

A indústria da construção pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta: estratégia do gerenciamento baseado no fluxo

The precast construction industry and lean construction tools: flow-based management strategy

Elias Riffel* - eliasriffel@unifebe.edu.br

*Centro Universitário de Brusque – (UNIFEBE), Brusque, Brasil

Article History:

Submitted: 2022 - 01 - 30

Revised: 2022- 02 - 24

Accepted: 2022 - 02 - 24

Resumo: O Sistema Toyota de Produção (STP) formulou a base referencial para elaboração dos princípios da construção enxuta, denominada de *Lean Construction* e organizada por Lauri Koskela, em 1992. A aplicação dos princípios da produção enxuta tem se tornado um grande desafio para a construção nas últimas décadas, cujo parâmetro de gerenciamento necessita estar inserido em seus processos industriais. A pesquisa tem a proposta de articular dois objetivos: primeiramente, relacionar as vantagens competitivas da construção de pré-fabricados em concreto armado, denominadas neste estudo de construtos da indústria pré-fabricada (CIP), como também identificar quais são as ferramentas da construção enxuta (FCE) incorporadas à construção civil mais expoentes pelos autores em suas obras. O segundo objetivo foi articular uma inter-relação conceitual de compatibilidade entre os dois fatores: a construção pré-fabricada e a construção enxuta. A metodologia foi delineada por uma pesquisa qualitativa e estruturada através de 178 publicações entre livros e artigos científicos atinentes aos temas estudados. A análise dos dados estabeleceu resultados que demonstraram um alinhamento conceitual entre três construtos e três ferramentas da construção enxuta. De forma conclusiva, a pesquisa constatou a convergência do fluxo como elemento comum entre as FCE, o que permitiu embasar os processos da construção enxuta pela estratégia do gerenciamento baseado no fluxo (GBF).

Palavras-chave: Construção civil; Concreto pré-fabricado; Gestão de obras; Construção enxuta.

Abstract: The Toyota Production System (TPS) formulated the referential base for the elaboration of lean construction principles, called *Lean Construction* and organized by Lauri Koskela, in 1992. The application of lean production principles has become a major challenge for construction in the last decades, whose management parameter needs to be inserted in their industrial processes. The research proposes to articulate two objectives: first, to relate the competitive advantages of the construction of precast reinforced concrete, named in this study of precast industry constructs (PIC), as well as to identify which are the lean construction tools (LCT) incorporated to civil construction more exponents by the authors in their works. The second objective was to articulate a conceptual interrelationship of compatibility between the two factors: prefabricated construction and lean construction. The methodology was outlined by a qualitative and structured research through 178 publications, including books and scientific articles related to the studied themes. Data analysis established results that demonstrated a conceptual alignment between three constructs and three lean construction tools. Conclusively, the research found the convergence of the flow as a common element among the LCT, which allowed to base the lean construction processes on the strategy of flow-based management (FBM).

Keywords: Construction; Precast concrete; Construction management; Lean construction.

O texto é inédito, sem financiamento e sem conflito de interesses, não sendo resultado de teses de mestrado ou doutorado.

1. Introdução

No final dos anos 1940, o Japão era um país mergulhado em uma grave crise financeira provocada por sua desastrosa participação na Segunda Guerra Mundial, com organizações à deriva e na difícil missão de se manterem vivas e produtivas (Rodrigues, 2016). Rattner (1987, p. 11), avalia que “Após a II Guerra, os esforços do governo japonês concentraram-se na reconstrução da economia do país, totalmente arrasada pelos bombardeios norte-americanos”. Neste contexto, nasce a produção enxuta, concebida a partir da década de 1950, quando Eiji Toyoda começou uma peregrinação de três meses na fábrica da Ford, no complexo industrial de River Rouge, Detroit, nos Estados Unidos (Womack *et al.*, 1992; Kurek *et al.*, 2006, Dennis, 2011). As indústrias japonesas, não disponibilizando dos mesmos recursos tecnológicos que as indústrias americanas, buscaram formas de melhoria dos seus processos no desenvolvimento de conceitos e técnicas para eliminação dos desperdícios, aos quais foram denominados de Sistema Toyota de Produção ou Produção Enxuta (VALENTE; AIRES, 2017).

Desde que a Produção Enxuta (PE) se tornou o novo horizonte para a gestão da produção e configurou um novo paradigma para o setor industrial automotivo, também dinamizou diferentes modelos e práticas de produção em outros setores, empresas e países, onde pesquisas e trabalhos têm sido realizados em diferentes segmentos buscando a aplicação da nova metodologia de gestão da produção (Sohler e Santos, 2017). Assim, em 1992, foi publicado pelo professor finlandês Lauri Koskela o relatório nº 72 do Centro Integrado de Engenharia da Universidade de Stanford, intitulado de Aplicação da Nova Filosofia da Produção para a Construção, lançando as bases desta nova filosofia à construção civil (Lima *et al.* 2017).

No ano seguinte, em 1993, foi fundada por Glenn Ballard e Gregory A. Howell uma instituição nominada *International Group for Lean Construction* (Peretti *et al.*, 2013) que se originou a partir do relatório de Koskela (Reis *et al.* 2017). Desse modo, a *Lean Construction* ou Construção Enxuta (CE), consolidou-se como uma filosofia de produção para a indústria da construção, originária dos esforços desse grupo de pesquisadores ao aplicar os conceitos, princípios e práticas de gestão da produção enxuta no setor da construção civil (Ribeiro, 2015; Bernardes, 2021).

A construção civil no Brasil tem sido caracterizada como conservadora e tradicional, segundo Oliveira *et al.* (2017), e quando comparada aos demais setores produtivos, apresenta desenvolvimento e desempenho significativamente inferiores (Silva *et al.*, 2018). El Debs (2017) contribui afirmando que a construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais e a razão disso está no fato de apresentar baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade. O mesmo autor ainda declara que, uma das formas de buscar a redução desse atraso está associada à utilização de elementos pré-fabricados. O emprego dessas técnicas recebe a denominação de concreto pré-moldado ou pré-moldagem e as estruturas formadas pelos elementos pré-moldados são denominadas de estruturas de concreto pré-moldado. Tam *et al.* (2007); Cao *et al.* (2015), atestam que o emprego da pré-fabricação aumenta o grau de desenvolvimento tecnológico, pois proporciona maior oferta de equipamentos, valorização da mão de obra e exigências mais rigorosas em relação à qualidade dos produtos.

Em Polito (2015), a evolução construtiva das edificações e das atividades de engenharia civil nas próximas décadas será influenciada pelo desenvolvimento do processo de informação, pela comunicação global, pela industrialização e pela inovação.

Diante deste contexto, o estudo tem a proposta de apresentar dois objetivos: primeiramente realizar uma pesquisa bibliográfica baseada em livros e artigos científicos para verificar quais são as vantagens competitivas evidenciadas no setor da pré-fabricação de estruturas de concreto, neste estudo denominadas de construtos da indústria pré-fabricada (CIP). De forma paralela, outra pesquisa bibliográfica foi elaborada para analisar quais as ferramentas da construção enxuta (FCE) foram mais citadas e aplicadas por seus autores em suas obras. O segundo objetivo foi estabelecer uma relação conceitual de compatibilidade entre os construtos da indústria pré-fabricada com as ferramentas da construção enxuta.

