



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03
de dezembro 2021

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

Elias Riffel, Me - Unifebe - eliasriffel@unifebe.edu.br

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. Neste contexto, 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.

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

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. In this context, 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.

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; JONES; ROOS, 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) tornou-se 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; SANTOS, 2017). Assim, em 1992, foi publicado pelo professor finlandês Lauri Koskela o relatório nº 72 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, Faria e Santos, 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 Civil (ICC), originária dos esforços desse grupo de pesquisadores ao aplicar os conceitos, princípios e práticas de gestão da produção enxuta na construção civil (RIBEIRO, 2015; BERNARDES, 2021).

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. Fundamentação teórica

2.1 A produção enxuta

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; JONES; ROOS, 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, Jones e Roos na obra autoral *A Máquina que Mudou o Mundo* (DENNIS, 2011; FUENTES; DÍAZ, 2012; FREITAS *et al.*, 2018).

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; PICCHI, 2018). Segundo Hines, Holweg e Rich (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.

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, 2011; 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; MANO 2016).

Koskela *et al.* (2002) afirmam 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.

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; GUIMARÃES, 2016; CORREIA, 2018; SIMÃO *et al.* 2019; FIUZA; 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.

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; a manufatura nas unidades fabris promove melhores condições de trabalho se comparadas com o canteiro, contudo, é necessário uma mão de obra mais especializada para os serviços de montagem da estrutura.

Tam *et al.* (2007), consideram o desperdício da construção como um dos principais fatores de impacto ambiental. Com o aumento da demanda por obras de infraestrutura, prédios comerciais e programas de desenvolvimento residencial, grande quantidade de entulho estão sendo produzidos e que falta aplicação por parte dos governantes. A ICC gera uma quantidade diária que alcança 40% do total de entulho em aterros sanitários. Para um desenvolvimento sustentável, existe uma necessidade urgente para a indústria adotar novas tecnologias ou métodos de construção, os quais podem reduzir efetivamente o desperdício.

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; 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™*, 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:

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

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 elenca as vantagens competitivas mais citadas pelos autores pesquisados neste estudo, aqui denominadas de construtos da indústria pré-fabricada (CIP).

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, Shen e Alshawi (2014) Li, Shen e Xue (2014) Cao <i>et al.</i> (2015) El Debs (2017) Xiaosheng e Hamzeg (2020)
Aumento da produtividade	Chastre e Lúcio (2012) Li, Shen e Xue (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, Esquenazi e Goldin (2007)
Custo	Chauhan <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Autor (2021)

Na etapa 2 da pesquisa, a análise dos referenciais teóricos possibilitaram analisar a ICC 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 incorporadas da produção enxuta, representa um novo 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. 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.

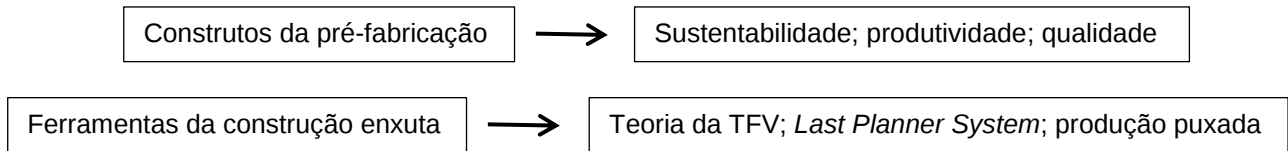
Quadro 2 - Ferramentas da construção enxuta

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, Treckmann e Rozenfeld (2009) Tuholski <i>et al.</i> (2009) Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2014) Henriques e Silva (2009) Hosseini, Nikakhtar e Ghoddousi (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, Oladapo e Goulding (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, Treckmann e Rozenfeld (2009) Hosseini, Nikakhtar e Ghoddousi (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, Nikakhtar e Ghoddousi (2012) Li <i>et al</i> (2017)
Kanban	Controle de Fluxo e Material.	Zhang e Chen (2016)

Fonte: Autor (2021)

A leitura dos dois quadros permitiu analisar a nítida convergência dos dados pesquisados, tanto no quadro 1 dos construtos como no quadro 2 das 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.

Figura 1 - Esquematização dos dados.



Fonte: Autor (2021)

Alinhamento conceitual entre CIP e FCE.

a) 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 (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009; ALVARENGA; CARVALHO; SPERANZA, 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.

b) 2ª. Ferramenta: Sistema *Last Planner*.

