

***Lean & Green* e as etapas do ciclo de vida das construções: mapeamento da literatura e análise de tendências**

**Lean & Green and the life cycle stages of constructions: literature mapping and trend analysis**

---

Marília de Oliveira Rezende\* - [mariliarezendebr@gmail.com](mailto:mariliarezendebr@gmail.com)

Daiane Vitória da Silva\* - [daianevitoriasilva@yahoo.com.br](mailto:daianevitoriasilva@yahoo.com.br)

Virgínia Aparecida da Silva Moris\* - [vimoris@ufscar.br](mailto:vimoris@ufscar.br)

Diogo Aparecido Lopes Silva\* - [diogo.apls@ufscar.br](mailto:diogo.apls@ufscar.br)

\*UFSCAR, Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, SP

---

**Article History:**

Submitted: 2020 - 11 - 23

Revised: 2020 - 12 - 21

Accepted: 2021 - 02 - 25

---

**Resumo:** A sinergia entre a produção enxuta e a sustentabilidade pode trazer vantagens competitivas às empresas de construção civil, com o aumento da produtividade e a redução de impactos ambientais negativos. Neste estudo, foram identificadas as ferramentas e melhores práticas utilizadas ao longo do ciclo de vida de empreendimentos que visam a sustentabilidade. A literatura revela relativamente poucos estudos sobre o tema, já que somente 37 publicações foram encontradas nas bases de dados exploradas. Existe forte incidência da temática nos últimos cinco anos, especialmente em países como os Estados Unidos, Brasil e Nova Zelândia. Destaca-se a aplicação do *lean-green* nas fases de concepção e planejamento, através de práticas como a metodologia *Building Information Modeling* (BIM). As principais limitações foram a falta de estudos relacionados às fases de uso, manutenção e demolição de construções, sendo está uma oportunidade para novos estudos. As principais tendências identificadas são delineadas num *roadmap* a fim de que sejam aplicadas pelas construtoras visando um melhor desempenho de projetos de construção enxuta e sustentável.

**Palavras-chave:** Construção enxuta; Construção verde; Lean-green; Construção sustentável

**Abstract:** The synergy between lean production and sustainability can bring competitive advantages to civil construction companies, with increased productivity and reduced negative environmental impacts. In this study, we identified the main tools and best practices used throughout the life cycle of constructions to achieve Lean & Green. The literature reveals relatively few studies on the topic, since only 37 publications were found in the explored databases. There has been a strong incidence of the theme in the last five years, especially in countries such as the United States, Brazil and New Zealand. The application of lean-green in the design and planning phases is highlighted, through practices such as the Building Information Modeling (BIM) methodology application. The main limitations were the lack of studies related to the phases of use, maintenance and demolition of buildings, which is an opportunity for further studies. The main trends identified are outlined in a roadmap so that they can be applied by construction companies aiming at a better performance of lean and sustainable construction projects.

**Keywords:** Lean construction; Green building; Lean-green; Sustainable construction

## 1. Introdução

A responsabilidade socioambiental durante a aquisição de produtos é crescente entre os consumidores, mostrando que a relação predatória de utilização dos recursos naturais passa a ter uma perspectiva de preservação e consumo consciente (Ventura, 2009). As condições atuais do meio ambiente resultam no despertar da responsabilidade sob as operações e produtos (Zago et al., 2018) aquecendo a competitividade no mercado, uma vez que os consumidores buscam por produtos não apenas com qualidade, mas também ecologicamente adequados (Júnior et al., 2018). Assim, com o intuito de atender esta nova demanda, há uma crescente busca pelo desenvolvimento de negócios mais sustentáveis para elevar a competitividade das empresas (United Nations Environment Programme, 2017).

Neste contexto, Thanki e Thakkar (2018) afirmam que a integração da temática *lean-green* nos sistemas de produção é vantajosa para uma melhoria da rentabilidade e da eficiência, resultando numa produção mais sustentável. Em outras palavras, a conexão entre *lean* e *green* contribui para uma melhor eficiência no uso de recursos naturais econômicos e sociais (Dües et al., 2013).

Assim como nos setores de manufatura e serviços, existe a busca por produtos de alto desempenho no setor da construção civil. Segundo Horman et al. (2006), a demanda por construções de alto desempenho é tendência na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção. As construções de alto desempenho são definidas como aquelas que garantem o conceito de projeto integrativo, cujas partes interessadas atuam de forma sinérgica e projetam juntos buscando a maior eficiência. Desta forma, tem o potencial de reduzir os impactos ambientais e econômicos do ambiente construído, priorizando a qualidade de vida para os ocupantes ao longo do ciclo de vida da construção (Carvalho et al., 2017).

Abduh et al. (2014) afirmam que há necessidade de uma abordagem holística em relação ao processo e à implementação de construções sustentáveis. Estudos iniciais como o de Horman et al. (2006) mostram o desenvolvimento de um programa chamado “Iniciativa *Lean-Green*”, onde o foco foi estruturar novas ideias em direção ao desenvolvimento de edifícios que reduzissem as perdas na construção, maximizassem valores agregados, diminuíssem custos produtivos e otimizassem o desempenho ambiental. Para tanto, o potencial de sucesso do *lean-green* está ligado a esforços direcionados ao longo do ciclo de vida da construção.

Stamure et al. (2015), ressaltam que a longo prazo as construções de alto desempenho apresentam melhorias significativas ao meio ambiente local e ao entorno. Para isso, algumas

das atividades-chave são a análise do local onde serão alocados os empreendimentos e a escolha consciente dos materiais de construção, avaliando seus impactos ambientais ao longo do ciclo de vida (Stamure *et al.*, 2015).

Assim, este artigo objetiva identificar o estado da arte de pesquisas que aplicam a temática *lean-green* nas diferentes etapas do ciclo de vida das construções. Para tanto, por meio de revisão sistemática da literatura, foram identificados e analisados estudos publicados nas principais bases de dados de periódicos da área da construção civil.

## 2. As filosofias *Lean e Green*

### 2.1 A Mentalidade Enxuta

A produção enxuta ou *lean manufacturing* (LM), cujos princípios foram desenvolvidos na década de 1960, surgiu no Japão e é atribuída à *Toyota Motor Company*, que buscava um sistema capaz de organizar a produção de acordo com uma demanda específica de veículos de modelos e cores diferentes com o mínimo de atraso ao cliente final. Segundo Correa e Gianesi (1996), a produção enxuta define-se pela busca na otimização de processos com foco na redução contínua de desperdícios e de atividades que não agregam valor à produção.

Na década de 1990, Womack *et al.* (1992) disseminaram a mentalidade enxuta (Womack e Jones, 1998), evidenciando que todas as empresas, independente do ramo de atuação, possuem a capacidade de aplicar e desenvolver o *lean manufacturing* (LM). No setor da construção civil, Lauri Koskela, através da obra “*Application of the new production construction*”, traduziu os aspectos do LM para a construção.

O *lean construction* (LC) é uma combinação de princípios e ferramentas do LM, que resultam numa filosofia gerencial em direção à maximização de valor sob a perspectiva do cliente. Por meio de ferramentas como círculo de Ohno, sete desperdícios e 5S, a mentalidade enxuta no canteiro de obras tornou-se possível. Porém, a maior dificuldade é atingir a estabilidade básica dos processos relacionados ao cumprimento de prazos, produtividade, qualidade, custo e segurança (Delhi *et al.*, 2016).

Koskela (1992) ressalta que os processos produtivos nos canteiros de obra possuem peculiaridades que tornam este setor dissemelhante ao setor manufatureiro. Essas diferenças são observadas na classificação do sistema produtivo em relação ao processo e ao produto (Maccarthy e Fernandes, 2000). Por exemplo, na indústria manufatureira o ambiente de produção em massa pode ser classificado como *Make-to-Stock* (MTO), onde existem

especificações e design pré-definidos dos produtos. Já na construção, cada produto deve obedecer às especificidades do projeto elaborado para um único cliente, resultando na classificação *Engineer to order* (ETO), ou projeto sob encomenda. Para Andrade e Fernandes (2018), sistemas do tipo ETO possuem barreiras e desafios relacionados a pontualidade de entrega, custo e qualidade, que devem ser minimizadas pois afetam as necessidades dos clientes.

