

Alvenaria estrutural como um processo construtivo potencialmente enxuto – uma visão a partir da *Lean Construction*

Structural masonry as a potentially lean construction
process - a view from Lean Construction

Thiago José Bomfim Plutarco

Instituição | Cidade | Brasil | thiagoplutarco@gmail.com

Alexandre Araújo Bertini

Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | bertini@ufc.br

Micheline Barreto Gomes

Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | michelinebgomes@gmail.com

Vinícius Capistrano de Paiva Veras

Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | viniciuscapistrano@alu.ufc.br

Luiz Fernando Heineck

Universidade Estadual do Ceará | Fortaleza | Brasil | freitas8@terra.com.br

Resumo

O trabalho parte de uma rediscussão das principais áreas de concentração dos esforços lean (produção enxuta), partindo dos 11 princípios de Koskela de 1992. Mostra-se como a alvenaria estrutural propicia a aplicação imediata destes 11 princípios e assim como de 238 outros quesitos usualmente associados com a produção enxuta. O trabalho ilustra cada uma das áreas e como isto tem sido explorado nas aplicações de alvenaria estrutural. A metodologia utilizada é um estudo teórico sobre os métodos de construção em alvenaria estrutural, assim como um estudo da Construção Enxuta. Busca-se confrontar as ideias dos dois temas para mostrar a adequabilidade da Alvenaria Estrutural a Lean Construction. Conclui-se pela necessidade de operacionalizar a aplicação destes conceitos lean em duas áreas ainda menos exploradas e para as quais a alvenaria estrutural oferece uma resposta não imediata, que são o aumento de valor para o cliente e a maior flexibilidade de produtos e processos.

Palavras-chave: Fluxo; Valor; Melhoria Contínua; Alvenaria Estrutural.



Como citar:

PLUTARCO, T. J. B.; BERTINI, A. A.; GOMES, M. B.; VERAS, V. C. de P.; HEINECK, L. F. Alvenaria estrutural como um processo construtivo potencialmente enxuto – uma visão a partir da *Lean Construction*. TECSIC 2023. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS, 23 e 24 AGO 2023, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 119-126.

Abstract

The work starts from a re-discussion of the main areas of concentration of lean efforts, starting from Koskela's 11 principles from 1992. It shows how structural masonry provides for the immediate application of these 11 principles as well as 238 other issues usually associated with lean production. The paper illustrates each of these areas and how they have been exploited in structural masonry applications. The methodology used is a theoretical study of structural masonry construction methods, as well as a study of Lean Construction. The aim is to confront the ideas of the two subjects in order to show the suitability of structural masonry for lean construction. It is concluded by the need to operationalize the application of these lean concepts in two areas that are still less explored and for which structural masonry offers a not immediate answer, which are the increase of value for the client and the greater flexibility of products and processes.

Keywords: Flow; Value; Continuous Improvement; Structural Masonry.

INTRODUÇÃO

Paralelamente ao crescimento da industrialização na construção e do surgimento de novas tecnologias construtivas, as novas filosofias gerenciais no setor da construção, principalmente a proveniente do Sistema Toyota de Produção (STP), também tem experimentado um aumento de interesse por parte dos construtores modernos, influenciados pelos acadêmicos estudiosos do assunto. A nova filosofia de produção derivada das fábricas da Toyota é denominada de *Lean Manufacturing* (Produção Enxuta) que, quando aplicada à construção civil, recebe o nome de *Lean Construction* (Construção Enxuta).

É óbvia a afirmação de que cada processo construtivo apresenta características diferentes, assim como cada filosofia de gestão. Saber se eles podem ser usados de maneira sinérgica é fundamental para a tomada de decisão quanto à adoção de ambas. Manzione (2004, p.9) mostra a necessidade de um maior aprofundamento na questão de gerenciamento da produção na alvenaria estrutural. Assim, é de fundamental importância analisar a compatibilidade do sistema construtivo Alvenaria Estrutural com a filosofia de gestão da Construção Enxuta e, também, tentar verificar se a alvenaria estrutural pode atender de forma sistêmica aos princípios do Sistema Toyota de produção, o que determina o objetivo para este trabalho.

