem como os demais presentes no cluster, têm como ponto em comum a utilização de *softwares* para analisar aspectos construtivos, como os resíduos nas cadeias de suprimentos da construção, a avaliação de desempenho em fim de vida de edifícios desde a fase de projetos e um avaliador de desempenho de recuperação de componentes estruturais de edifícios desde o estágio de projeto.

T. E. Graedel possui dois trabalhos na amostra, se destacando no *cluster* verde, e possui artigos que tem como tema a sustentabilidade no fluxo de materiais na cadeia de suprimentos. No *cluster* amarelo, X. Chen é o autor mais citado e seu estudo combina a contabilidade de custos de fluxo de material (MFCA) com o princípio de uma EC de uma indústria manufatureira gerando um MFCA modificado para um empreendimento de ferro ou aço.

#### 4.2 Análise de conteúdo

Autores como (Mondéjar-Jiménez *et al.*, 2016) alertam que o desperdício de energia e a geração de resíduos está crescendo mais rápido que a reciclagem de materiais, o que impede o desenvolvimento de uma EC. Além disso as políticas implementadas abordam apenas a eficiência do uso, mas não mencionam formas de reduzir a demanda por recursos. Dessa forma, uma das formas de diminuir o desperdício seria adoção da economia compartilhada fomentando a circularidade dos produtos. Já (Maerckx *et al.*, 2019) enfatizam que é necessária uma estreita comunicação entre os projetistas e clientes no planejamento de edifícios ao se aplicar o modelo de EC, afim de evitar custos desnecessários e superdimensionamento.

Do ponto de vista da EC Castro e Pasanen (2019) afirmam que os projetistas podem se concentrar em três áreas principais para minimizar os impactos incorporados nas edificações, sendo elas: flexibilidade do projeto, eficiência no uso de recursos e uso de materiais com baixo teor de carbono e / ou conteúdo reciclado.

Em relação aos materiais reincorporados na cadeia produtiva da construção civil por meio de um modelo de economia identificou-se:

A viabilidade do uso de concreto 35MPa e armaduras de aço recicláveis em pilares (Eberhardt *et al.*, 2019); o uso de fibras de celulose providas de águas residuais em argamassas a base de cal com comprovada melhoria do desempenho das argamassas em termos de aumento da luminosidade, resistência à flexão e propriedades higrométricas (Cipolletta *et al.*, 2019);

O Asfalto modificado com borracha, usando como indicadores o ponto de amolecimento, a ductilidade, viscosidade rotativa do asfalto e resultados do teste de penetração no asfalto (L. Wang *et al.*, 2010).

O uso de cinzas volantes de biomassa e um efluente alcalino, ambos gerados pela indústria de celulose, na preparação de ligantes e argamassas geopoliméricas para aplicações em construção. Concluindo que é possível a reinserção de tais materiais na cadeia produtiva e como indicadores de eficiência utilizaram parâmetros normatizados de resistência mecânica e durabilidade (Saeli *et al.*, 2019)



O uso de elementos de aço recuperados de postes, através da comparação dos impactos ambientais, mostrou que a estrutura do telhado estudada, consumiu menos energia e carbono do que um sistema equivalente feito de somente de aço reciclado (Brütting *et al.*, 2019). E por fim, materiais como aço, tijolos de alvenaria, concreto e misturas asfálticas são os materiais mais frequentes e com comprovado desempenho quando produzidos ou melhorados a partir de resíduos e não somente de matérias-primas.

Mesmo assim, ainda existem barreiras técnicas, legislativas e de mercado que estão inter-relacionadas na implementação de um modelo circular, são elas: 1) Um mercado não desenvolvido devido à falta de incentivos econômicos, 2) Falta de informações sobre os materiais de construção usados e 3) Legislação inadequada que não está adaptada à venda e uso de materiais de construção. (Sigrid Nordby, 2019).

Como principais eixos temáticos da amostra, tem-se uma variedade, pois partes dos autores propõem metodologias práticas para comprovação da eficiência de algum produto, outros propõem análises teóricas a respeito da geração local ou mundial de resíduos sólidos enquanto outros abordam a problemática das mudanças climáticas apontando a EC como forma de se alcançar um desenvolvimento sustentável. Quadro 1, mostra um panorama geral dos principais eixos temáticos identificados e seus respectivos autores.