Face a generalização do sistema da produção enxuta que pode ser implantado na construção civil, o estudo procurou responder a seguinte questão problema: qual o alinhamento conceitual que pode ser evidenciado entre os construtos da indústria pré-fabricada e as ferramentas da construção enxuta?

Na análise dos resultados, os três construtos da indústria pré-fabricada que apresentaram maior evidência foram a produtividade, a qualidade e a sustentabilidade; enquanto que as ferramentas da construção enxuta mais citadas ou aplicadas por seus autores foram a teoria da transformação, fluxo e valor (TFV), o sistema *Last Planner* (SLP) e a produção puxada. Além do alinhamento detalhado pela costura teórica entre construtos e ferramentas, conclusivamente, o estudo também propôs uma análise mais sintética, estabelecendo uma relação de funcionalidade entre as ferramentas pesquisadas com a estratégia do gerenciamento baseado no fluxo (GBF).

2. Referencial teórico

2.1 A produção enxuta

Womack *et al.* (1992), Rotta e Paulo (2017), Sacomano *et al.* (2018), aferem os três métodos de produção concebidos pelo homem: durante séculos a produção artesanal utilizou-se de trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples para produzir um item de cada vez e de acordo com o anseio do consumidor; após a I Guerra Mundial, a produção em massa empregou máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa adicionando folgas, como suprimentos, trabalhadores e espaço e, após a II Guerra Mundial, iniciou-se a era da produção enxuta, que em contraposição, evitou os altos custos da produção artesanal e a rigidez da produção em massa, visando a padronização, redução de desperdícios, eliminação das perdas e qualidade do projeto ao produto, ao empregar equipes de trabalhadores multidisciplinares.

Na década de 1950, em sua visita de três meses à fábrica da Ford, na planta de River Rouge em Detroit nos Estados Unidos, Eiji Toyoda, escreveu para sua empresa dizendo ser possível melhorar o sistema de produção (Womack *et al.*, 1992). A este novo início experimental de pensar a produção, nasceu no Japão, o Sistema Toyota de Produção (STP), conforme Tuholski *et al.* (2009) e Tezel e Nielsen (2013), sendo posteriormente denominado de Sistema de Produção Enxuta (SPE) por Womack *et al.* na obra autoral *A Máquina que Mudou o Mundo* (Dennis, 2011; Fuentes e Díaz, 2012; Freitas *et al.*, 2018).

Womack e Jones (1998); Arslankaya e Atay (2015), relataram que executivo da Toyota, Taiichi Ohno, também um dos idealizadores do método juntamente com Eiji Toyoda, deu início às atividades agrupando trabalhadores em equipes que eram responsáveis por um conjunto de etapas de montagem. Após o funcionamento das equipes, reservavam periodicamente um horário

para que os grupos pudessem sugerir um conjunto de medidas a fim de melhorar o processo; essa prática de sugestões para aperfeiçoamento coletivo e gradual veio a se denominar Círculo de Controle da Qualidade (CCQ), Kaizen, em japonês.

Em Ishikawa (1993), Dr. Deming, dos Estados Unidos, realizou em 1950, um seminário de 8 dias para o Sindicato dos Cientistas Japoneses, no qual conferenciou um ciclo de projeto que deve ser seguido por um outro ciclo que começa com a re-execução do projeto baseado na experiência obtida no ciclo anterior. Desta forma, a qualidade está sendo reprojeta e melhorada continuamente.

Ainda sobre a concepção da produção enxuta, Womack e Jones (1998) estenderam e definiram o conceito do pensamento enxuto (*lean thinking*) à produção enxuta como sendo uma filosofia que visa eliminar atividades produtivas que não agregam valor ao produto final (Benini e Bonoto, 2019), codificando a essência da produção enxuta em cinco princípios básicos: valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e perfeição (Almeida e Picchi, 2018). Segundo Hines *et al.*, (2004), o conceito “enxuto” existe em dois níveis: estratégico e operacional e, afirmam que o pensamento enxuto no nível estratégico e a produção enxuta no nível operacional são cruciais para a compreensão do conceito “*lean*” como um todo.

Neste sentido, Tezel e Nielsen (2013), Buyukozkan *et al.*, (2015) e Urban (2015), afirmam que o pensamento enxuto representa uma forma metodológica de especificar valor, de melhoria dos processos ao alinhar a sequência das ações que criam valores, realizando-as sem interrupção e de forma cada vez mais eficaz, ou seja, é uma forma de fazer mais com cada vez menos, menos esforço humano, menos equipamento, menor custo, menos espaço e tempo, aproximando-se cada vez mais em oferecer aos clientes o que eles desejam.

Tezel e Nielsen (2013); Sacks *et al.*, (2009); Polito (2015) relatam que, outro conceito importante na direção do pensamento enxuto é analisar o fluxo das etapas que criam valor, pois combatendo o pensamento departamentalizado, as tarefas podem ser realizadas de forma mais eficiente e eficaz quando se trabalha continuamente no produto da matéria-prima à mercadoria acabada, ou seja, o processo funciona melhor quando é focado no produto e nas suas necessidades, de modo que as etapas de produção ocorram em fluxo contínuo.

Em síntese, o SPE, essencialmente, visa a eliminação do desperdício e a produção de qualidade, com o comprometimento das equipes de trabalho (Valente e Aires, 2017), a produção enxuta tem foco no cliente e o “coração” do sistema reside no envolvimento dos *teams* (Ribeiro *et al.*, 2019) e caracteriza-se como um conjunto de conceitos, práticas e ferramentas empregadas para criar valor ao consumidor (Vecchia *et al.*, 2020; Magalhães, 2020).

A integração da metodologia para excelência operacional foi sistematizada por Fujio Cho por meio da Casa do Sistema Toyota de Produção, onde todas as atividades se encaixam, e cuja formação é sintetizada por: um embasamento constituído pela estabilidade e pela padronização; os pilares representados por produtos *just-in-time* e *jidoka*; entre os pilares, no coração da casa, estão os programas de envolvimento das equipes de trabalho; e a meta que está estabelecida no topo do sistema, com foco no cliente em entregar qualidade com o menor custo e menor *lead time* (Dennis, 2008; Rodrigues, 2016).

2.2. A construção enxuta

O relatório autoral de Lauri Koskela denominado “*Application of the new production philosophy to construction*” de 1992, foi o primeiro referencial teórico a expandir a teoria do STP à construção civil (Reis *et al.*, 2017; Correia, 2018); assim, a adequação ao conjunto de princípios, práticas e ferramentas do STP (Vecchia *et al.*, 2020) foi denominado de construção enxuta e representou a quebra do modelo de gerenciamento tradicional empregado na construção civil para o gerenciamento enxuto (Silveira e Mano 2016).