REVISÃO DA LITERATURA

O exame da literatura para este trabalho prende-se aos cerca de 1500 artigos publicados nos 28 congressos do *International Group for Lean Construction*, de forma anual, desde 1993, com o último evento sediado em Berkeley, California, em julho de 2020. Nas décadas de 1950 a 70, o estudo das diferentes tecnologias, das características de projeto, e da organização do trabalho situava-se no campo da análise de produtividade e aplicação de estudos de tempos e movimentos na construção civil. Heineck et al. (2009) inaugura a análise de sistemas construtivos, de forma comparativa, utilizando redes de inter-relacionamento de operações no canteiro. San Martin e Formoso (1998) dão continuidade a este tipo de trabalho, iniciando a inclusão deste tipo de estudo no IGLC – *International Group for Lean Construction*.

Dentre os cerca de 50 trabalhos publicados desde então relacionando tecnologias com requisitos da produção enxuta, resenham-se os apresentados a seguir. Kwofie e Pasquire (2020) interpretam quais conhecimentos de produção enxuta seriam necessários para engenheiros estruturais. A execução de estruturas de concreto segundo este novo paradigma gerencial é estudada por Memarian e Mitropoulos (2012) e Haringer e Borrmann (2019). A execução de formas para concreto é o objeto de pesquisa de Ibrahim e Hamzeh (2015), Martinez et al. (2015) e Ko e Kuo (2018).

De raízes históricas é a tentativa de inovar na construção civil através da industrialização, da pré-fabricação e da componentização. Souza e Fontanini (2020) ilustram em termos atuais este tipo de trabalho, assim como Darwish et al. (2020), Xiaosheng e Hamzeh (2020). Peñaloza et al. (2016) discutem resultados iniciais de um estudo de integração da obra com o fornecimento de componentes pré-fabricados, produzidos de maneira industrial em uma planta distante do canteiro. Bildsten (2011) se volta para a discussão do uso da pré-fabricação, imersa em um ambiente gerencial moderno, para a solução de problemas habitacionais.

De maneira mais diretamente aplicável e comparável com a questão das alvenarias, tem-se os trabalhos de Friblick et al. (2009), Cossio e Cossio (2012) e Frandson et al. (2013) que estudam a execução de fachadas, tipicamente pré-fabricadas, com processos que melhoram a sua instalação e não interferem com outras atividades no canteiro. Murguia et al. (2016) enfatizam a necessidade de melhor gerenciamento nas atividades de acabamento. Melo e Alves (2010) estuda um único componente relativo aos acabamentos de uma edificação, as portas, sob o ponto de vista de racionalização de processos e integração da cadeia produtiva.

Popovic et al. (2017), Ostnor et al. (2018) e Hanahoe et al. (2019) criticam a construção em painéis e estruturas de madeira, eventuais concorrentes da utilização de componentes mais pesados como alvenarias ou painéis de concreto, mostrando que seu potencial produtivo não é plenamente alcançado.

Finalmente, a execução de alvenarias propriamente ditas, em geral estruturais, é objeto de pelo menos 4 artigos, a saber Barreto e Heineck (2012), Guevara et al. (2012), Melo et al. (2017) e Maraça et al. (2020) com variados graus de sofisticação, tanto nos materiais utilizados como nas ferramentas de apoio a gestão.

Especificamente, não foram encontradas metodologias que indiquem como e porque cada tecnologia construtiva pode ser melhor explorada em termos gerenciais, e como seus atributos físicos podem estar alinhados com as ferramentas e filosofias gerenciais de maneira específica. Surge, assim, a oportunidade para um trabalho metodológico, como descrito a seguir.

METODOLOGIA DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado é um estudo teórico sobre o sistema construtivo Alvenaria Estrutural, assim como um estudo, também teórico, da Construção Enxuta, o que possibilita explorar os conceitos da última e sua ligação com a Alvenaria Estrutural. Trata-se de uma discussão sobre a aplicabilidade das características *lean* à

alvenaria estrutural, iniciando pelos 11 princípios de Koskela, de 1992, e alargando para uma série de características *lean* presente no volume 1 da coletânea Edificar Lean de Heineck et al. (2009).