Outros aspectos que distinguem a aplicação do *lean* na construção do *lean* na manufatura são: o fato do arranjo físico ser em linha ou setorizado nas fábricas, enquanto nos canteiros de obra o arranjo físico é estacionário; o fato das unidades de fluxo serem produtos bem definidos e padronizados na manufatura, como peças ou componentes, enquanto na construção as unidades podem ser elementos não idênticos entre si, como vigas e pilares que se diferenciam no comprimento, altura e profundidade ou na quantidade de aço incorporado (Rosenbaum et al., 2014).

Koskela (1992) também afirma que, em contraste com as fábricas, as exigências da construção vão além do planejamento de materiais, exigindo o planejamento de equipes que diferem em relação às etapas de construção e as suas respectivas especialidades. Além disso, afirma que o canteiro de obras deve ser visto como um dos recursos necessários para a produção e que apesar de ser comparável com o chão de fábrica, está muito mais propenso a interrupções, devido aos seus aspectos econômicos, sociais e ambientais. Além disso, as atividades no canteiro de obras são realizadas por pessoas, portanto, envolve processos manuais e bem menos automatizados.

Essas características auxiliam no delineamento do conceito da mentalidade enxuta aplicada à construção, originalmente feita pela definição dos “onze princípios” do LC, propostos por Koskela (1992). Entre as definições está o aumento do valor agregado do produto considerando as necessidades das partes interessadas durante a fase de projeto do produto e de execução; a redução da variabilidade dos processos e materiais aplicados; a redução do tempo de ciclo, buscando a eliminação de tempo dedicado à desperdícios do canteiro como transportes, espera e processamento; a redução de passos ou partes do processo construtivo, através da padronização de elementos e serviços; o aumento da flexibilidade de saída e da transparência do processo, visando melhor atendimento aos requisitos colocados pelas partes interessadas; a redução de desperdícios e a aplicação do conceito de melhoria contínua ao canteiro de obras.

Segundo Womack e Jones (1998), a redução de desperdícios está concentrada no entendimento do conceito do que é valor para o cliente e na identificação dos desperdícios na

produção. Desta forma, a implementação das técnicas do *lean* na construção são fundamentalmente um exercício de mudança cultural, onde as práticas são em sua essência direcionadas à redução de desperdícios, conforme discutido por Monte, Neumann e Aquere (2017) numa revisão sobre *Lean Construction* entre 2007-2016.

Ao explorar os benefícios derivados das práticas do *lean* na construção, Bajjou & Chafi (2018) afirmam que os profissionais da área reconhecem a importância desta temática para a obtenção de melhores desempenhos na qualidade, segurança e no meio ambiente. Sarhan et al. (2017), listam como principais benefícios a satisfação do cliente, redução do tempo de construção, melhoria nos processos produtivos, melhorias no histórico de desempenho de saúde e segurança no canteiro, melhor relacionamento com fornecedores e maior satisfação dos funcionários. Por meio da construção enxuta, Li et al. (2017) afirmaram que o *lean* na construção pode ainda refletir em benefícios como melhoria de produtividade para reduzir atrasos no projeto, ocasionando o aumento da lucratividade das empresas. Para Kim & Park (2006), a principal influência está relacionada à melhoria na comunicação e coordenação entre os participantes, das diversas hierarquias existentes num canteiro de obras.

Desta forma, nota-se que estes benefícios listados corroboram com os princípios propostos por Koskela (1992), e que juntos convergem para o conceito de eliminação de desperdícios e de agregação de valor ao produto para o cliente. Para Pampanelli et al. (2013), estas máximas estão relacionadas com a ideia de sustentabilidade no canteiro de obras, pois a construção enxuta é o primeiro passo para que a construção verde (*green building*) seja alcançada.

Logo, é possível afirmar que a minimização da utilização de recursos naturais e a minimização da poluição vão de encontro ao requisito da redução de desperdícios da filosofia *lean*, concluindo-se então que a construção enxuta alinha-se aos objetivos da sustentabilidade (Pampanelli et al, 2013).

## 2.2 A construção enxuta e a sustentabilidade

A manufatura sustentável é referenciada em inglês pelos termos *green manufacturing* (GM) e *sustainable manufacturing*. Surgiu no início da década de noventa devido à necessidade de integrar questões de sustentabilidade ambiental aos processos produtivos de fabricação

(Silva et al., 2015). O conceito tem evoluído desde então e atualmente é tratado também por meio do pensamento de ciclo de vida do produto (Silva et al., 2020).

As pesquisas relacionadas à manufatura sustentável têm se intensificado nos últimos anos, principalmente em instituições localizadas nos Estados Unidos e Reino Unido (Rezende et al., 2018). São estudos direcionados para a indústria de manufatura, com foco no desenvolvimento de metodologias, aplicação e avaliação de impactos ambientais, não necessariamente no tocante à construção civil (Silva et al., 2015; Caiado et al., 2020).

Alguns autores como Florida (1996), King e Lenox (2001) e Pampanelli et al. (2013) relacionam o GM com o LM, focando na redução do desperdício de recursos, que consequentemente contribuem para a melhoria dos processos na perspectiva ambiental. Na construção civil, diversos autores se remetem ao GM pela terminologia *Green Building* (Saieg et al., 2018; Almeida e Picchi, 2016; Luo et al., 2005), enquanto outros utilizam o termo *Green Construction* (Li et al., 2017; Nahmens, 2009).

A procura pelo desenvolvimento sustentável no setor da construção civil é motivada por diversos fatores. Segundo o *International Panel on Climate Change – IPCC* (2014), em 2010, as construções foram responsáveis pelo consumo de 32% do total de energia no mundo, 19% das emissões de gases do efeito estufa (GEE), aproximadamente um terço de emissões de carbono e um oitavo da emissão de gases fluorados. Neste cenário, por meio do Acordo de Paris, o Brasil comprometendo-se a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005 até o ano de 2025 e de 43% até 2030. No Brasil, são coletadas 123.421 toneladas/dia de resíduos de construção e demolição no país (ABELPRE, 2017).

Assim, as construções sustentáveis são colocadas entre as nove principais prioridades estratégicas para o alcance da produção e consumo mais sustentáveis na América Latina e do Caribe (UNEP, 2016). Segundo Huovila e Koskela (1998), o esforço conjunto das estratégias *lean-green* contribuem para o alcance de construções sustentáveis, já que a essência da construção enxuta oferece base conceitual e ferramentas que estimulam a minimização da utilização de recursos naturais no canteiro de obras.

Ainda segundo Huovila e Koskela (1998), para que as práticas *lean-green* sejam efetivamente utilizadas na busca pela sustentabilidade nas construções, as atividades devem ser gerenciadas de acordo com a perspectiva de ciclo de vida de produto. O conceito de ciclo de vida produto, de acordo com as normas ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009), equivale ao

conjunto de todas as etapas necessárias para que um produto cumpra sua função, desde a extração de recursos naturais até sua disposição final após o cumprimento de sua função.

Este conceito é visto de diferentes formas na literatura. Womack (2000) definem que a gestão de ciclo de vida deve ser estudada e analisada sob a perspectiva dos fluxos básicos de um empreendimento: projeto, construção e sustentação. Defendem que o fluxo de projeto se inicia na concepção do produto, o fluxo de construção parte do pedido à entrega, envolvendo fluxos físicos e de informações; e o fluxo de sustentação engloba o uso do produto ao longo da fase de operação, manutenção, demolição e reciclagem.

Já para Almeida e Picchi (2018), o ciclo de vida pode ser interpretado sob um olhar técnico, dividindo as fases entre concepção, projeto, suprimento, construção e uso. Já para Carvalho *et al.* (2017), o ciclo de vida da construção inicia-se na fase de produto, passando para a fase de processo de design, processo de construção, fase de uso e fase de fim de vida.

Para Picchi (2003), analisar as diferentes perspectivas de aplicação da temática *lean-green* ao longo do ciclo de vida das construções significa adotar uma linha do tempo, cujo início está no momento da identificação das necessidades dos usuários, conforme a Figura 1. Deste ponto até o momento de entrega do empreendimento está o fluxo dos negócios que engloba o planejamento geral, aprovações em prefeitura, obtenções de financiamentos e monitoramento do projeto e da construção.

Ao final da fase de entrega do empreendimento, inicia-se o fluxo de uso e manutenção, que abrange o uso, operação, manutenção, assim como reparo, reforma e demolição do empreendimento. Geralmente as empresas envolvidas neste fluxo são diferentes das empresas que foram envolvidas nas fases anteriores no ciclo de vida da construção (Picchi, 2003).