Koskela *et al.* (2002) afirmaram que desde a década de 1990 a construção enxuta tem surgido como um novo conceito no gerenciamento e na prática da construção civil; relatam também que os princípios da construção enxuta visam maximizar o uso de materiais e mão de obra, evitando o desperdício e as atividades que não agregam valor ao trabalho. Tezel e Nielsen (2013) citam os princípios fundamentais da construção enxuta em: eliminação do desperdício, redução do tempo de ciclo, redução da variabilidade, controle da produção puxada, fluxo contínuo e melhoria contínua. Guimarães e Guimarães (2016) e Bernardes (2021), classificam a base conceitual da construção enxuta em mais 5 princípios (não abordados neste estudo).

Dave *et al.*, (2015); Hamdar *et al.*, (2015), atestam que o fluxo de informações no canteiro de obras é uma questão complexa e depende de uma variedade de fatores; este fluxo de

forma regular é essencial para assegurar um eficiente controle e gerenciamento da produção. O sistema de gerenciamento da construção enxuta deve levar em conta a natureza dinâmica dos projetos de construção e deve ter o objetivo de melhorar o fluxo de informações durante a execução do projeto. Alguns sistemas computacionais já foram desenvolvidos como *Enterprise Resource Planning (ERP)*, *VisiLean*, *Building Information Modeling (BIM)*, como forma de viabilizar as atividades dos trabalhadores no canteiro de obras e como suporte de informações para o fluxo de trabalho, fornecendo recursos específicos de planejamento e controle da produção.

Forbes e Ahmed (2010) alegam que a implementação do conceito *lean* no setor da construção civil tem provado ser um desafio devido a singularidade de cada projeto, no qual o proprietário define o produto final e que o mesmo projeto é raramente recorrente. Segundo Caldas *et al.* (2005); Brito e Ferreira (2015), controlar o sistema produtivo em um processo de planejamento dinâmico e fragmentado como da construção civil, inclui suporte à integração de informações para gerenciamento dos projetos que necessitam ser planejados, implementados, verificados e validados. Nesta abordagem, Navon e Sacks (2007), percebem a construção enxuta como um sistema baseado no gerenciamento de projetos com maior ênfase no fluxo de trabalho do que em atividades distintas; os mesmos autores ainda avaliam que a indústria da construção apresenta comparativamente um sistema de monitoramento de projeto lento e primitivo pelas seguintes razões: os materiais de construção são entregues de forma dinâmica; contudo, os canteiros de obras são adversos para métodos de monitoramento automatizados de projeto; além do que, os métodos de controle da construção convencional são baseados na coleta manual de informações, os quais são lentos, imprecisos e caros.

Além das peculiaridades inerentes do sistema produtivo do setor apresentar um caráter não homogêneo e não seriado, conforme explica Oliveira *et al* (2017), a implantação da cultura enxuta na construção civil apresenta entraves, como o alto custo de consultorias; a falta de compreensão dos conceitos *lean* em função da baixa escolaridade e qualificação da mão de obra; a alta rotatividade dos recursos humanos e a falta de estrutura das empresas (Guimarães e Guimarães, 2016; Correia, 2018; Simão *et al.* 2019; Fiuza e Ferreira, 2021).

2.3. A construção civil pré-fabricada

Doniak e Gutstein (2012), afirmam que a industrialização da construção civil está associada às questões sociais e mercadológicas, ao longo da história da humanidade. Alguns aspectos de industrialização como coordenação modular, engenharia de materiais e racionalização já estavam presentes na complexidade das obras da Grécia Antiga ou da Arquitetura Gótica. O surgimento de sistemas construtivos que possibilitaram elevar a produtividade começou no pós Segunda Guerra Mundial, em 1942, na Europa, em função da alta demanda por infraestrutura e habitação. Nesse contexto, a pré-fabricação em concreto se tornou o meio mais difundido para a industrialização da construção Civil.

Vasconcelos (2002); Serra, Ferreira e Pigozzo (2005), enfatizam que o primeiro marco da pré-fabricação de concreto no Brasil refere-se à obra do Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, em 1926. No fim da década de 50, na cidade de São Paulo, a Construtora Mauá, executou os primeiros galpões pré-moldados no canteiro de obras.

De acordo com Viegas e Saraiva (2012), os princípios que embasaram o desenvolvimento da pré-fabricação foram a simplicidade de execução, a repetição de componentes e a rapidez de construção, cujos conceitos originais são válidos para a atualidade, com crescentes exigências de qualidade, segurança e complexidade de manufatura, sendo produzidos em condições industriais, com mão de obra especializada, conduzindo a padrões de qualidade e menor risco de acidentes de trabalho.

El Debs (2017) apresenta e explica algumas características inerentes à construção pré-fabricada, entre as quais: o emprego do concreto pré-moldado estrutural proporciona uma significativa redução no tempo de execução da obra, ao antecipar os serviços de cobertura da construção para etapas posteriores livres de intemperismos; propicia obra mais limpa, com menor índice de desperdício de materiais; incorpora aspectos relacionados à sustentabilidade pela redução do consumo de materiais, ao empregar seções transversais ou formas estruturais mais eficientes; reuso parcial da construção por meio de projetos com possibilidade de desmontabilidade da obra; a manufatura dos elementos estruturais nas unidades fabris promove melhores condições de trabalho se comparadas com o canteiro, contudo, torna-se necessário uma mão de obra mais especializada para os serviços de montagem da estrutura.

Schokker (2010) afirma que o concreto pré-moldado é produzido com muito pouco desperdício, pois o uso repetitivo de padrões e modelos pode gerar uniformidade na precisão e no controle de qualidade do concreto. O concreto pré-moldado tem uma perda aproximada de 2%, pois o desperdício produzido pode ser reusado para manufatura de outros produtos ou pode ser regenerado lavando ou separando os agregados para uso em outros lotes de operação.

Li *et al.* (2014), constatam que a pré-fabricação tem sido amplamente considerada como um método de construção sustentável em termos de impacto de proteção ambiental. Um importante aspecto nesta perspectiva é a influência da pré-fabricação na redução do desperdício da construção e as consequentes atividades de tratamento de resíduos, incluindo triagem de resíduos, reuso, reciclagem e disposição final. A redução do desperdício é o processo que evita, elimina ou minimiza os resíduos na sua fonte, permitindo o reuso ou a reciclagem para fins benéficos. Em seus estudos, cerca de 40% do lixo sólido urbano é resíduo da construção civil e que obras pré-fabricadas têm sido executadas gerando 1% de desperdício se comparadas com edificações convencionais.

Li *et al.* (2014), classificam a construção pré-fabricada como um método de construção sustentável e cada vez mais adotada em todo o mundo para aumentar a produtividade e para aliviar os efeitos ambientais e sociais das atividades da construção convencional. Analisam também que, o reconhecimento da importância da tecnologia da pré-fabricação para melhoria da produtividade e conservação ambiental, tem gerado vários estudos; contudo, conteúdos relativos ao assunto na literatura existente parecem insuficientes, impedindo os pesquisadores de abstrair uma visão geral da evolução das pesquisas em campo, propondo uma disciplina específica de Gerenciamento da Construção Pré-fabricada (GCP).

