

Relação entre construção enxuta e sustentabilidade

The relationship between lean construction and sustainability

Eduardo Lavocat Galvão de Almeida
Flávio Augusto Picchi

Resumo

A mentalidade enxuta e a sustentabilidade aplicadas à construção possuem como objetivo, respectivamente, mitigar desperdícios produtivos e diminuir os impactos negativos do setor. Pesquisas recentes afirmam que a aplicação em conjunto dos dois conceitos pode gerar interações e sinergias. O presente trabalho tem o objetivo de identificar como a construção enxuta e a sustentabilidade se relacionam e descrever esse relacionamento por seus pontos sinérgicos, pelas interações negativas e por outros conhecimentos relevantes. Para isso, o método de revisão sistemática da literatura foi utilizado, e sua execução resultou na seleção de 59 artigos para análises bibliométricas e qualitativas. Os artigos foram agrupados e classificados em seis focos de estudo. Os resultados bibliométricos indicam que o tema ganhou importância nos últimos cinco anos, tendo os Estados Unidos e o Brasil como maiores contribuidores. Já a análise qualitativa indica que a relação entre as abordagens é sinérgica, principalmente no sentido da construção enxuta para a sustentabilidade, e que a relação pode se fortalecer pelo alinhamento de conceitos de valor e desperdício. Conclui-se que, apesar de já existirem casos de integração de práticas e ferramentas, ainda há necessidade de estudos para o aprofundamento no tema.

Palavras-chave: Construção enxuta. Sustentabilidade. Revisão sistemática da literatura.

Abstract

Lean thinking and sustainability applied to construction are aimed, respectively, at mitigating waste and reducing the negative impacts of the sector. Recent studies claim that the joint application of the two concepts can generate interactions and synergies. This study aims to identify how lean construction and sustainability relate to each other, as well as to describe this relationship through its synergistic points, negative interactions and other relevant knowledge. For this purpose, the method of systematic literature review was adopted, resulting in the selection of 59 articles for bibliometric and qualitative analysis. The articles were grouped and classified into 6 study foci. The bibliometric results indicate that the theme has gained importance in the last five years, with the United States and Brazil as major contributors. The qualitative analysis indicates that the relationship between the approaches is synergic, mainly from lean construction to sustainability, and that the relationship can be strengthened by the alignment of the concepts of value and waste. The conclusion of the study is that, although there are already cases of integration of practices and tools, there is still need for studies to deepen the knowledge on the subject.

Keywords: Lean construction. Sustainability. Systematic literature review.

Eduardo Lavocat Galvão de
Almeida
Universidade Estadual de Campinas
Campinas - SP - Brasil

Flávio Augusto Picchi
Lean Institute Brasil
Universidade Estadual de Campinas
Campinas - SP - Brasil

Recebido em 28/05/17
Aceito em 13/07/17

Introdução

A construção enxuta e a sustentabilidade são hoje dois dos mais importantes norteadores do setor da construção (KOSKELA; OWEN; DAVE, 2010). De maneiras distintas, os conceitos embasam métodos, ferramentas e práticas que buscam eliminar ou mitigar problemas frequentes do setor, como o alto impacto ambiental e a falta de eficiência de produção.

O relatório Brundtland, mais conhecido como *Our Common Future*, definiu desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de futuras gerações de suprirem as suas” (BRUNDTLAND *et al.*, 1987). A adequação do conceito à realidade da construção foi realizada em 1994 pelo Conseil International du Bâtiment (CIB), que definiu construção sustentável como “[...] criação e operação de ambientes construídos saudáveis baseados na eficiência de materiais e design ecológico [...]” (KIBERT, 2012, p. 8).

Na prática, o conceito é aplicado, por exemplo, na utilização de sistemas de gestão ambiental e certificações de edificações sustentáveis. Tendo em vista o ciclo de vida de uma edificação, busca-se mitigar a produção de resíduos, o consumo de energia e água, a emissão de gases e partículas poluentes, a poluição do solo e de recursos hídricos, entre outros.

Já o conceito de produção enxuta foi baseado no Sistema Toyota de Produção e ficou conhecido mundialmente pela publicação de “A máquina que mudou o mundo” (WOMACK; JONES; ROOS, 1990). Resumidamente, *lean* tem como objetivo produzir mais valor para o cliente com menos desperdícios agregados. Koskela (1992) foi o pioneiro a adaptar a ideia para o mundo da construção, identificando uma série de princípios que mitigariam problemas tradicionais do setor ao mesmo tempo em que melhorariam a performance produtiva. A partir desse estudo, o conceito de construção enxuta se disseminou, tanto em discussões acadêmicas quanto na aplicação prática.

Atualmente, ferramentas enxutas realizam a difusão desse conceito entre os profissionais da arquitetura, engenharia e construção (AEC). Algumas delas são *Last Planner System* (LPS), mapeamento de fluxo de valor (MFV), *Integrated Project Delivery* (IPD) e 5S. Benefícios devidos à aplicação dessas ferramentas são melhoria da qualidade, diminuição dos desperdícios, aumento na produtividade da mão de obra, aumento na segurança e saúde no trabalho, etc.

Recentemente, a interação entre as duas esferas tornou-se importante foco de discussão de

pesquisadores e profissionais da área. Discute-se que construção sustentável e construção enxuta possuem intersecções que podem ser exploradas com o intuito de potencializar resultados ambientais e produtivos (MARIS; PARRISH, 2016). Diversos trabalhos sustentam essa hipótese. Campos *et al.* (2012a) afirmam que os enfoques se complementam na busca por reduzir desperdícios e utilizar os recursos com maior eficiência. Johnsen e Drevland (2016) adicionam que a construção enxuta impacta positivamente os três pilares da sustentabilidade. Já Campos *et al.* (2012b) discutem que, apesar de não haver conexão direta entre os conceitos, a aplicação de práticas de uma esfera, seja ela sustentável ou enxuta, ajuda a alcançar melhores resultados na outra.

Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é entender como a construção enxuta e a sustentabilidade se relacionam e descrever esse relacionamento por seus pontos sinérgicos, interações negativas e outros conhecimentos relevantes.

Considerando que esse é um assunto recente e de grande relevância, torna-se interessante verificar de forma abrangente como a literatura observa essa relação e identificar quais são as tendências e os próximos passos a serem dados nessa área de estudo.

Identifica-se a oportunidade de pesquisa para compreender, de maneira abrangente, com o método de revisão sistemática da literatura (RSL), como a relação entre a construção sustentável e a construção enxuta acontece.

Morandi e Camargo (2015, p. 142) sugerem a utilização do método de revisão sistemática da literatura (RSL) como forma de “[...] mapear, encontrar, avaliar criticamente, consolidar e agregar os resultados de estudos primários relevantes acerca de uma questão de pesquisa [...]”, assim como para definir lacunas de conhecimento a serem preenchidas. A RSL é caracterizada como uma pesquisa secundária, baseada em evidências, com o objetivo de criar novos conhecimentos pela síntese e diagnóstico da literatura.

Método

São diversas as estruturas metodológicas de RSL que podem ser encontradas na literatura. Smith *et al.* (2011), por exemplo, propõem a utilização de estrutura em quatro etapas: fontes e busca, seleção de estudos, avaliação da qualidade, apresentação dos resultados e implicações. Cooper, Hedges e Valentine (2009), por outro lado, utilizam estrutura

que consiste em seis etapas: definição do problema, coleta de evidências, avaliação da correspondência, análise das evidências, interpretação das evidências e apresentação do método de síntese e resultados. Apesar das diferenças existentes entre as duas estruturas, pode-se afirmar que a base de ambas é semelhante.

Recentemente, Morandi e Camargo (2015) apresentaram uma estrutura de RSL que consolida as estruturas de quatro outros trabalhos, incluindo os dois apresentados acima. Decidiu-se pela utilização dessa abordagem tendo em vista que os autores extraem a essência desses diferentes estudos e a compilam em uma única estrutura. Sendo assim, foi utilizada a estrutura de RSL adaptada de Morandi e Camargo (2015), composta de cinco etapas: definição de questão e metodologia, estratégia de busca, busca e codificação, síntese dos resultados e apresentação dos resultados (Figura 1).

Definição de questão de pesquisa

Categorizado o trabalho como um estudo exploratório, a definição da questão de pesquisa teve que levar em consideração o escopo e a abrangência inseridos em uma pergunta aberta. Partindo da hipótese de que existem interações entre os conceitos de construção enxuta e sustentabilidade, decidiu-se por uma questão simples e alinhada com o objetivo da pesquisa apresentado na introdução. Então, a questão de pesquisa foi assim descrita: “como a construção enxuta e a sustentabilidade se relacionam nas perspectivas conceitual e prática?”.

Em seguida, questões mais específicas foram selecionadas com o intuito de evidenciar mais detalhadamente a forma como os pesquisadores têm discutido a relação entre a construção enxuta e a sustentabilidade. As questões são listadas abaixo.

- (a) Do ponto de vista conceitual, qual a interação entre os conceitos?
- (b) Quais são as sinergias entre os conceitos? Existe um fluxo preferencial (*i.e.*, construção

enxuta para sustentabilidade; sustentabilidade para construção enxuta)?