A fase de concepção também chamada de fase de projeto, envolve a equipe de engenharia e arquitetura através da elaboração de projetos que obedeçam a requisitos para construção de um produto *lean-green* e que obedeçam aos requisitos de sustentabilidade. A fase de planejamento contempla a programação das atividades que ocorrerão, bem como estudos relacionados à logística de canteiro de obras e programação de atividades conforme requisitos de tempo, custos, qualidade, políticas, saúde e segurança, e meio ambiente. Na fase de construção será realizado aquilo que foi planejado nas duas fases anteriores, a partir da utilização de mão-de-obra, materiais e equipamentos de construção. Ao final desta fase ocorrerá a entrega do empreendimento, ponto a partir do qual inicia-se a fase de uso e manutenção. Por fim, após a vida útil do produto ter incorrido, iniciará o ciclo de demolição, onde o produto será

desconstruído e deverá dar origem a novos produtos que devem utilizar esses materiais novamente por meio do reaproveitamento dos materiais.

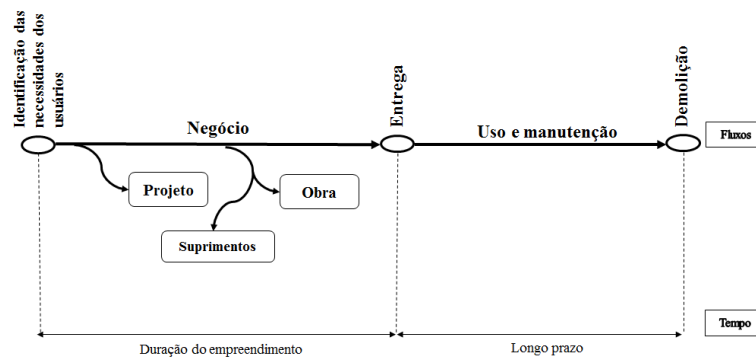


Figura 1 - Fluxos e o ciclo de vida da construção  
Fonte: Picchi (2003)

Valente *et al.* (2013) registraram algumas iniciativas adotadas na fase de concepção de projetos localizados no nordeste brasileiro. A primeira delas foi a busca pelo aumento da eficiência energética através da certificação internacional de sustentabilidade na construção, conhecida como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). A segunda foi a prática de uma das estratégias do *Green commitment*, ou Comprometimento verde, onde os esforços concentram-se em transformar cada metro quadrado de terreno adquirido para construção em áreas equivalentes dedicadas ao plantio de novas árvores.

Nahmens (2009) aplicou a ferramenta *lean* conhecida como Kaizen durante a elevação de alvenarias a fim de atingir a redução de perdas na construção e a melhorias de sustentabilidade ambiental no processo construtivo. Através da comparação de cenários, concluiu que a iniciativa *lean-green* durante a fase de construção contribuiu para o movimento eficiente de pessoas e materiais no canteiro de obras, o que numa perspectiva *lean* reduziu perdas relacionadas à movimentação, e que numa perspectiva *green* reduziu a possibilidade de danos relacionados à perda de matéria-prima, material em movimentação e de alvenarias finalizadas. Nahmens (2009), também identificou que a utilização de equipamentos adequados ao serviço sob o ponto de vista *lean* tornaram o processo de construção mais eficiente e sob o ponto de vista *green* reduziu desperdícios relacionados ao retrabalho.

Em geral, os estudos *lean-green* no âmbito de sustentabilidade ambiental focam no uso eficiente de materiais e de energia na construção, melhorar a eficiência no uso da água e reduzir a pegada de carbono (Rezende *et al.*, 2018). Contudo, é importante ressaltar que os estudos



citados de Nahmens (2009) e Valente *et al.* (2013), assim como diversos outros existentes na literatura da área focaram apenas nas fases de projeto e de construção dos empreendimentos, deixando de lado as etapas a jusante do ciclo de vida. Assim, a maior parte dos estudos *lean-green* na construção civil ainda focam apenas no fluxo de negócios da Figura 1. Já as etapas de uso e manutenção, e o pós-uso dos empreendimentos são menos estudados (Rezende *et al.*, 2018), o que motivou a realização desta pesquisa, conforme a descrição metodológica da seção 3.

### 3. Metodologia

Neste estudo foi utilizada a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que é definida por Kitchenham (2004) como um estudo cujo objetivo é interpretar e avaliar a literatura relevante existente sobre um dado tema. Para Tranfield *et al.* (2003) e Brereton *et al.* (2007), uma RSL pode ser conduzida em três estágios: planejamento da revisão, condução da revisão e resultados e disseminação das informações.

O protocolo da RSL neste estudo contemplou o estabelecimento do objetivo da pesquisa, definição das estratégias de busca e de critérios de inclusão e exclusão de trabalhos científicos na amostra, conforme detalhamento no Quadro 1 (Material Suplementar). O direcionamento foi para trabalhos que integrassem a temática *lean-green* ao longo do ciclo de vida de construções. As bases de dados selecionadas para amostragem foram *Scopus*, *Web of Science* e *Compendex*. Um estudo prévio de palavras-chave utilizadas nas bases (Rezende *et al.*, 2018), direcionou ao uso dos termos: “*lean*” e “*green*” a fim de incluir trabalhos que empregassem o uso de ambas as temáticas em sinergia; e “*construction*” ou “*building*” restringindo a seleção de trabalhos desenvolvidos somente na construção civil.

Foram inclusos na amostra artigos que envolvessem a aplicação da temática *lean-green* em pelo menos uma das fases do ciclo de vida de uma construção, contendo benefícios, limitações, tendências, ferramentas aplicadas, e resultados quantitativos e qualitativos relacionados ao assunto. Trabalhos que não se enquadraram na indústria da construção civil, com textos incompletos, ou que não se adequaram às condições de pesquisa delineadas no Quadro 1, foram excluídos da amostra.

Quanto às etapas relacionadas à ciclo de vida, os estudos foram classificados de acordo com as seguintes fases: concepção (ou projeto), planejamento, construção, uso e manutenção e, por fim, fase de demolição.

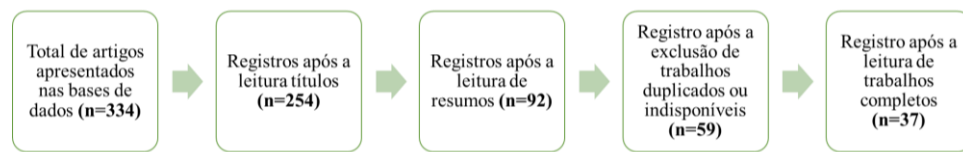


Figura 2 - Processo de RSL aplicado  
Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

A condução do processo de RSL (ver Figura 2) foi iniciada a partir do mapeamento de 334 artigos por meio das três bases de dados citadas. Dentro desta amostra, 254 artigos foram filtrados com base na leitura dos títulos. Após essa filtragem, 92 artigos foram selecionados. A redução inicial de 334 artigos para 92 artigos se deve a não utilização da abordagem *lean-green* em algumas das fases de vida do empreendimento.

Dessa forma, foram excluídos os trabalhos duplicados ou que apresentaram acesso restrito aos artigos, restando 59 publicações. Dessas, após leitura e análise dos artigos completos, 22 artigos foram excluídos, resultando numa amostra final de 37 trabalhos publicados até abril de 2018.

#### 4. Resultados e discussões

Os resultados foram estruturados da seguinte forma: 1) análise descritiva e; 2) análise de conteúdo, qualitativa e exploratória dos principais conceitos disseminados pelos autores considerados na amostra.

##### 4.1 Análise descritiva

A Figura 3a mostra que há uma tendência mundial e crescente de pesquisa a partir de 2011, considerando a combinação dos temas *lean* e *green* relacionados a fases de vida de empreendimentos. Mais da metade dos trabalhos (57%) foram mapeados apenas nos últimos cinco anos, sendo que 24% destes foi publicado entre 2017 e abril de 2018. Esses resultados corroboram com (Almeida e Picchi, 2018; Saieg et al., 2018), que também citam a maior frequência do tema na América do Norte, por meio dos Estados Unidos (EUA), seguido da Europa e América do Sul, representados pelo Brasil e Nova Zelândia, conforme a Figura 3b. Esses países têm a representatividade de 38%, 8,1% e 8,1%, respectivamente.