Cao *et al.* (2015), alegam existir uma necessidade urgente em avaliar a performance ambiental da tecnologia da pré-fabricação para identificar que ela é um método efetivo de desenvolvimento sustentável. Em estudos comparativos com uma edificação residencial, foi analisado o processo construtivo pré-fabricado e o processo tradicional de construção, obtendo os seguintes resultados: a amostra da construção residencial pré-fabricada foi mais eficiente em energia consumindo 20,49% menos energia que o processo convencional; redução de 35,82% no esgotamento de recursos; redução de 6,61% de prejuízos à saúde e redução de 3,47% de prejuízos em ecossistemas.

Tam *et al.* (2007), consideram o desperdício da construção como um dos principais fatores de impacto ambiental. Com o aumento da demanda de maior implementação de obras de infraestrutura, prédios comerciais e programas de desenvolvimento residencial, grande quantidade de entulho está sendo produzido e que falta aplicação por parte dos governantes. A indústria da construção gera uma quantidade diária que alcança 40% do total de entulho em aterros sanitários. Para um desenvolvimento sustentável e manutenção da capacidade dos aterros, existe uma necessidade urgente para a indústria adotar novas tecnologias ou métodos de construção, na qual pode reduzir efetivamente o desperdício. Por este motivo, a pré-fabricação está sendo largamente usada em países da Europa, Japão e Singapura, proporcionando uma melhor solução para os problemas de geração de desperdício nos canteiros de obra.

3. Metodologia

O estudo foi delineado por uma abordagem qualitativa de referenciais para atribuição das informações e das definições relativas aos conceitos da produção enxuta, construção enxuta e construção pré-fabricada; quanto a sua natureza, a pesquisa foi classificada como aplicada, pela qual sustenta Gerhardt (2009), de promover o conhecimento em aplicações práticas e focadas na solução de problemas específicos. A pesquisa também foi nomeada de bibliográfica ou de fontes secundárias, a qual analisa, estuda e explora um problema baseado em trabalhos já publicados, como livros, revistas e demais publicações (Gonçalves *et al.*, 2014; Marconi e Lakatos, 2017).

A população analisada na pesquisa, expressa pelo “conjunto de elementos que possuem determinadas características”, conforme esclarece Richardson (2017, p. 143), foi constituída de 178 publicações bibliográficas relacionadas à produção enxuta, construção enxuta e construção civil pré-fabricada. Os referenciais foram compostos por livros e artigos científicos investigados em base de dados digitais como o *Scholar Google*TM, Capes Periódicos e Scielo Brasil, além dos anais do *International Group for Lean Construction* (IGLC) e do *International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (ISARC).

O processo metodológico para a elaboração da pesquisa foi constituído de 3 etapas:

Etapa 1 - Selecionar as vantagens competitivas examinadas à luz das qualificações relativas ao setor da construção civil de estruturas pré-fabricadas de concreto, nesta pesquisa denominadas de construtos da indústria pré-fabricada (CIP).

Etapa 2 - Verificar as práticas e conceitos da produção enxuta incorporadas à construção civil como ferramentas da construção enxuta (FCE) mais evidenciadas e aplicadas pelos autores em suas obras.

Etapa 3 - Estabelecer uma relação conceitual de compatibilidade entre os construtos da indústria pré-fabricada (CIP) com as ferramentas da construção enxuta (FCE). Nesta etapa, e sob ótica do pesquisador, foi representado um esquema com o alinhamento conceitual entre os 3 construtos pré-fabricados com as 3 ferramentas enxutas, ambos predominantes na pesquisa.

4. Análise de dados

Atualmente a Indústria da Construção Pré-fabricada (ICP) está em evidência na execução de obras industriais, comerciais e de infra-estrutura, além da aplicação em complexos esportivos como estádios e arenas. A industrialização dos processos produtivos nos segmentos de estruturas pré-fabricadas promove a gestão enxuta através da eliminação do desperdício de materiais e de trabalho, além de agregar valores econômicos e de segurança laboral no fluxo da produção. As características aqui mencionadas, se entrelaçam com as citadas referências autorais apresentadas no capítulo 2 do referencial teórico.

Diante deste contexto predicativo, na etapa 1 da pesquisa foi efetuado uma análise em 16 referenciais teóricos constituídos de artigos e livros relacionados com o tema da pré-fabricação. O Quadro 1 demonstra as vantagens competitivas mais citadas pelos autores pesquisados, às quais, neste estudo, foram denominadas de construtos da pré-fabricação ou CIP.

Na etapa 2 da pesquisa, a leitura e a interpretação dos referenciais teóricos possibilitaram analisar a indústria da construção civil como uma atividade que vem sendo criticada pelo excessivo desperdício de materiais e por processos ineficientes em relação aos princípios da produção enxuta, onde o sistema produtivo opera baseado em uma abordagem sem estratégias de melhoria nos fluxos de produção, sem promoção da cultura organizacional e sem articulação institucional. A construção enxuta, por meio das práticas e técnicas incorporadas da produção enxuta, representa um novo pensar e interagir com os atuais (tradicionais) processos metodológicos construtivos na execução de obras e de gerenciamento do canteiro. Considerando as deficiências incorporadas no processo tradicional e as possibilidades de integração com uma nova filosofia de trabalho, o artigo analisou um conjunto de 122 publicações por meio de livros e

artigos científicos, os quais convergiram em conceitos cujos autores alinharam ferramentas que realizam a difusão para aplicação na construção civil.

Quadro 1 - Construção pré-fabricada: vantagens competitivas

| Vantagens competitivas | Autores |
|-------------------------------|--|
| Construção sustentável | Tam <i>et al.</i> (2007) Schokker (2010) Chastre e Lúcio (2012) Li <i>et al.</i> (2014) Li <i>et al.</i> (2014) Cao <i>et al.</i> (2015) El Debs (2017) Xiaosheng e Hamzeg (2020) |
| Aumento da produtividade | Chastre e Lúcio (2012) Li <i>et al.</i> (2014) Cao <i>et al.</i> (2015) Kanai e Fontanini (2020) |
| Melhoria da qualidade | U.S. Green Concrete Council (2010) Cao <i>et al.</i> (2015) Konczak e Paslawski (2015) El Debs (2017) Brissi e Debs (2019) |
| Planejamento da produção | Konczak e Paslawski (2015) |
| Multifuncionalidade | Sacks <i>et al.</i> (2007) |
| Custo | Chauhan <i>et al.</i> (2019) |

Fonte: Autor (2021).

O Quadro 2 relaciona as ferramentas gerenciais da construção enxuta mais citadas e aplicadas por seus pesquisadores em suas publicações, cuja abordagem de três colunas apresenta as denominações conceituais, suas aplicações e os respectivos autores.

A leitura dos dois quadros permitiu analisar a nítida convergência dos dados pesquisados, tanto no Quadro 1 com a apuração dos construtos da pré-fabricação, como no Quadro 2, com as ferramentas gerenciais mais citadas e aplicadas em suas pesquisas por seus respectivos autores para implantação na construção enxuta. A Figura 1 relaciona a consolidação desses resultados.

