



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## O CENÁRIO LATINO-AMERICANO DA SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO SISTEMÁTICA

Camila Dornelas de Almeida<sup>1</sup>  
Samara Castro Santos<sup>1</sup>  
Fernanda Bento Rosa Gomes<sup>2</sup>  
\* Samuel Rodrigues Castro<sup>1,2</sup>

## THE LATIN AMERICAN SCENARIO OF SUSTAINABILITY IN THE CIVIL CONSTRUCTION INDUSTRY: SYSTEMATIC REVIEW

Recibido el 15 de julio de 2021. Aceptado el 7 de enero de 2022

### Abstract

*Sustainable development aims to find a balance between economic growth and rational use of resources, which directly impacts the most important activities, just like civil construction. In this sense, the present article aims to perform a literature review about sustainability in the construction industry between 1990 and 2020, focusing on Latin America in an approach that makes it possible to evaluate management tools in comparison to other scenarios. As a methodological strategy, the PRISMA methodology was used to include articles for quali-quantitative analysis. In the analysis step, 11 articles related to Latin America were included, confirming the incipient number of studies focusing in sustainability in civil construction, especially in developing countries. Studies have shown recurring points regarding the lack of a systemic view and an integrated approach that considers, among others, environmental, economic and social aspects. About the last one, it is important to highlight the importance of training of human resources for the use of sustainable management tools and methodologies that can assist in decision making and dissemination of a planning culture, based on the principle of prevention.*

**Keywords:** Latin America, heavy construction, management tools, sustainable development.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora. Rua José Lourenço Kelmer, s/n – Martelos, Juiz de Fora, Minas Gerais. 36036-330. Brasil. Email: [samuel.castro@ufjf.edu.br](mailto:samuel.castro@ufjf.edu.br)

## Resumo

A busca pelo desenvolvimento sustentável visa encontrar um equilíbrio entre crescimento econômico e uso racional de recursos, o que impacta diretamente nas atividades de maior expressão, sendo a construção civil uma delas. Nesse sentido, o presente artigo tem por objetivo realizar uma revisão da sistemática literatura acerca da sustentabilidade na indústria da construção civil entre 1990 e 2020, com foco na América Latina, de maneira a traçar um paralelo com outros cenários, em uma abordagem que possibilite avaliar instrumentos de gestão adotados. Como estratégia metodológica, utilizou-se da metodologia PRISMA para a inclusão de artigos submetidos a análise quali-quantitativa. Para avaliação, foram incluídos 11 artigos relacionados à América Latina, ratificando o número incipiente de estudos que abordam o tema sustentabilidade na construção civil, principalmente em países em desenvolvimento. Os estudos evidenciaram pontos recorrentes no que tange a falta de visão sistêmica e abordagem integrada que considere, dentre outros, aspectos ambientais, econômicos e sociais. Nesse último, destaca-se a capacitação de recursos humanos para o uso de ferramentas e metodologias de gestão sustentável, que possam auxiliar a tomada de decisão e disseminação de uma cultura de planejamento, pautada no princípio da prevenção.

**Palavras chave:** América Latina, construção pesada, ferramentas de gestão, desenvolvimento sustentável.

## Introdução

Desde o início da história da humanidade, o homem se mostrou o maior explorador dos recursos naturais. A princípio, tal exploração se destinava à sobrevivência, sendo as atividades baseadas na caça e pesca. Entretanto, com o desenvolvimento das sociedades, o indivíduo viu, na natureza, uma grande fonte de desenvolvimento econômico (Queiroga e Martins, 2015).

Segundo Lamberts *et al.* (2008), dessa relação insustentável entre homem e os recursos naturais, derivaram-se o alto crescimento populacional; a falta de planejamento das áreas urbanas; desigualdades sociais, com um elevado índice de pobreza; alteração dos padrões de consumo, e uso indiscriminado de recursos; exploração não planejada das florestas e da terra; além de constantes desastres naturais causados por mudanças climáticas e aquecimento global. Ainda, de acordo com Queiroga e Martins (2015), tais ações culminaram em diversos impactos ambientais - muitas vezes associados à extinção de recursos - e sociais, transformando a percepção mundial sobre a importância de maior empenho em prol da sustentabilidade, de maneira geral.

Nesse sentido, a busca pelo desenvolvimento sustentável, o qual busca encontrar um equilíbrio entre crescimento econômico e conservação de recursos naturais, através do uso racional dos recursos no presente e no futuro, impacta diretamente nas atividades de maior expressão, sendo a construção civil uma delas (Queiroga e Martins, 2015).

A indústria da construção civil contribui significativamente para a qualidade de vida das pessoas. Entretanto, o desenvolvimento da indústria da construção e de seus produtos determinam

problemas ambientais em escala global (Ngowi, 2000). Estima-se que essa indústria seja responsável por, aproximadamente, 40% da energia consumida, 30% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e 40% do total de resíduos sólidos produzidos globalmente (IRC, 2014).

Dentro desse contexto, segundo Novis (2014), a indústria da construção civil torna-se protagonista, atuando em ações que incentivam a adoção de boas práticas ambientais para garantir a sustentabilidade do negócio e minimizar possíveis impactos. Assim, há uma tendência para que as construções atuais se atentem para a dimensão ambiental de seus empreendimentos, com a utilização de indicadores ambientais e ferramentas de gestão sendo adotadas para contemplar o desempenho relacionado ao consumo de matérias-primas, uso do solo, energia e água, bem como as emissões atmosféricas, lançamento de efluentes e a disposição de resíduos (Novis, 2014; Borba, 2009).

A nível mundial, alguns indicadores merecem destaque, dentre eles (Silva, 2013): o projeto CRISP (Construction Related Sustainability Indicators) que envolve onze países europeus, os Estados Unidos, Japão e Malásia; a estrutura CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), envolvendo o Reino Unido; e outros indicadores de sustentabilidade de edificações, estabelecidos por países desenvolvidos, dentre eles o sistema LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), criado pelos Estados Unidos.

No contexto da América Latina e Brasil, segundo Silva (2013), ainda há carência em normas e legislações sobre o assunto. Entretanto, algumas iniciativas sobressaem, como o Alta Qualidade Ambiental (AQUA), que é o primeiro certificado brasileiro para construções sustentáveis, publicado em 2010; e os indicadores de sustentabilidade do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PQBP-H), com abordagem relacionada ao consumo de água, energia e geração de resíduos (Novis, 2014).

Por fim, a atuação moderna da construção sustentável torna-se de extrema relevância a aplicação dos princípios do desenvolvimento sustentável no ciclo de vida dos empreendimentos a fim de minimizar os impactos inerentes dessa atividade econômica, quer seja pela extração dos recursos naturais e modificações na paisagem, ou pela geração de resíduos lançados no meio ambiente que impactam e interferem na sustentabilidade do planeta. (Queiroga e Martins, 2015).

### Estudos anteriores

A sustentabilidade na indústria da construção civil tem sido abordada em estudos identificados em todo o mundo, mais frequentes no último ano. Estudo bibliométrico com foco em sustentabilidade na construção civil desenvolvido por Martens *et al.* (2013) foi pioneiro em tal abordagem no Brasil, com o objetivo de explorar o tema no âmbito da gestão de projetos de construção civil e expor lacunas e tendências das publicações.

No âmbito internacional, Wu *et al.* (2014) realizaram uma análise sistemática de métodos existentes para quantificar a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) ao nível da obra e, a partir desta análise, propuseram um plano para a seleção do método mais adequado, considerando as especificidades de cada caso.

Santos *et al.* (2017) realizaram análise bibliométrica sobre as publicações envolvendo o uso de ferramentas de gestão de projeto com foco na Modelagem da Informação da Construção – Building Information Modeling – (BIM), a fim de compreender o trabalho de pesquisa em desenvolvimento sobre o tema, além de identificar os campos mais emergentes.

Wu *et al.* (2019) abordaram em sua pesquisa uma revisão dos métodos de avaliação de desempenho do gerenciamento de RCD, apresentando indicadores críticos e propondo uma estrutura de avaliação de desempenho para gestão ambientalmente adequada.