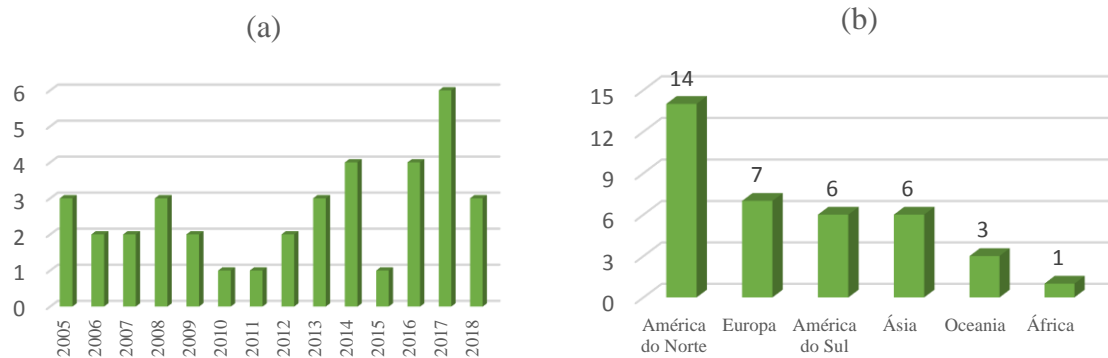


Figura 3 - Produção científica sobre *lean-green* nas fases do produto na construção civil por (a) ano e (b) continente

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Um dos motivos dos EUA possuírem volume de publicações é devido à origem do grupo de pesquisa “*Lean and Green Research Initiative*”, localizado no departamento de arquitetura e engenharia da Universidade Estadual da Pensilvânia, cujo intuito é identificar e potencializar a união entre a construção enxuta e a sustentabilidade. Somente nesta amostra, sete artigos dos trinta e sete são de origem deste grupo (18,9%). Além disso, o grupo mundial *International Group for Lean Construction* (IGLC), realiza conferências anuais onde pesquisadores podem publicar seus trabalhos. O trabalho realizado por esses fundadores, faz com que sejam mantidos fortes vínculos com universidades e outros grupos de pesquisa do país através do *Lean Construction Institute*, onde possuem grande reconhecimento e influência. Nesta amostra, outros sete dos trinta e sete trabalhos, foram publicados em edições da conferência anual do IGLC.

A Figura 4 demonstra que apesar dos EUA apresentarem o maior número de publicações, o tema vem notadamente sendo mais desenvolvido pelos demais países do mundo. Países como Brasil, Nova Zelândia e Reino Unido, responsáveis por boa parte das publicações, possuem uma política mais significativa quanto a metas de redução de gases de efeito estufa do que os Estados Unidos, o que corrobora com o fato dos primeiros fazerem parte do Acordo de Paris, enquanto os últimos não.

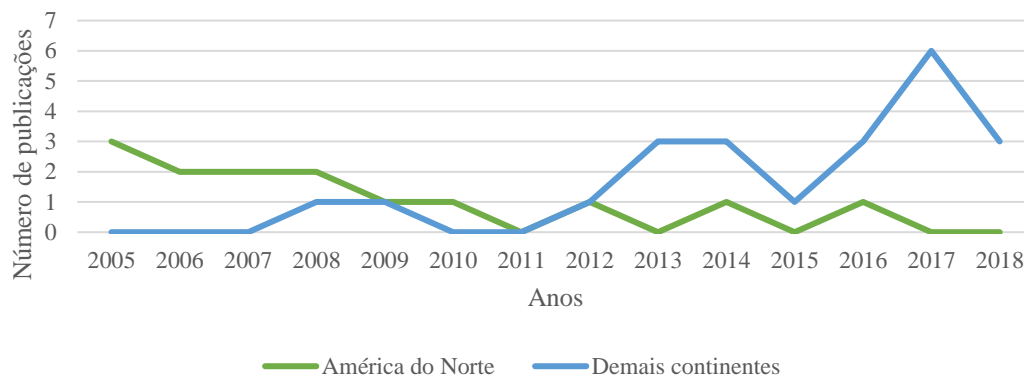


Figura 4 - Número de publicações na América do Norte e demais continentes  
Fonte: Dados da pesquisa (2018)

É importante ressaltar que entre os trabalhos selecionados, 49% foram publicados em revistas internacionais e 51% em congressos. As publicações em revistas estão concentradas em veículos como o *Journal of Green Building* (8,1%), *Journal of Cleaner Production* (8,1%) e o *Journal of Construction Engineer* (5,4%). Todos esses veículos de publicação recebem trabalhos cuja essência é relacionada à construção enxuta e sustentabilidade. Comparando esses resultados com os de Rezende et al. (2018), percebe-se que há semelhança quanto ao veículo de comunicação, pois a revista *Journal of Cleaner Production* também é um dos mais desfrutados pela comunidade científica da área sobre *lean-green* na construção civil.

Entre os trabalhos em conferências, 18,9% foram publicados no IGLC, enquanto 13,5% foi divulgado através do *Construction Research Congress*. Entre os pesquisadores, destacam-se David R. Riley, Michael J. Horman, Vicente A. González e Anthony R. Lapinski, que realizam trabalhos junto ao grupo de pesquisa da Universidade Estadual da Pensilvânia.

#### 4.2. Análise de conteúdo

A partir dos critérios de inclusão, foram selecionados artigos que trabalhavam conceitos do *lean-green* em pelo menos uma das fases de vida de uma construção. O Quadro 2 (Material Suplementar) representa a lista de artigos da revisão selecionados neste trabalho.

A Figura 5 ilustra a aplicação do tema de pesquisa de acordo com a fase de vida da construção que é abordada, correlacionando o ano em que o trabalho foi publicado. Nota-se que entre os temas mais estudados estão os assuntos relacionados à fase de concepção (design) de empreendimentos e foram citados 18 vezes (26%), enquanto aqueles relacionados à fase de construção também são frequentes e foram trabalhados 30 vezes (43%). Os artigos relacionados

às fases finais do ciclo, como uso e manutenção e demolição, foram citados 7 (10%) e 4 (6%), respectivamente, concentrando-se somente nos últimos cinco anos.

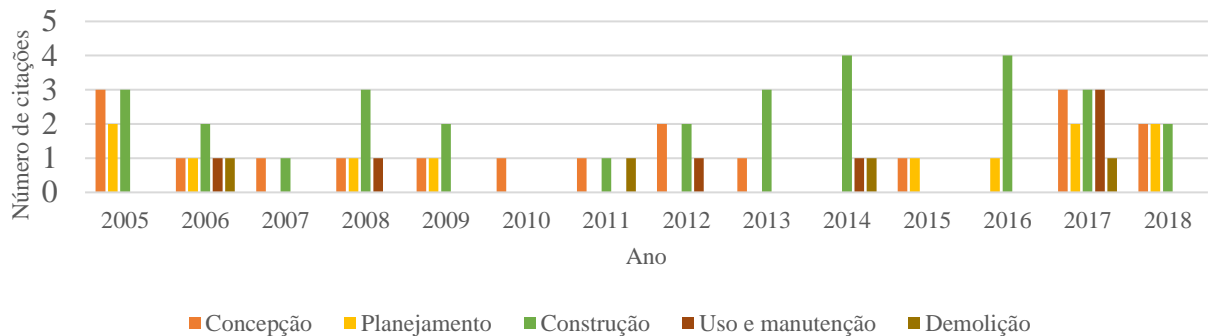


Figura 5 - Número de citações por fase de vida do produto  
Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Numa nova perspectiva, é possível notar que a temática *lean-green* é principalmente estudada para casos de edifícios residenciais, o que ocorreu 37,8%, seguido de empreendimentos comerciais ou industriais (18,9%) e prédios de hospitais ou universidades (5,4%). Além disso, em geral, os estudos avaliam a utilização de materiais de pré-fabricados de concreto (16,2%) ou de madeira (2,7%), cuja ideia provém de uma das metodologias do *Lean* na construção, o *Lean Project Delivery System* (LPDS) (Ballard, 2000). O LPDS analisa a interação do *design* e da construção a fim de minimizar as perdas em cada uma das etapas buscando incrementar a eficiência na utilização desses materiais.