Quadro 2 - Ferramentas da construção enxuta

| Conceitos | Aplicações | Autores |
|--|---|--|
| Teoria da Transformação, Fluxo e Valor (TFV) | Controle da produção; Qualidade; agregar valor; fluxo contínuo de trabalho. | Rosenblum <i>et al.</i> (2007) Sacks <i>et al.</i> (2009) Tuholski <i>et al.</i> (2009) Ogunbiyi <i>et al.</i> (2014) Henriques e Silva (2009) Hosseini <i>et al.</i> (2012) Dave <i>et al.</i> (2015) Tommelein (2015) Li <i>et al.</i> (2017) Sarhan <i>et al.</i> (2018) |
| <i>Last Planner System</i> (LPS) | Planejamento da produção; diminuir desperdício; visualizar o cronograma físico. | Rosenblum <i>et al.</i> (2007) Henriques e Silva (2010) Aziz e Hafez (2013) Ogunbiyi <i>et al.</i> (2014) Dave <i>et al.</i> (2015) Zhang e Chen (2016) Li <i>et al.</i> (2017) Almeida e Picchi (2018) Angelim <i>et al.</i> (2020) |
| Produção Puxada | Menor Estoque; atender as necessidades do cliente. | Kurek <i>et al.</i> (2006) Sacks <i>et al.</i> (2009) Hosseini <i>et al.</i> (2012) Peretti, Faria e Santos (2013) Dave <i>et al.</i> (2015) |
| Kaizen | Melhoria do processo construtivo. | Tezel e Nielsen (2013) Arslankaya e Atay (2015) |
| JIT | Eliminar estoques no canteiro; entrega de materiais no tempo certo. | Kurek <i>et al.</i> (2006) Hosseini <i>et al.</i> (2012) Li <i>et al.</i> (2017) |
| Kanban | Controle de Fluxo e Material. | Zhang e Chen (2016) |

Fonte: Autor (2021).

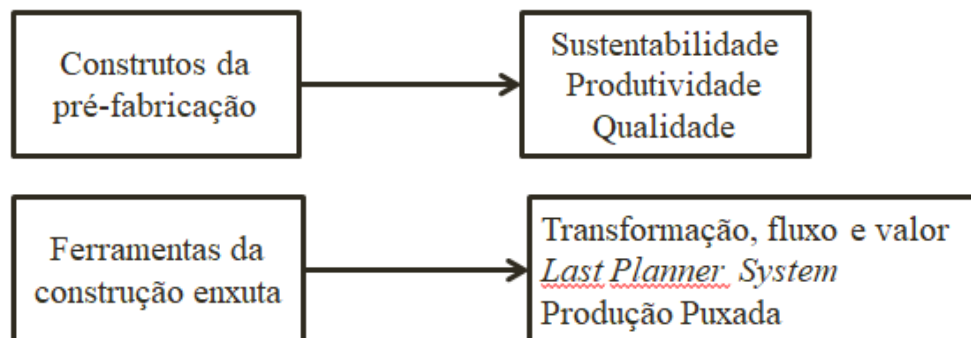


Figura 1 - Esquematização dos dados

Fonte: Autor (2021).

5. Resultados e discussões

Em cumprimento ao segundo objetivo da pesquisa e em resposta à questão problema que delimitou as proposições deste estudo, foi determinado uma relação de compatibilidade entre os construtos da ICP e as ferramentas da construção enxuta. A Figura 2, sob a ótica do pesquisador, mostra este alinhamento conceitual entre os dados pesquisados.

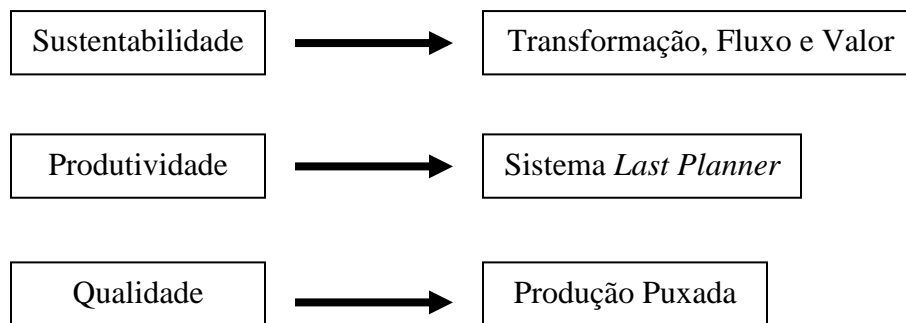


Figura 2 - Compatibilidade entre os construtos e as ferramentas da construção enxuta
Fonte: Autor (2021).

1ª. Ferramenta: Teoria Transformação, Fluxo e Valor.

A Teoria da Transformação, Fluxo e Valor (TFV) foi articulada por Lauri Koskela em seu artigo seminal de 1992, que embasou a fundamentação para a construção enxuta. A etapa de transformação consiste em processos de conversão de matéria-prima em produto final acabado; por sua vez, o fluxo de operações engloba atividades de informação, laboral e material; na etapa de valor, os fluxos de produção são analisados para eliminar os desperdícios presentes e constantes no processo, como forma de agregar valor ao produto e ao cliente (Sack *et al.*, 2009; Alvarenga *et al.*, 2019). Na forma de ferramenta, o mapeamento do fluxo de valor (MFV) permite o gerenciamento dos processos de produção de forma a aumentar os índices de eficiência das atividades que não agregam valor (Ribeiro *et al.*, 2019) e facilitar a visualização dos desperdícios (Brito *et al.*, 2018). De acordo com Sarhan *et al.* (2018), os princípios da construção enxuta convergem com os objetivos sustentáveis de duas maneiras, *first one*: através do foco na redução do desperdício, mitigando a poluição, o consumo de materiais e de energia;

and the second one: através do conceito de valor, contemplando as necessidades dos clientes com as questões ambientais e sociais.

Neste contexto e, em uma análise imbricada dos conceitos, é possível argumentar que o construto sustentabilidade está inserido na teoria de TFV, a qual enfatiza a eliminação de atividades não necessárias presentes nos processos operacionais e permite formar um plano de ações enxutas permeáveis na cadeia produtiva, identificando as fontes de desperdícios.

2ª. Ferramenta: Sistema *Last Planner*.

O controle da produção no Sistema *Last Planner (LP)* é uma das ideias centrais na construção enxuta (Koskela *et al.* 2002) e foi idealizado por Glenn Ballard e Gregory Howell na década de 90 (Kurek *et al.* 2006). O sistema *LP* consiste em um método de gestão de prazos para os processos de produção, e visa aumentar a eficiência do fluxo de operações a partir dos níveis de planejamento classificados em 3 horizontes: planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo e planejamento de curto prazo (Valente e Aires, 2017). De acordo com Rocha *et al.* (2004) e Bernardes (2021), o planejamento de longo prazo ou estratégico é definido pelo período total de toda a obra e deve ser revisado a cada seis meses; já o planejamento de médio prazo, também denominado *look ahead planning*, é considerado um plano tático porque é por meio dele que os fluxos de trabalho são analisados, incluindo as especificações dos métodos construtivos e os recursos necessários de cada etapa, normalmente varia de 2 a 4 semanas; e por último, o planejamento de curto prazo ou planejamento de nível operacional, de validade semanal, que contém informações sobre as atividades a executar, identificando as zonas de trabalho e informando as datas de execução das tarefas juntamente com as equipes responsáveis.