A conexão entre alvenarias e os conceitos da produção enxuta se manifesta inicialmente, pelo aspecto de industrialização da construção e coordenação modular, o que está ligado ao conceito de tolerância dimensional, como estudado no campo do IGLC por Talebi et al. (2016). Uma série de artigos recentes enfoca a questão da modularidade, inicialmente sob a ótica de componentização para atender uma demanda customizada, mas num segundo momento requerendo a visão processual do arranjo dimensional de componentes que são montados segundo uma malha dimensional (BRIDI et al., 2019). A alvenaria se caracteriza pela coordenação modular, mas não pela montagem, já que seus materiais e componentes são solidarizados por argamassas, o que potencialmente pode trazer maiores exigências para o encadeamento de processos produtivos. O exame em detalhe destes processos é o que leva aos resultados apresentados a seguir.

RESULTADOS

Em contraposição as sínteses de Koskela (2000) e Womack e Jones (1998, 2004), é em Koskela (1992) com seus 11 princípios para o gerenciamento que aparecem com maior clareza as facilidades oferecidas pela alvenaria estrutural, para a construção enxuta. Nogueira (2010) discute favoravelmente 9 dos 11 critérios para considerar um processo enxuto, a saber: 1) diminuir a parcela de processos que não agregam valor (e.g. retirar as formas); 2) simplificar o processo (e.g. é da natureza do sistema o conjunto de poucas operações); 3) reduzir o tempo de ciclo (uma possibilidade pelas possibilidades de treinamento, aprendizagem diante de um processo simples); 4) diminuir a variabilidade (e.g. pelo controle dimensional dos componentes); 5) aumentar a transparência (e.g. a modulação das paredes repete em escala real o projeto e suas paginações); 6) focar o controle no processo como um todo (e.g. a correção dimensional é atestada pela execução de todos os paramentos de acordo com as dimensões especificadas, do contrário estes paramentos não se encaixam entre si); 7) alternar melhorias nos processos de execução e de fluxo entre atividades (e.g. tanto melhorar as questões de prumo e nível das fiadas de alvenaria como a logística de fornecimento, assim como a movimentação de equipamentos e mão de obra); 8) fazer benchmarking (e.g. visitas a obras e divulgação de experiências pelos fornecedores de componentes); e 9) praticar Kaizen, a chamada melhoria contínua (e.g. através de indicadores e medidas do processo que possam ser permanentemente desafiados).

Dois princípios não são imediatamente aplicáveis, quais sejam aumentar valor para o cliente a partir da consideração de seus requisitos e aumentar a flexibilidade dos produtos e processos. No entanto, Peixoto (2005) argumenta em contrário, mostrando que os sistemas em alvenaria estrutural podem atender requisitos variados e de maior sofisticação, atendendo a demanda específica de clientes de classes médias e altas.

Assim, a alvenaria estrutural não ficaria restrita as edificações padronizadas dos empreendimentos de natureza social.

Nogueira (2010) utiliza uma lista de 238 quesitos que são descritos na literatura como característicos da construção enxuta em canteiro de obras, conforme Heineck et al. (2009). Avalia e ilustra 26 destes conceitos, mostrando como os sistemas em alvenaria estrutural tornam simples, direta, natural a aplicação dos mesmos. Somados aos 11 princípios de Koskela, também analisados por este autor, tem-se um escrutínio de 37 quesitos.

Uma análise subsequente, conduzida para este artigo, aponta que para os 238 quesitos, 227 são diretamente aplicáveis ao sistema construtivo em consideração. A lista de quesitos está ordenada de forma alfabética, na forma de um léxico, da mesma forma que a publicação do *Lean Institute* do Brasil (2003). Neste novo léxico, 22 itens aparecem para a letra A, dos quais 20 são aplicáveis a esta tecnologia. Para letra B, tem-se a total aderência dos 6 quesitos elencados, enquanto que para a letra C, 20 de um total de 21 elementos mostram conformidade esta filosofia gerencial.