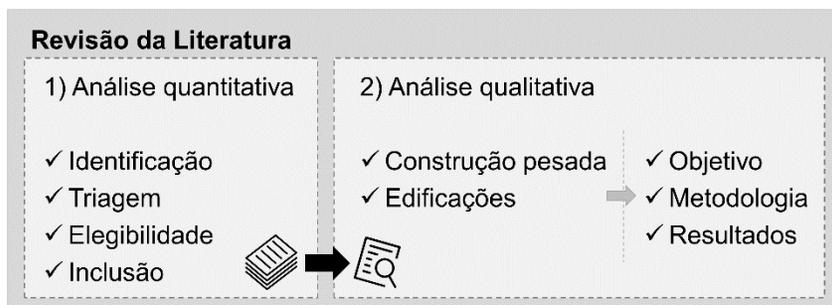
Por fim, o estudo mais recente sobre o tema foi desenvolvido por Araújo *et al.* (2020), a partir de uma revisão sistemática da literatura com a finalidade de investigar metodologias quantitativas de sustentabilidade na construção civil. Para realizar a investigação supracitada, os autores adotaram uma estratégia metodológica com abordagem quantitativa, análise de metadados e a análise qualitativa.

Como resultado, os autores evidenciaram que, dentre os estudos analisados, poucos apresentavam métodos quantitativos na avaliação de aspectos ambientais relacionados às atividades e aos produtos da indústria da construção (2.54%), sendo estes, quando existentes, mais comuns em construções cuja finalidade é a moradia multifamiliar. Por fim, os autores observaram uma iminente necessidade de trabalhos que preencham as lacunas existentes a respeito do tema em estudo, principalmente em países em desenvolvimento, e destacam a importância desses países desenvolverem pesquisas metodológicas que considerem a análise dos aspectos ambientais em todo ciclo de vida de suas construções.

Nesse sentido, o presente artigo tem por objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura acerca da sustentabilidade na indústria da construção civil, com foco na América Latina, de maneira a traçar um paralelo com outros cenários, em uma abordagem que possibilite avaliar instrumentos de gestão adotados nos subsetores de construção pesada e edificações.

### **Material e métodos**

Adotou-se, no presente estudo, uma estratégia metodológica adaptada a partir do trabalho de Araújo *et al.* (2020), baseada na divisão da análise de estudos reportados na literatura em duas etapas, sendo elas: (i) análise quantitativa; e (ii) análise qualitativa, conforme representado na Figura 1. Utilizou-se metodologia de característica mista, a qual combina técnicas quantitativas e qualitativas, que permitem múltiplas perspectivas (Pluye e Hong, 2014; Gough, 2015).



**Figura 1.** Esquema metodológico da revisão sistemática da literatura.

### Análise quantitativa

Segundo Galvão *et al.* (2017), o componente de caráter quantitativo pode medir as associações entre diferentes fatores e a magnitude de seus efeitos ou implicações. Nesse sentido, tal análise foi utilizada para determinar as publicações que envolvem a gestão sustentável na construção civil a partir de filtros e fatores aplicados na busca.

A base de dados utilizada para identificar os artigos alvos dessa pesquisa bibliométrica foi a plataforma Web of Science, onde buscou-se por estudos de periódicos revisados por pares publicados no período de 1990 a junho de 2020.

A fim de se estabelecer uma relação entre os artigos encontrados e o contexto da sustentabilidade na construção civil, foram estabelecidos filtros que seguem a metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA). Este método é dividido em quatro fases (Moher *et al.*, 2010), conforme etapas apresentadas na Figura 1, a saber:

- *Identificação*: foram utilizadas as palavras-chave – construction, management e sustainab\*, essa última adotada com o objetivo de identificar as diferentes derivações da palavra sustainable, abrangendo os mais diversos sufixos.
- *Triagem*: utilizaram-se filtros como a escolha de apenas dois grupos temáticos (engineering civil e construction building technology) dentre a classificação estabelecida pela própria plataforma, objetivando selecionar artigos que abarcassem a gestão sustentável na construção civil, de forma mais direta, objeto do presente estudo. Além disso, realizou-se o filtro com foco em contemplar estudos revisados por pares desenvolvidos na América Latina, ou com a coautoria de ao menos uma instituição de países da região.

- *Elegibilidad:* os títulos e resumos dos trabalhos foram avaliados duplamente pelo grupo de pesquisa, para um consenso, na seleção de artigos que apresentaram conteúdo diretamente relacionado com a área de gestão, sustentabilidade e construção civil.
- *Inclusão:* nesse último momento, os artigos selecionados foram lidos na íntegra com o intuito de identificar o tipo de abordagem e subsetores da construção civil relacionados, para uma posterior análise qualitativa.

### Análise qualitativa

Essa etapa possibilitou discorrer sobre o conteúdo dos trabalhos selecionados nas etapas mencionadas anteriormente. A partir da investigação de seus tópicos, os artigos foram subdivididos considerando subsetores da construção civil em que eles se relacionavam, a saber: construção pesada e edificações.

Nesta etapa, os estudos selecionados foram analisados pelo uso do software Iramuteq (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*) com o objetivo de criar mapas que representassem, através de atributos visuais, uma análise textual que exprimisse as relações entre os estudos e conteúdos abordados.

O Iramuteq permite a elaboração de análises estatísticas textuais, como cálculo de frequência de palavras, análise de contraste de modalidades de variáveis, análises multivariadas e nuvens de palavras, as quais organizam a distribuição do vocabulário de forma compreensível e visualmente clara (Camargo e Justo, 2013). Tal programa, segundo Camargo e Justo (2013), começou a ser utilizado no Brasil em 2013, contribuindo para o processamento de dados qualitativos em análises estatísticas de textos, entrevistas, documentos, publicações científicas, e que possibilita a comparação de diferentes produções em função de variáveis específicas.

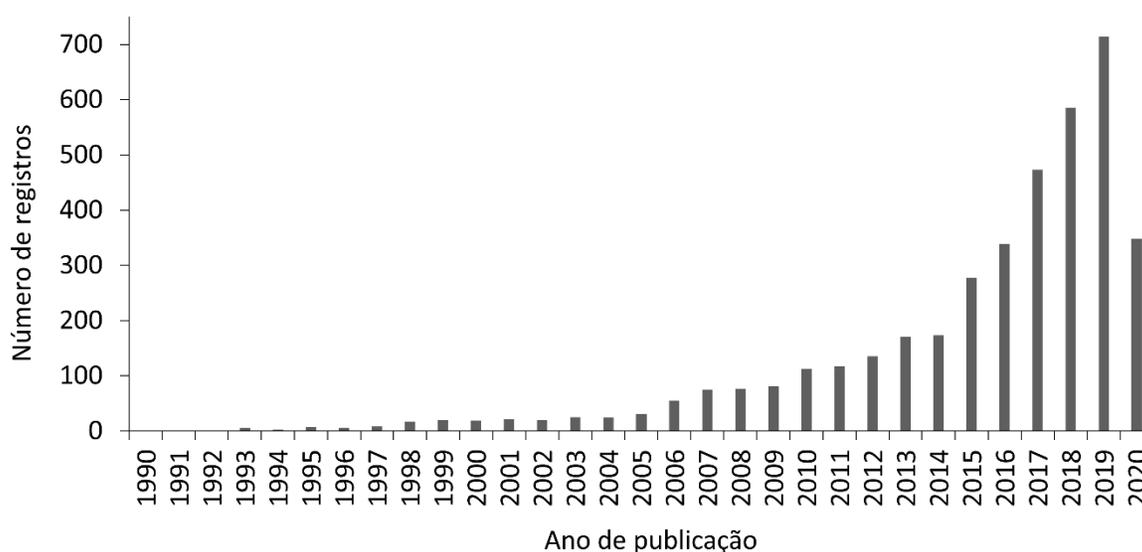
O componente qualitativo pode ser adotado, por exemplo, para se conhecer ou compreender os aspectos culturais, econômicos, organizacionais, políticos e sociais de um fenômeno ou problema, bem como, descobrir possíveis variáveis que interferem em alguns contextos e não em outros (Galvão *et al.*, 2017). Além disso, a análise qualitativa é elencada, por Pluye e Hong (2014), como de grande importância para descobertas empíricas que, teoricamente, explicam a contribuição de publicações científicas. Desse modo, tal análise objetivou observar e descrever tais questões relacionadas à gestão sustentável na construção civil.

Nesta etapa, o conteúdo foi investigado de maneira a descrever os artigos e elencar, dentre os trabalhos selecionados, especificidades relacionadas ao aspecto de sustentabilidade, envolvendo ferramentas, indicadores e metodologias de gestão ambientalmente adequada nos estágios, quando existentes, de planejamento, implementação e operação de empreendimentos da indústria da construção civil, considerando ainda, especificidades relacionadas a cada caso.

## Resultados e discussão

### Análise quantitativa

Foram encontrados 3,938 artigos, com publicação distribuída ao longo do período conforme representado na Figura 2, com resultados expressivos nos últimos anos, o que pode estar relacionado com a evolução das estratégias de gestão ambiental do controle da poluição para a prevenção, considerando-se aspectos e abordagens sustentáveis de desenvolvimento e produção (Brockhoff *et al.*, 1999).