Quadro 1: Exemplos de principais temáticas abordadas pela amostra da pesquisa

<b>Temas abordados</b>	<b>Autoria</b>
Melhorias na produtividade de recursos, eco-eficiência e energias renováveis	(Y. Geng & Doberstein, 2008);(Cooper <i>et al.</i> , 2017); (Ferella <i>et al.</i> , 2019); (Santos <i>et al.</i> , 2019)
Inovação e Economia Circular	(Saeli <i>et al.</i> , 2019) Fridolin et al (2017); (Eberhardt <i>et al.</i> , 2019);(Ajayabi <i>et al.</i> , 2019)
Produção de resíduos urbanos, tratando a EC como modelo progressista no desenvolvimento sustentável	(Kalmykova <i>et al.</i> , 2016); (Mondéjar-Jiménez <i>et al.</i> , 2016)
Economia circular na construção civil e aplicação de produtos sustentáveis do ponto de vista da EC	(Ghisellini <i>et al.</i> , 2018); (Gopinath <i>et al.</i> , 2018); (Ueda <i>et al.</i> , 2019);(Heisel & Rau-Oberhuber, 2020); (Gervasio, 2019); (Eberhardt <i>et al.</i> , 2019); (Munaro <i>et al.</i> , 2019)
Proposição de políticas públicas rumo a Economia Circular	(Santos <i>et al.</i> , 2019); (X. J. Wang <i>et al.</i> , 2011); (Yang & Tong, 2012)
Integração Regional e Economia Circular	(Karhu & Linkola, 2019); (H. Wang, 2012); (J. Wang & Wu, 2012); (He <i>et al.</i> , 2006)
Economia circular e a geração de resíduos	(Castro & Pasanen, 2019); (Qiu <i>et al.</i> , 2012); (Dali & Jianli, 2012)

Fonte: Autores (2020).

Buscou-se conhecer os indicadores mais recorrentes na amostra. Rahla et al. (2019) propõem avaliar a EC através seis dimensões em edifícios circulares são elas: ambiental, tecnológico, econômico, social, governamental e comportamental. Enquanto Maerckx et al. (2019) alerta que a aplicação de indicadores de EC na construção civil depende principalmente das particularidades de cada projeto (localização, tipo de trabalho, expectativas do cliente etc.). Além disso, elencaram alguns indicadores relacionados ao gerenciamento de recursos humanos e materiais, como mostra a Quadro 2.

Quadro 2: Indicadores relacionados ao gerenciamento de recursos humanos e materiais

<b>Indicadores</b>	<b>Descrição</b>
<b>Gestão dos recursos humanos</b>	
Gerenciamento de equipe integrado	Reunindo as partes interessadas desde o início do



	projeto
Mão de obra local	Proveniente da própria região
Treinamento da mão de obra	Desenvolver o conhecimento e o know-how dos trabalhadores
Colaborações/parcerias	Promover a colaboração e parcerias entre empresas para manter a circularidade dos produtos
Setor de economia social	Integrar empresas com um objetivo social no processo
<b>Gerenciamento de recursos materiais</b>	
Preservação de edifícios existentes	Reforma das edificações já existentes
Projeto de reforma e demolição	Projetar edifícios adaptáveis e reversíveis para prolongar sua vida útil e permitir a reutilização de seus componentes
Reuso	Reinserção de resíduos na cadeia produtiva
Gerenciamento de resíduos de construção e demolição	Diminuir o impacto e a quantidade de resíduos na construção ou demolição do edifício

Fonte: Maerckx *et al.* (2019, p. 3)

Por último, identificou-se os indicadores de EC para a construção civil mais recorrentes na amostra desse estudo, sob os quais estão dispostos na Quadro 3. Tendo em vista que a EC auxilia na promoção da sustentabilidade, buscou-se agrupar tais indicadores de acordo com o *Triple Bottom Line* definido por Elkington (1997).