Para a letra A, são exemplos de características facilmente adaptáveis ao sistema: o alargamento do trabalho (maior número de atividades de igual dificuldade executada por um único trabalhador); o ambiente de célula (poucos operários executam todas as atividades para conformar um andar), o uso de *andons* (dispositivos para sinalizar dificuldades na execução, chamando a atenção da gerência imediata); a antecipação de atividades que vão ocorrer no canteiro; a aprendizagem na ação; armazenagem de componentes no ponto de aplicação; aumento do número de ciclos de execução e controle (PDCA); autonomia e autorregulação do ritmo de trabalho pelos próprios operários. Como características a discutir, conforme já mencionado, se teria a dificuldade de aumento de valor para o cliente em função do atendimento de requisitos específicos, geralmente associado à flexibilidade do sistema construtivo.

Para a letra S estão dicionarizadas 7 características da produção enxuta, as quais se associam a características potencialmente associadas a esta tecnologia, a saber: figura de um *sensei* (mestre não pertencente a cadeia hierárquica, mas que acumula conhecimentos sobre a tecnologia e aconselha em caso de dificuldade); sequência de trabalho conhecida por todos; setup reduzido (tempo de preparação, como montagem de andaimes); eliminação de sete desperdícios; simplificação do trabalho; sincronia entre as equipes, supermercados para estocagem de materiais, componentes e ferramentas para execução do serviço (materiais são retirados de maneira independente dos estoques sem a presença de um almoxarife).

CONCLUSÕES

A partir do exposto anteriormente e de acordo com o contexto da industrialização na construção, verifica-se que uma nova forma de gerenciar canteiros de obras encontra-se fortemente alicerçada em uma comunidade de pesquisa conhecida como *International Group for Lean Construction*. Os cerca de 1500 trabalhos produzidos em 28 conferências anuais desde o ano de 1993, reportam-se, também, a como aplicar os

conceitos do Sistema Toyota de Produção, ou com o mesmo sentido, a Produção Enxuta para tecnologias específicas. Este trabalho argumenta que os Sistemas de Alvenaria Estrutural adequam-se aos requisitos impostos por esta filosofia gerencial, na medida em que 9 dos 11 itens de avaliação propostos por um dos principais autores da área são atendidos, assim como 227 de um listagem de 238 evidências detalhadas de sua expressão em aplicações práticas podem, potencialmente, ser encontradas em canteiros de obras utilizando esta forma racionalizada de execução dos paramentos verticais de uma edificação.

REFERÊNCIAS

- [1] BARRETO, A. M.; HEINECK, L. F. M. **Learning structural masonry technology and lean construction: a case study in a small building site**. In: 20TH INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.1-10, 2012.
- [2] BILDSTEN, L. **Exploring the opportunities and barriers of using prefabricated house components**. In: 19th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 1-10, 2011.
- [3] BRIDI, M. E.; CEOLIN, E. D.; GRANJA, A. D.; FORMOSO, C. T. **Modularity in the construction industry: a systematic mapping study**. In: 27th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.737-748, 2019.
- [4] COSSIO, J. G.; COSSIO, A. G. **Application of just in time to the fabrication and installation of prefabricated concrete façades in buildings**. In: 20TH INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 1-10, 2012.
- [5] DARWISH, M.; MOHSEN, O.; MOHAMED, Y.; AL-HUSSEIN, M. **Integrated simulation and lean approach for production line improvement in a prefabricated panelized homebuilding facility**. In: 28th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 661-672, 2020.
- [6] FRANDSON, A.; BERGHEDE K.; TOMMELEIN, I. D. **Takt time planning for construction of exterior cladding**. In: 21th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 527-536, 2013.
- [7] FRIBLICK, F.; TOMMELEIN, I.; MUELLER, E.; FALK, J. H. **Development of an integrated façade system to improve the high-rise building process**. In: 18th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 359-370, 2009.
- [8] GUEVARA, J.; PRIETO, J.; MIENTES, C. **Implementing a performance improvement strategy for reinforced masonry building construction**. In: 20th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.1-10, 2012.
- [9] HANAHOE, J.; TAGGART M.; WILLIS, C. **Not seeing the wood from the trees – a gemba walk through a timber framed housing development**. In: 27th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.1209-1218, 2019.
- [10] HARINGER, P.; BORRMANN, A. **Improving flow in concrete construction by avoiding spatial conflicts between pour cycles**. In: 27TH INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.323-334, 2019.
- [11] HEINECK, L. F. M; ROCHA, F. E. M; PEREIRA, P. E; LEITE, M. O. **Introdução aos Conceitos Lean – Visão Geral do Assunto**. Fortaleza: Ed. Expressão Gráfica, 2009.
- [12] IBRAHIM, H. A. A.; HAMZEH, F. R. **Expected lean effects of advanced high-rise formwork**. In: 23rd INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.83-92, 2015.