O alinhamento entre o construto produtividade e a ferramenta *LP* está evidenciado pela viabilidade do gerenciamento de cronogramas da obra ao mapear as restrições que possam impedir o fluxo contínuo das operações dentro de cada processo, propiciando a melhoria contínua através de ajustes progressivos do planejamento. Valente e Aires (2017, p. 158) afirmam que, segundo pesquisas realizadas por Glenn Ballard “[...] a aplicação do *Last Planner* pode aumentar a produtividade de 10% a 40% com média de 30%”. Também, Torres *et al.* (2018) atestam em sua pesquisa que, os resultados da aplicação do sistema *LP* indicaram uma redução de 30% no tempo de execução do projeto quando comparado com o método tradicional,

alegando que o processo foi mais disciplinado na equiparação com o modelo de gerenciamento convencional.

3ª. Ferramenta: Produção puxada.

A produção puxada integra um dos 5 princípios do pensamento enxuto e consiste fundamentalmente em ser o *start* de todo o processo produtivo: não se inicia a produção sem que o cliente interno ou externo solicite (puxe) o processo posterior (Rodrigues, 2016; Trentin, 2016), ou seja, na produção puxada o cliente origina o pedido e gera uma demanda específica (Amaral *et al.* 2018), evitando-se a produção desnecessária e os desperdícios, como os inventários (Rodrigues, 2020).

O conceito de puxar a produção deduz a ligação entre as necessidades dos clientes, as operações internas e os fornecedores (Ribeiro, 2015). De acordo com o 2º. princípio da Construção Enxuta (Koskela, 1992), em aumentar o valor do produto por meio das considerações das necessidades dos clientes, Valente e Aires (2017) ponderam que, avaliar tais necessidades permite estruturar informações ou requisitos que compunham a base do que será recebido e, conseqüentemente, da qualidade esperada. Polito (2015) argumenta que a qualidade do produto é intrínseca à qualidade percebida pelo cliente ao cumprir características como desempenho, conformidade e durabilidade. Assim, neste terceiro construto da ICP, a qualidade está diretamente relacionada com a ferramenta da produção puxada já a partir da concepção do arcabouço da estrutura, onde a singularidade de cada projeto define as especificidades de cada obra e, por conseguinte, desempenha um fluxo de operações do processo produtivo no sentido de compatibilizar os diversos projetos e puxar a produção de acordo com demanda estrutural, ou seja, de atender as necessidades do cliente. Impreterivelmente, a construção pré-fabricada agrega este valor, uma vez que a denominação do parâmetro “pré” impõe neste sistema construtivo a condição de alinhamento, compatibilidade e concordância prévios entre os diversos projetos (arquitetônico, estrutural e instalações) com a fabricação e execução da obra.

6. Considerações finais

O paradigma da produção enxuta que na década de 50 revolucionou os sistemas produtivos mundiais através do Sistema Toyota de Produção, hoje estende *background* para os setores da arquitetura, engenharia e construção. Os conceitos, práticas e ferramentas da produção

enxuta foram sistematizados para a indústria da construção, constituindo o que denominamos de construção enxuta. Neste novo olhar para a construção civil, o gerenciamento enxuto representa o novo modelo de gestão, aplicado ainda de forma pontual e incipiente. A construção civil urge em adotar novos processos gerenciais para conter o desperdício de materiais, hoje desproporcional e defasado em relação aos conceitos de produção e sustentabilidade inseridos no contexto mundial.

Juntamente com os métodos processuais da produção enxuta, outra atividade se fez paralelo ao emprego físico de práticas e técnicas: o pensamento enxuto (*lean thinking*). O pensamento enxuto representa o princípio inverso de um dos problemas mais críticos no canteiro de obras da construção civil: a negligência do desperdício. A cultura enxuta precisa estar inserida em todos os níveis organizacionais da cadeia produtiva da construção civil em superação à cultura convencional, que ainda prevalece. Conclui-se que o fomento ao conhecimento e a aprendizagem técnica são indispensáveis à incorporação da construção enxuta, implementada de forma fragmentada e limitada ao emprego de algumas ferramentas ainda de inadequado conhecimento e domínio teóricos.

Dentre as dificuldades para inserção de ferramentas e técnicas da produção enxuta para a construção civil, está a linha de produção: enquanto que na indústria automobilística o processo é repetitivo, controlado e industrializado, na construção civil o canteiro de obras é aberto e sujeito aos intemperismos, a singularidade de cada projeto torna o processo exclusivo e único, com um conjunto muito grande da cadeia de suprimentos para consolidar o processo gerencial integrado. Desafios à parte, a construção enxuta deve vislumbrar a conquista de um novo paradigma.

Os resultados apresentados nos Quadros 1 e 2 contemplaram o primeiro objetivo da pesquisa, e representam, respectivamente, as vantagens competitivas da indústria pré-fabricada de concreto armado, neste estudo denominadas de construtos da pré-fabricação e as ferramentas da construção enxuta. A partir desta configuração, foi instruído a resposta à questão problema como também cumpriu-se o segundo objetivo da pesquisa, de elaborar uma relação de compatibilidade entre construtos x ferramentas, com o seguinte arranjo: sustentabilidade → teoria da Transformação, Fluxo e Valor; produtividade → Sistema *Last Planner* e qualidade → produção puxada. A partir da identificação desta relação, ficou evidenciada a finalidade da pesquisa, de contribuir à indústria da construção pré-fabricada de concreto de forma a

potencializar seus processos de produção interagindo os construtos com as ferramentas da construção enxuta. Contudo, uma análise mais apurada do Quadro 2 permitiu tecer também outra constatação, em que as ferramentas selecionadas na pesquisa apresentam tendência com viés de análise da produção pelo fluxo dos processos, o que permitiu embasar a gestão dos sistemas construtivos sustentada pela estratégia do Gerenciamento Baseado no Fluxo (GBF).

Considerando a conceituação já apresentada na seção 5, fez-se uma interlocução entre o GBF e as ferramentas pontuadas na pesquisa, evidenciando outras constatações em que o fluxo figurou como ideia comum e central entre os termos: a teoria TFV nominalmente trás o fluxo como componente conceitual e aborda ênfase na redução da variabilidade em proveito da estabilidade da produção. O Sistema *Last Planner* é uma ferramenta de planejamento da obra de forma a organizar a execução das atividades em vários planos ou horizontes, além de possibilitar maior visibilidade no controle da obra e auxiliar na programação do fluxo dos processos. Na produção puxada, o fluxo das estações de trabalho é orientado a partir da demanda do cliente, e configura uma concepção invertida da produção em relação ao método convencional: do final para o início; neste sentido, a marcha de operações incorpora no sistema produtivo qualidade e quantidade definidos previamente pelo consumidor, dessa forma evita desperdícios na linha e agrega valor ao produto final.

A abordagem elaborada aqui não é final, mas provocativa para novos estudos e pesquisas visando o aprofundamento do tema. O GBF pode ser incorporado como instrumento estratégico de novas práticas ao setor da arquitetura, engenharia e construção, de forma colaborativa à integração das ferramentas da construção enxuta. A indústria da construção civil, como um todo, necessita desconstruir o atual modelo de gestão, caracterizado pelos índices acumulativos de desperdício e pelos baixos níveis produtivos, em conveniência ao modelo de gestão enxuto da construção, cuja metodologia dissemina a filosofia da melhoria contínua na padronização dos processos para maximizar valores materiais e humanos.