Quadro 3: Indicadores de Economia Circular para construção civil

Indicador	Autoria	Dimensão do TBL
Minimização da geração de resíduos sólidos	(Akanbi <i>et al.</i> , 2019); (Liang <i>et al.</i> , 2018); (Zhou <i>et al.</i> , 2017)	Ambiental
Projeto para previsão de possível desconstrução	(Akanbi <i>et al.</i> , 2019); (Chen <i>et al.</i> , 2017); (Heisel & Rau-Oberhuber, 2020)	Econômico e ambiental
Uso de materiais pré-fabricados e projeto de ciclo de vida do empreendimento	(Akanbi <i>et al.</i> , 2019); (Heisel & Rau-Oberhuber, 2020); (Castro & Pasanen, 2019); (Karhu & Linkola, 2019)	Econômico e ambiental
Consumo de energia, Eficiência dos materiais	(Canals Casals <i>et al.</i> , 2019); (Chen <i>et al.</i> , 2017); (Cooper <i>et al.</i> , 2017); (Gopinath <i>et al.</i> , 2018); (Liang <i>et al.</i> , 2018); (Zhao <i>et al.</i> , 2010)	Econômico
Produção limpa	(Chen <i>et al.</i> , 2017)	
Emissão de CO2	(Chen <i>et al.</i> , 2017); (Gopinath <i>et al.</i> , 2018); (Heisel & Rau-Oberhuber, 2020)	Ambiental
Extração e dissipação de energia, Redução do uso de matérias primas	(Cooper <i>et al.</i> , 2017)	Ambiental e econômico
Aumento da vida útil de materiais, Reciclagem de resíduos	(Cooper <i>et al.</i> , 2017); (Munaro <i>et al.</i> , 2019)	Ambiental e econômico
Reciclagem de águas residuárias	(Liang <i>et al.</i> , 2018); (Zhao <i>et al.</i> , 2010); (Sun & Tang, 2010);	TBL
Saúde e segurança dos usuários	(Santos <i>et al.</i> , 2019); (Munaro <i>et al.</i> , 2019)	Social
Responsabilidade de fim de vida dos materiais, relações com fornecedores	(Santos <i>et al.</i> , 2019)	Social
Inovação tecnológica	(Zhou <i>et al.</i> , 2017)	TBL
Instrumentos políticos e a legislação	(Karhu & Linkola, 2019)	TBL
Produtividade e salário dos colaboradores	(Sun & Tang, 2010);	Econômico
Custos logísticos, custos de	(Xu, 2009)	Econômico



tratamento, marketing, taxa de fluxo de caixa da cadeia de suprimentos		
--	--	--

Fonte: Autores (2020).

Além desses indicadores listados no Quadro 3, é válido ressaltar que os pesquisadores devem levar em consideração os parâmetros normativos de cada país para a aplicação dos requisitos de resistência, segurança e durabilidade nos materiais de construção do modelo circular. No Brasil tem-se as Normas Técnicas Brasileiras e para análises relacionadas a materiais para a infraestrutura rodoviária tem-se as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Após a análise dos indicadores propostos, pode-se desenvolver os fluxograma disposto na Figura 5. Nele, pode observar, de modo geral, as etapas a serem cumpridas para classificação dos resíduos, aplicação de indicadores de EC e avaliação de desempenho dos materiais de construção. Ainda sobre a Figura 5, é mostrada a importância da participação do governo no incentivo em pesquisas através das instituições de ensino.

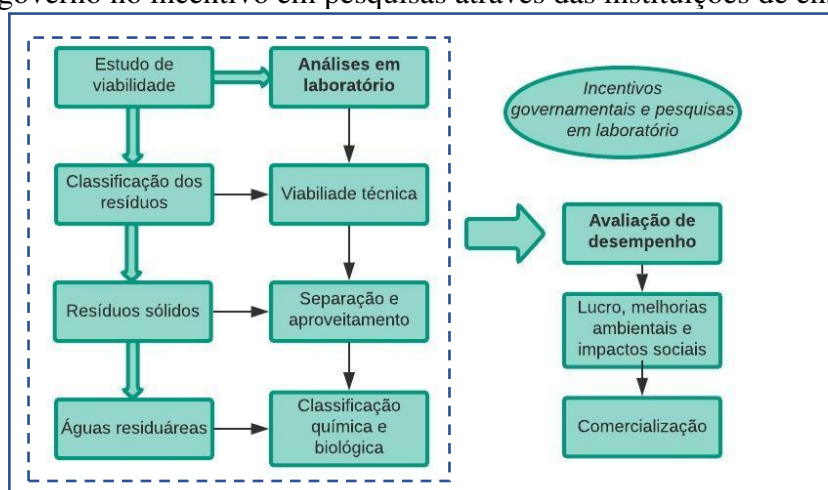


Figura 5: Aplicação de indicadores de Economia Circular na construção civil.