- (c) Em quais fases de uma edificação essa interação se mostra mais e menos intensa?
- (d) Quais as interações negativas da relação?
- (e) Como integrar os conceitos e as práticas enxutas e sustentáveis na construção?
- (f) Qual o potencial positivo observado quando construção enxuta e sustentabilidade são aplicadas em conjunto?

Estratégia de busca

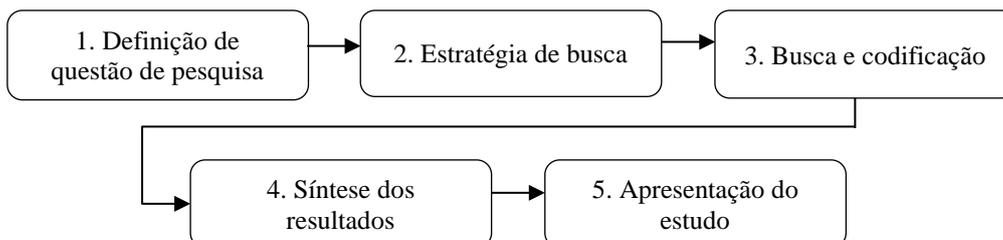
Em seguida, estruturou-se a estratégia de busca por artigos que pudessem responder às perguntas acima. Os trabalhos de Keele (2007) e Melo, Granja e Ballard (2013) foram utilizados como base para montar a estratégia em cinco passos. O Quadro 1 sintetiza cada um dos passos realizados.

Entre os cinco passos, os mais desafiadores foram o de definição dos termos de busca e o de formulação de *string* de busca. Desde o início, decidiu-se que apenas as palavras-chave “construção enxuta” e “sustentabilidade” e seus sinônimos seriam utilizados na *string* para que se mantivesse o foco no objetivo do trabalho. É preciso mencionar que, se mais palavras relacionadas fossem inseridas na *string*, uma lista maior de artigos seria produzida pela busca. Entretanto, essa ação comprometeria o apelo mais holístico e genérico desejado. Assim, após iterações com diferentes termos e *strings*, encontrou-se a *string* adequada com base no número de resultados e na aderência geral dos artigos ao objetivo.

Busca e codificação

A realização da busca, seguindo a estratégia montada na segunda etapa, gerou o total de 59 artigos aderentes ao tema de pesquisa. A Figura 2 apresenta a evolução do número de artigos, desde a amostra inicial da busca até o fim das fases de seleção e exclusão.

Figura 1 - Estrutura da Revisão sistemática da literatura

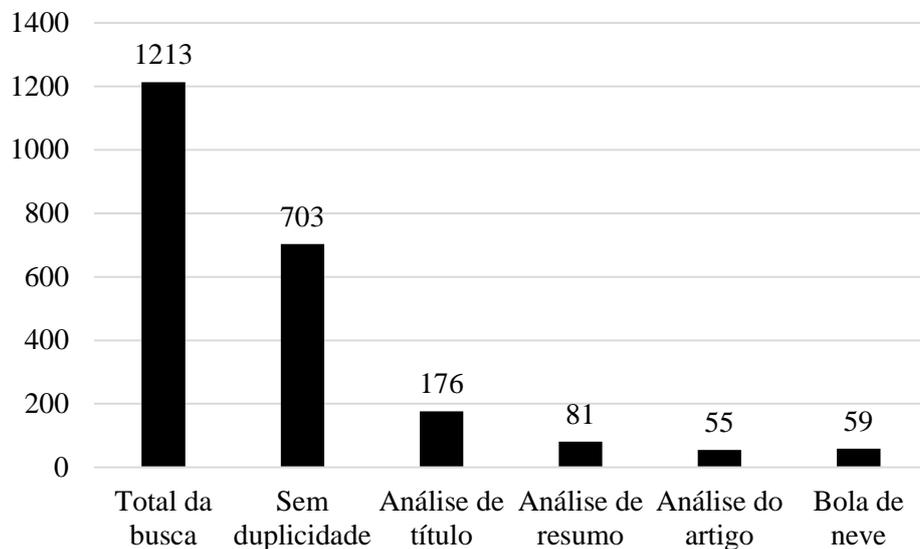


Fonte: adaptada de Morandi e Camargo (2015).

Quadro 1 - Estratégia de pesquisa

Estratégia de busca	Objetivo	Decisões de pesquisa
1. Definição dos termos de busca	Definir termos que representem o tema de pesquisa e que possibilitem retornar na busca artigos relevantes para a pesquisa.	Termos: <i>lean construction, toyota, lean thinking, sustainability, green building, sustainable construction, environment, environmental</i>
2. Seleção de bases de dados	Selecionar bases de dados que retornem a maior quantidade de trabalhos relevantes sobre o tema estudado; definir as condições de contorno da busca.	Bases: Compendex, Scopus, Web of Science, Science Direct, SciELO, Infohab e IGLC. Condições: artigos de revistas e conferências de 1992 a 2016, em inglês, português ou espanhol.
3. Formulação de <i>string</i> de busca	Formular uma <i>string</i> que represente os termos de busca da melhor forma possível e que possibilite ser replicado nas diversas bases de dados de maneira semelhante.	<i>String: (lean OR toyota) AND (construction OR building) AND (sustainab* OR green OR environment*)</i> .
4. Critérios de seleção dos artigos	Definir critérios de seleção e exclusão dos artigos retornados das bases de dados. Possibilitar triagem eficiente e eficaz dos artigos relevantes para avaliação.	Critérios: artigos repetidos, aderência do título, do resumo e do artigo como um todo à questão da pesquisa.
5. Amostragem em “bola de neve”	Identificar trabalhos relevantes para a pesquisa que não foram encontrados pelas bases de pesquisa e <i>string</i> utilizados.	Amostragem: busca por outros trabalhos relevantes a partir das referências dos artigos selecionados para análise.

Figura 2 - Artigos por fase de seleção/exclusão



Dessa etapa de busca, ressalta-se do resultado que menos de 5% da amostra inicial foi selecionada. Informa-se que quatro artigos foram adicionados por meio da amostragem em bola de neve. Nota-se também a diminuição expressiva na quantidade de artigos entre a exclusão por duplicidade e a seleção por análise de título. Tal fato é decorrente principalmente da grande quantidade de artigos

retornados com foco na manufatura, possivelmente devido à utilização dos termos *construction* e *building* com sentido mais genérico e alternativo ao setor da construção civil. Também se destaca que cinco dos 81 artigos que passaram na análise de resumo não puderam ser analisados em sua integralidade pela dificuldade de acesso aos anais dos congressos em que foram publicados.

Em seguida, realizou-se a aquisição de dados bibliométricos dos artigos mediante a extração das informações descritas a seguir:

- (a) **ano de publicação:** para a análise temporal de publicações;
- (b) **localização geográfica:** para apresentação da distribuição de publicações por nacionalidade e continente;
- (c) **pesquisadores do tema:** para identificação dos autores que mais contribuem para a discussão sobre o tema e para análise dos resultados por meio da lei de Lotka (LOTKA, 1926) e da lei de Price (PRICE, 1971); e
- (d) **meios de publicação:** para identificação e análise, por meio da lei da Bradford (BRADFORD, 1953), dos meios de publicação mais relevantes na área.

Como uma revisão configurativa, em que a síntese serve predominantemente para organizar dados, análises e conclusões dos artigos estudados, esse tipo de revisão busca explorar o tema de modo mais abrangente, com questões abertas e conhecimento limitado sobre os conceitos envolvidos (GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2015). Sendo assim, a codificação dos artigos é realizada de maneira aberta, ou seja, a definição das categorias de classificação dos artigos foi realizada durante o processo de análise qualitativa dos artigos.

Dessa forma, foi realizada a classificação dos artigos quanto ao tipo de pesquisa, às fases de um empreendimento abordadas e ao foco de estudo. A primeira classificação é baseada no trabalho de Wieringa *et al.* (2006), dividida nos seis tipos diferentes de pesquisa apresentados a seguir:

- (a) **pesquisa de avaliação:** investigação de um problema na prática ou de uma implementação de técnica na prática;
- (b) **proposta de solução:** proposição de técnica para solução de problema e argumentação de sua relevância, sem uma completa validação;
- (c) **pesquisa de validação:** investigação das propriedades de uma proposta de solução que ainda não foi completamente implementada na prática;
- (d) **artigo filosófico:** análise do tema por uma nova perspectiva, por meio de um modelo conceitual;
- (e) **artigo opinativo:** apresentação das opiniões dos autores quanto a um assunto; e
- (f) **artigo de experiência pessoal:** contribuição para a discussão do tema decorrente da experiência pessoal do autor.

A segunda classificação é a de fases do ciclo de vida de uma edificação. Estas foram divididas em concepção, projeto, construção, suprimento e uso. Também foi criada a categoria de construção em geral para enquadrar os artigos que não focam necessariamente nas fases, mas na construção como um todo. Destaca-se que não se limitou nesta categoria que apenas uma fase fosse definida por artigo. Assim, dois ou mais focos foram mencionados quando existia conteúdo que discutisse sobre mais de uma fase.