**Figura 2.** Série temporal de publicações selecionadas na fase de identificação da revisão sistemática da literatura.

Tal panorama pode ser corroborado por diversas discussões, sendo algumas destas abordadas por Rose (2011): (i) O papel cada vez mais forte desempenhado pela opinião pública sob regimes democráticos; (ii) a atuação dos meios de comunicação, apontando os problemas ambientais e informando a população; (iii) o crescimento da importância das normas técnicas em economias cada vez mais internacionalizadas; (iv) empresas multinacionais e locais voltadas para o mercado exportador estão introduzindo sistemas de gerenciamento ambiental e obtendo certificações na norma ambiental ISO 14001; (v) o aumento do número de ONGs, com grande atuação na área ambiental e social; (vi) a “indústria ambiental” apresenta um rápido crescimento, abrindo novas oportunidades de trabalho e ampliando a oferta de cursos especializados.

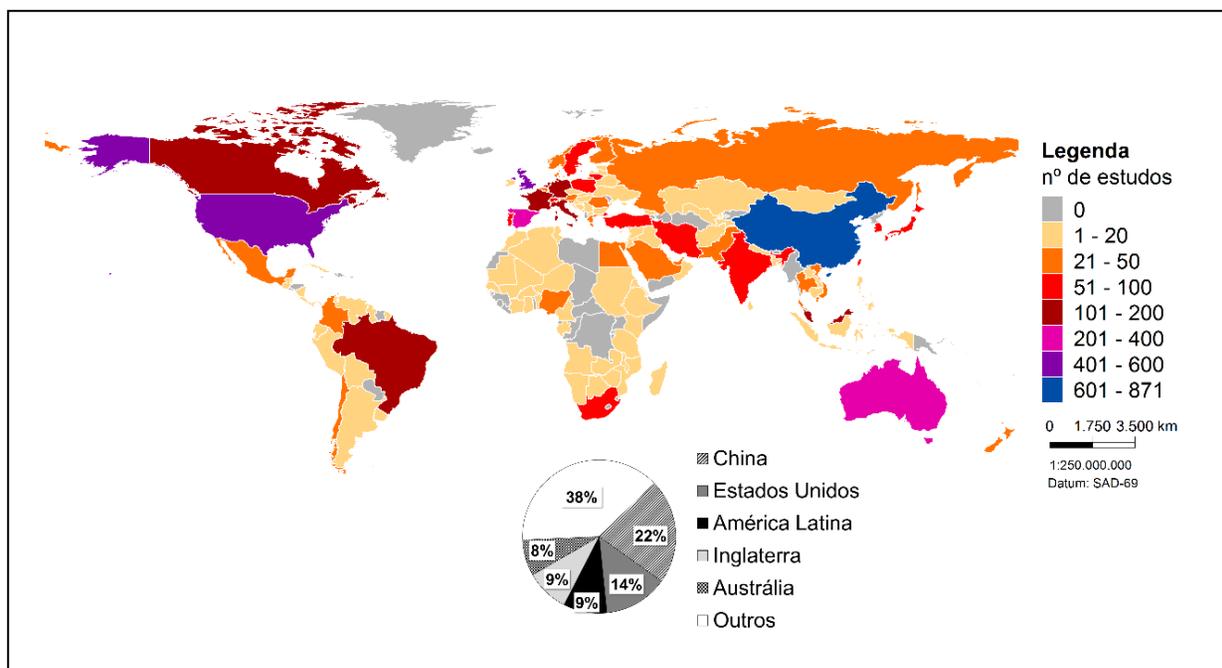
Outros fatores podem possuir relação direta com o demonstrado pela Figura 2. Um exemplo é o fato de, no início da década de 1990, na Rio 92, a Organização pelo Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas (UNIDO), juntamente com o Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas

(PNUMA), estabeleceram, em consonância com os acordos multilaterais, o conceito de Produção Mais Limpa (P+L) como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços com o intuito de aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos à saúde e ao meio ambiente (Brasil, 2020).

Ademais, ressalta-se, o surgimento de novas tecnologias associadas à Engenharia na última década que, juntamente com o aumento da demanda por produtos e serviços mais sustentáveis, acaba corroborando para incremento de esforços em prol da inovação das técnicas de gerenciamento e, conseqüentemente, o número de estudos e publicações correlatas. Destaca-se que cerca de 87.5% dos estudos avaliados (3,444), foram publicados a partir de 2010.

Por outro lado, Minks (2020) destaca a necessidade de avanços relacionados ao tema de construções sustentáveis, principalmente em países em desenvolvimento, que visam, dentre vários fatores, maior fomento a pesquisas, educação, melhores práticas e projetos-piloto de novas tecnologias, além da formação de especialistas qualificados para a implementação dos conceitos de sustentabilidade nas construções.

As publicações representadas pela Figura 2 tiveram como origem 164 países, conforme proporções demonstradas na Figura 3.



**Figura 3.** Distribuição espacial das publicações sobre gestão, sustentabilidade e construção civil.

Observou-se que, dentre os 164 países com publicações relacionadas ao tema, o de maior produtividade foi a China, com 870 artigos publicados, cerca de 22% do total; seguido pelos Estados Unidos, com 14% do total.

Para o estudo comparativo, considerou-se países da América Latina. O grupo representa 9% das publicações mundiais com um total de 362 artigos. Em ordem de produtividade científica no tema abordado, são eles: Brasil, México, Colômbia, Chile, Equador, Argentina, Venezuela, Peru, Cuba, Costa Rica, Uruguai, Guatemala, Bolívia, Nicarágua e Panamá.

Além de elencar a totalidade das publicações em uma avaliação bibliométrica e temporal, a etapa de identificação apresentou, ainda, a classificação destes estudos em 10 categorias, aqui denominadas de grupos temáticos, representados pela Figura 4.

A etapa de triagem se deu com a seleção dos grupos civil engineering e construction building technology, os quais possuem maior vínculo com especificidades do tema construção civil. A exclusão de duplicatas, realizada automaticamente pela própria plataforma, possibilitou o apontamento de 671 publicações, das quais, 21 apresentaram-se associadas à América Latina, estudos realizados no Chile, Brasil, México, Colômbia e Argentina com uma representatividade de 3.13% em relação ao total de registros reportados ao redor do mundo.

Em contrapartida, países como Estados Unidos e China mantiveram um quantitativo expressivo de publicações relacionadas ao tema, apresentando, nessa fase da pesquisa, 129 (19.2%) e 131 (19.5%) estudos, respectivamente. Nesse mesmo cenário, Araújo *et al.* (2020) relatam que, com exceção da China, foram realizados poucos estudos acadêmicos em países em desenvolvimento.

Em relação ao panorama apresentado para a América Latina, alguns pontos de partida podem ser analisados como motivadores, dentre os quais destaca-se a recente normalização e legislação ambiental desses países, além da falta de subsídios dos governos para fomento da prática de sustentabilidade nas construções. Dentre outros pontos, Minks (2020) ressalta, ainda, uma coordenação incipiente entre os diversos órgãos ambientais, agências econômicas e sociais; falta de decisão política; além de considerável pressão econômica por parte de grupos que se sentem afetados pelas ações de controle.

Após a leitura dos títulos e resumos dos 21 estudos associados à América Latina, ou com o envolvimento de instituições localizadas nos países da região, decidiu-se pela exclusão de mais dez artigos, uma vez que estes não se relacionavam minimamente com a gestão sustentável na construção civil. A etapa de elegibilidade foi realizada pela análise individualizada dos artigos por, no mínimo, dois pesquisadores que, de forma consensual, indicaram a exclusão.

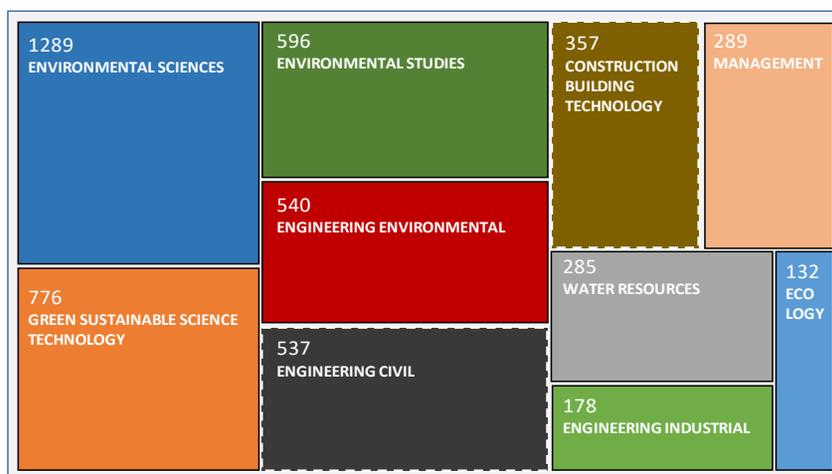


Figura 4. Classificação das publicações em grupos temáticos.