Fonte: Autores (2020).

## 5 Considerações finais

Esse estudo o objetivou analisar as produções científicas internacionais sobre os indicadores de Economia Circular na construção civil e listar de indicadores, através de parâmetros bibliométricos e análise de conteúdo. Dessa maneira, foi possível observar que a relação de indicadores de EC é um assunto emergente, uma vez que o primeiro trabalho acerca do tema surgiu em 2006. Além disso, os trabalhos dessa amostra trazem a problemática da dificuldade em mensurar o nível de transição da economia linear para a circular, devido aos diversas variáveis envolvidas. Alertam também que a implementação, bem como os indicadores de EC, devem ser analisados para cada contexto e particularidades, seja ela apenas a nível local, na própria organização ou a nível nacional.

Outro aspecto relevante acerca dos indicadores de EC no contexto da construção civil é que eles podem ser agrupados em duas categorias: indicadores de desempenho (geralmente qualitativos) e indicadores de resistência (sob os quais são comparados os valores de resistência mecânica, durabilidade e segurança obtidos em laboratório com parâmetros normatizados de cada país). No que tange ao tratamento de efluentes domésticos e industriais, esses indicadores ainda englobam aspectos químicos, biológicos e fatores de segurança tanto para o meio ambiente quanto para os indivíduos que trabalham diretamente com o resíduo. Mesmo assim, tais métricas sejam elas quantitativas ou qualitativas, concentre-se nas



melhorias de desempenho ambiental da EC, expondo as vantagens econômicas do uso do material. Geralmente os aspectos sociais ficam em segundo plano, onde as vantagens são relacionadas a geração de emprego e renda, ou o próprio beneficiamento ambiental.

Ficou evidente que o governo tem papel fundamental no que tange a implementação de uma Economia Circular ao propor políticas públicas e intermédios legislativos, tanto em nível regional quanto a nível nacional. A exemplo tem-se a China, referência em EC tanto que detém a maioria das produções científicas dessa amostra, onde modelo de desenvolvimento circular foi proposto em 2002 e implementado com a Lei de Promoção da Economia Circular em 2009. Por fim, esse estudo é limitado pois mostra a abordagem da temática até o ano de 2019, sendo o estado da arte a respeito desse assunto pode modificar-se ao longo do tempo. Como trabalho futuro fica a aplicação prática dos indicadores aqui proposto em alguma organização.

## Referências

- Ajayabi, A., Chen, H.-M., Zhou, K., Hopkinson, P., Wang, Y., & Lam, D. (2019). REBUILD: Regenerative Buildings and Construction systems for a Circular Economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012015>
- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Omoteso, K., Bilal, M., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Davila Delgado, J. M., & Owolabi, H. A. (2019). Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 223, 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.172>
- BARROS, M. V. (2019). *Ferramenta para promover a economia circular em propriedades rurais*. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.
- Brütting, J., De Wolf, C., & Fivet, C. (2019). The reuse of load-bearing components. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012025>
- Canals Casals, L., Barbero, M., & Corchero, C. (2019). Reused second life batteries for aggregated demand response services. *Journal of Cleaner Production*, 212, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.005>
- Castro, R., & Pasanen, P. (2019). How to design buildings with Life Cycle Assessment by accounting for the material flows in refurbishment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012019>
- Chen, W., Zhong, S., Geng, Y., Chen, Y., Cui, X., Wu, Q., Pan, H., Wu, R., Sun, L., & Tian, X. (2017). Emergy based sustainability evaluation for Yunnan Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1388–1397. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.136>
- Cipolletta, G., Eusebi, A. L., Palmieri, S., Giosuè, C., Tittarelli, F., Frison, N., Pastore, C., Foglia, A., & Fatone, F. (2019). Toilet paper recovery from municipal wastewater and application in building sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012024>
- Cooper, S. J. G., Giesekam, J., Hammond, G. P., Norman, J. B., Owen, A., Rogers, J. G., & Scott, K. (2017). Thermodynamic insights and assessment of the ‘circular economy’.’ *Journal of Cleaner Production*, 162, 1356–1367. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.169>
- Dali, H., & Jianli, Z. (2012). Reconstruction of the evaluation index system of low-carbon economy. *Journal of Convergence Information Technology*, 7(19), 364–372. <https://doi.org/10.4156/jcit.vol7.issue19.43>
- Di Maio, F., Rem, P. C., Baldé, K., & Polder, M. (2017). Measuring resource efficiency and circular economy: A market value approach. *Resources, Conservation and Recycling*,