O controle da produção no sistema *Last Planner (LP)* é um 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; 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.

c) 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 no canteiro, 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 a evolução da obra. A construção pré-fabricada, impreterivelmente agrega este valor, uma vez que a denominação do parâmetro “pré” impõe neste sistema construtivo a condição de alinhamento 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 permite embasar a gestão dos sistemas construtivos sustentada pela estratégia do Gerenciamento Baseado no Fluxo (GBF).

Considerando a conceituação já apresentada na seção 5, faz-se uma interlocução entre o GBF e as ferramentas pontuadas na pesquisa, evidenciando outras constatações em que o **fluxo** das atividades figura como ideia comum e central entre os termos: a teoria TFC 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, Eduardo L. Galvão de; PICCHI, Flávio Augusto. Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 91-109, jan./mar. 2018.
- ALVARENGA, Maria G. de Lima; CARVALHO, Ramon S. de; SPERANZA, Daniel Hecht. Construção enxuta: definição e aplicações no canteiro de obras. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 16-27, set./2019.
- AMARAL, Tatiana Gondim do *et al.* Avaliação do grau de implementação da construção enxuta em três empresas construtoras goianas. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 176-190, jun. 2018.
- BENINI, Lucas; BONOTTO, Arthur Feital. 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**, v. 05, n. 04, p. 357-366, 2019.
- BERNARDES, Maurício Moreira e Silva. **Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.
- BRITO, Taíse Câmara *et al.* Produção enxuta em operações de serviço: uma revisão sistemática. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 1016-1042, 2018.
- CORREIA, João Victor F. Barros. 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**, Aracaju, v. 4, n. 3, p. 29-38, abril 2018.
- DAVE, Bhargav *et al.* Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of things standards. **Automation in Construction**, v. 61, p. 86-97, 2015.
- DENNIS, Pascal. **Produção lean simplificada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- DONIAK, Íria Lícia Oliva; GUTSTEIN, Daniela. Estruturas de concreto pré-moldadas no Brasil: normalização, sustentabilidade e aplicações. In: CHASTRE, Carlos; LÚCIO, Válder (org.). **Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural**. Guarulhos: Editora Parma. 2012.
- EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- FIUZA, Gabriela Costa Pinto; FERREIRA, Karine Araújo. Gestão das construções com foco na construção enxuta: estudo de casos em construtora do interior de Minas Gerais. **Revista Exata Engenharia de Produção**, São Paulo, 2021.
- FREITAS, Rodrigo de Castro *et al.* Práticas de pensamento enxuto para a gestão estratégica da informação e do conhecimento. **Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Florianópolis, v. 23, n. esp., p. 76-89, 2018.
- FUENTES, José Moyano; DÍAZ, Macarena Sacristán. Learning on lean: a review of thinking and research. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 5, p. 551-582, 2012.
- GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GONÇALVES, Mônica Lopes *et al.* **Fazendo Pesquisa: do projeto à comunicação científica**. 4. ed. Joinville: Editora Univille, 2014.

GUIMARÃES, Leonardo de Araújo; GUIMARÃES, Cristine Ramos. Utilização da construção enxuta no planejamento e controle de obras na construção civil. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 36, 2016, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: ENEGEP, 2016, 1-17.

HAMDAR, Yara *et al.* Performace-based specifications for sustainable pavements: a lean engineering analysis. **Energy Procedia**, v. 74, p. 453-461, 2015.

HINES, Peter; HOLWEG, Matthias; RICH, Nich. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 10, p. 994-1011, 2004.

KOSKELA, Lauri. Application of the new production philosophy to construction. **Center for Integration Facility Engineering**, Palo Alto, n. 72, p. 1-75, set. 1992.

KOSKELA, Lauri *et al.* The foundations of lean construction. *In: BEST, Rick; VALENCE, Gerard de (org.). Design and Construction: building in value.* United Kingdom: Butterworth -Heinemann, 2002. p. 211-226.

KUREK, Juliana *et al.* **Aplicação dos princípios lean ao setor de edificações: construção enxuta - uma abordagem prática.** Passo Fundo: Editora UPF, 2006.

LIMA, Marcilon Fonseca de *et al.* Estudo comparativo de aplicação dos princípios da construção enxuta em empresas da construção civil no Brasil, através de revisão bibliográfica. *In: Simpósio de Engenharia de Produção*, 24., 2017, Bauru. **Anais [...]** Bauru: SIMPEP, 2017. p. 1-14.