Dentre os estudos excluídos, a maioria apresentava abordagem relacionada a materiais destinados à construção civil e obtidos pelo reúso de resíduos diversos, entretanto, focavam nas novas propriedades físicas e no desempenho desses materiais (Calaes *et al.*, 2007; Calaes *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2012; Bedoya e Dzul, 2015; Mercader-Moyano *et al.*, 2016; Cabrera-Covarrubias *et al.*, 2017; Marinho *et al.*, 2017). Outros estudos não apresentaram abordagem e detalhamento que permitissem uma análise do rigor e critérios metodológicos considerados, divergindo da ideia central de sustentabilidade na construção.

Após a leitura mais detalhadas dos 11 artigos incluídos, visando destacar o subsetor da construção civil a qual eles se referiam, foram identificados cinco artigos com temas relacionados ao subsetor de construções pesadas, e seis artigos com abordagem relacionada ao subsetor de edificações. Além disso, observou-se aspectos ambientais e relacionados à sustentabilidade abordados em cada estudo.

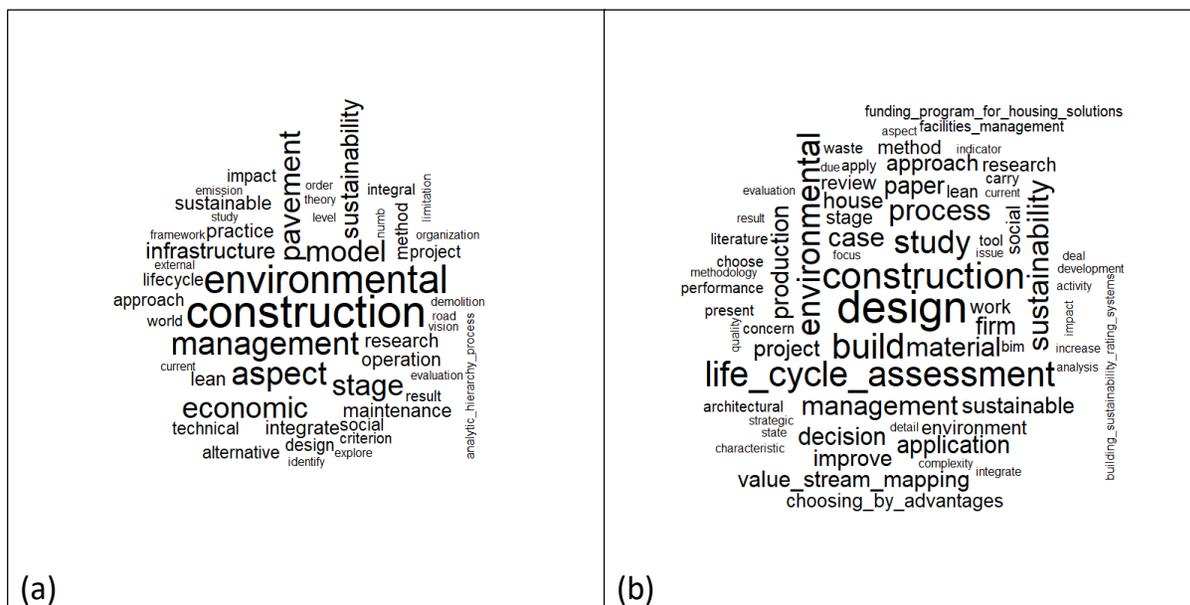
Para o subsetor da construção pesada, apenas um dos artigos aborda, de forma mais específica, o aspecto ambiental de resíduos sólidos (Pavez *et al.*, 2010), enquanto dois artigos abordam o aspecto de emissões atmosféricas (Torres-Machi *et al.*, 2014; González e Echaveguren, 2012), outro retoma aspectos técnicos, econômicos e ambientais da construção civil (Torres-Machi *et al.*, 2015) e, por último, um artigo aborda o aspecto da sustentabilidade social e de recursos humanos (Sierra *et al.*, 2016). Para o subsetor de edificações, verificou-se que um artigo aborda o aspecto ambiental do consumo de energia (Ortiz *et al.*, 2007), dois artigos abordam o aspecto de resíduos sólidos gerados (Rosenbaum *et al.*, 2014; Nascimento *et al.*, 2018), um sobre a escolha de materiais empregados nas edificações (Arroyo *et al.*, 2016), outro a gestão de processos (Paula e Melhado, 2018) e, por fim, um artigo aborda simultaneamente materiais e consumo de energia na construção (Saldaña-Márquez *et al.*, 2018).

Em geral, percebe-se grande variabilidade de aspectos abordados entre os estudos incluídos, o que pode ser justificado pelo fato de o setor da construção civil ter grande abrangência em suas atividades, sendo essas, com alto potencial deflagrador de impactos ambientais. Segundo reportado por estudos de Morledge e Jackson (2001), a indústria da construção é poluidora e frequente, responsável por um quantitativo considerável de incidentes de poluição da água, além de incidentes envolvendo contaminação com óleos e combustíveis, utilizados extensivamente na construção civil.

### Análise qualitativa

Para a análise através do software Iramuteq, os títulos e resumos dos 11 artigos incluídos foram organizados conforme recomendações específicas para a análise, em arquivo de extensão .txt e codificação UTF-8, constituindo o corpus textual a ser analisado. Uma das opções de análise textual oferecida pelo software Iramuteq é a nuvem de palavras que é uma maneira intuitiva de examinar a frequência relativa das palavras no Corpus. Quanto maior a fonte em que a palavra se apresenta na imagem, maior é a frequência de aparição dessa no texto.

A Figura 5 apresenta o resultado da análise de dois Corpus Textuais, o primeiro referente aos artigos classificados no subsetor de “construção pesada” (Figura 5a) e o segundo referente aos artigos classificados no subsetor de “edificações” (Figura 5b).



**Figura 5.** Análise textual dos artigos incluídos na revisão sistemática, por subsetor da construção civil: (a) construção pesada; e (b) edificações.

Ao analisar as nuvens de palavras geradas no Iramuteq conjuntamente, é possível perceber que ambas apresentaram as palavras “*construction*”, “*environmental*” e “*sustainability*” em destaque, ou seja, indicando alta frequência nos artigos, fato que pode estar relacionado com os termos de busca utilizados na plataforma de pesquisa.

Na análise para o subsetor de construção pesada, observou-se alta frequência para os termos “*economic*”, “*infrastructure*” e “*maintenance*”. O que possibilita inferir que, por se tratar de obras de infraestrutura, com recorrentes demandas de manutenções, o fator econômico é um termo que gera preocupação entre os gestores, principalmente quanto à gestão eficiente de recursos. Fato corroborado pela palavra em destaque “*management*”, que ratifica a importância de uma gestão ambientalmente adequada em projetos de grande porte, o que pode se dar pelo uso de ferramentas e softwares. Dahlbo *et al.* (2015) também utilizaram ferramenta multi-metodológica para avaliar um sistema de gerenciamento de resíduos de construção e demolição, que evidenciou a necessidade de uma análise da performance ambiental a partir de diferentes perspectivas, destacando considerar especificidades e diferenças regionais nas operações.

Evidencia-se ainda, principalmente nessa primeira análise, o destaque dado às palavras “*integrate*” e “*integral*”, o que evidencia a importância de um olhar sistêmico em um processo de gestão, com abordagens que integrem aspectos econômicos, ambientais e sociais em prol da sustentabilidade.

Por outro lado, a análise textual para o subsetor de edificações, que abrange obras para fins de moradias e comerciais, nota-se em destaque as palavras: “*design*”, demonstrando que há significativa preocupação a etapa de projeto; e “*life\_cycle\_assessment*” ou análise de ciclo de vida, que trata-se de uma análise importante de avaliação do impacto ambiental e que subsidia a tomada de decisão. Buyle *et al.* (2013) reportaram o crescimento de estudos com foco na redução do consumo de energia e do uso de materiais eco-friendly, mas destacam que o uso da análise do ciclo de vida tem ganhado importância na indústria da construção, subsidiando a seleção de materiais, redução do consumo de água, dentre outros.