- 122, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.009>
- Eberhardt, L. C. M., Birgisdottir, H., & Birkved, M. (2019). Potential of Circular Economy in Sustainable Buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(9). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/9/092051>
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone.
- Ellen MacArthur Foundation. (2016). *THE CIRCULAR ECONOMY AND THE PROMISE OF GLASS IN CONCRETE Case Study October 2016*. October, 1–11.
- Ellen MacArthur Foundation. (2018). The circular economy opportunity for urban & industrial innovation in China. *Circular Economy Perspectives Series*, 1–166. <https://doi.org/10.1038/531435a>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. September, 62. [www.ellenmacarthurfoundation.org/publications](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications)
- Ferella, F., Cucchiella, F., D’Adamo, I., & Gallucci, K. (2019). A techno-economic assessment of biogas upgrading in a developed market. *Journal of Cleaner Production*, 210, 945–957. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.073>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Geng, Y., & Doberstein, B. (2008). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving “leapfrog development.” *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 15(3), 231–239. <https://doi.org/10.3843/SusDev.15.3:6>
- Geng, Yong, Sarkis, J., Ulgiati, S., & Zhang, P. (2013). Measuring China’s Circular Economy. *ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT*.
- Gervasio, H. (2019). The role of resource efficiency towards circular economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012057>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Ghisellini, P., Ji, X., Liu, G., & Ulgiati, S. (2018). Evaluating the transition towards cleaner production in the construction and demolition sector of China: A review. *Journal of Cleaner Production*, 195, 418–434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.084>
- Gopinath, A., Bahurudeen, A., Appari, S., & Nanthagopalan, P. (2018). A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction and energy industries. *Journal of Cleaner Production*, 203, 89–108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.252>
- GUEDES, Vânia; BORSCHIVER, S. (2005). Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. *CINFORM – ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO*.
- He, Y. G., Bai, J., & Qi, J. X. (2006). Strategic selection of urbanization process and ecological city construction. *Proceedings of CRIOCM 2006 International Research Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 2, 937–941.
- Heisel, F., & Rau-Oberhuber, S. (2020). Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. *Journal of Cleaner Production*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118482>