Por fim, classificou-se cada artigo quanto ao foco de estudo, dividindo-os em seis categorias distintas. Estas foram criadas a partir do agrupamento de artigos com abordagens semelhantes e nomeadas de acordo com a forma como enfocam a relação entre construção enxuta e sustentabilidade. As categorias são as seguintes:

- (a) **práticas enxutas e efeitos sustentáveis:** artigos que abordam como a aplicação de práticas enxutas afetam positivamente a sustentabilidade na construção;
- (b) **intersecções conceituais entre construção enxuta e sustentabilidade:** artigos que discutem sobre pontos em comum dos enfoques enxutos e sustentáveis na construção e como afetam nas interações entre as duas abordagens;
- (c) **incorporação dos conceitos de valor e desperdício ambiental e social aos conceitos enxutos:** artigos que dissertam sobre como valores e desperdícios ambientais e sociais podem ser absorvidos pela construção enxuta;
- (d) **incorporação de conceitos enxutos em práticas sustentáveis:** trabalhos que focam na incorporação de conceitos *lean* por práticas sustentáveis para melhoria de resultados ambientais e sociais e para fomento de maior sinergia com a construção enxuta;
- (e) **uso integrado de práticas e ferramentas enxutas e sustentáveis:** trabalhos que dissertam sobre o potencial de integração entre as esferas estudadas nos âmbitos conceitual e prático; e
- (f) **relação entre construção enxuta, sustentabilidade e outros conceitos:** trabalhos que focam na relação de construção enxuta, sustentabilidade e outros conceitos.

Síntese e apresentação dos resultados

Realizada a busca e a codificação dos artigos, passou-se para a etapa de síntese das principais ideias e discussão dos resultados. Para a análise bibliométrica dos artigos foi realizado o processamento dos dados e a apresentação em

formato de gráficos e tabelas. Busca-se com essa estratégia fornecer um perfil da produção científica até o presente momento. Para a análise do conteúdo, preferiu-se a realização da síntese das principais ideias dos artigos divididas por categorias da classificação por focos de estudo. Os pontos negativos da relação encontrados na literatura são resumidos no item seguinte. Ao final, é realizada análise geral da literatura e discute-se sobre possíveis lacunas de pesquisa.

Resultados e discussão

Análise bibliométrica

A análise bibliométrica inicia-se pela apresentação da Figura 3, de publicações por ano. Nota-se que o primeiro artigo publicado sobre a relação entre construção enxuta e sustentabilidade é de 1998, 6

anos após a apresentação do trabalho de Koskela (1992), que adaptou a ideia de produção enxuta para a construção. Apesar disso, foi apenas em 2004 e 2005 que o assunto começou a ganhar mais atenção dos pesquisadores da área, chegando a seu pico em 2012. Considerados os últimos 5 anos, de 2012 a 2016, período que concentra mais de 60% dos artigos, é possível afirmar que atualmente o estudo da relação em questão é um tema recorrente na literatura.

A Figura 4 demonstra que a distribuição geográfica dessas publicações é ampla, abrangendo 18 diferentes países, em todos os cinco continentes. Destacam-se as Américas, que somadas contam com mais de 50% dos artigos considerados. Entre os países se destacam Estados Unidos (EUA), Brasil, Reino Unido (UK) e Nova Zelândia, todos com mais de cinco artigos publicados.

Figura 3 - Publicações por ano

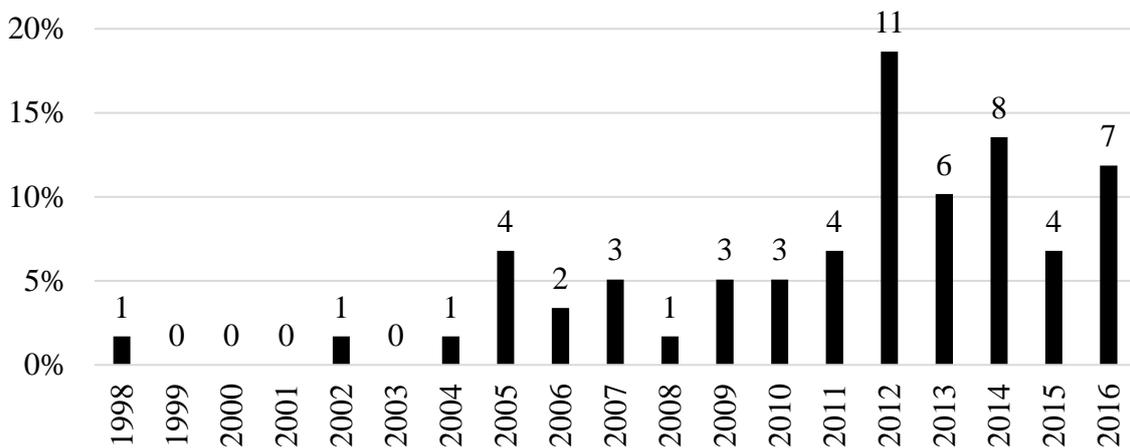
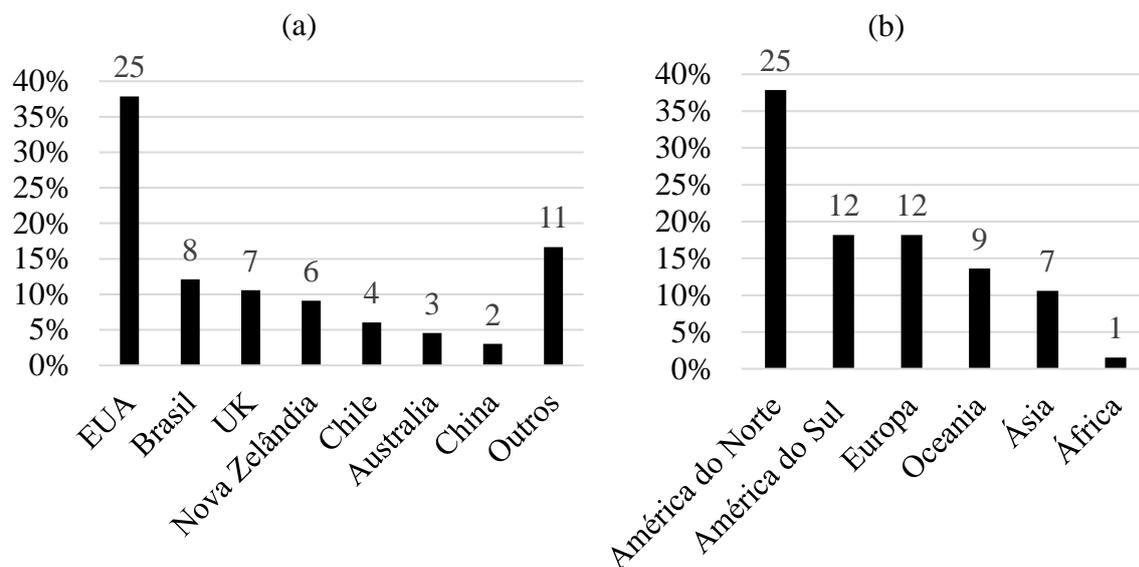


Figura 4 - Publicações por (a) país e por (b) continente



Já a Tabela 1, por meio de contagem completa (considera autores e coautores), apresenta os pesquisadores com participação em 3 ou mais artigos sobre o tema de pesquisa. No caso dos Estados Unidos, ressalta-se a contribuição de Michael J. Horman e David R. Riley; no caso do Brasil, as contribuições são em grande parte realizadas por José de Paula Barros Neto e Ivna Baquit Campos; na Nova Zelândia, por Vicente A. González e Sheila Belayutham.

Analisando os resultados sob a ótica da 1ª Lei da Bibliometria, lei de Lotka (LOTKA, 1926; ARAÚJO, 2006), confirma-se a afirmação de que uma larga proporção da literatura científica é produzida por um pequeno número de autores tendo em vista que os autores apresentados na Tabela 1 possuem participação em aproximadamente 50% dos artigos estudados (29 dos 59 artigos).

Considerando a lei de Price ou Lei do Elitismo (PRICE, 1971; ARAÚJO, 2006), pode-se ainda afirmar que esses 11 autores destacados são considerados o grupo mais produtivo no assunto. Essa afirmação se sustenta, pois, segundo esta lei, o número de membros desse grupo corresponde à raiz quadrada do número total de autores e coautores, que nesta pesquisa corresponde a 101 pesquisadores.

Entre os meios de publicação destaca-se a clara preferência pela conferência do IGLC, grupo de estudo de construção enxuta (Tabela 2). Com 26 artigos publicados na área, essa conferência contabiliza mais de 40% de todos os artigos revisados. Considerando a lei de Bradford, ou 2ª Lei da Bibliometria (ARAÚJO, 2006; PINHEIRO, 1983), esse meio de publicação é o único que se enquadra no núcleo de meios de publicação mais particularmente devotados ao assunto, tendo em vista que essa conferência engloba mais que um terço dos artigos analisados. Entre as revistas a *Journal of Green Building* é a única com número superior a três artigos publicados.

A distribuição por categorias dos 59 artigos por tipo de pesquisa, foco de estudo e fase de construção, é apresentada na Figura 5.

Observa-se na Figura 5a que o tipo mais frequente de pesquisa foi o de avaliação, seguido pelo de proposta de solução. A mesma figura ainda mostra que nenhum artigo foi caracterizado como pesquisa de validação.

Entre as fases de um empreendimento, Figura 5b, a construção é a com maior número de publicações. Tendo em vista que boa parte das ferramentas e práticas enxutas e sustentáveis é destinada para esse período de produção, esse resultado se torna

previsível. Já no caso da fase de uso apenas um artigo faz referência a esse período.