Quanto a distribuição dos elementos *lean-green* na amostra, destacou-se a utilização do *Value Stream Mapping* (VSM), uma ferramenta *lean* que realiza a análise completa do fluxo da produção adotando indicadores específicos como tempo de agregação de valor, *lead time* e o *takt time* (Saieg et al., 2018). No sentido de contribuir para o cumprimento de métricas da sustentabilidade na construção, a metodologia do VSM contribui para o diagnóstico do estado atual da produção, através da elaboração dos mapas, propondo melhorias para o estado futuro (Rosenbaum et al., 2014). A utilização de sistemas de certificação de sustentabilidade, como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) são bastante recorrentes. O LEED proporciona uma série de conceitos para que edifícios, residências, escolas e hospitais possam tornar-se sustentáveis, de modo eficiente e econômico. O BREEAM é bastante similar ao LEED, porém é uma certificação inglesa, cuja popularidade está concentrada em países desta origem. A ideia de projeto integrado também é trabalhada como um dos requisitos para a certificação LEED,

consistindo na necessidade da existência de uma equipe de projetos experiente que seja capaz de diagnosticar e planejar ações a fim de que os empreendimentos recebam as devidas melhorias para atingir a sustentabilidade (Horman *et al.*, 2006).

O conceito de eficiência energética está relacionado ao consumo de energia elétrica e à necessidade de desenvolvimento de novas fontes de energia que possam compensar ou eliminar este consumo. Quando todas as fontes de energia do empreendimento são limpas, de fontes renováveis, é alcançado o *Zero Energy* (Abdin *et al.*, 2017). Em continuidade, a concepção do Pensamento de ciclo de vida busca levar em consideração todas as fases de vida do produto no momento de tomada de decisões (Van Boggelen, 2011). Já a Análise de Ciclo de Vida busca quantificar os impactos ambientais causados por algum material ou processo produtivo, podendo inclusive analisar as emissões de carbono que podem ser reduzidas em consequência da implementação da filosofia *lean* na construção (Wu *et al.*, 2013).

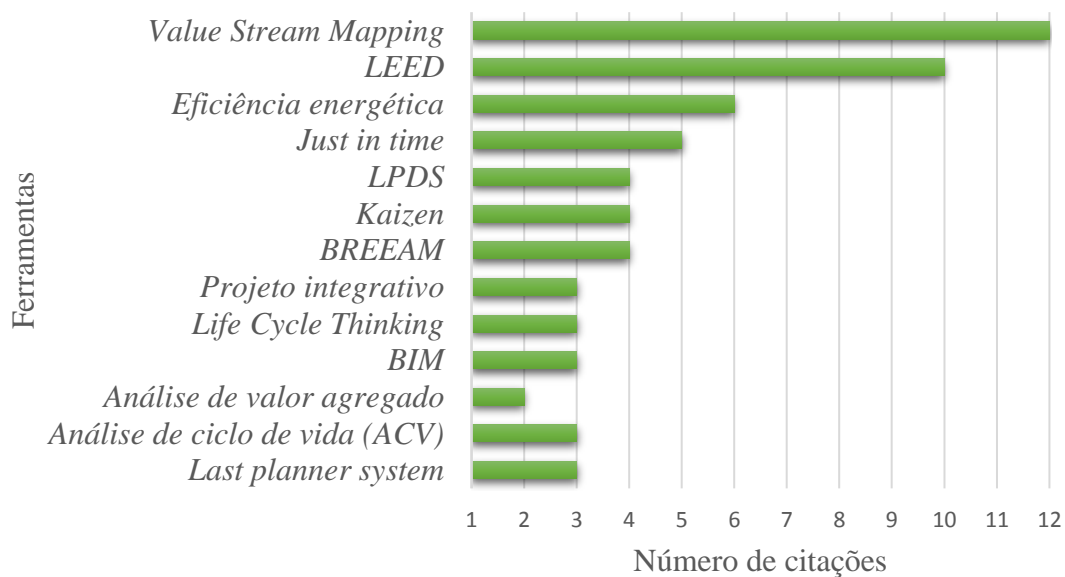


Figura 6 - Número de citações dos elementos *lean-green* mais citados na amostra  
Fonte: Dados da pesquisa (2018)

BIM é uma técnica de modelagem de informações da construção, similar a uma réplica eletrônica do projeto (Ilozor e Kelly, 2012). É também um facilitador para obtenção de resultados mais sustentáveis, como a redução de impactos ambientais e aumento da produtividade, através da possibilidade de eficiência na compatibilização de projetos e análise detalhada das construções antes de serem executadas. Algumas citações como *Just in time*, LPDS e Kaizen (melhoria contínua) são recorrentes na literatura, apontando resultados

satisfatórios quanto a melhoria nos fluxos de trabalho, facilidade na medição do *lead time* e redução de custos de produção (Isa et al., 2018; Kurdve, 2018; Bae e Kim, 2008).

#### 4.3 Lean-green e o ciclo de vida da construção

Conforme mencionado anteriormente, é evidente que a maior parte dos estudos está relacionada à fase de construção dos empreendimentos (43%). Depois, os estudos relacionados à fase de concepção representam 26%, seguido daqueles que abordam o *lean-green* na fase de planejamento, uso e manutenção (10%) e demolição (6%).

Para a fase de concepção, notou-se forte tendência na utilização da ferramenta *Building Information Modeling* (BIM), pois apresenta significativas oportunidades de reduzir impactos econômicos e ambientais ainda na fase de projeto conceitual do empreendimento. Saieg et al. (2018), mostram que *softwares* compatíveis com a plataforma BIM quando combinados com ferramentas *lean* como o *Last Planner System* (LPS) e o *Value Stream Mapping* (VSM) podem facilitar as análises, implantação de sistemas de gerenciamento e a tomada de decisões na construção de empreendimentos. Kurdve (2018) afirma que a utilização de ferramentas de digitalização de projetos em 3D é fundamental para obter respostas cognitivas rápidas e que a gestão visual é um marco da produção enxuta.

Riley et al. (2005), afirmam que o uso da temática *lean-green* na concepção dos projetos contribui para redução de falhas de construção, para a integração dos projetos arquitetônicos com outros projetos, bem como a redução de custos iniciais (investimentos, contratação de mão de obra), consumo de energia e de água. Pode também reduzir os custos com manutenção a longo prazo e viabilizar a tomada de decisões para a utilização de materiais com melhor desempenho ambiental. Orsi et al. (2017), apontam como ferramentas chave a utilização de certificações de desempenho ambiental, como a LEED e a BREEAM, que podem contribuir significativamente para a otimização nas fases de concepção e planejamento da construção. Valente et al. (2013), afirmam que o *lean-green* podem complementar objetivos estratégicos, táticos e operacionais de uma empresa por meio do entendimento de que a construção sustentável é considerada uma forma de agregar valor ao cliente. Por meio de um estudo de caso, afirmaram que a utilização da ferramenta *Last Planner System* pode contribuir pra este aspecto de agregação de valor reduzindo os impactos ambientais na construção.

A utilização da ferramenta VSM pode ser empregada também para avaliar simultaneamente desperdícios ambientais e de produção durante a fase de construção dos projetos. Ela consiste na elaboração de mapas que auxiliam no diagnóstico do estado atual da

produção propondo melhorias para um estado futuro (Thanki *et al.*, 2016). Os autores concluíram que a ferramenta é eficiente quanto a abordagem *lean-green*, pois possui potencial para otimização do desempenho em sustentabilidade dos projetos, através da redução do uso de recursos, custos, melhorando padrões de qualidade e minimizando impactos ambientais.

Wu *et al.* (2013), afirmam que o *layout* do canteiro de obras durante a fase de construção contribui para o surgimento de atividades que não agregam valor, fazendo com que haja maiores índices de emissão de GEE originados pelo transporte e movimentação excessivos. Huovila e Koskela (1998), compararam a quantidade de perda de material nas fases pré e pós implementação da ferramenta *lean* chamada *kaizen* na fase de construção, evidenciando a eficácia da mesma não somente em evitar desperdícios, mas também, em reduzir impactos ambientais.

Segundo Li *et al.* (2017) a melhoria na eficiência energética é a principal preocupação para minimização dos impactos ambientais na fase de uso e manutenção de um empreendimento. Para isso, construções podem ser adaptadas através da implementação de iluminação natural. Na China, Nahmens (2009) vai mais além, considerando os impactos ambientais gerados por componentes de decoração das residências, recomendando que estes itens sejam incorporados à cadeia de suprimentos com a perspectiva de sustentabilidade, a fim de que os princípios sejam atingidos da forma mais integrada possível. A escolha desses componentes decorativos deve ocorrer não somente em função de fatores logísticos de fornecedores e de custo, mas também, tendo em vista o critério de desempenho ambiental dos insumos oferecidos pelos fornecedores.