Referências

- Almeida, E.L.G. de, & Picchi, F.A. (2018). Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. *Ambiente Construído*, 18 (1): 91-109. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100211>
- Alvarenga, M.G.L., Carvalho, R.S., & Speranza, D.H. (2019). Construção enxuta: definição e aplicações no canteiro de obras. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 11(3): 16-27.

- Amaral, T.G. do *et al.* (2018). Avaliação do grau de implementação da construção enxuta em três empresas construtoras goianas. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 14(1): 176-190.
- Angelim, V.L. *et al.* (2020). Planejamento de médio prazo: panorama de sua aplicação na construção civil. *Ambiente Construído*, 20(1): 87-104.
- Aziz, R.F., & Hafez, S.M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52: 679-695. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.04.008>
- Arslankaya, S., & Atay, H. (2015). Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products. Proceedings of *International Strategic Management Conference*, Viena, 11. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.10.090
- Benini, L., & Bonotto, A.F. (2019). Análise do fluxo de valor na produção de iogurte em uma empresa de laticínios na zona da Mata/MG. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 5(4): 357-366. <https://doi.org/10.1590/0104-530X2259-19>
- Bernardes, M.M.S. (2021). *Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil* (2a ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Brissi, S.G., & Debs, L. (2019). Lean, automation and modularization in construction. *Proceedings of the Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Dublin, 27. DOI:<https://doi.org/10.24928/2019/0177>.
- Brito, D.M. de, & Ferreira, E. de A.M. (2015). Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. *Ambiente Construído*, 15(4): 203-223.
- Brito, T.C. *et al.* (2018). Produção enxuta em operações de serviço: uma revisão sistemática. *Revista Produção Online*, 18(3): 1016-1042.
- Büyükožkan, G., Kayakutlu, G., & Karakadilar, I.S. (2015). Assessment of lean manufacturing effect on business performance using Bayesian Belief Networks. *Expert Systems with Applications*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.016>
- Caldas, C.H., Soibelman, L., & Gasser, L. (2005). Methodology for the integration of project documents in model-based information systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 19: 25-33. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3801(2005)19:1(25)
- Cao, X. *et al.* (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and tradicional residential buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 30: 1-13.<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.120>
- Chastre, C., & Lúcio, V. (2012). *Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural*. Guarulhos: Editora Parma.
- Chauhan, K. *et al.* (2019). Deciding between prefabrication and on-site construction: a choosing-by-advantage approach. Proceedings of *Annual Conference of the International for Lean Construction*, Dublin, 27. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0158>.
- Correia, J.V.F.B. (2018). Contextualização dos princípios da construção enxuta: aplicação da filosofia enxuta do sistema Toyota de produção na indústria da construção civil em exemplos práticos. *Ciências Exatas e Tecnológicas*, 4(3): 29-38.
- Dave, B. *et al.* (2015). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of things standarts. *Automation in Construction*, 61: 86-97.
- Dennis, P. (2011). *Produção lean simplificada* (2a ed). Porto Alegre: Bookman.
- Doniak, Í.L.O., & Gutstein, D. (2012). *Estruturas de concreto pré-moldadas no Brasil: normalização, sustentabilidade e aplicações*. Em: C. Chastre, & V. Lúcio (Eds.), *Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural* (pp. 7-38). Guarulhos: Editora Parma.
- El Debs, M.K. (2017). *Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações* (2a ed.). São Paulo: Oficina de Textos.

- Fiuza, G.C.P., & Ferreira, K.A. (2021). Gestão das construções com foco na construção enxuta: estudo de casos em construtora do interior de Minas Gerais. *Exacta*. DOI: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18718>.
- Forbes, L.H., & Ahmed, S.M. (2010). *Modern Construction: lean project delivery and integrated practices*. CRC Press: Boca Raton.
- Freitas, R. de C. *et al.* (2018). Práticas de pensamento enxuto para a gestão estratégica da informação e do conhecimento. *Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, 23: 76-89.
- Fuentes, J.M., & Díaz, M.S. (2012). Learning on lean: a review of thinking and research. *International Journal of Operations & Production Management*, 32 (5): 551-582. <http://dx.doi.org/10.1108/01443571211226498>
- Gerhardt, T.E., & Silveira, D.T. (2009). *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS,
- Gonçalves, M.L. *et al.* (2014). *Fazendo Pesquisa: do projeto à comunicação científica* (4a ed.). Joinville: Editora Univille.
- Guimarães, L. de A., & Guimarães, C.R. (2016). Utilização da construção enxuta no planejamento e controle de obras na construção civil. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, João Pessoa, 36.
- Hamdar, Y. *et al.* (2015). Performance-based specifications for sustainable pavements: a lean engineering analysis. *Energy Procedia*, 74: 453-461. doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.727
- Henriques, P.G., & Silva, P. de F. (2009). Implementation of lean construction principles in Portugal. *Proceedings of CIB Joint International Symposium - Construction Facing Worldwide Challenges*, Rotterdam.
- Hines, P., Holweg, M.; & Rich, N. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10): 994-1011. DOI 10.1108/01443570410558049
- Hosseini, S.A.A., Nikakhtar, A., & Ghoddousi, P. (2012). Flow production of construction processes through implementing lean construction principles and simulation. *International Journal of Engineering and Technology*, 4(4): 475-479.
- Ishikawa, K. (1993). *Controle de Qualidade Total à Maneira Japonesa* (3a ed.). Rio de Janeiro: Campus.
- Kanai, J., & Fontanini, P.S.P. (2020). Value stream map and visilean for fabricated concrete panels management. *Proceedings of Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, 28. USA. DOI: <https://doi.org/10.24928/2020/0019>.
- Konczak, A., & Paslawski, J. (2015). Decision support in production planning of precast concrete slabs based on simulation and learning from examples. *Procedia Engineering*, 122: 81-87. doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.010
- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. *Center for Integration Facility Engineering*, Palo Alto, 72: 1-75.
- Koskela, L. *et al.* (2002). *The foundations of lean construction*. Em R. Best & G. Valence (Eds.), *Design and construction: building in value* (pp. 211-226). United Kingdom: Butterworth -Heinemann.
- Kurek, J. *et al.* (2006). *Aplicação dos princípios lean ao setor de edificações: construção enxuta - uma abordagem prática*. Passo Fundo: Editora UPF.
- Li, S. *et al.* (2017). A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71: 846-851. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.112>
- Li, Z., Shen, G.Q., & Alshawi, M. (2014). Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: An empirical study in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 91: 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.013>
- Li, Z.; Shen, G.Q.; & Xue, X. (2014). Critical review of the research on the management of prefabricated construction. *Habitat International*, 43: 240-249. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.04.001>