### **Construção pesada**

O estudo de Pavez *et al.* (2010) aborda o aspecto ambiental dos resíduos sólidos a partir da construção enxuta, objetivando ilustrar os impactos da visão integrada desse tipo de construção e da gestão de projetos. Todo o trabalho se desenvolve acerca da aplicação da ferramenta Last Planner System (LPS) no complexo organizacional da construção.

A abordagem LPS é elencada como uma boa provedora de informações avançadas sobre o controle, pois força o aparecimento de problemas no estágio de planejamento, permitindo a redução de resíduos e promovendo a adição de valor nas atividades através da melhoria da

produtividade no trabalho. O artigo cita ainda o fato de a maioria das implementações se darem de forma fragmentadas, sendo importante à incorporação dos princípios da visão sistêmica e integrada para esse tipo de construção e para a gestão de projetos como um todo.

O estudo de González e Echaveguren (2012) aborda principalmente o aspecto ambiental das emissões atmosféricas produzidas por máquinas e caminhões que circulam em obras de construção de estradas, realizando abastecimento de material e retirada de resíduos da área de obra. Essa movimentação provoca volumosas emissões de gases poluentes, sendo considerado o principal impacto ambiental gerado nesse tipo de obra de grande porte.

O artigo propõe uma modelagem baseada em simulação de eventos discretos para avaliar a sustentabilidade de construções de estradas quanto às emissões atmosféricas, possibilitando o cálculo de um número ideal de caminhões e carregadeiras utilizados na obra, com a finalidade de otimizar o tráfego e minimizar os níveis de emissões.

Um outro trabalho que aborda a sustentabilidade na construção no subsetor da construção pesada foi conduzido por Torres-Machi *et al.* (2014), o qual relaciona aspectos ambientais de emissões atmosféricas, balanço de energia, poluição sonora, gestão de resíduos sólidos, uso racional de materiais e consumo consciente de energia.

O artigo faz um exame dos modelos e práticas para a avaliação econômica e ambiental no setor da pavimentação, com o intuito de analisar as vantagens e limitações desses modelos, identificando oportunidades de melhoria. Para isso, os autores realizam um levantamento de como as análises econômicas e ambientais são feitas nesse setor, bem como os modelos que têm sido adotados.

Em relação aos modelos que consideram os aspectos ambientais supracitados, países como Estados Unidos, Dinamarca, Inglaterra e Canadá foram elencados como criadores dessas ferramentas. Nesse sentido, observa-se, novamente, a pouca atividade dos países da América Latina em relação a gestão sustentável da construção, evidenciando um amplo campo de atividades ainda inexploradas por esses países.

Os autores detectaram, ainda, que são incipientes os modelos que consideram aspectos econômicos e ambientais de forma integrada, aspectos essenciais para a garantia da gestão sustentável de projetos de pavimentação, além da incorporação de aspectos específicos do trabalhador, fatos também contemplados pela pesquisa de Pavez *et al.* (2010), mencionada anteriormente.

Ainda, de autoria de Torres-Machi *et al.* (2015), outro estudo sobre a gestão sustentável na construção foi publicado. Tal trabalho buscou examinar e comparar métodos construtivos que integram aspectos técnicos, econômicos e ambientais, garantindo a gestão sustentável na pavimentação.

A avaliação da esfera ambiental foi realizada a partir do uso da ferramenta de análise do ciclo de vida com foco nas emissões de carbono, elencando os impactos ambientais do tratamento dos pavimentos a partir da preservação (P), manutenção (M) e reabilitação (R), determinando as práticas ambientalmente mais “amigáveis”.

Ainda para a construção pesada, o artigo de Sierra *et al.* (2016) buscou a identificação de critérios relacionados ao cunho social da sustentabilidade que melhor se encaixam em cada estágio do ciclo de vida de infraestruturas públicas, determinando o nível de relevância de cada critério no desenvolvimento dessa estrutura. Para isso, os autores utilizaram uma metodologia com 31 critérios de sustentabilidade social submetidos à análise de especialistas e classificados em quatro macro grupos, sendo eles: recursos humanos internos (10), população externa local (12), participação social de stakeholders (4), e atividades sociais em nível regional ou nacional (5). Tal metodologia foi replicada em questionários respondidos por especialistas da área.

De acordo com a ordem de relevância de cada critério no ciclo de vida, os especialistas convergiram ao relacionar a contribuição do estágio de projeto sobre a maioria dos critérios que incorporam as categorias de participação dos stakeholders (partes interessadas), e da população local externa. Similarmente, a etapa de construção é influenciada por critérios associados aos recursos humanos internos e de atividades socioambientais. A etapa de operação apresentou risco às atividades socioeconômicas e o estágio de demolição mostrou-se significativo para critérios que abordam aspectos de participação de stakeholders e recursos humanos internos.

Por fim, em uma análise geral dos cinco estudos abordados neste item (Tabela 1), observa-se, inicialmente, uma pequena quantidade de trabalhos incluídos a partir da pesquisa bibliométrica e que abordam a gestão sustentável na construção pesada. Dentre os estudos apontados, três deles possuem autores em comum, demonstrando que o tema se encontra concentrado em grupos específicos de pesquisa, com destaque para o Chile. Tal fato aponta um gap da literatura, além de oportunidades para um maior aprofundamento em estudos relacionados a esse tema e que contemplem especificidades e particularidades das demais realidades da América Latina. Ao elencar questões que consideram os aspectos ambientais nesse subsetor, Torres-Machi *et al.* (2014) destacam o desenvolvimento desses modelos que se dá, majoritariamente, fora do eixo da América Latina, motivo o qual contribui para a escassa produção de estudos englobando a gestão sustentável nesta região.

**Tabela 1.** Construção pesada: análise qualitativa de estudos incluídos.

País	Objetivo	Metodologia	Resultados	Referência
Chile	Descrever e discutir a teoria da visão integrada em um cenário que apresente esforços e disciplina a gestão de projetos sob a perspectiva da construção enxuta.	Aplicação de uma ferramenta de planejamento e controle denominada Last Planner System, baseada nos princípios da construção enxuta foi utilizada para ilustrar os impactos uma visão integrada sobre a gestão da construção e projeto.	O estudo evidencia a necessidade da inclusão de uma visão sistêmica e integrada em práticas com fins de uma gestão efetiva, em prol de uma construção enxuta, com esforços que considerem e incorporem os recursos humanos das organizações, que ainda recebem pouca atenção.	Pavez <i>et al.</i> (2010)
Chile	Aplicar um modelo que incorpora aspectos ambientais em projetos de operações de construção de estrada, que considera as emissões geradas a partir do processo produtivo e condições de tráfego.	Estrutura de modelagem dinâmica na simulação de eventos discretos.	É possível dimensionar um número ótimo de caminhões e carregadeiras que minimiza a quantidade de emissões, um resultado obtido pela análise do ciclo de produção que inclui operações de carregamento/descarregamento, transporte interno/externo, além de possíveis atrasos no fluxo.	González e Echaveguren (2012)
Chile	Estudar modelos e práticas na avaliação econômica e ambiental de pavimentos, de forma a identificar vantagens, limitações e oportunidades para uma gestão sustentável.	Análises de indicadores para a avaliação econômica e ambiental para a gestão ambiental da infraestrutura de pavimentos.	O estudo destaca a escassez de modelos que consideram, de forma integrada, aspectos econômicos e ambientais, além da necessidade de considerar aspectos dos recursos humanos, o emprego de novas tecnologias e a utilização de materiais recicláveis.	Torres-Machi <i>et al.</i> (2014)
Chile	Examinar e comparar métodos para a consideração de aspectos técnicos, econômicos e ambientais dando suporte aos diversos atores envolvidos para a gestão sustentável dos pavimentos.	Indicadores e métodos de integração dos diferentes aspectos foram explorados e possibilitaram recomendações daqueles mais adequados aos diferentes cenários.	O Processo Analítico Hierárquico é recomendado quando o número de alternativas é pequeno. Por outro lado, em um número considerável de alternativas (> 7), metodologias multicritérios são as mais indicadas, como a soma ponderada, que torna-se mais eficiente para a tomada de decisão.	Torres-Machi <i>et al.</i> (2015)
Chile	Determinar a relevância de um conjunto de critérios utilizados na avaliação da sustentabilidade social pelo ciclo de vida de uma infraestrutura civil pública.	Estudo de caso com a aplicação do método Delphi a especialistas chilenos consultados. Testes estatísticos foram utilizados para avaliar a convergência da percepção dos especialistas.	Os critérios mais relevantes a serem considerados, por estágio do ciclo de vida, foram a participação dos stakeholders (projeto e demolição), população externa local (projeto), recursos humanos internos (construção e demolição), ações sociais e atividades socioambientais (construção), e ações sociais e atividades socioeconômicas (operação).	Sierra <i>et al.</i> (2016)

Destaca-se, ainda, aspectos relacionados à visão sistêmica e que integre aspectos econômicos, ambientais e sociais, recorrentes nos trabalhos de Pavez *et al.* (2010), Torres-Machi *et al.* (2014) e Sierra *et al.* (2016) e que evidenciam maiores fragilidades relacionadas ao desenvolvimento desse último pilar. Além disso, notou-se grande variação dentre os aspectos ambientais abordados, passando pelos resíduos sólidos, emissões atmosféricas, balanço de energia, poluição sonora, uso racional de materiais, e consumo consciente de energia. Esse panorama destaca a heterogeneidade das realidades evidenciadas nas construções latino-americanas, principalmente no subsetor da construção pesada, que engloba obras diversas, tais como: infraestrutura e telecomunicações, obras viárias, de instalações, grandes estruturas, urbanização e paisagismo, dentre outras.