No caso do foco de estudo, Figura 5c, observa-se grande concentração de artigos no foco de práticas enxutas e efeitos sustentáveis, e pequena no foco de relação entre construção enxuta, sustentabilidade e outros conceitos.

Análise por focos de estudo

Práticas enxutas e efeitos sustentáveis

As publicações com foco de pesquisa nas práticas enxutas e efeitos sustentáveis são em sua grande maioria do tipo pesquisa de avaliação. Por possuírem como foco as consequências sustentáveis da aplicação de práticas enxutas na construção, optou-se pela apresentação de informações dos artigos que se enquadram nessas categorias no formato do Quadro 2.

A partir do Quadro 2 nota-se a diversidade de práticas enxutas e benefícios sustentáveis decorrentes da aplicação delas. Fica evidente que existe uma correlação prática entre construção enxuta e sustentabilidade.

Ressalta-se que as publicações listadas neste item apenas observam os benefícios sustentáveis decorrentes da aplicação usual da construção enxuta, sem, em um primeiro momento, buscar o objetivo da sustentabilidade. Entre os benefícios os mais citados foram menor geração de resíduos, menor emissão de gases de efeito estufa e maior segurança no ambiente de trabalho.

Intersecções conceituais entre construção enxuta e sustentabilidade

A literatura profunda na discussão sobre a relação quando estuda as intersecções entre os dois âmbitos. Busca-se com isso entender por que as interações positivas acontecem e quais conexões conceituais pode haver entre *lean* e sustentabilidade.

Estudo bibliométrico realizado em 2012 mostra que à época apenas três trabalhos haviam sido publicados com o intuito de estudar as intersecções entre esses conceitos na construção (CAMPOS *et al.*, 2012a). Hoje a situação já se mostra mais desenvolvida, como pode ser visto na classificação dos artigos na Figura 5.

O crescimento de interesse no assunto é exemplificado em Horman *et al.* (2006), trabalho que apresenta as diversas linhas de pesquisa desenvolvidas pela Penn State University que buscam identificar e potencializar sinergias pela incorporação e integração entre construção enxuta e sustentabilidade.

É consenso hoje que interações sinérgicas entre *lean* e sustentabilidade advenham dos princípios de eliminação de desperdícios. Farias Filho e Có (2005) e Emuze e Smallwood (2013) afirmam que esse é um dos principais motivos pelos quais a utilização em conjunto das filosofias é possível e pode ser considerada complementar. Os trabalhos visualizam ferramentas e práticas que buscam esse

mesmo objetivo, e por isso os estudos afirmam que elas interagem de maneira positiva.

Já Novak (2012b) examina as intersecções entre os enfoques através da construção do que é valor. No trabalho a autora observa sinergias entre os processos integrados do *lean* e os conceitos de projetos sustentáveis provenientes do alinhamento do conceito de valor pelas partes envolvidas.

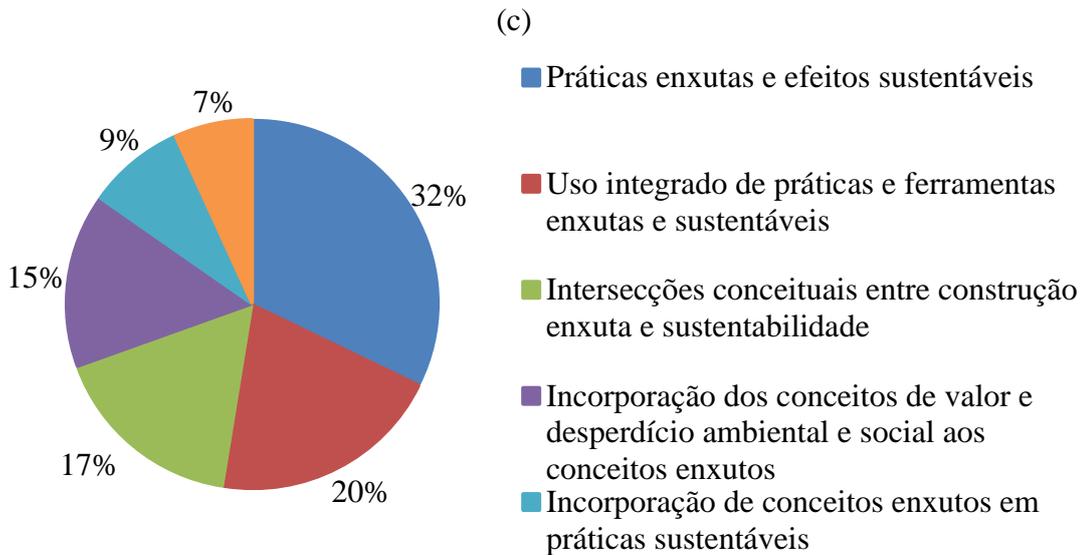
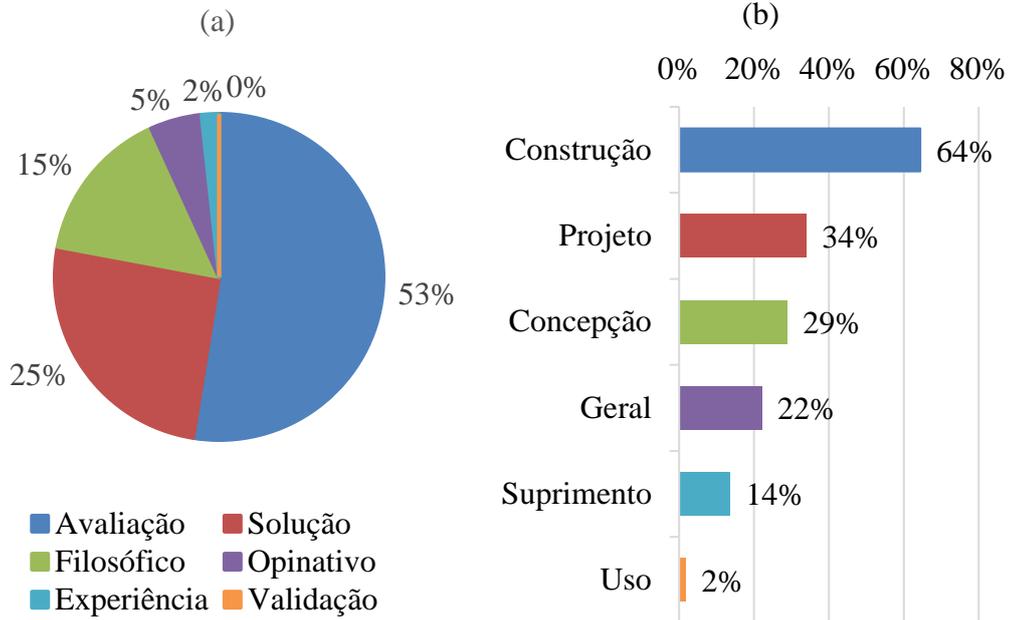
Tabela 1 - Pesquisadores com participação em três ou mais publicações

Autores	Autoria e coautoria de artigos
David R. Riley	7
Michael J. Horman	7
Vicente A. González	7
Jin-Woo Bae	4
José de Paula Barros Neto	4
Yong-Woo Kim	4
Anthony R. Lapinski	3
Ivna Baquit Campos	3
Kristen Parrish	3
Peng Wu	3
Sheila Belayutham	3

Tabela 2 - Meios de publicação utilizados

Meio de publicação	Tipo	Artigos
Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)	Conferência	26
Construction Research Congress (CRC)	Congresso	6
Journal of Green Building	Revista	5
Journal of Architectural Engineering	Revista	2
Construction Management and Economics Conference (CME)	Conferência	1
International Conference on Renewable Energy and Environmental Technology (REET)	Conferência	1
International Conference on Value Engineering and Management (ICVEM)	Conferência	1
RICS Construction and Property Conference	Conferência	1
CIB World Building Congress (WBC)	Congresso	1
Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)	Congresso	1
Canadian Journal of Civil Engineering	Revista	1
Construction Innovation	Revista	1
Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering	Revista	1
International Journal of Construction Management	Revista	1
International Journal of Technology (IJTech)	Revista	1
Journal of Cleaner Production	Revista	1
Journal of Construction Engineering and Management	Revista	1
Journal of Intelligent & Robotic Systems	Revista	1
KSCE Journal of Civil Engineering	Revista	1
Resources, Conservation and Recycling	Revista	1
Revista Ingeniería de Construcción	Revista	1
Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (SIBRAGEC)	Simpósio	1
ERACOBUILD Workshop on BIM and Lean	Workshop	1

Figura 5 - Distribuição dos artigos quanto ao tipo de pesquisa (a), fase da edificação (b) e foco de estudo (c)



Quadro 2 - Resumo de benefícios sustentáveis creditados à construção enxuta (Continua...)