MARCONI, Marina de Andrade; Lakatos, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

OLIVEIRA, Janaina A. Joaquim de *et al.* 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**, Piracicaba, v. 4, n. 2, p. 54-72, jul./dez. 2017.

PERETTI, Luiz Celso; FARIA, Ana Cristina de; SANTOS, Isabel Cristina dos. Aplicação dos princípios da produção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de São Paulo. *In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração*, 37., 2013, Maringa. **Anais [...]** Maringa: ANPAD, 2013. p. 1-16.

POLITO, Giulliano. **Gerenciamento de Obras: Boas práticas para a melhoria da qualidade e da produtividade.** São Paulo: Pini. 2015.

RATTNER, Henrique. Política industrial no Japão: tendências e perspectivas. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 11-24, jan./mar. 1987.

REIS, Camila C. Compagnoni dos *et al.* Construção enxuta, proposta de diagnóstico e análise de canteiro de obras. **Revista FAE**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 42-58, jan./jun. 2017.

RIBEIRO, Débora Veber *et al.* University Management: the lean production allied to the program quality of life at work. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 26, n. 4, p. 1-9, 2019.

RIBEIRO, Virgílio. **Logística, sistema toyota de produção e suas implicações na construção civil.** Curitiba: Appris, 2015.

RICHARDSON, Roberto J. **Pesquisa Social: métodos e técnicas.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ROCHA, Francisco E. Montenegro da *et al.* **Logística e lógica na construção lean: Um processo de gestão na construção de edifícios.** Fortaleza: Fibra Construções Ltda, 2004.

RODRIGUES, Ana Sofia da Silva. **Melhoria contínua no sistema de gestão da qualidade na empresa Mario da Costa Martins & Filhos, Lda.** 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão de Operações) - Faculdade de Engenharias e Tecnologias, Universidade Lusíada, Lisboa, 2020.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo: sistema de produção Lean Manufacturing.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SACKS, Rafael; TRECKMANN, Malte; ROZENFELD, Ophir. Visualization of work flow to support lean construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 12, p. 1307-1315, 2009.

SARHAN, Saad *et al.* Lean construction and sustainability through IGLC community: a critical systematic review of 25 years of experience. *In: Annual Conference of the International for Lean Construction*, 26., 2018, Chennai. **Anais [...]** Chennai: IGLC, 2018. p. 933-942.

SILVEIRA, Lucas P. da; MANO, Aline P. Identificação das práticas de construção enxuta em cinco empresas do sul da Bahia. **Journal of Lean Systems**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 17-30, 2016.

SIMÃO, Alessandra dos Santos *et al.* Impactos da Indústria 4.0 na construção civil brasileira. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 19670-19685, out. 2019.

SOHLER, Flávio Augusto Settimi; SANTOS, Sergio Botassi dos. **Gerenciamento de Obras, qualidade e desempenho da construção.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2017.

TAM, Vivian W. Y. *et al.* Towards Adoption of prefabrication in construction. **Building and Environment**, n. 42, p. 3642-3654, 2007.

TEZEL, Algan; NIELSEN, Yasemin. Lean construction conformance among construction contractors in Turkey. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. 3, p. 236-250, 2013.

TORRES, Leidian Aragão *et al.* Value stream mapping of the design process in a design-build firm. *In: International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 35., 2018, Berlin. **Anais [...]** Berlin: ISARC, 2018. p. 1-8.

TRENTIN, Luciano. Manufatura enxuta: contribuições para a obtenção da vantagem competitiva. **Revista Espacios**, Cidade do Panamá, v. 38, n. 9, p. 1-10, 2016.

TUHOLSKI, Stan John *et al.* Lean comparison using process charts of complex seismic retrofit projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 4, p. 330-339, 2009.

VALENTE, Antônio C. da Costa; AIRES, Victor Meireles. **Gestão de projetos e lean construction: uma abordagem prática e integrada.** Curitiba: Appris, 2017.

VECCHIA, Fábio Antônio Dalla *et al.* Práticas *lean* nos processos produtivos industriais: ações para a redução de custos e resíduos de matéria-prima. **Exacta**, São Paulo, v. 18, n. 01, p. 01-15, jan./mar. 2020.

VIEGAS, José Barros; SARAIVA, Filipe. Um olhar sobre a pré-fabricação em betão em Portugal. *In: CHASTRE, Carlos; LÚCIO, Válder (org.). Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural.* Guarulhos: Editora Parma, 2012.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza.** 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A Máquina que mudou o Mundo.** 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.