### **Subsetor de edificações**

O estudo de Ortiz *et al.* (2007) aborda a metodologia de análise do ciclo de vida como ferramenta de gestão sustentável na construção civil, através de uma revisão de diversos estudos de caso. Nesse contexto, o artigo apresenta a metodologia da Política Integrada do Produto, que procura identificar produtos com o menor potencial para impactos ambientais, se baseando em todo o ciclo de vida do mesmo. Os produtos podem ser classificados por: Produtos de Impacto Ambiental, Produtos para a Melhoria do Meio Ambiente ou Implicações Políticas. Para a implementação da Política Integrada do Produto, é utilizada a Declaração Ambiental do Produto, que apresenta informações a respeito da aquisição de matéria prima, consumo de energia e demais químicos, etc; além do Ecodesign, que expressa a relação entre o produto e o meio ambiente, com vistas à redução do seu impacto.

Os autores pontuam, ainda, que, com base na análise de todo o processo construtivo, a análise do ciclo de vida é empregada dependendo do cenário apresentado, a saber: (i) construções de moradias – são avaliados os dados dos materiais de construção, a variação de mistura de eletricidade e o consumo de energia; (ii) construções comerciais – são analisados o uso de eletricidade na operação, o calor gerado pelo funcionamento, o uso da água, além do potencial poluidor da atividade fim; (iii) construções de infraestrutura, mais especificamente tratando-se da construção de autoestradas – é avaliado o potencial de impacto ambiental, através da colaboração para o aquecimento global, acidificação dos solos e ecotoxicidade. Como resultado, o trabalho evidenciou que a maioria dos estudos de análise de ciclo de vida abordam o aspecto do consumo energético; nesse sentido, reportam que a etapa construtiva de uma edificação consome de 10 a 20% da energia consumida ao longo de sua vida útil.

O estudo de Rosenbaum *et al.* (2014) adota a abordagem “verde-enxuta” (green-lean) para gerenciar a produção com foco na redução do desperdício em construções utilizando a ferramenta de Mapeamento da Cadeia de Valor – uma técnica originalmente aplicada à manufatura para mapear sistemas de produção industrial.

A metodologia de pesquisa foi baseada na análise do projeto de um centro médico no Chile, onde o escopo do trabalho incluiu atividades fundamentais de construção, na parte estrutural. A implementação da ferramenta incluiu coleta de dados e processamento, medição de indicadores ambientais e geração de resíduos, elaboração dos mapas, diagnóstico do estado atual, além da elaboração de mapas futuros e recomendações para a manutenção do funcionamento. Destaca-se que é um trabalho pioneiro na experiência de implementação do Mapeamento da Cadeia de Valor na construção civil, com resultados positivos na redução de impactos ambientais gerados.

O estudo de Arroyo *et al.* (2016) propõe o uso de uma estratégia de tomada de decisão chamada Choosing by Advantages (CBA), ou “Escolhendo por Vantagens”. A metodologia consiste em basear as decisões na importância da vantagem, tendo-as ancoradas na relevância dos fatos. Nesse estudo, o método foi utilizado para a seleção de materiais empregados na construção de um prédio comercial de uma empresa global, considerando o desafio da escolha de materiais sustentáveis, em conformidade com os objetivos dos stakeholders. Os autores puderam concluir que a utilização do CBA pode potencializar um modelo de gestão sustentável na construção, além de contribuir com o aumento da demanda por tais materiais, direcionando os esforços e investimentos da indústria.

O estudo de Nascimento *et al.* (2018) tem como objetivos principais definir os conceitos de Building Information Modeling – Modelagem de Informações da Construção (BIM) e Lean Thinking, ou “Pensamento Enxuto”, analisar as relações entre os mesmos e aplicar a ferramenta Digital Obeya Room para gerenciamento de manutenções.

Primeiramente, foi realizada uma revisão da literatura sobre a abordagem BIM-Lean, em paralelo a uma investigação empírica da manutenção de uma planta industrial para avaliação de tal metodologia e suas tecnologias para o planejamento e controle da manutenção preventiva. Por fim, realizou-se a aplicação de um questionário a gerentes, pesquisadores e especialistas em BIM para avaliar a relevância de 9 funcionalidades BIM e 16 princípios Lean para a indústria de construção.

Os resultados da análise provaram ser fundamentais, para o gerenciamento e tomada de decisão, planejamento e controle da manutenção em projetos de construção. A pesquisa indicou que os princípios mais relevantes foram: padronização, instituição de avanços prévios, uso do gerenciamento visual, manutenção da informação e integridade do modelo, além da colaboração no design e construção. Com isso, evidenciou-se que o gerenciamento visual demonstrou ser o principal ponto para uma melhoria contínua em construções e a aplicação de metodologias BIM-Lean possibilita nivelar recursos, reduzir retrabalho e desperdício ao longo da etapa executiva do projeto.

O estudo de Paula e Melhado (2018) abordou a sustentabilidade em construções a partir da investigação da relação com a gestão de processos em três firmas de design arquitetônico. Para isso, os autores realizaram a coleta de dados a partir de uma entrevista semiestruturada e da análise de

documentos, considerando as esferas do planejamento estratégico, estrutura organizacional, gestão financeira e de pessoas, gestão de negócios e marketing, sistemas de informações, planejamento e controle dos processos de design e serviços agregados, além da avaliação de performance.

Como resultados, os estudos evidenciaram que a sustentabilidade não vem sendo formalmente considerada no planejamento estratégico das firmas, que não costumam destinar um profissional específico para atuar em aspectos relacionados ao meio ambiente e, assim, tal capacitação não é critério para contratação. Por fim, os autores apontam que, para pequenas e médias empresas, a estruturação pautada em sustentabilidade torna-se um desafio ainda maior.

O estudo desenvolvido por Saldaña-Márquez *et al.* (2018), avaliou diferentes unidades habitacionais construídas no âmbito do Programa de Financiamento para Soluções de Habitação, no México com base no Sistema de Avaliação da Sustentabilidade de Edificações, reconhecido internacionalmente. Nesse sentido, o trabalho abordou os aspectos ambientais do uso racional de materiais e energia, da qualidade ambiental interna e da gestão das construções.

Os autores adotaram uma metodologia que pode ser dividida em quatro passos: (i) seleção dos sistemas de avaliação de sustentabilidade; (ii) desenvolvimento e execução do processo de normalização de critérios; (iii) seleção e descrição dos estudos de caso; (iv) comparação entre os estudos de caso. Destaca-se, inicialmente, que os sistemas de avaliação elencados e apontados como melhores alternativas (LEED, BREEAM, AQUA-HQE e GBI) têm como origem países desenvolvidos, como EUA e Reino Unido, o que ratifica a ausência de países em desenvolvimento, como o próprio México e Brasil, na criação e evolução de sistemas relacionados com a avaliação de sustentabilidade em edificações.

Olhando por uma perspectiva global da sustentabilidade e enfatizando os detalhes intrínsecos que caracterizam a habitação sustentável, os autores indicam que nenhum dos estudos de caso avaliados puderam ser considerados como uma unidade habitacional sustentável, já que as características relacionadas aos materiais, energia, qualidade ambiental do interior e gestão, não foram compatíveis com os requisitos estabelecidos pelos sistemas de avaliação. Por outro lado, tais estudos fornecem indicadores que integram características sustentáveis nas configurações de habitação social, com potencial de serem aplicados em países em desenvolvimento e com características semelhantes ao México.