Publicação	Contorno de pesquisa	Práticas, ferramentas e enfoques enxutos	Benefícios sustentáveis
Bae e Kim (2009)	Suprimento de armação cortada e dobrada <i>off-site</i>	Pré-fabricados, <i>Just-In-Time</i> (JIT)	Menos resíduos, menos energia
Bhattacharjee, Pishdad-Bozorgi e Ganapathy (2016)	Construção de edifício de universidade	Pré-fabricados, <i>Integrated Project Delivery</i> (IPD)	Menos retrabalho e desperdício no projeto e no canteiro, maior qualidade, maior segurança no trabalho

Quadro 2 - Resumo de benefícios sustentáveis creditados à construção enxuta (continuação)

Publicação	Contorno de pesquisa	Práticas, ferramentas e enfoques enxutos	Benefícios sustentáveis
Fu, Sun e Pasquire (2015)	Melhoria na instalação de treliça metálica	Determinação de valor, flexibilidade de planejamento, balanceamento de colaboradores, fluxos ininterruptos, pré-montagem de elementos	Menor custo, maior segurança no trabalho, menor produção de CO ₂
Fuenzalida et al. (2016)	Construção de edifício	Diagrama de Ishikawa, 5 porquês, relatórios A3	Menor produção de CO ₂ , maior produtividade
Ghosh et al. (2014)	Construção de hospital	Planejamento puxado, <i>Integrated Project Delivery</i> (IPD)	Menos horas extras, menos retrabalho, menor produção de CO ₂ , menos desperdícios
Johnsen e Drevland (2016)	Entrevista com construtoras que aplicam construção enxuta	Não especificados	Menor estresse dos colaboradores, maior saúde no trabalho, maior produtividade, maior envolvimento, maior eficiência de recursos, maior qualidade
Kim e Bae (2010)	Suprimento de armação cortada e dobrada <i>off-site</i>	Pré-fabricados, <i>Just-In-Time</i> (JIT)	Menos energia, menos resíduos, menor produção de CO ₂
Ladhad e Parrish (2013)	Reforma de edifício comercial	<i>Last Planner System</i> , aprendizado de outros projetos, análise de valor para o cliente, envolvimento antecipado de partes no projeto	Objetivo de construção de edifício <i>net-zero energy</i> alcançado
Nahmens (2009)	Melhoria na fabricação de paredes pré-fabricadas	Evento <i>kaizen</i> , modificação de leiaute, fluxo contínuo, gestão visual	Maior produtividade, menor área utilizada, menos resíduos
Riley et al. (2005)	Reforma de usina de energia, reforma de prédio público e construção de hospital	<i>Design-build</i> , projeto integrado	Menos energia, menos água, menos desperdícios
Saggin et al. (2015)	Construção de edifício residencial	Não especificados	Diminuição do <i>green cost</i> da certificação LEED da edificação
Salem et al. (2014)	Áreas de trabalho em rodovias	<i>Last Planner System</i> , 5S, gestão visual, envolvimento antecipado de partes no projeto, melhoria contínua	Menor emissão de ruídos, menos transtorno na vizinhança, menos resíduos, maior segurança no trabalho
Song e Liang (2011)	Melhoria nos processos de empreiteira de estruturas de concreto	<i>Last Planner System</i> , linhas de balanço	Menos conflitos, prazo reduzido, menos resíduos
Vieira e Cachadinha (2011)	Construção de edifício não especificado	JIT, 5S, mapeamento de fluxo de valor, eventos <i>kaizen</i> , <i>Last Planner System</i>	Menos resíduos, maior segurança no trabalho, melhor gestão de resíduos, maior produtividade
Wu, Low e Jin (2013)	Melhoria na instalação de elementos de concreto pré-moldados	JIT, controle total da qualidade, mapeamento de fluxo de valor, melhoria contínua, envolvimento dos colaboradores, fluxo ininterrupto, modificação de leiaute	Menor produção de CO ₂
Wu (2014)	Melhoria na instalação de elementos de concreto pré-moldados	JIT, controle total da qualidade, mapeamento de fluxo de valor, melhoria contínua, envolvimento dos colaboradores, fluxo ininterrupto, modificação de leiaute	Menor produção de CO ₂

Valente, Mourão e Barros Neto (2013), em trabalho que analisa as interações nos níveis estratégico, tático e operacional de uma empresa construtora, afirmam que as práticas *lean* e sustentáveis se

complementam e se ajudam dentro e fora de canteiros de obra. Conclui-se que intersecções entre as esferas existem e podem ser potencializadas, contanto que haja engajamento e comprometimento

das partes envolvidas para que isso aconteça (NOVAK, 2012b; VALENTE; MOURÃO; BARROS NETO, 2013).

Por outro lado, é necessário ressaltar que, mesmo com intersecções conceituais, nem sempre as interações positivas entre as abordagens são potencializadas. Carneiro *et al.* (2012) afirmam que às vezes a forma como esses conceitos são praticados dificulta uma maior interação positiva entre *lean* e sustentabilidade. Isso se evidencia no caso da aplicação da certificação LEED, que, segundo pesquisadores, pode criar barreiras entre as práticas enxutas e sustentáveis (CARNEIRO *et al.*, 2012; KORANDA *et al.*, 2012). O sistema de certificação por meio de créditos e pontos engessa e dificulta a flexibilidade buscada pela construção enxuta. Sendo assim, fica clara a necessidade de se estudarem mecanismos que fomentem a melhor interação entre construção enxuta e sustentabilidade.

Incorporação de conceitos de valor e desperdício ambiental e social aos conceitos enxutos

Para que esses efeitos positivos não sejam apenas acidentais, entre os artigos analisados discute-se que é necessário introduzir o conceito de sustentabilidade no valor percebido da construção (BAE; KIM, 2007). Ressalta-se que existem casos em que isso já é feito, como apresenta, por exemplo, o *Lean Global Network* quando põe a sustentabilidade como um de seus principais objetivos (LEAN..., 2016). A ideia de incorporar a sustentabilidade como valor agregado pode ser entendida como uma forma de promover um foco mais explícito em demandas sustentáveis quando se utiliza o princípio de valor para construção enxuta.

Nesse sentido, pode-se considerar a sociedade e as futuras gerações como potenciais consumidoras, abrangendo o conceito de desenvolvimento sustentável (SALVATIERRA-GARRIDO; PASQUIRE, 2011; NOVAK, 2012a). Outra maneira bastante aceita na literatura é apresentada por Belayutham e Gonzalez (2015). Nesse trabalho, o meio ambiente é elevado ao posto de cliente e os valores para este são identificados e colocados em nível igual aos valores do consumidor final (cliente usual). Firmawan, Othman e Yahya (2012) utilizam o mesmo conceito para a aplicação de engenharia de valor em um caso em que os resultados sustentáveis decorrentes da abordagem se mostram acima da média.

De acordo com Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2011), para que se consigam resultados para essa abordagem de forma efetiva, faz-se necessário que clientes, operadores e gestores entendam os

princípios da sustentabilidade. Huovila e Koskela (1998) explicam que, se o conceito de sustentabilidade for discordante entre as partes envolvidas, pode haver *trade-offs* indesejáveis. Dessa forma, Novak (2012a) conclui que é necessário um processo bem definido para determinar o que é valor sustentável.

Em consequência desses novos valores adicionados, identificou-se a necessidade por uma revisão quanto aos desperdícios a serem mitigados ou eliminados. Arroyo e Gonzalez (2016) afirmam que os sete desperdícios de Ohno não focam em desperdícios sustentáveis e, assim, não objetivam explicitamente a diminuição dos impactos negativos na sociedade e no meio ambiente. Com o objetivo de sanar esse problema, os autores apresentam desperdícios sociais e ambientais identificados na literatura que necessitam ser mitigados. Entre estes estão problemas de saúde e segurança, condições de trabalho indesejáveis, conhecimento desperdiçado, carência de treinamentos, inovações não utilizadas e falta de diálogo com a sociedade, entre outros desperdícios sociais e emissões de gases poluentes, resíduos sólidos, consumo de água e energia, poluição sonora, iluminação desnecessária e uso intensivo do solo entre os desperdícios ambientais (ARROYO; GONZALEZ, 2016).

A partir da identificação desses novos desperdícios é possibilitada a atuação consciente pela mitigação deles durante as fases de construção de uma edificação, como é o caso exemplificado em Zhang e Zhang (2014).

Incorporação de conceitos enxutos em práticas sustentáveis

Apesar de menos artigos terem sido encontrados com esta abordagem, a incorporação de conceitos e princípios da outra esfera também acontece na aplicação de práticas sustentáveis na construção. Pesquisadores afirmam que certificações de sustentabilidade possuem falhas que princípios enxutos, como a busca pela melhoria contínua, podem mitigar (WEINHEIMER, 2016; WU; FENG, 2012).

No caso específico da certificação DGNB de sustentabilidade, Weinheimer (2016) afirma que o sistema de créditos pode desvirtuar a percepção das partes envolvidas do que seria valor para o cliente. O autor acredita que, se incorporado ao sistema, o conceito de valor pela óptica enxuta pode balizar melhor a decisão de que créditos buscar.

Wu e Feng (2012), por sua vez, propõem a utilização do conceito de *benchmark* descrito por Koskela (1992) na certificação de elementos pré-fabricados como forma de promover a busca

proativa por melhorias sustentáveis das empresas fabricantes.

Em outros trabalhos, conceitos e princípios enxutos são utilizados no embasamento de *project deliveries* sustentáveis. É o caso de Ramkrishnan, Roper e Castro-Lacouture (2007), pesquisa que busca no *lean* os conceitos de responsabilidade compartilhada da qualidade, transparência nos processos e outros para fundamentar a criação do que chama de *Green Project Delivery Method*.