Considerando as fases de uso, manutenção e de demolição, poucos estudos foram encontrados. Mostrando-se um campo insuficientemente explorado pela literatura e de oportunidades para estudos futuros. O trabalho de Lingyun (2010) propõe o gerenciamento completo de processos unificando a cadeia de suprimentos sob uma perspectiva *lean-green* nas fases de uso e manutenção, utilizando a viabilidade dos acabamentos integrados às casa entregues por construtoras. Neste contexto, os acabamentos integrados referem-se à colocação de contrapisos e pisos cerâmicos, pias de cozinha e banheiros, forros de teto e paredes pintadas. Desta forma, haveria maior eficiência energética e proteção ambiental no sentido da minimização da geração de resíduos oriundos de decoração por proprietários, pois profissionais capacitados fariam a escolha de materiais com melhor custo e durabilidade, que evitariam



retrabalhos e a geração de resíduos, além de projetar a utilização dos materiais em canteiro para que tenham maior aproveitamento.

Já Abidin *et al.* (2017), afirmam que a iniciativa *lean-green* nas fases de uso e manutenção das construções ocorrem por meio da otimização dos sistemas de eficiência energética, que minimizam o impacto ambiental através da adaptação e reforma da construção existente. Citam como exemplo a busca por iluminação natural e a instalação de sensores de presença, que contribuem para a redução do consumo de energia elétrica. Também citam a pintura a partir da instalação de sistemas de envidraçamento e de ventilação natural que contribuem no mesmo sentido. As etapas de uso, manutenção e demolição são menos exploradas academicamente provavelmente pelo fato de o empreendimento já ter sido construído e entregue para o cliente final, e assim, apresentando maior dificuldade (ou menor interesse) no gerenciamento dos impactos econômico e ambientais dos empreendimentos por parte das construtoras.

Apenas os trabalhos de revisão de literatura, incluíram o gerenciamento de todas as etapas do ciclo de vida das construções, o que reforça a necessidade de inclusão de estudos que proporcionem a análise de todo o ciclo de vida de uma construção para que as mesmas se tornem mais sustentáveis. A visão moderna de sustentabilidade na construção civil busca pelo gerenciamento das atividades não somente contidas nos fluxos de negócio de uma construtora (ver Figura 1 novamente), mas sim, deve contemplar o todo, inclusive as etapas a jusante da entrega do empreendimento construído, evidenciando a relevância das etapas de uso, manutenção e demolição.

Na mesma direção, Horman *et al.* (2006) elaboraram uma *survey* sobre Gestão do Ciclo de Vida de produtos no Brasil, que constatou que muitas empresas ainda não entendem a relevância de gerenciar todo o ciclo de vida da construção para a melhoria do desempenho econômico e ambiental rumo a uma produção sustentável. Em pequenas e médias empresas, o problema é ainda maior segundo Ilozor e Kelly (2012) pois muitas empresas desconhecem aspectos básicos relacionados a sustentabilidade e a gestão do ciclo de vida. Corroborando com isso, Oliveira *et al.* (2018) realizaram uma *survey* em pequenas e médias empresas da região de Sorocaba/SP, e também constataram a falta de conhecimento sobre a temática de gestão do ciclo de vida dos produtos. Logo, perante o cenário nacional descrito, existe uma inércia cultural a ser vencida para que a temática de *lean-green* contribua também para aplicação nessas etapas do ciclo de vida das construções ainda menos estudadas.

Portanto, uma visão moderna do *lean-green* deve incorporar o gerenciamento de todo o ciclo de vida do empreendimento construído, e a Figura 7 apresenta um *roadmap* que pode ser adotado por empresas construtoras para expandir a visão tradicional do *lean-green* para uma visão holística do processo.

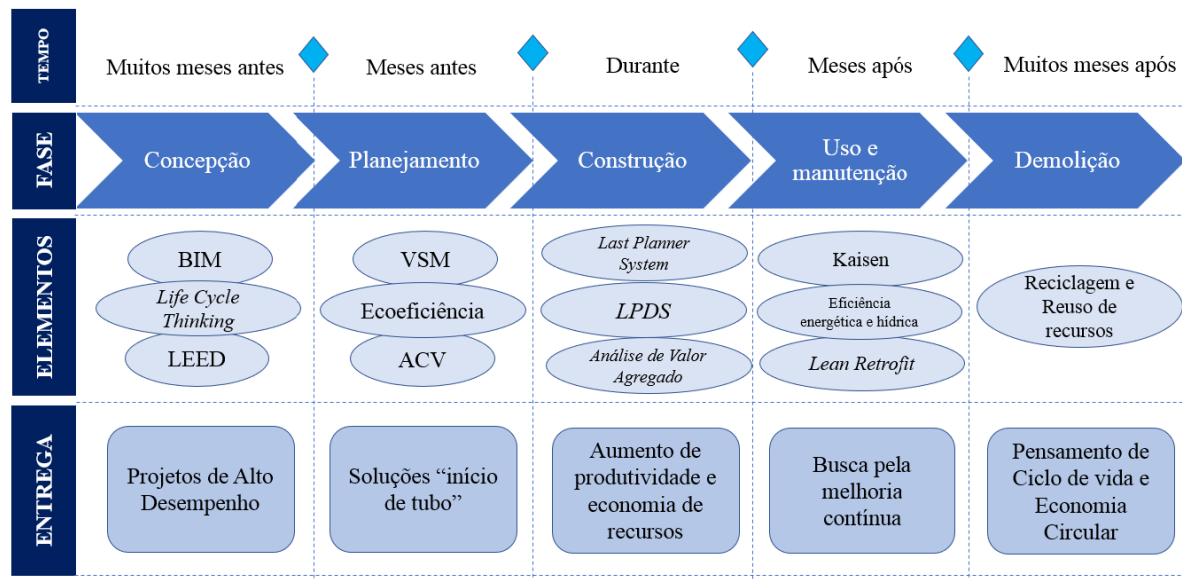


Figura 7 - Roadmap para alcance do *lean-green* no ciclo de vida das construções  
Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

A fase de concepção ou *design* de projeto deve ser iniciada muitos meses antes da data de início da construção. O BIM poderá auxiliar na compatibilização dos projetos executivos, hidráulico, elétrico e estrutural, por exemplo, contribuindo para a eficiência do uso de recursos naturais e econômicos. A certificação LEED, se aplicada nesta fase, poderá apresentar resultados de desempenho em sustentabilidade muito mais concretos ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Durante o planejamento, o desenho do VSM do estado atual (baseado nos projetos desenvolvidos com a metodologia BIM), auxiliará na identificação de pontos críticos do projeto, como *leadtime*, estoques de materiais, necessidades de layout do canteiro de obras ou dimensionamento de equipes de produção. Já a ACV, utiliza os fluxos de materiais do VSM do estado atual, e contribuirá para a quantificação dos impactos ambientais do projeto construtivo, permitindo o diagnóstico de possíveis *hotspots* que ainda poderiam ser solucionados antes de serem iniciadas as atividades da fase de construção.

Durante a fase de construção, a união de ferramentas do *Lean construction*, como o LPDS e o *Last Planner System*, contribuirão para o aumento da produtividade e da economia de recursos, pois é fundamental que todos os envolvidos nos fluxos de obra estejam cientes

diariamente das necessidades da construção ao longo do ciclo de vida. Após a entrega do empreendimento, é importante que seja feito um diagnóstico de lições aprendidas (kaizens), para que a melhoria contínua seja feita para os próximos projetos.

Além disso, para os pontos críticos identificados a partir da habitação da construção, é preciso que haja assistência para eventuais necessidades de correções ou manutenções, evidenciados pelo *Lean Retrofit*. A literatura também aponta a continuidade do pensamento de eficiência energética e hídrica, que são os recursos mais utilizados nesta fase de vida do empreendimento. Portanto, a utilização de indicadores de consumo de energia e de água durante o uso do empreendimento se mostram importantes para possibilitar futuros projetos mais eficientes por parte das construtoras.

Por fim, para que a construção continue com a postura *lean-green*, é inevitável que os resíduos provenientes de manutenções, reformas ou demolições tenham um destino responsável, como o reuso ou a reciclagem dos materiais, a fim de que o pensamento de ciclo de vida torne-se parte da cultura da população e o conceito de economia circular possa perdurar.