Por fim, analisando os seis estudos abordados neste item (Tabela 2), observa-se, também, uma pequena quantidade de trabalhos que abordam a gestão sustentável no setor de edificações, resultantes da pesquisa bibliométrica com foco na América Latina. Destaca-se, ainda, que a maioria desses estudos foram realizados em parceria com instituições internacionais, localizadas em países desenvolvidos, com destaque para a Espanha.

**Tabela 2.** Edificações: análise qualitativa de estudos incluídos.

País	Objetivo	Metodologia	Resultados	Referência
Colômbia	Detalhar conceitos relacionados com a análise de ciclo de vida com foco na metodologia e ferramentas empregadas, além de sumarizar e discutir diferenças entre a análise de ciclo de vida de materiais construtivos e componentes com a análise de ciclo de vida da edificação, como um todo.	Revisão com base na aplicação da análise do ciclo de vida no setor da construção.	A aplicação da análise do ciclo de vida é fundamental para a sustentabilidade e melhoria do setor da construção e edificações e que deve ser adotada não apenas para atendimento das demandas dos consumidores por produtos ambientalmente "amigáveis", mas para prover produtividade e competitividade no mercado de construções verdes.	Ortiz et al. (2007)
Chile	Avaliar aspectos ambientais e a produção de resíduos na etapa de execução de projetos construtivos.	Aplicação da ferramenta de Mapeamento da Cadeia de Valor em uma abordagem verde-enxuta em um estudo de caso envolvendo a construção de um centro médico.	Como resultados, o estudo de caso reforça a efetividade de uma abordagem verde-enxuta proposta para a melhoria da sustentabilidade de projetos construtivos por contribuir na otimização do uso de recursos e reduzir custos, melhorando, assim, os padrões de qualidade e minimizando os possíveis impactos ambientais gerados.	Rosenbaum et al. (2014)
Chile	Realizar uma abordagem sistemática, além de prover uma orientação prática aos tomadores de decisão acerca do uso de uma ferramenta de gestão.	Aplicação da ferramenta Choosing by Advantages para a tomada de decisão, com um exemplo prático e detalhado de escolha de materiais para o interior de um projeto comercial.	Os autores destacam que o uso da ferramenta possibilitou integrar múltiplas perspectivas, identificar fatores relevantes à sustentabilidade, agregou transparência aos processos, dentre outros pontos positivos, mostrando-se essencial à equipes de projetistas determinados na escolha de materiais globalmente sustentáveis.	Arroyo et al. (2016)

País	Objetivo	Metodologia	Resultados	Referência
Brasil	Apresentar uma estrutura conceitual que relaciona o ciclo de melhoria contínua ( <i>Plan-Do-Check-Act</i> ) com abordagens <i>BIM-Lean</i> , além de identificar as principais funcionalidades <i>BIM</i> e princípios <i>Lean</i> aplicados.	Aplicação de uma metodologia de gestão de instalações em uma avaliação interdisciplinar do alinhamento entre os princípios <i>BIM</i> e <i>Lean</i> , a partir de uma revisão da literatura e uso do <i>Digital Obeya Room</i> para a melhoria da gestão em uma aplicação real de um estudo de caso.	Como resultados, o estudo apresenta contribuições para a tomada de decisão e seleção de estratégias para um gerenciamento adequado às particularidades, pautado no princípio da priorização. Descreve a sinergia entre <i>BIM</i> e <i>Lean</i> , a fim de garantir a eficiência em etapas de agendamento de processo, redução de resíduos, melhoria da qualidade, definição de escopo, minimização de erros, motivação de participantes e promoção de esforços para uma comunicação clara e compartilhamento de informações no setor da construção.	Nascimento et al. (2018)
Brasil	Investigar a relação entre sustentabilidade e processos de gestão em firmas de projeto arquitetônico - 3 estudos de caso desenvolvidos em São Paulo.	Foram conduzidos 3 estudos de caso, com a aplicação de entrevistas semiestruturadas e análise documental e o uso de tabelas temáticas para a análise de dados.	Os resultados evidenciaram que a sustentabilidade demanda, automaticamente, processos de gestão em investimentos, conhecimento técnico, atividades e agentes envolvidos no trabalho diário. Design arquitetônico tem ganhado complexidade devido à diversidade de demandas e novas atividades, novos agentes e ferramentas. Tal fato compromete uma abordagem sustentável nos processos de gestão estratégica.	De Paula e Melhado (2018)
México	Apresentar resultados da avaliação da sustentabilidade em edificações de diferentes unidades de moradias populares.	Aplicação da metodologia <i>Building Sustainability Rating Systems</i> , ajustada pelo processo de critério de normalização, devido às particularidades e complexidade de uma análise comparativa.	As moradias populares apresentaram baixa qualificação de sustentabilidade, considerando parâmetros estabelecidos no sistema internacional de avaliação, com deficiências relacionadas a materiais, eficiência energética, qualidade ambiental do interior e gestão.	Saldaña-Márquez et al. (2018)

Dentre os estudos apontados, nota-se uma variabilidade de aspectos abordados por diferentes pesquisadores e que contemplam desde o consumo de energia, resíduos sólidos, materiais, até processos adotados. Destaca-se também uma gama de métodos e ferramentas de gerenciamento que são utilizados nas construções de edificações latino-americanas, com destaque à ferramenta de análise de ciclo de vida (Ortiz *et al.*, 2007), o que corrobora o resultado evidenciado pela análise de conteúdo realizada pelo Iramuteq na etapa de análise dos estudos classificados no subsetor de edificações (Figura 5b) e também abordada no subsetor de construções pesadas (Sierra *et al.*, 2016), além do foco em construções enxutas (Rosenbaum *et al.*, 2014; Nascimento *et al.*, 2018).

Salienta-se, portanto, que na América Latina há um vasto campo de oportunidades no que se refere ao desenvolvimento e aplicação de ferramentas de gestão sustentável, tanto no contexto do subsetor de edificações quanto no de construções pesadas. Com isso, a demanda por profissionais que estejam aptos à utilização dessas ferramentas torna-se evidente. Ressalta-se ainda a importância de uma visão integrada que abranja toda a gama de possíveis aspectos sociais, ambientais e econômicos inerentes à indústria da construção civil.

## Conclusões

Com base no levantamento e análise realizados, destaca-se alguns pontos principais:

- (i) avanços em estudos e pesquisas que abordam a sustentabilidade na indústria da construção civil são recentes, com avanços em publicações a partir de 2010 (87.5% dos estudos avaliados), concentradas na China e EUA com 36% do total de estudos avaliados em todo o período considerado (30 anos);
- (ii) para avaliação, foram incluídos 11 estudos relacionados à América Latina, com destaque para a produção com a participação de instituições chilenas, ratificando o número incipiente de estudos que abordem o tema sustentabilidade na construção civil, principalmente em países em desenvolvimento;
- (iii) como resultado da análise de qualitativa, os artigos foram classificados em 2 subsetores: construção pesada e edificações;
- (iv) em análise qualitativa do subsetor de construção pesada, foram evidenciados pontos recorrentes nos estudos, no que tange a falta de visão sistêmica e abordagem integrada, que considere, dentre outros, aspectos ambientais, econômicos e sociais; nesse último, com destaque à capacitação de recursos humanos para o uso de ferramentas e metodologias de gestão sustentável;
- (v) já, com relação a edificações, evidenciou-se estudos de caso com a aplicação de ferramentas de gestão em escala micro, comparada ao subsetor mencionado anteriormente, evidenciando o uso da análise de ciclo de vida auxiliando a tomada de decisão em uma gestão ambientalmente adequada de projetos, obras e aplicação de materiais e recursos.

Por fim, verifica-se oportunidades para a operacionalização da aplicação e desenvolvimento de ferramentas de gestão sustentável na indústria da construção civil e que abordem, de forma integrada, as diferentes etapas e processos concernentes à indústria de construção civil, com devido fomento à disseminação de uma cultura de planejamento, pautada no princípio da prevenção. Destaca-se, ainda, uma demanda por profissionais que dominem o uso de tais ferramentas, vislumbrem a viabilidade de aplicação nas diferentes realidades, e que atuem na capacitação dos diferentes atores envolvidos nas diferentes etapas. É um estudo que apresenta uma metodologia objetiva, sistematizada, e que merece ser replicado em um horizonte próximo para avaliação e monitoramento do estado da arte em um cenário que se apresenta vulnerável e com fragilidades para a adesão de uma abordagem sustentável na indústria da construção civil.