Santos e Vezzoli (2007) afirmam que conceitos enxutos também são importantes para projetos sustentáveis, pois estes suprem um vazio conceitual sustentável quanto a como fazer para mitigar os danos dos processos construtivos. Parrish (2012) utiliza a mesma abordagem na fase de construção de uma edificação em busca da certificação LEED. É constatado pelo autor que os conceitos e princípios da construção enxuta podem ser incorporados pelas práticas sustentáveis, resultando em benefícios.

Uso integrado de práticas e ferramentas enxutas e sustentáveis

A etapa seguinte à incorporação de conceitos por parte das duas abordagens é a integração conceitual e prática da construção enxuta e sustentável. Entre os 59 artigos revisados, 12 apresentaram foco maior em como proceder para esse próximo passo.

Os primeiros a propor tal integração foram Degani e Cardoso (2002). Os autores analisaram os conceitos e princípios de construção enxuta e produção mais limpa e concluíram que os conceitos e métodos enxutos utilizados pelo planejamento e controle da produção poderiam ser facilmente incorporados ao planejamento ambiental e que a performance do processo de gestão da produção poderia ser melhorada ao incluir aspectos ambientais.

Horman *et al.* (2004), em estudos de caso na Toyota e no Pentágono, observaram a integração do Sistema Toyota de Produção com empreendimentos sustentáveis e afirmaram que a conexão entre os dois enfoques estava ligada à construção de edificações de alto desempenho ambiental e alto desempenho produtivo. Essa pesquisa, que continua em outros estudos de casos da Toyota em Lapinski, Horman e Riley (2005) e Lapinski, Horman e Riley (2006), conclui que a integração entre construção enxuta e sustentabilidade pode acontecer de modo que o produto final seja uma edificação sustentável (*green building*) e os meios de produção sejam enxutos.

Em outros artigos, a integração foi abordada de maneira mais específica em serviços e escopos

pontuais. É o caso de Golzarpoor e Gonzalez (2013), que promovem a integração das duas abordagens na simulação de um serviço de terraplenagem, e de Belayutham, Gonzalez e Yiu (2016), que focam em estudo de caso de poluição por sedimentos na construção. Nos dois casos é vista a integração conceitual de construção enxuta e sustentabilidade e o uso complementar de ferramentas de alguma das abordagens.

Maris e Parrish (2016) apresentam diagrama de Venn que mostra práticas consideradas enxutas e sustentáveis. São elas: colaboração, pré-fabricação, BIM, planejamento prévio, diminuição de desperdícios, melhoria contínua, JIT e respeito entre as partes. Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2014) complementam que a aplicação em conjunto de práticas enxutas e sustentáveis alinhadas a um mesmo objetivo já configura integração e potencialização dos resultados.

Tendo isso em vista, autores partiram para o estudo da integração das abordagens no nível de ferramentas e sistemas. O mapa de fluxo de valor é uma dessas ferramentas estudadas. Com base em trabalho realizado pela EPA (UNITED..., 2007) sobre a utilização do MFV para mapear consumo e desperdício de materiais, Rosenbaum, Toledo e Gonzalez (2012) aplicam e discutem a mesma abordagem na construção civil. A ferramenta adaptada permite a análise de produtividade e de desperdício ambiental ao identificar atividades que não agregam valor ao cliente e, assim, contribui para a integração dos conceitos de construção enxuta e sustentabilidade.

De forma semelhante, Nahmens e Ikuma (2011) propõem a execução de eventos *kaizen* incorporando análises ambientais e incluindo a saúde e a segurança no trabalho nas etapas procedimentais. O trabalho chega à conclusão, após a análise de três estudos de caso, de que a adaptação dos eventos fomenta a seleção de melhorias que contribuem para a sustentabilidade econômica, ambiental e social das obras.

Neste mesmo foco de pesquisa, também é proposto sistema de avaliação de sustentabilidade de canteiros que considera a utilização de práticas enxutas como indicador da sustentabilidade econômica dos canteiros (VASCONCELOS *et al.*, 2015). A construção do artefato com a integração da construção enxuta demonstra a percepção positiva dos autores quanto às sinergias entre os enfoques.

A única publicação encontrada que passa do nível de ferramenta e propõe um método de integração total das duas abordagens na construção foi Martinez, González e Fonseca (2009). Estes apresentam o desenvolvimento de um método conceitual de integração entre os dois enfoques. Os

autores utilizam as técnicas de análise morfológica e de matriz de impacto cruzado para investigar o conjunto total de relações e avaliar analiticamente as interações. O resultado é dado por um fluxograma que possibilita implementação da integração nas etapas de concepção e projeto. Apesar disso, ainda se faz necessária uma pesquisa de validação para que se possam verificar as reais possibilidades de aplicação.

Relação entre construção enxuta, sustentabilidade e outros conceitos

Por fim, nem sempre a relação entre construção enxuta e sustentabilidade é tratada de maneira exclusiva por pesquisadores. Há publicações que abordam, além das duas esferas mencionadas neste trabalho, uma terceira com o intuito de satisfazer diferentes objetivos.

Koskela, Owen e Dave (2010), por exemplo, afirmam que a tecnologia BIM atuando em paralelo às duas outras abordagens ajuda na diminuição de desperdícios e possibilita a avaliação sustentável de soluções propostas durante a construção por meio de simulações de consumo de energia e de emissão de gases de efeito estufa. Os autores acreditam que as três abordagens em conjunto podem realizar o salto de melhorias que o setor necessita.

Enache-Pommer *et al.* (2010) concordam e afirmam que a incorporação desse novo tipo de representação virtual, junto aos outros dois sistemas, possibilita a entrega de empreendimentos de maneira mais ágil, efetiva e eficiente. Atuando como plataformas digitais de um projeto, as ferramentas BIM catalisam a interação entre construção enxuta e sustentabilidade e, assim, os resultados benéficos dessas aplicações (AHUJA; SAWHNEY; ARIF, 2014).

Já Banawi e Bilec (2014) apostam na integração de construção enxuta, sustentabilidade e Seis Sigma para o aumento da qualidade e diminuição dos impactos ambientais de uma obra. Para isso, os autores propõem a aplicação conjunta das ferramentas de avaliação do ciclo de vida e de mapeamento de fluxo de valor durante o ciclo DMAIC de melhoria contínua.

Interações negativas

É importante também sintetizar os pontos negativos que a literatura apresenta quanto à relação entre as duas abordagens. Parte desses pontos está relacionada às práticas e conceitos enxutos aplicados na execução de obras.

Por exemplo, a aplicação do conceito de *just-in-time* no suprimento de obras é mencionada como um potencial causador de impactos ambientais.

Quando a aplicação desse conceito gera maior necessidade de transporte comparado à situação original, há a possibilidade de aumento no consumo de energia e poluição do ar (ARROYO; GONZALEZ, 2016; EMUZE; SMALLWOOD, 2013). Outros trabalhos acrescentam que essa situação também pode ocorrer caso condições logísticas, como tamanho do veículo de entrega e distâncias percorridas, não sejam estudadas previamente (BAE; KIM, 2009; KIM; BAE, 2010). Em outras indústrias praticantes de *lean* que enfrentaram o mesmo problema encontraram no sistema *milk-run* de logística uma contramedida bastante efetiva. Como um sistema que permite a entrega de pequenos lotes mais frequentemente de uma maneira bastante eficiente, o *milk-run* ajuda a mitigar os impactos do transporte ao mesmo tempo em que possibilita um sistema puxado de suprimento.

Outra prática criticada que autores ligam à construção enxuta é a pré-fabricação. Afirma-se que, em paralelo ao ganho de produtividade e qualidade, a utilização de pré-fabricados durante a construção pode acarretar no aumento do consumo de energia e na maior produção de gases poluentes (BAE; KIM, 2007, 2008). Luo, Riley e Horman (2005) também afirmam que a realocação de trabalho para fábricas potencialmente reduz os impactos econômicos positivos nas comunidades locais ao reduzir o número de postos de trabalho nos canteiros.

Song e Liang (2011) afirmam que uma das principais razões de problemas como esses é o entendimento limitado por parte de empreiteiras do que é filosofia enxuta. Bae e Kim (2008) citam para essa situação o evento *kaizen*, que, quando desenhado apenas para ganhos financeiros, gera potenciais problemas ambientais e sociais. Conclui-se que, quando se foca apenas nos resultados econômicos que as práticas enxutas podem gerar, estas podem acabar impactando negativamente nos outros pilares da sustentabilidade (SONG; LIANG, 2011; BAE; KIM, 2008).

Passando para o lado da sustentabilidade, problemas foram identificados na interação entre os conceitos decorrentes da aplicação de práticas sustentáveis. Afirma-se que a abordagem utilizada para aplicação das certificações de sustentabilidade pode prejudicar a ação da construção enxuta. Koranda *et al.* (2012) sugerem que a implementação dos conceitos sustentáveis pelo sistema LEED afeta a implementação de práticas enxutas principalmente em obras de menor porte. Avalia-se que a maior diferença entre as abordagens neste caso é ligada ao método de aplicação (CARNEIRO *et al.*, 2012). Discute-se que o caráter normativo da certificação pode levar a uma distorção do que é

desperdício e valor, especialmente causada pela facilidade ou dificuldade de se alcançarem os pontos necessários para certificar as edificações (KORANDA *et al.*, 2012; CARNEIRO *et al.*, 2012).