## 5. Considerações finais

A temática *lean-green* vem se firmando como estratégia chave em direção a melhoria de desempenho da sustentabilidade nas empresas e recebendo atenção em outros setores, como por exemplo, no setor da construção civil, com o desenvolvimento de edifícios de alto desempenho. A literatura atual sugere a busca pela efetividade da implantação do *lean-green* considerando todas as etapas do ciclo de vida da construção.

Assim, este estudo mostrou que a temática *lean-green* e o ciclo de vida das construções é composta por publicações recentes, com predominância na última década e maior ênfase a partir de 2016. Este fator salienta que o tema se torna cada vez mais importante para cumprimento das novas demandas do mercado rumo a uma produção sustentável. Os trabalhos encontrados na RSL são majoritariamente direcionados à fase de concepção, planejamento e de construção. Contudo, a literatura aponta um déficit de pesquisas quanto às aplicações do *lean-green* nas fases de uso, manutenção e demolição.

Nas fases de concepção e planejamento, se destacou a utilização da metodologia BIM, certificação LEED e da ferramenta VSM. Na fase de construção se destacou a utilização das ferramentas VSM, JIT e *Last Planner e LPDS*; e nas fases de uso, manutenção e demolição, o pensamento de ciclo de vida surgiu, com vistas à discussão da necessidade de reformas, readaptação de empreendimentos para melhor eficiência hídrica e energética, reuso e

reciclagem de materiais componentes da construção. Os tipos de empreendimentos mais estudados na literatura foram obras de edifícios residenciais, seguidos de empreendimentos industriais ou comerciais.

A maior parte dos estudos são realizados nos Estados Unidos, Nova Zelândia e no Brasil, publicados em conferências, com destaque na conferência do *International Group for Lean Construction* (IGLC). Já o periódico com maior número de publicações foi o *Journal of Cleaner Production*.

Conclui-se que as pesquisas relacionadas à integração *lean-green* no ciclo de vida da construção são recentes e escassas, e menos ainda exploradas nas etapas de pós-produção. Para isso, este trabalho propôs um *roadmap* (ver Figura 7) para facilitar a inserção da temática *lean-green* ao longo de todo o ciclo de vida das construções. Empresas construtoras e outros *stakeholders* devem contribuir para viabilizar a aplicação efetiva do *roadmap* proposto.

### Agradecimento

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio no desenvolvimento deste artigo.

### REFERÊNCIAS

- Abduh, M., Ervianto, W. I., Chomistriana, D., & Rahardjo, A. (2014). Green construction assessment model for improving sustainable practices of the Indonesian government construction projects. *International Group for Lean Construction*, (20), 111–122.
- ABELPRE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2017). Panorama de resíduos sólidos no Brasil. Disponível em: <<http://www.abelpre.org.br>>. Acesso em: 30 de jan, 2019.
- Abidin, N.I.; Zakaria, R.; Aminuddin, E.; Hamid, A.R.A.; Munikanan, V.; Sahamir, S.R.; Shamsuddin, S.M. (2017). Factor Analysis on Criteria Affecting Lean Retrofit for Energy Efficient Initiatives in Higher Learning Institution Buildings. *MATEC Web of Conferences*, 138, 1–10. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713802025>
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009a) NBR ISO 14040: Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura. Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009b) NBR ISO 14044: Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro.
- Aldairi, J., Khan, M.K., & Munive-Hernandez, J.E. (2017). Knowledge-based Lean Six Sigma maintenance system for sustainable buildings. *International Journal of Lean Six Sigma*, 8(1), 109–130. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2015-0035>
- Almeida, E.L.G., Picchi, F.A. (2016). Sustentabilidade em canteiros de obras. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Out 3-6, João Pessoa: PB.
- Almeida, E.L.G. de, & Picchi, F.A. (2018). Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. *Ambiente Construído*, 18(1), 91–109. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100211>
- Andrade, J.H. de, & Fernandes, F.C.F. (2015). Barreiras e desafios para melhoria da integração interfuncional entre Desenvolvimento de Produto e Planejamento e Controle da Produção em ambiente Engineering-to-Order. *Gestão & Produção*, 25(3), 610–625. <https://doi.org/10.1590/0104-530x1087-13>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. (2019). Panorama Dos Sólidos. *Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2018/2019*, 68. Retrieved from [www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)

- Bae, J.W., & Kim, Y.W. (2008). Sustainable value on construction projects and lean construction. *Journal of Green Building*, 3(1), 155–167. <https://doi.org/10.3992/jgb.3.1.156>
- Bajjou, M.S; Chafi, A. (2018). Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness, benefits and barriers Article information. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 16(4), 533–556. <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2018-0031>
- Ballard, G. (2000). The lean project delivery system: An update. *Lean Construction Journal*, 2008, 1–19.
- Banawi, A., & Bilec, M.M. (2014). A framework to improve construction processes: Integrating lean, green and six sigma. *International Journal of Construction Management*, 14(1), 45–55. <https://doi.org/10.1080/15623599.2013.875266>
- Belayutham, S., González, V.A., & Yiu, T.W. (2016). Clean-lean administrative processes: A case study on sediment pollution during construction. *Journal of Cleaner Production*, 126, 134–147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.091>
- Belayutham, S., González, V.A., & Yiu, T.W. (2017). Lean-based clean earthworks operation. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2195–2208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.060>
- Bhattacharjee, S., Pishdad-Bozorgi, P., Ganapathy, R. (2016). Adoption of pre-fabrication in construction to achieve sustainability goals: an empirical study. *Anais do Construction Research Congress*, May 24, San Juan, PUR.
- Brereton, P.; Kitchenham, B.A.; Budgen, D.; Turner, M.; Khalil, M. . (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571–583. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>
- Caiado, R.G.G, Quelhas, O.L.G., Nascimento, D.L.M., Coutinho, G.C., Meiriño, M.J. (2020). Framework sinérgico entre a filosofia Lean e o Triple Bottom Line no ambiente empreendedor. *Journal of Lean Systems*, 3 (2): 76-89.
- Carvalho, A.C.V.; Granja, A.D.; Silva, V.G. (2017). A systematic literature review on integrative lean and sustainability synergies over a building's lifecycle. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/su9071156>
- Castro-Lacouture, D., Ospina-Alvarado, A.M., Roper, K.O. (2008). AEC + P + F Iintegration with green Project delivery and lean focus. *Journal of green Building*, 3 (4): 154-176.
- Correa, H.L., Gianesi, I.G.N. (1996). *Just in time, MRP II e OPT*. 2. ed. São Paulo: Atlas.
- Delhi, V.S.K., Mahalingam, A., & Varghese, K. (2016). Introducing Lean Construction Philosophy in E-P-C Phases of a Large Industrial Project. *International Group for Lean Construction*, 13–22.
- Dües, C.M., Tan, K.H., & Lim, M. (2013). Green as the new Lean: How to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.023>
- Enache-Pommer, E., Horman, M.J., Messner, J.I., Riley, D. (2010). A unified process approach to healthcare project delivery: synergies between greening strategies, lean principles and BIM. *Anais do Construction Research Congress*, Mai 8-10, Alberta, Canadá.
- Firmawan, F., Othman, F., Yahya, K. (2012). Improving project performance and waste reduction in construction projects: a case study of a government institutional building Project, *International Journal of Tecnology*, 2 (s.n.): 182-192.
- Florida, R. (1996). Lean and Green: the move to environmentally conscious manufacturing, *California Management Review*, 39 (1), 80–105.
- Golzarpour, H., & González, V. (2013). A green-lean simulation model for assessing environmental and production waste in construction. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, 845–854.
- Horman, M.J.; Riley, D.R.; Lapinski, A.R.; Korkmaz, S.; Pulaski, M.H.; Magent, C.S.; Luo, Y.; Harding, N.; Dahl, P. K. (2006). Delivering Green Buildings: Process Improvements for Sustainable Construction. *Journal of Green Building*, 1(1), 123–140. <https://doi.org/10.3992/jgb.1.1.123>
- Huovila, P.; Koskela, L. (1998). Contribution of the principles of lean construction to meet the challenges of

sustainable development. *International Group for Lean Construction*.

Ilozor, B.D.; Kelly, D.J. (2012). Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 2(1), 23–36.

IPCC - International Panel on Climate Change (2014). *Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers and Technical Summary*. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>>. Acesso em: 30 de Jan, 2019.