### Referências bibliográficas

- Araújo, A. G., Carneiro, A. M. P., Palha, R. P. (2020). Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis, *Journal of Cleaner Production*, **256**, 120350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120350>
- Arroyo, P., Tommelein, I. D., Ballard, G. (2016). Selecting Globally Sustainable Materials: A Case Study Using Choosing by Advantages, *Journal of Construction Engineering & Management*, **142**(2), 05015015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001041](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001041)
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente (2020) *Do conceito de P+L para o conceito de PCS*. Acesso em 17 de setembro de 2020, disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/do-conceito-de-pl-para-o-conceito-de-pcs.html#:~:text=Em%20conson%C3%A2ncia%20com%20os%20acordos,1990%2C%20como%20a%20aplic%C3%A7%C3%A3o%20cont%C3%ADnua>
- Bedoya, C., Dzul, L. (2015). Concrete with recycled aggregates as urban sustainability project, *Revista Ingeniería de Construcción*, **30**(2), 99-108, 2015. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732015000200002>
- Borba, A. E. O. (2009) *Proposta de Indicadores de Sustentabilidade para o Setor da Construção Civil*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Pernambuco, 138 pp.
- Brockhoff, K., Chakrabarti, A.K., Kirchgeorg, M. (1999). Corporate strategies in environmental management, *Research Technology Management*, **42**(4), 26-30. <https://doi.org/10.1080/08956308.1999.11671291>
- Buyle, M., Braet, J., Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **26**, 379-388, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>
- Cabrera-Covarrubias, F. G., Gómez-Soberón, J. M., Almaral-Sánchez, J. L., Corral-Higuera, R., Gómez-Soberón, M. C. (2017). Implementation of interaction diagram of the properties in fresh for mortars with ceramic aggregates, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, **61**(2), 335-340, 2017. <https://doi.org/10.3311/PPci.9651>
- Calaes, G. D., Carneiro, B. P., Margueron, C., Amaral, J. A. G. (2007). Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país – Parte 1, *Revista Escola de Minas*, **60**(4), 675-685. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000400014>
- Calaes, G. D., Carneiro, B. P., Margueron, C., Amaral, J. A. G. (2008). Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país – Parte 2, *Revista Escola de Minas*, **61**(1), 47-56. <https://doi.org/10.3311/10.1590/S0370-44672008000100009>
- Camargo, B. V., Justo, A. M. (2013). IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais. Periódicos Eletrônicos em Psicologia, *Temas em psicologia*, **21**(2), 513-518. <https://doi.org/10.9788/TP2013.2-16>

- Dahlbo, H., Bachér, J., Lahtinen, K., Jouttijarvi, T., Suoheimo, P., Mattila, T., Sironen, S., Myllymaa, T., Saramaki, K. (2015). Construction and demolition waste management – a holistic evaluation of environmental performance, *Journal of Cleaner Production*, **107**(16), 333-341, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.073>
- Paula, N., Melhado, S. (2018). Sustainability in Management Processes: Case Studies in Architectural Design Firms. *Journal of Architectural Engineering*, **24**(4), 05018005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000326](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000326)
- Galvão, M. C., Pluye, P., Ricarte, I. (2017). Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação, *InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, **8**(2), 4-24. <https://doi.org/10.11606/issn.2178-2075.v8i2p4-24>
- González, V., Echaveguren, T. (2012). Exploring the environmental modeling of road construction operations using discrete-event simulation, *Automation in Construction*, **24**, 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.011>
- Gough, D. (2015). Qualitative and mixed methods in systematic reviews, *Systematic Reviews*, **4**, 181. <https://doi.org/10.1186/s13643-015-0151-y>
- IRC, Instituto de Recursos Copenhagen (2014) *Resource Efficiency in the Building Sector*. Acesso em 10 de maio de 2021, disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf>
- Lamberts, R., Triana, A., Fossati, M., Batista, J. O. (2008) *Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área*. Acesso em 10 de maio de 2021, disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade\\_nas\\_edificacoes\\_contexto\\_internacional\\_e\\_alguas\\_referencias\\_brasileiras\\_na\\_area.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_alguas_referencias_brasileiras_na_area.pdf)
- Marinho, A. L. B, Santos, C. M. M., Carvalho, J. M. F., Mendes, J. C., Brigolini, G., Peixoto, R. A. F. (2017). Ladle furnace slag as binder for cement-based composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **29**(11), 04017207. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002061](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002061)
- Martens, M. L., Brones, F., Carvalho, M. M. (2013). Lacunas e tendências na literatura de sustentabilidade no gerenciamento de projetos: uma revisão sistemática mesclando bibliometria e análise de conteúdo, *Gestão e Projetos: GeP*, **4**(1), 165-195. <https://doi.org/10.5585/gep.v4i1.123>
- Minks, V. (2020) *Novas tecnologias de design verde urbano na América Latina: a construção de cidades autossuficientes e sustentáveis*. Acesso em 7 de outubro de 2020, disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4958353/mod\\_resource/content/1/Novas%20tecnologias%20de%20design%20verde%20urbano.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4958353/mod_resource/content/1/Novas%20tecnologias%20de%20design%20verde%20urbano.pdf)
- Mercader-Moyano, P., Yajnes, M. E., Caruso, S. I. (2016). Experimental characterisation of a cement-based compound with recycled aggregates and EPS from rehabilitation work, *Revista de la Construcción*, **15**(3), 97-106. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2016000300010>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement, *International Journal of Surgery*, **339**, b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Morledge, R., Jackson, F. (2001). Reducing environmental pollution caused by construction plant, *Environmental Management and Health*, **12**(2), 191–206. <https://doi.org/10.1108/09566160110389933>
- Nascimento, D. L. M., Quelhas, O. L. G., Meirino, M. J., Caiado, R. G. G., Barbosa, S. D. J., Ivson, P. (2018). Facility Management Using Digital Obeya Room By Integrating Bim-Lean Approaches – An Empirical Study, *Journal of Civil Engineering and Management*, **24**(8), 581-591. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.5609>
- Ngowi, A. (2000). Construction procurement based on concurrent engineering principles, *Logistics Information Management*, **13**(6), 361-369, 2000. <https://doi.org/10.1108/09576050010355707>

- Novis, L. E. M. (2014) *Estudos dos indicadores ambientais na construção civil – estudo de caso em 4 construtoras*, Trabalho de conclusão de curso, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 95 pp.
- Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA, *Construction and Building Materials*, **23**(1), 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>
- Pavez, I., Gonzáles, V., Alarcon, L. F. (2010). Improving the Effectiveness of New Construction Management Philosophies using the Integral Theory, *Revista de la construcción*, **9**(1), 26-38. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2010000100004>
- Pluye, P., Hong, Q. N. (2014). Combining the power of stories and the power of numbers: mixed methods research and mixed studies reviews, *Annual Review of Public Health*, **35**, 29-45. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182440>
- Queiroga, A. T. D., Martins, M. F. (2015). Indicadores para a construção sustentável: estudo em um condomínio vertical em Cabedelo, Paraíba, *Revista de Administração da UFSM*, **8**, 114. <https://doi.org/10.5902/1983465916497>
- Rose, R. (2011) *Legislação e normas ambientais na América Latina*. Acesso em 7 de outubro de 2020, disponível em: <http://compam.com.br>
- Rosenbaum, S., Toledo, M., González, V. (2014). Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using Value-Stream Mapping: Case Study, *Journal of Construction Engineering and Management*, **140**(2), 04013045. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000793](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000793)
- Saldaña-Márquez, H., Gómez-Soberón, J. M., Arredondo-Rea, S. P., Corral-Higuera, R. (2018). Sustainable social housing: The comparison of the Mexican funding program for housing solutions and building sustainability rating systems, *Building and Environment*, **133**, 103-122. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.017>
- Santos, A., Villegas, N., Betancourt, J. (2012). Residuo de mármol como insumo en la construcción civil: diagnóstico de la Comarca Lagunera, *Revista de la Construcción*, **11**(2), 17-26, 2012. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200003>
- Santos, R., Costa, A. A., Grilo, A. (2017). Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015, *Automation in Construction*, **80**, 118-136. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.005>
- Sierra, L. A., Pellicer, E., & Yepes, V. (2016). Social Sustainability in the Lifecycle of Chilean Public Infrastructure. *Journal of Construction Engineering and Management*, **142**(5), 05015020. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001099](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001099)
- Silva, C. P. C. (2013) *Indicadores de sustentabilidade ambiental na etapa de execução de edificações multipavimentos*, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 141 pp.
- Torres-Machi, C., Chamorro, A., Yepes, V., Pellicer, E. (2014). Current models and practices of economic and environmental evaluation for sustainable network-level pavement management, *Revista de la construcción*, **13**(2), 49-56. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2014000200006>