Conclusão

Com objetivo de prover uma síntese sobre como a literatura tem discutido a relação entre a construção enxuta e a sustentabilidade, este trabalho foi construído como uma revisão sistemática da literatura. A análise dos 59 artigos selecionados evidencia que o assunto vem ganhando importância no meio acadêmico e no meio empresarial. Diversos países de todos os continentes possuem contribuições para a discussão, com destaque para Estados Unidos e Brasil, os dois com maior número de publicações na área. Considerando as análises referentes aos autores e meios de publicação, a classificação por tipos de pesquisa aponta que ainda existe necessidade de pesquisas de validação para que se possa atestar se as propostas de incorporação e integração de conceitos e ferramentas de outros trabalhos são válidas. Já a classificação por fases do ciclo de vida de um empreendimento mostra que há pesquisas que focam na relação desde a concepção de projeto e também aponta que a maior parte aborda a fase de construção.

O agrupamento em seis focos de estudo distintos reflete as abordagens mais recorrentes da literatura que versa sobre a relação entre construção enxuta e sustentabilidade. Por si só a classificação já evidencia como a literatura vem discutindo o tema. Fica evidente que a discussão sobre o tema acontece em esferas diferentes:

- (a) de interações indiretas (práticas enxutas e efeitos sustentáveis);
- (b) de interações conceituais (intersecções conceituais entre construção enxuta e sustentabilidade; e relação entre construção enxuta, sustentabilidade e outros conceitos);
- (c) de incorporações de princípios por ambas as partes (incorporação de conceitos de valor e desperdício ambiental e social aos conceitos enxutos; incorporação de conceitos enxutos em práticas sustentáveis); e
- (d) de integração (uso integrado de práticas e ferramentas enxutas e sustentáveis).

A partir da síntese dos artigos é possível traçar algumas conclusões. Primeiramente, nota-se que as interações entre a construção enxuta e a sustentabilidade são estudadas preferencialmente do *lean* para a sustentabilidade. Parte significativa dos artigos trata das consequências benéficas à

sustentabilidade decorrentes da aplicação da construção enxuta. Por outro lado, não foi verificado um foco representativo de estudo que fizesse o inverso, ou seja, que mostrasse os benefícios das aplicações sustentáveis no enfoque enxuto. De fato, os estudos que mencionam a relação na direção da sustentabilidade para a construção enxuta se dividem quanto a efeitos positivos e negativos que práticas sustentáveis podem ter em *lean*. Sendo assim, considera-se que a escassez de pesquisa com essa abordagem impossibilita concluir de que forma e em qual intensidade a aplicação de práticas e conceitos da sustentabilidade pode favorecer ou dificultar uma construção mais enxuta.

Há consenso de que sinergias entre as duas esferas existem e que os objetivos possuem intersecções no que tange à diminuição de desperdícios. O foco na incorporação de conceitos e princípios entre as esferas também ocorre, apesar de ser de maneira distinta. Por um lado, é discutido como introduzir valor e desperdícios sustentáveis para obter resultados da construção enxuta que abordem os três pilares da sustentabilidade; por outro, o foco está ligado à incorporação de princípios enxutos com o intuito de buscar melhorias nos enfoques e práticas sustentáveis. Em linhas gerais, essas duas abordagens fomentam a integração entre a construção enxuta e a sustentabilidade. A distinção está nos objetivos de cada uma delas. No primeiro caso busca-se potencializar os resultados sustentáveis através da melhor adequação de práticas enxutas. No outro, objetiva-se manter o foco de práticas sustentáveis na agregação de valor para o cliente, entendendo a sustentabilidade como um desses valores (casos de LEED e DGNB).

A aplicação conjunta de ferramentas, práticas e enfoques é outro passo para a integração dos conceitos de construção enxuta e sustentabilidade. Os casos discutidos do MFV e do evento *kaizen* modificados são exemplos de que, alinhando valor e desperdício tradicionais com os respectivos ambientais e sociais, se podem obter resultados potencializados em aplicações específicas. Com base nesses casos, nas sinergias conceituais e no que se discute sobre as incorporações, conclui-se que a integração completa de construção enxuta e sustentabilidade passa pelo alinhamento dos objetivos de ambas as abordagens a valores do cliente, do meio ambiente e da sociedade para a aplicação de ferramentas e práticas de modo sinérgico e focado na diminuição dos desperdícios tanto produtivos quanto ambientais.

Nota-se que entre as interações negativas discutidas há casos que ocorrem devido à falta de consideração na aplicação de um conceito pelo outro. É o caso de quando se aplica o JIT sem avaliar as consequências

ambientais, por exemplo. A partir do alinhamento de objetivos, essas interações negativas podem não apenas ser mitigadas, como também tornar as relações entre as práticas e ferramentas mais sinérgicas.

Referências

- AHUJA, R.; SAWHNEY, A.; ARIF, M. Bim Based Conceptual Framework for Lean and Green Integration. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014.
- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.
- ARROYO, P.; GONZALEZ, V. Rethinking Waste Definitions to Account for Environmental and Social Impacts. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings...** Boston, 2016.
- BAE, J. W.; KIM, Y. W. Assessing the Environmental Impacts of Lean Supply System: a case study of rebar supply in high-rise condominium construction projects. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, Seattle, 2009. **Proceedings...** Reston: ASCE, 2009.
- BAE, J. W.; KIM, Y. W. Sustainable Value on Construction Project and Application of Lean Construction Methods. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 15., Michigan, 2007. **Proceedings...** Michigan, 2007.
- BAE, J. W.; KIM, Y. W. Sustainable Value on Construction Projects and Lean Construction. **Journal of Green Building**, v. 3, n. 1, p. 156-167, 2008.
- BANAWI, A.; BILEC, M. M. A Framework to Improve Construction Processes: integrating lean, green and six sigma. **International Journal of Construction Management**, v. 14, n. 1, p. 45-55, 2014.
- BELAYUTHAM, S.; GONZALEZ, V. A. A Lean Approach to Manage Production and Environmental Performance of Earthwork Operation. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015.
- BELAYUTHAM, S.; GONZÁLEZ, V. A.; YIU, T. W. Clean-Lean Administrative Processes: a case study on sediment pollution during construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 126 n.1, p. 134-147, 2016.
- BHATTACHARJEE, S.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GANAPATHY, R. Adoption of Pre-Fabrication in Construction to Achieve Sustainability Goals: an empirical study. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, San Juan, 2016. **Proceedings...** San Juan, 2016.
- BRADFORD, S. C. **Documentation**. Londres: Crosby Lockwood, 1953.
- BRUNDTLAND, G. *et al.* **Our Common Future**. Oxford e Nova York: Oxford University Press, 1987.
- CAMPOS, I. B. *et al.* Análise da Produção Científica Sobre Lean Construction x Green Building no Período de 2007 a 2011. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. **Proceedings...** Juiz de For a, 2012a.
- CAMPOS, I. B. *et al.* Relation Between the Sustainable Maturity of Construction Companies and the Philosophy of Lean Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20., San Diego, 2012. **Proceedings...** San Diego, 2012b.
- CARNEIRO, S. B. M. *et al.* Lean and Green: a relationship matrix. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20., San Diego, 2012. **Proceedings...** San Diego, 2012.
- COOPER, H. M.; HEDGES, L. V.; VALENTINE, J. C. **The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis**. Londres: Sage, 2009.
- DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. Environmental Performance and Lean Construction Concepts: can we talk about a 'clean construction'. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., Gramado, 2002. **Proceedings...** Gramado, 2002.
- EMUZE, F.; SMALLWOOD, J. The Integration of Health and Safety (HS), Lean and Sustainability in Construction: a literature review. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings...** Fortaleza, 2013.