- Kalmykova, Y., Rosado, L., & Patrício, J. (2016). Resource consumption drivers and pathways to reduction: economy, policy and lifestyle impact on material flows at the national and urban scale. *Journal of Cleaner Production*, 132, 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.027>
- Karhu, J., & Linkola, L. (2019). Circular Economy in the Built Environment in Finland - A case example of collaboration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 297(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/297/1/012024>
- Liang, W.-Z., Zhao, G.-Y., & Hong, C.-S. (2018). Performance assessment of circular economy for phosphorus chemical firms based on VIKOR-QUALIFLEX method. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1365–1378. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.147>
- Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 545–558. <https://doi.org/10.1111/jiec.12552>
- Macias-Chapula, C. A. (1998). O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência Da Informação*, 27(2), nd-nd. <https://doi.org/10.1590/S0100-19651998000200005>
- Maerckx, A.-L., D’Otreppe, Y., & Scherrier, N. (2019). Building circular in Brussels: An overview through 14 inspiring projects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012059>
- Moldan, B., Billharz, S., Matravers, R. (1997). Sustainability indicators: A report on the project on indicators of sustainable development. *Wiley*.
- Mondéjar-Jiménez, J.-A., Ferrari, G., Secondi, L., & Principato, L. (2016). From the table to waste: An exploratory study on behaviour towards food waste of Spanish and Italian youths. *Journal of Cleaner Production*, 138, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.018>
- Munaro, M. R., Fischer, A. C., Azevedo, N. C., & Tavares, S. F. (2019). Proposal of a building material passport and its application feasibility to the wood frame constructive system in Brazil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012018>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Qiu, C., Sun, W., Wang, C., & Su, S. (2012). Materials flow analysis on the system of flue gas desulfurization and denitration with pyrolusite slurry. In *Advanced Materials Research* (Vols. 383–390). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.3162>
- Rahla, K. M., Bragança, L., & Mateus, R. (2019). Obstacles and barriers for measuring building’s circularity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012058>
- Ronholt, J., Malabi Eberhardt, L. C., Birkved, M., Birgisdottir, H., & Bey, N. (2019). Tracing the environmental impact origin within the existing building portfolio of prevailing building typologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 352(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/352/1/012065>
- Saeli, M., Tobaldi, D. M., Seabra, M. P., & Labrincha, J. A. (2019). Mix design and mechanical performance of geopolymeric binders and mortars using biomass fly ash and alkaline effluent from paper-pulp industry. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1188–1197. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.213>
- Santos, A. C., Mendes, P., & Ribau Teixeira, M. (2019). Social life cycle analysis as a tool for



- sustainable management of illegal waste dumping in municipal services. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1141–1149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.042>
- Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>
- Sigrid Nordby, A. (2019). Barriers and opportunities to reuse of building materials in the Norwegian construction sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012061>
- Sun, Q., & Tang, Z. (2010). Establishment and empirical study of evaluation index system on mining corporations circular economy. *Proceedings - 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2010*, 3, 561–564. <https://doi.org/10.1109/ICIII.2010.455>
- Ueda, T., Roberts, E. S., Norton, A., Styles, D., Williams, A. P., Ramos, H. M., & Gallagher, J. (2019). A life cycle assessment of the construction phase of eleven micro-hydropower installations in the UK. *Journal of Cleaner Production*, 218, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.267>
- Wang, H. (2012). Study on the transformation strategy for resource-exhausted cities in view of sustainable development: A case study in Baiyin City, Gansu Province. In *Advances in Intelligent and Soft Computing: Vol. 141 AISC*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-27948-5\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-642-27948-5_68)
- Wang, J., & Wu, J. (2012). Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 32(15), 4861–4868. <https://doi.org/10.5846/stxb201107091021>
- Wang, L., Xing, Y.-M., & Chang, C.-Q. (2010). Experimental studies on microstructure and technical performance of multiphase compound crumb rubber modified asphalt. *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable - Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals*, 382, 2920–2926. [https://doi.org/10.1061/41127\(382\)310](https://doi.org/10.1061/41127(382)310)
- Wang, X. J., Hsu, P.-H., Zhou, R., & Su, H.-L. (2011). Activating eco-city in China: The system engineering for cities' green transition. *2011 5th International Association for China Planning Conference, IACP 2011*. <https://doi.org/10.1109/IACP.2011.5982035>
- Wormell, I. (1998). Informetria: explorando bases de dados como instrumentos de análise. *Ciência Da Informação*, 27(2), nd-nd. <https://doi.org/10.1590/S0100-19651998000200016>
- Xu, J. (2009). Model of cluster green supply chain performance evaluation based on circular economy. *2009 2nd International Conference on Intelligent Computing Technology and Automation, ICICTA 2009*, 3, 941–944. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2009.692>
- Yang, L., & Tong, L. (2012). Research of typical EIPs based on the social network analysis. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, 32(13), 4236–4245.
- Yu, F., Han, F., & Cui, Z. (2015). Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. *Journal of Cleaner Production*, 87(C), 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.058>
- Zhao, W., Qu, B., & Guo, M. (2010). Artificial neural network analysis for the eco-economic system of Ningbo City. *Proceedings - 2010 6th International Conference on Natural Computation, ICNC 2010*, 3, 1582–1585. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5583751>
- Zhou, Z., Zhao, W., Chen, X., & Zeng, H. (2017). MFCA extension from a circular economy perspective: Model modifications and case study. *Journal of Cleaner Production*, 149, 110–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.049>