- Lima, M.F. de *et al.* (2017). Estudo comparativo de aplicação dos princípios da construção enxuta em empresas da construção civil no Brasil, através de revisão bibliográfica. *Anais do Simpósio de Engenharia de Produção*, Bauru, 24.
- Magalhães, D.F.R. (2020). Filosofia e Ferramentas *Lean*. *Enciclopédia Biosfera Centro Científico Conhecer*, Jandaia, 17 (33): 240-256. DOI: 10.18677/EnciBio_2020C23
- Navon, R., & Sacks, R. (2007). Assessing research issues in automated project performance control (APPC). *Automation in Construction*, 16: 474-484. doi:10.1016/j.autcon.2006.08.001
- Oliveira, J.A.J. de *et al.* (2017). Análise da eficiência das empresas de construção civil listadas na BM&F Bovespa: uma aplicação da análise envoltória de dados. *Revista de Finanças e Contabilidade da UNIMEP*, 4 (2): 54-72.
- Ogunbiyi, O., Oladapo, A., & Goulding, J. (2014). An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. *Construction Innovation*, 14 (1): 88-107. <http://dx.doi.org/10.1108/CI-08-2012-0045>
- Peretti, L.C., Faria, A.C. de, & Santos, I.C. dos. (2013). Aplicação dos princípios da produção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de São Paulo. *Anais do Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração*, Maringá, 37.
- Polito, G. (2015). *Gerenciamento de Obras: boas práticas para a melhoria da qualidade e da produtividade*. São Paulo: Pini.
- Rattner, H. (1987). Política industrial no Japão: tendências e perspectivas. *Revista de Administração de Empresas*, 27(1): 11-24.
- Reis, C.C.C. dos *et al.* (2017). Construção enxuta, proposta de diagnóstico e análise de canteiro de obras. *Revista FAE*, 20(1): 42-58.
- Ribeiro, D.V. *et al.* (2019). University Management: the lean production allied to the program quality of life at work. *Gestão e Produção*, 26(4): 1-9. <https://doi.org/10.1590/0104-530X2259-19>
- Ribeiro, V. (2015). *Logística, sistema toyota de produção e suas implicações na construção civil*. Curitiba: Appris.
- Rocha, F.E.M. da *et al.* (2004). *Logística e lógica na construção lean: Um processo de gestão na construção de edifícios*. Fortaleza: Fibra Construções.
- Rodrigues, A.S. da S. (2020). *Melhoria contínua no sistema de gestão da qualidade na empresa Mario da Costa Martins & Filhos* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharias e Tecnologias, Universidade Lusíada, Lisboa.
- Rodrigues, M.V. (2016). *Entendendo, aprendendo e desenvolvendo: sistema de produção Lean Manufacturing* (2a ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.
- Rosenblum, A. *et al.* (2007). Avaliação da Mentalidade Enxuta (lean thinking) na construção civil - uma visão estratégica de implantação. *Anais do Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, Resende, 4.
- Rotta, I.S., & Paulo, M. (2017). A influência dos aspectos comportamentais na aplicação de ferramentas lean para a redução de scrap: um estudo de caso. *Produção em Foco*, 7(2): 199-221.
- Sacks, R., Esquenazi, A., & Goldin, M. (2007). Leapcon: simulation of lean construction of high-rise apartment buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(7): 529-539. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:7\(529\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:7(529))
- Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of work flow to support lean construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135 (12): 1307-1315. DOI: 10.1061/ ASCECO.1943-7862.0000102
- Sacomano, J.B. *et al.* (2018). *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher.
- Sarhan, S. *et al.* (2018). Lean construction and sustainability through IGLC community: a critical systematic review of 25 years of experience. *Proceedings of Annual Conference of the International for Lean Construction*, Chennai, 26. DOI: <https://doi.org/10.24928/2018/0274>.

- Schokker, A.J. (2010). *The Sustainable Concrete Guide Applications*. Farmington Hills: United States Green Concrete Council
- Serra, S.M.B., Ferreira, M. de A., & Pigozzo, B.N. (2005). Evolução dos Pré-fabricados de Concreteto. *Anais do Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado*, São Carlos, 1.
- Silva, M.F. *et al.* (2018). Lean construction, como os princípios dos Sistema Toyota de Produção podem contribuir para construções mais enxutas, produtivas e sustentáveis: um estudo de caso na construtora Andrade Gutierrez. *Revista Percurso Acadêmico*, 8(15): 93-115.
- Silveira, L.P. da, & Mano, A.P. (2016). Identificação das práticas de construção enxuta em cinco empresas do sul da Bahia. *Journal of Lean Systems*, 1(1): 17-30.
- Simão, A. dos S. *et al.* (2019). Impactos da Indústria 4.0 na construção civil brasileira. *Brazilian Journal of Development*, 5 (10): 19670-19685. DOI: 10.34117/bjdv5n10-210
- Sohler, F.A.S., & Santos, S.B. dos. (2017). *Gerenciamento de Obras, qualidade e desempenho da construção*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna.
- Tam, V.W.Y. *et al.* (2007). Towards Adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42: 3642-3654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>.
- Tezel, A., & Nielsen, Y. (2013). Lean construction conformance among construction contractors in Turkey. *Journal of Management in Engineering*, 29(3): 236-250.
- Tommelein, I.D. (2015). Journey toward Lean Construction: Pursuing a Paradigm Shift in the AEC Industry. *Journal Construction Management*, 141(6): 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000926](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000926)
- Torres, L.A. *et al.* (2018). Value stream mapping of the design process in a design-build firm. *Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Berlin, 35.
- Trentin, L. (2016). Manufatura enxuta: contribuições para a obtenção da vantagem competitiva. *Revista Espacios*, 38 (9): 1-10.
- Tuholski, S.J. *et al.* (2009). Lean comparison using process charts of complex seismic retrofit projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(4): 330-339. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:4(330)
- Urban, W. (2015). The lean management maturity self-assessment tool based on organizational culture diagnosis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 213: 728-733. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.527
- Valente., A.C. da C., & Aires, V.M. (2017). *Gestão de projetos e lean construction: uma abordagem prática e integrada*. Curitiba: Appris.
- Vasconcelos, C.A. de. (2002). *O concreto no Brasil: pré-fabricação - monumentos - fundações*. V. 3. São Paulo: Estúdio Nobel.
- Vecchia, F.A.D. *et al.* (2020). Práticas lean nos processos produtivos industriais: ações para a redução de custos e resíduos de matéria-prima. *Exacta*, 18(1): 01-15. <https://doi.org/10.5585/ExactaEP.v18n1.10281>
- Viegas, J.B., & Saraiva, F. (2012). Um olhar sobre a pré-fabricação em betão em Portugal. Em C. Chastre, & V. Lúcio (Eds.), *Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural (39-72)*. Guarulhos: Editora Parma.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1998). *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza (5a ed.)*. Rio de Janeiro: Campus.
- Womack, J.P., Jones, D.T., & Roos, D. (1992). *A Máquina que mudou o Mundo (4a ed.)*. Rio de Janeiro: Campus.
- Xiaosheng, T., & Hamzeh, F. (2020). Precast concrete building construction process comparison. *Proceedings of Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, 28. DOI: <https://doi.org/10.24928/2020/0027>.
- Zhang, L., & Chen, X. (2016). Role of lean tools in supporting knowledge creation and performance in lean construction. *Procedia Engineering*, 145: 1267-1274. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.163