- ENACHE-POMMER, E. *et al.* A Unified Process Approach to Healthcare Project Delivery: Synergies between greening strategies, lean principles, and BIM. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, Alberta, 2010. **Proceedings...** Alberta, 2010.
- FARIAS FILHO, J.; CÓ, F. Promovendo o Pensamento Enxuto e Sustentável na Construção Civil Através do Desenvolvimento do Modelo "Lean + Green". In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., Porto Alegre, 2005. **Anais...** Porto Alegre, 2005.
- FIRMAWAN, F.; OTHMAN, F.; YAHYA, K. Improving Project Performance and Waste Reduction in Construction Projects: a case study of a government institutional building project. **International Journal of Technology**, v. 2, n. 1, p. 182-192, 2012.
- FU, F.; SUN, J.; PASQUIRE, C. Carbon Emission Assessment For Steel Structure Based on Lean Construction Process. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 79, n. 3-4, p. 401-416, 2015.
- FUENZALIDA, C. *et al.* Evaluating Environmental Impacts of Construction Operation Before and After the Implementation of Lean Tools. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings...** Boston, 2016.
- GHOSH, S *et al.* A Case Study to Examine Environmental Benefits of Lean Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014.
- GOLZARPOOR, H.; GONZÁLEZ, V. A Green-Lean Simulation Model for Assessing Environmental and Production Waste in Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings...** Fortaleza, 2013.
- GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. **An Introduction to Systematic Reviews**. London: Sage, 2012.
- HORMAN, M. J. *et al.* Delivering Green Buildings: process improvements for sustainable construction. **Journal of Green Building**, v. 1, n. 1, p. 123-140, 2006.
- HORMAN, M. J. *et al.* Lean and Green: Integrating sustainability and lean construction. In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS, Rotterdam, 2004. **Proceedings...** Rotterdam, 2004.
- HUOVILA, P.; KOSKELA, L. Contribution of the Principles of Lean Construction to Meet the Challenges of Sustainable Development. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., Guarujá, 1998. **Proceedings...** Guarujá, 1998.
- JOHNSEN, C. A.; DREVLAND, F. Lean and Sustainability: three pillar thinking in the production process. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings...** Boston, 2016.
- KEELE, S. **Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. EBSE, 2007. Technical report, Ver. 2.3.
- KIBERT, C. J. **Sustainable Construction: green building design and delivery**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- KIM, Y. W.; BAE, J. W. Assessing the Environmental Impacts of a Lean Supply System: case study of high-rise condominium construction in Korea. **Journal of Architectural Engineering**, v. 16, n. 4, p. 144-150, 2010.
- KORANDA, C. *et al.* An Investigation of the Applicability of Sustainability and Lean Concepts to Small Construction Projects. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 5, p. 699-707, 2012.
- KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford: Stanford University, 1992.
- KOSKELA, L.; OWEN, B.; DAVE, B. Lean Construction, Building Information Modelling and Sustainability. In: ERACOBUILD WORKSHOP, Malmö, 2010. **Proceedings...** Malmö, 2010.
- LADHAD, A.; PARRISH, K. Phoenix's First Net-Zero Energy Office Retrofit: a green and lean case study. **Journal of Green Building**, v. 8, n. 4, p. 3-16, 2013.
- LAPINSKI, A. R.; HORMAN, M. J.; RILEY, D. R. Lean Processes for Sustainable Project Delivery. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 132, n. 10, p. 1083-1091, 2006.

- LAPINSKI, A.; HORMAN, M.; RILEY, D. Delivering Sustainability: lean principles for green projects. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, San Diego, 2005. **Proceedings...** San Diego, 2005.
- LEAN GLOBAL NETWORK. **Purpose**. Disponível em: <<http://leanglobal.org/lean-global-network/>>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- LOTKA, A. J. The Frequency Distribution of Scientific Productivity. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, v. 16, n. 12, p. 317-323, 1926.
- LUO, Y.; RILEY, D. R.; HORMAN, M. J. Lean Principles For Prefabrication in Green Design-Build (GDB) Projects. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., Sydney. **Proceedings...** Sydney, 2005.
- MARIS, K.; PARRISH, K. The Confluence of Lean and Green Construction Practices in the Commercial Buildings Market. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings...** Boston, 2016.
- MARTINEZ, P.; GONZÁLEZ, V.; FONSECA, E. Integración Conceptual Green-Lean en el Diseño, Planificación y Construcción de Proyectos. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 24, n. 1, p. 5-32, 2009.
- MELO, R. S.; GRANJA, A. D.; BALLARD, G. Collaboration to Extend Target Costing to Non-Multi-Party Contracted Projects: evidence from literature. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings...** Fortaleza, 2013.
- MORANDI, M.; CAMARGO, L. Revisão Sistemática da Literatura. In: MORANDI, M.; CAMARGO, L. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- NAHMENS, I. From Lean to Green Construction: a natural extension. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, Seattle, 2009. **Proceedings...** Seattle, 2009.
- NAHMENS, I.; IKUMA, L. H. Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding. **Journal of Architectural Engineering**, v. 18, n. 2, p. 155-163, 2011.
- NOVAK, V. M. Target Value Design: managing sustainability values in construction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VALUE ENGINEERING AND MANAGEMENT: INNOVATION IN THE VALUE METHODOLOGY, Hong Kong, 2012. **Proceedings...** Hong Kong, 2012a.
- NOVAK, V. M. Value Paradigm: revealing synergy between lean and sustainability. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20., San Diego, 2012. **Proceedings...** San Diego, 2012b.
- OGUNBIYI, O.; GOULDING, J. S.; OLADAPO, A. An Empirical Study of the Impact of Lean Construction Techniques on Sustainable Construction in the UK. **Construction Innovation**, v. 14, n. 1, p. 88-107, 2014.
- OGUNBIYI, O.; OLADAPO, A.; GOULDING, J. Innovative Value Management: assessment of lean construction implementation. In: RICS CONSTRUCTION AND PROPERTY CONFERENCE, Salford, 2011. **Proceedings...** Salford, 2011.
- PARRISH, K. Lean and Green Construction: lessons learned from design and construction of a modular LEED® gold building. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20., San Diego, 2012. **Proceedings...** San Diego, 2012.
- PINHEIRO, L. V. R. Lei de Bradford: uma reformulação conceitual. **Ciência da Informação**, v. 12, n. 2, p. 59-80, 1983.
- PRICE, D. S. Some Remarks on Elitism in Information and the Invisible College Phenomenon in Science. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 22, n. 2, p. 74, 1971.
- RAMKRISHNAN, K.; ROPER, K.; CASTRO-LACOUTURE, D. Green Building rating and Delivery Systems in Building Construction: toward aec+p+f integration. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 15., Michigan, 2007. **Proceedings...** Michigan, 2007.
- RILEY, D. *et al.* Lean and Green: the role of design-build mechanical competencies in the design and construction of green buildings. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, San Diego, 2005. **Proceedings...** San Diego, 2005.

- ROSENBAUM, S.; TOLEDO, M.; GONZALEZ, V. Green-Lean Approach for Assessing Environmental and Production Waste in Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20., San Diego, 2012. **Proceedings...** San Diego, 2012.
- SAGGIN, A. B. *et al.* Comparing Investments in Sustainability With Cost Reduction From Waste Due to Lean Construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015.
- SALEM, O. *et al.* Reducing Environmental, Economic, and Social Impacts of Work-Zones by Implementing Lean Construction Techniques. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014.
- SALVATIERRA-GARRIDO, J.; PASQUIRE, C. The First and Last Value Model: sustainability as a first value delivery of lean construction practice. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19., Lima, 2011. **Proceedings...** Peru, 2011.
- SANTOS, A. dos; VEZZOLI, C. Linking Lean Production and Sustainable Design on Waste Reduction. In: INAUGURAL CONSTRUCTION MANAGEMENT AND ECONOMICS, 25., Reading, 2007. **Proceedings...** Reading, 2007.
- SMITH, V. *et al.* Methodology in Conducting a Systematic Review of Systematic Reviews of Healthcare Interventions. **BMC Medical Research Methodology**, v. 11, n. 1, p. 15, 2011.
- SONG, L.; LIANG, D. Lean Construction Implementation and Its Implication on Sustainability: a contractor's case study. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 38, n. 3, p. 350-359, 2011.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **The Lean and Environment Toolkit**. 2007. Disponível em: <<https://www.epa.gov/lean/lean-environment-toolkit>>. Acesso em: 22 maio 2016.
- VALENTE, C. P.; MOURÃO, C. do A.; BARROS NETO, J. de P. Lean and Green: how both philosophies can interact on strategic, tactical and operational levels of a company. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings...** Fortaleza, 2013.
- VASCONCELOS, I. A. *et al.* Guidelines for Practice and Evaluation of Sustainable Construction Sites: a lean, green and wellbeing integrated approach. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015.
- VIEIRA, A.; CACHADINHA, N. Lean Construction and Sustainability-Complementary Paradigms: a case study. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19., Lima, 2011. **Proceedings...** Lima, 2011.
- WEINHEIMER, N. The Process of Green Building Certification: an examination regarding lean principles. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings...** Boston, 2016.
- WIERINGA, R. *et al.* Requirements Engineering Paper Classification and Evaluation Criteria: a proposal and a discussion. **Requirements Engineering**, v. 11, n. 1, p. 102-107, 2006.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **Machine that Changed the World**. New York, NY: Simon & Schuster, 1990.
- WU, P. Monitoring Carbon Emissions in Precast Concrete Installation Through Lean Production: a case study in Singapore. **Journal of Green Building**, v. 9, n. 4, p. 191-211, 2014.
- WU, P.; FENG, Y. Using Lean Practices to Improve Current Carbon Labelling Schemes for Construction Materials: a general framework. **Journal of Green Building**, v. 7, n. 1, p. 173-191, 2012.
- WU, P.; LOW, S. P.; JIN, X. Identification of Non-Value Adding (NVA) Activities in Precast Concrete Installation Sites to Achieve Low-Carbon Installation. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 81, n. 1, p. 60-70, 2013.
- ZHANG, H.; ZHANG, Y. Study on Lean Construction Method of Green Substation. **Applied Mechanics and Materials**, v. 448, p. 4369-4375, 2014.

Eduardo Lavocat Galvão de Almeida

Departamento de Arquitetura e Construção, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil | Universidade Estadual de Campinas | Rua Saturnino de Brito, 224 | Campinas - SP - Brasil | CEP 13083-889 | E-mail: eduardolavocat@gmail.com

Flávio Augusto Picchi

Lean Institute Brasil

Departamento de Arquitetura e Construção, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil | Universidade Estadual de Campinas | Tel.: (19) 3521-2082 | E-mail: fpicchi@fec.unicamp.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br