- [13] KO, C.; KUO, J. **Lean formwork**. In: 26th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.1283-1290, 2018.
- [14] KOSKELA, L. **An Exploration towards a Production Theory and its Applications to Construction**. Theses, Doctor of Philosophy, VTT Building Technology. Finland, 2000.
- [15] KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Technical Report 72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford University, 1992.
- [16] KWOFIE, S.; PASQUIRE, C. L. **Lean thinking for structural engineers**. In: 28th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 157-168, 2020.
- [17] LEAN INSTITUTE DO BRASIL, **Léxico Lean – Glossário Ilustrado para Praticantes do Pensamento Lean**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2003.
- [18] MANZIONE, L. **Projeto e execução de alvenaria estrutural**. São Paulo: Ed. O Nome da Rosa, 2004.
- [19] MARAQA, M.; SACKS, R.; SPATAN, S. **Empirical assessment of the impact of VDC and Lean Environment and waste in masonry operations**. In: 28th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 985-996, 2020.
- [20] MARTINEZ, E. H.; ALVEAR, A. M.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. **Formwork standardization and production flow: lessons from an affordable housing project in Ecuador**. In: 23rd INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 53-59, 2015.
- [21] MELO, R. S. S.; ALVES, T. C. L. **Investigation of the supply chain of prefabricated wooden doors**. In: 19th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 192-201, 2010.
- [22] MELO, L. A. P.; LIMA, V. F. C.; MELO, R., S. S. **Value stream mapping: a case study in structural masonry**. In: 25th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 755-762, 2017.
- [23] MEMARIAN, B.; MITROPOULOS, P. **Production practices for high reliability in concrete construction**. In: 20th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 1-10, 2012.
- [24] MURGUIA, D.; BRISO, X.; PIMENTEL, A. **Applying lean techniques to improve performance in the finishing phase of a residential building**. In: 24th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 43-52, 2016.
- [25] NOGUEIRA, T. J. B. P. **A alvenaria estrutural como um processo construtivo potencialmente enxuto – uma visão a partir da Lean Construction**. 2010, 40p. Trabalho de conclusão de curso, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- [26] OSTNOR, T.; FAANES, S.; LAEDRE, O. **Laminated timber versus on site-cast concrete: a comparative study**. In: 26th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.1302-1312, 2018.
- [27] PEIXOTO, P. H. H. **Aplicabilidade da alvenaria estrutural para edifícios de alto padrão em Fortaleza: estudos de caso**. 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- [28] PEÑALOZA, G.; VIANA, D. D.; BATAGLIN, F. S.; FORMOSO, C. T.; BULHOES, I. R. **Guidelines for integrated production control in engineer to order prefabricated concrete building systems: preliminary results**. In: 24th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 103-112, 2016.
- [29] POPOVIC, D.; SCHAUERTE, T.; JOHANSSON, J. **Prefabrication of single-family timber houses: problem areas and wastes**. In: 25th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p.837-844, 2017.

- [30] SAN MARTIN, A., FORMOSO, C. T. **Evaluating building systems based on production process management and lean construction concepts.** In: 6TH INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 1-8, 1998.
- [31] SOUZA, F. S.; FONTANINI, P. S. P. **Impact of productive stability caused by variations of prestressed precast elements.** In: 28th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 637-648, 2020.
- [32] TALEBI, S.; KOSKELA, L.; SHELBOURN, M.; TZORTZOPOULOS, P. **Critical review of tolerance management in construction.** In: 24th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p.63-72, 2016.
- [33] WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A Máquina que Mudou o Mundo.** Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- [34] WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas.** Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- [35] XIAOSHENG, T.; HAMZEH, F. **Precast concrete building construction process comparison.** In: 28th INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, p. 625-636, 2020.