Isa, R., Emuze, F., Das, D., & Awuzie, B.O. (2018). Modeling a transformational route to infrastructure sustainability in South Africa. *Built Environment Project and Asset Management*, 8(2), 147–159. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-11-2016-0070>

Júnior, R.D.L., Nunes, A.O., Costa, L.B.M., Silva, D.A.L. (2018). Creating value with less impact: Lean, green and eco-efficiency in a metalworking industry toward a cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 196 (s.n.): 517-534, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.064>

Kim, D.; Park, H. (2006). Innovative construction management method: Assessment of lean construction implementation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 10(6), 381–388. <https://doi.org/10.1007/BF02823976>

King, A.A., & Lenox, M.J. (2001). Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance. *Production and Operations Management*, 10(3), 244–256. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00373.x>

Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele University Technical Report*, 33, 28.

Klotz, L., Horman, M., & Bodenschatz, M. (2007). A lean modeling protocol for evaluating green project delivery. *Lean Construction Journal*, 3(1), 1–18.

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. 72.

Kurdve, M. (2018). Digital assembly instruction system design with green lean perspective-Case study from building module industry. *Procedia CIRP*, 72, 762–767. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.118>

Lapinski, A.R., Horman, M., Riley, D.R. (2005). Delivering sustainability: lean principles for green projects. *Anais do Construction Research Congress*, San Diego, California.

Lapinski, A.R., Horman, M.J., & Riley, D.R. (2006). Lean Processes for Sustainable Project Delivery. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(10), 1083–1091. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:10\(1083\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:10(1083))

Li, S., Wu, X., Zhou, Y., & Liu, X. (2017). A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(January), 846–851. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.112>

Lingyun, C. (2010). Integrated Decoration of New Commodity Houses Based on Supply Chain Management. *International Conference on Innovation & Management*, 1711–1717.

Luo, Y., Riley, D.R., & Horman, M.J. (2005). Lean principles for prefabrication in green design-build (GDB) projects. *13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings*, 539–548.

Maccarthy, B.L., & Fernandes, F.C.F. (2000). A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. In *Production Planning & Control* (Vol. 11). <https://doi.org/10.1080/09537280050051988>

Martínez, P., González, V., Fonseca, E. (2009). Green-lean conceptual integration in the Project design, planning and construction. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24 (1): 5-32.

Mkrtchyan, T., & Lokhova, E. (2017). Ecological effectiveness as an essential quality requirement of innovational construction. *MATEC Web of Conferences*, 106. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710607022>

Monte, C.E., Neumann, C., Aquere, A.L. (2017). Lean construction – 2007-2016. *Journal of Lean Systems*, 2 (2): 15-28.

N, R., Delhi, V. S. K., Mahalingam, A., Varghese, K. (2016). Introducing Lean Construction Philosophy in E-P-C Phases of a Large Industrial Project. *Anais do International Group for Lean Construction*, Boston: IGLC.

Nahmens, I. (2009). From lean to green construction: a natural extension. *Construction Research Congress*, 1058–1067.

- Nestey, Å.I., Aarrestad, M.E., Lohne, J., & Bohne, R.A. (2016). Integration of BREEAM-NOR in Construction Projects: Utilizing the Last Planner System. *Energy Procedia*, 96(1876), 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.110>
- Oliveira, C.G.H; Oliveira, J.A.; Silva, D.A L. (2018). Gestão do Ciclo de Vida (GCV) para a sustentabilidade de Pequenas e Médias Empresas (PMEs) na região de Sorocaba/SP: principais entraves e desafios. *Congresso Brasileiro Sobre Gestão Do Ciclo de Vida*, 903–909.
- Orsi, A., Pellicer, E., & Guillamon, I.G. (2017). Optimizing green-building project delivery: Comparative analysis of design-bid-build and design-build delivery methods using case studies. *ISEC 2017 - 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction*, 1–6.
- Pampanelli, A.B., Found, P., & Bernardes, A.M. (2013). A Lean {&} Green Model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*, 85.
- Picchi, F.A. (2003). Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. *Ambiente Construído*, 3 (1), 7-23.
- Ramkrishnan, K., Roper, K., & Castro-Lacouture, D. (2007). Green building rating and delivery systems in building construction: Toward aec+p+f integration. *Lean Construction: A New Paradigm for Managing Capital Projects - 15th IGLC Conference*, (July), 332–342.
- Rezende, M.O., Moris, V.A.S., Silva, D.A.L. (2018). Revisão Sistemática sobre Lean & Green com foco na construção civil. *Anais do Congresso de Sistemas Lean*, Florianópolis, SC.
- Riley, D., Sanvido, V., Horman, M., McLaughlin, M., & Kerr, D. (2005). Lean and Green: The Role of Design-Build Mechanical Competencies in the Design and Construction of Green Buildings. *Construction Research Congress*, 1–10. [https://doi.org/doi:10.1061/40754\(183\)23](https://doi.org/doi:10.1061/40754(183)23)
- Rosenbaum, S., Toledo, M., & Gonzalez, V. (2012). Green-lean approach for assessing environmental and production waste in construction. *IGLC 2012 - 20th Conference of the International Group for Lean Construction*, (c).
- 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)
- Saieg, P., Sotelino, E.D., Nascimento, D., & Caiado, R.G.G. (2018). Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 174, 788–806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.030>
- Sarhan, J.G.; Xia, Bo; Fawzia, S.; Karim, A. (2017). Lean Construction Implementation in the Saudi Arabian Construction Industry. *Construction Economics and Building*, 17(1), 46. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v17i1.5098>
- Silva, D.A.L., Firmino, A.S., Ferro, F.S., Christoforo, A.L., Leite, F.R., Lahr, F.A.R., & Kellens, K. (2020). Life cycle assessment of a hot-pressing machine to manufacture particleboards: hotspots, environmental indicators, and solutions. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(6), 1059–1077. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01755-3>
- Silva, D.A.L., Silva, E.J. da, & Ometto, A.R. (2015). Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. *Production*, 26(3), 642–655. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.032513>
- Stamure, I., Kamola, L., & Geipele, I. (2015). Practical aspects of sustainable construction in Latvia. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Proceeding*, (2009). <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093926>
- Thanki, S., Govindan, K., Thakkar, J. (2016). An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. *Journal of Cleaner Production*, 135 (s.n.): 284–298.
- Thanki, S.J., & Thakkar, J. (2018). Interdependence analysis of lean-green implementation challenges: a case of Indian SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, JMTM-04-2017-0067. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2017-0067>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14, 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

- UNEP – United Nations Environment Programme. (2016). Annual Report Empowering People to protect the Planet. Disponível em: <  
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/19529/UN%20Environment%202016%20Annual%20Report.pdf?amp%3BisAllowed=&sequence=1>>. Acesso em: 30 de jan, 2019.
- UNEP - United Nations Environment Programme (2017). Eco-i Manual: Eco-innovation implementation process. Disponível em: <  
[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17516/Eco-i\\_impl\\_process.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17516/Eco-i_impl_process.pdf?sequence=1&isAllowed=y)> Acesso em: 30 de jan, 2019.
- Valente, C.P; Mourão, C.A.M.A.; Neto, J.P.B. (2013). Lean and Green : How Both Philosophies Can Interact on Strategic , Tactical and Operational Levels of a Company. *International Group for Lean Construction*, 925–934.
- Van Boggelen, W. M. (2011). The contribution of AAC in securing a sustainable future AAC innovations from a life cycle perspective. *Cement, Wapno, Beton*, (SPEC.ISSUE), 110–115.
- Ventura, R. (2009). Mudanças no Perfil do Consumo no Brasil : Principais Tendências nos Próximos 20 Anos. *Macroplan – Prospectiva, Estratégia e Gestão*, 1–14.
- Womack, J., Jones, D., Ross, D. (1992) *A máquina que mudou o mundo*. 11. ed. São Paulo: Elsevier.
- Womack, J., Jones, D. (1998). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your Corporation*. Nova Iorque: Simon and Schuster.
- Womack, J. (2000). The challenge of value stream management. *Anais do Lean Enterprise Institute Value Stream Management Conference*. Dearborn.
- Wu, P., Low, S. P., & Jin, X. (2013). Identification of non-value adding (NVA) activities in precast concrete installation sites to achieve low-carbon installation. *Resources, Conservation and Recycling*, 81, 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.09.013>
- Zago, A.P.P., Jabbour, C.J.C., & Bruhn, N.C.P. (2018). Sustentabilidade corporativa e criação de valor: o caso “Dow Jones Sustainability Index.” *Gestão & Produção*, 25(3), 531–544. <https://doi.org/10.1590/0104-530x2958-16>